

Trabajo Fin de Grado.

Grado en Ingeniería de las Tecnologías Industriales

**Estudio de implantación y modelado de un pequeño
horno solar en Tonatiuh**

Autor: José Luis Marín Girón

Tutor: Manuel Silva Pérez

Departamento de Ingeniería Energética
Grupo de Termodinámica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla, 2017



Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de las Tecnologías Industriales

Estudio de implantación y modelado de un pequeño horno solar en Tonatiuh

Autor:

José Luis Marín Girón

Tutor:

Manuel Silva Pérez

Departamento de Ingeniería Energética

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2017

Trabajo Fin de Grado: Estudio de implantación y modelado de un pequeño horno solar en
Tonatiuh

Autor: José Luis Marín Girón

Tutor: Manuel Silva Pérez

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2017

El Secretario del Tribunal

A mi familia

A mi tutor

Agradecimientos

Agradecer a mi familia, amigos y compañeros que me han dado ánimos y apoyo a lo largo de mis estudios, haciendo especial mención a mi tutor por la ayuda recibida y el exquisito trato recibido durante la realización de este proyecto. Por último, agradecer a esta prestigiosa Escuela haberme formado profesionalmente.

Los hornos solares son sistemas de concentración de la radiación solar que producen relaciones de concentración muy elevadas en el foco. Estos sistemas pueden alcanzar temperaturas de hasta 2500 °C y tiene un rango de aplicación muy amplio que abarca desde la realización de reacciones químicas que requieren altas temperaturas a los ensayos para estudios de materiales en ambientes extremos.

En general el diseño básico consiste en la concentración de la radiación solar en varias etapas en las que intervienen heliostatos, concentradores parabólicos y otros reflectores.

Este trabajo parte del diseño teórico de un pequeño horno solar que concentra la radiación mediante un heliostato plano de 2.5 metros cuadrados y un concentrador parabólico de 1.8 metros de diámetro, con una distancia focal de 0.755 metros. Sobre este diseño se realiza un estudio para la implementación de una cortina reguladora, considerando el número de lamas, ancho de estas y su grosor ideal. Este diseño se realizará con la herramienta informática Tonatiuh, que es un software de trazado rayos sobre sistemas solares. La potencia máxima obtenida con la implementación de dicho atenuador es 2.23 kW, para la apertura máxima de sus lamas.

Agradecimientos	VIII
Resumen.....	X
Índice.....	XII
Índice tablas	XIV
Índice figuras	XV
1. Introducción	1
1.1. Hornos solares.....	1
1.1.1. Qué son hornos solares.....	1
1.2. Esquema y componentes principales.....	1
1.2.1. Heliostato	2
1.2.2. Concentrador	2
1.2.3. Atenuador o cortina reguladora.....	4
1.2.4. Bancada y receptor	4
1.3. Aplicaciones de los hornos solares existentes	4
2. Definición de objetivos.....	6
3. Diseño.....	7
3.1. Revisión del diseño óptico.....	7
3.2. Diseño físico	7
3.2.1. Descripción del lugar de instalación del horno solar	7
3.2.2. Orientación del terreno donde se instalará el horno solar	9
3.2.3. Selección de las vigas donde se instalará el horno	10
3.2.4. Estructuras soporte	15
3.2.5. Bancada	16
3.2.6. Heliostato	17
3.2.7. Cortina reguladora o atenuador.....	20
3.2.8. Disco parabólico	22
3.3. Nuevo diseño con la herramienta <i>Tonatiuh</i>	25

3.3.1.	Diseño del horno solar	25
3.3.2.	Análisis de la distancia focal	41
3.3.3.	Análisis del radio del receptor.....	43
4.	Implementación del atenuador.....	47
4.1.	Ensayos del comportamiento en función de la inclinación y el grosor	53
4.1.1.	Ensayos inclinación de 0°	54
4.1.2.	Ensayos inclinación de 30°	54
4.1.3.	Ensayos inclinación de 60°	55
4.1.4.	Análisis y elección del óptimo	55
4.2.	Estudio del comportamiento del atenuador seleccionado	56
4.2.1.	Potencia obtenida para un ángulo de inclinación de 0°.....	57
4.2.2.	Potencia obtenida para un ángulo de inclinación de 15°.....	57
4.2.3.	Potencia obtenida para un ángulo de inclinación de 30°.....	58
4.2.4.	Potencia obtenida para un ángulo de inclinación de 45°.....	58
4.2.5.	Potencia obtenida para un ángulo de inclinación de 60°.....	58
4.2.6.	Potencia obtenida para un ángulo de inclinación de 75°.....	59
4.2.7.	Potencia obtenida para un ángulo	59
4.3.	FLUJO MÁXIMO OBTENIDO EN FUNCIÓN DE LA INCLINACIÓN DE LAS LAMAS	63
5.	CONCLUSIÓN	64
	Referencias.....	66
	Anexos.....	68
A.	Anexo 1. Catálogo Televés	68
B.	Anexo 2. Manual SIR	70
C.	Anexo 3. Catálogo Sika	84

Tabla 1. Horno solares existentes	5
Tabla 2. Distancias posibles entre concentrador y heliostato	12
Tabla 3. Posibles materiales. [11].....	23
Tabla 4. Comandos de selección de superficie	26
Tabla 5. Comandos de selección del material de la superficie	26
Tabla 6. Variación de la potencia obtenida en función de la distancia focal	43
Tabla 7. Variación de la potencia obtenida en función del radio del receptor	45
Tabla 8. Ensayos para la implementación del atenuador con lamas de 1 mm de grosor.....	47
Tabla 9. Ensayos para la implementación del atenuador con lamas de 2 mm de grosor.....	48
Tabla 10. Ensayos para la implementación del atenuador con lamas de 3 mm de grosor.....	48
Tabla 11. Potencia obtenida en kW para los distintos ensayo con una inclinación de 0°	54
Tabla 12. Potencia obtenida en kW para los distintos ensayo con una inclinación de 30°	55
Tabla 13. Potencia obtenida en kW para los distintos ensayo con una inclinación de 60°	55
Tabla 14. Variación de la potencia [kW] en función del radio para inclinación de 0°	57
Tabla 15. Fracción de potencia obtenida en función del radio con inclinación de las lamas de 0°	57
Tabla 16. Variación de la potencia en función del radio para inclinación de 15°	57
Tabla 17. Fracción de potencia obtenida en función del radio con inclinación de las lamas de 15°	57
Tabla 18. Variación de la potencia en función del radio para inclinación de 30°	58
Tabla 19. Fracción de potencia obtenida en función del radio con inclinación de las lamas de 30°	58
Tabla 20. Variación de la potencia en función del radio para inclinación de 45°	58
Tabla 21. Fracción de potencia obtenida en función del radio con inclinación de las lamas de 45°	58
Tabla 22. Variación de la potencia en función del radio para inclinación de 60°	58
Tabla 23. Fracción de potencia obtenida en función del radio con inclinación de las lamas de 60°	58
Tabla 24. Variación de la potencia en función del radio para inclinación de 75°	59
Tabla 25. Fracción de potencia obtenida en función del radio con inclinación de las lamas de 75°	59
Tabla 26. Variación de la potencia (en kW) en función del radio del receptor.....	59

Figura 1. Esquema básico de un horno solar. [1]	2
Figura 2. Superficie concentradora. Parámetros [2]	3
Figura 3. Visualización parámetro ρ . [3]	3
Figura 4. Distanciamiento entre vigas.....	7
Figura 5. Nomenclatura empleada en las vigas	8
Figura 6. Vigas 1, 2, 3 y 4.....	8
Figura 7. Casuística del distanciamiento entre heliostato y disco parabólico	11
Figura 8. Instalación de tuberías existente en la azotea del L1	12
Figura 9. Fecha y horas del solsticio de invierno. [12]	13
Figura 10. Carta solar estereográfica del movimiento aparente del Sol. [12]	13
Figura 11. Tabla de la variación de la elevación y el azimut conforme avanza el día. [12].....	14
Figura 12. Catálogo antenas satélite. (Anexo 1)	15
Figura 13. Componentes estructura soporte antena satélite. (Anexo 1).....	16
Figura 14. Pinza de sujeción para la bancada. [9]	16
Figura 15. Anclaje de la bancada al suelo [10]	17
Figura 16. Vistas del heliostato. (Anexo 2).....	18
Figura 17. Vistas de componentes del heliostato (Anexo 2).....	19
Figura 18. Heliostato actualmente instalado en la ETSI 1	19
Figura 19. Heliostato actualmente instalado en la ETSI 2	20
Figura 20. Atenuador en función del ángulo de apertura de las lamas	21
Figura 21. Posible atenuador real	21
Figura 22. Vista horno solar de Sandia National Laboratories. [5]	22
Figura 23. Viste desde el interior del atenuador. [5]	22
Figura 24. Imagen frontal antena satélite.....	24
Figura 25. Imagen lateral antena satélite	24
Figura 26. Comando " <i>Group Node</i> "	25
Figura 27. Comando " <i>Surface Node</i> "	25
Figura 28. Posibles elementos.....	26
Figura 29. Comando " <i>Flat Rectangle</i> "	26
Figura 30. Comando " <i>Parabolic Dish</i> "	26
Figura 31. Comando " <i>Flat Disk</i> "	26
Figura 32. Comando " <i>Specular Standard Material</i> "	26
Figura 33. Comando " <i>Basic Refractive Material</i> "	26
Figura 34. Comando " <i>Specular Rough Standard Material</i> "	26
Figura 35. Comando " <i>Virtual Material</i> "	26
Figura 36. Menú ejemplo de los nodos de un horno solar	27
Figura 37. Ventana ejemplo Tonatiuh.....	27

Figura 38. Distribución angular tipo Pillbox. [13].....	28
Figura 39. Tipos de distribución energética del Sol	28
Figura 40. Definición "Sun Shape"	29
Figura 41. Definición "Sun Position"	30
Figura 42. Ventana de opciones de trazado de rayos de Tonatiuh.....	31
Figura 43. Ventana de ejecución de Tonatiuh	32
Figura 44. Caso base. DISCO_PARABOLICO1.....	33
Figura 45. Caso base. DISCO_PARABOLICO2.....	33
Figura 46. Caso base. "Parabolic_dish"	34
Figura 47. Caso base. Material superficie disco parabólico concentrador	34
Figura 48. Caso base. Disco parabólico diseñado en Tonatiuh	35
Figura 49. Caso base. HELIOSTATO1	35
Figura 50. Caso base. Introducción del tracker del heliostato	36
Figura 51. Caso base. "Flat_Rectangle"	36
Figura 52. Caso base. Heliostato diseñado en Tonatiuh	37
Figura 53. Caso base. RECEPTOR1.....	37
Figura 54. Caso base. RECEPTOR2.....	38
Figura 55. Caso base. "Flat_disk"	39
Figura 56. Diseño final del caso base	39
Figura 57. Ensayo 500 rayos.....	40
Figura 58. Conjunto gráficos caso 1. Caso base distancia focal 0.755 m	41
Figura 59. Distribución de flujo distancia focal 0.7435 m	42
Figura 60. Distribución de flujo distancia focal 0.755 m	42
Figura 61. Distribución de flujo distancia focal 0.7665 m	42
Figura 62. Distribución de flujo distancia focal 0.778 m	43
Figura 63. Mapa de densidades optimización del radio del receptor.....	44
Figura 64. Gráfico concentración solar 3D	44
Figura 65. Gráfico concentración solar mostrado frontalmente	45
Figura 66. Ilustraciones para el caso optimo del radio del receptor.....	46
Figura 67. Implantación atenuador. ATENUADOR.....	49
Figura 68. Espaciamiento de las lamas en el caso de 3 lamas de 60 cm.....	49
Figura 69. Implantación atenuador. Inclinação de las lamas.....	50
Figura 70. Implantación atenuador. Superficie de las lamas	50
Figura 71. Horno solar con cortina reguladora 3x60. Inclinação 0°.....	51
Figura 72. Horno solar. Atenuador 3x60 y 0°. Ensayo 1000 rayos.....	51
Figura 73. Incidencia solar sobre el receptor con inclinación de 0°.....	52
Figura 74. Incidencia solar sobre el receptor con inclinación de 30°.....	52
Figura 75. Incidencia solar sobre el receptor con inclinación de 60°.....	53
Figura 76. Diseño horno para los distintos atenuadores con inclinación de 0°.....	54
Figura 77. Diseño horno para los distintos atenuadores con inclinación de 30°.....	54
Figura 78. Diseño horno para los distintos atenuadores con inclinación de 60°.....	55
Figura 79. Cono de reflexión. [16].....	56
Figura 80. Ilustración para un ángulo de inclinación de 0°	60
Figura 81. Ilustración para un ángulo de inclinación de 15°	60
Figura 82. Ilustración para un ángulo de inclinación de 30°	61

Figura 83. Ilustración para un ángulo de inclinación de 45°	61
Figura 84. Ilustración para un ángulo de inclinación de 60°	62
Figura 85. Ilustración para un ángulo de inclinación de 75°	62
Figura 86. Mapas de densidades para distintos casos	63

1.1. Hornos solares

Los hornos solares pertenecen a la rama de los sistemas termosolares de concentración. Los sistemas termosolares se basan en la obtención de energía térmica mediante la concentración de la radiación solar. Los hornos solares hacen posible la obtención de altas relaciones de concentración mediante el empleo de varias etapas, pudiendo así lograr altas temperaturas en el receptor, que se sitúa en el foco o en las proximidades de éste.

1.1.1. Qué son hornos solares

Los hornos solares son sistemas de obtención de energía térmica mediante la concentración de energía solar. Simplificadamente este proceso se puede definir en los siguientes pasos:

- a. Reflejar la radiación solar hacia el concentrador paralelamente al eje óptico del mismo.
- b. Concentración de radiación solar hacia el receptor.
- c. Transformación de la radiación solar concentrada en energía térmica.

1.2. Esquema y componentes principales

Los hornos solares suelen estar compuestos principalmente por un heliostato, que refleje la radiación solar hacia un concentrador, un concentrador, que concentre la radiación solar sobre un foco y un receptor, situado en el foco o en sus proximidades. Para la regulación de la radiación sobre el receptor suele emplearse un atenuador de lamas (fig. 1). A continuación se describen brevemente estos componentes:

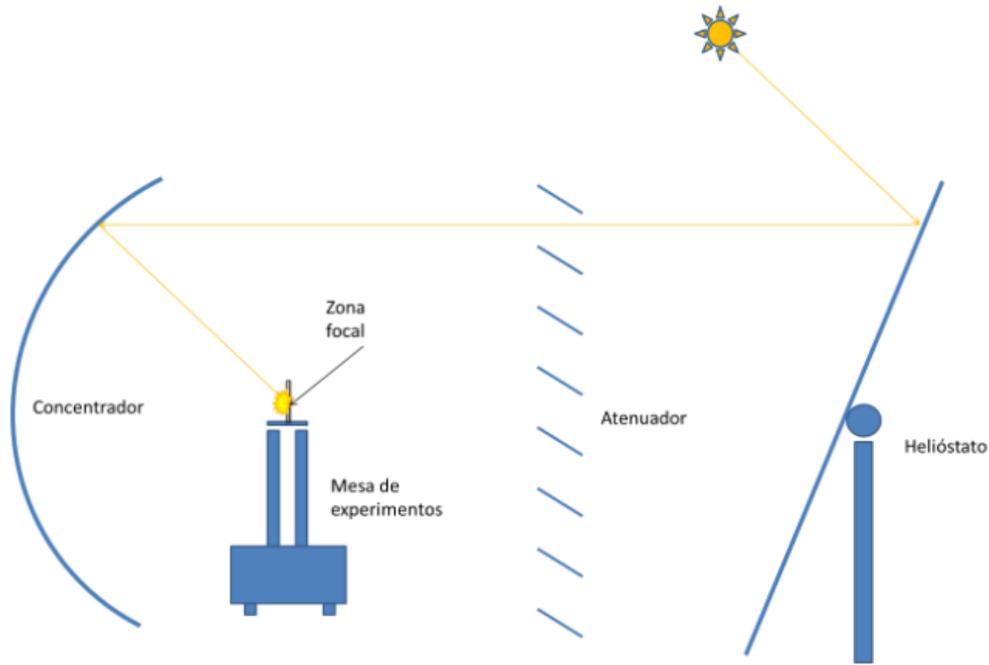


Figura 1. Esquema básico de un horno solar. [1]

1.2.1. Heliostato

Es un espejo encargado de seguir al sol, y cuya función no es otra que redirigir hacia el concentrador la radiación solar. En el caso de los hornos solares será plano y direccionarán los rayos solares paralelamente al eje óptico del heliostato. Cabe puntualizar que en centrales termosolares se emplean heliostatos con cierta curvatura que concentran la radiación solar.

Un heliostato consta básicamente de espejos que reflejan los rayos solares, el sistema de seguimiento del sol en doble eje y una estructura soporte.

1.2.2. Concentrador

Se trata de un disco parabólico cuya geometría se caracteriza por ser la de un paraboloide de revolución. Este se rige por la siguiente expresión:

$$z = \frac{x^2 + y^2}{4 * f}$$

Siendo f la distancia focal. Este componente es el encargado de concentrar los rayos sobre el receptor, que se encontrará en el foco. Un parámetro fundamental es el ángulo de borde, Ψ , que es el ángulo formado entre el eje del disco parabólico y la línea que une el foco con el borde del disco. Este parámetro viene caracterizado por la siguiente expresión:

$$\tan(\Psi) = \frac{1}{\frac{D_0}{8 * h} - \frac{2 * h}{D_a}}$$

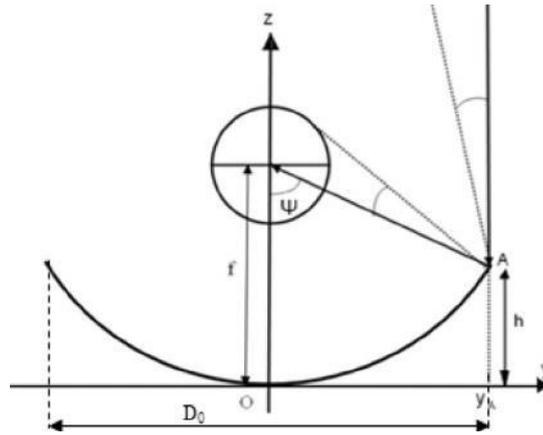


Figura 2. Superficie concentradora. Parámetros [2]

Se elige un disco parabólico, como superficie reflectora para la concentración, ya que tiene la propiedad de que, para cualquier línea paralela al eje de la parábola, el ángulo ρ entre ella y la superficie normal es igual al ángulo entre la normal y una línea hasta el punto focal, como se muestra en la fig. 3. Puesto que la radiación solar llega a la Tierra en rayos esencialmente paralelos y por la ley de Snell el ángulo de reflexión es igual al ángulo de incidencia, toda radiación paralela al eje de la parábola se reflejará a un solo punto, que es el foco. [3]

$$\Psi = 2 * \rho$$

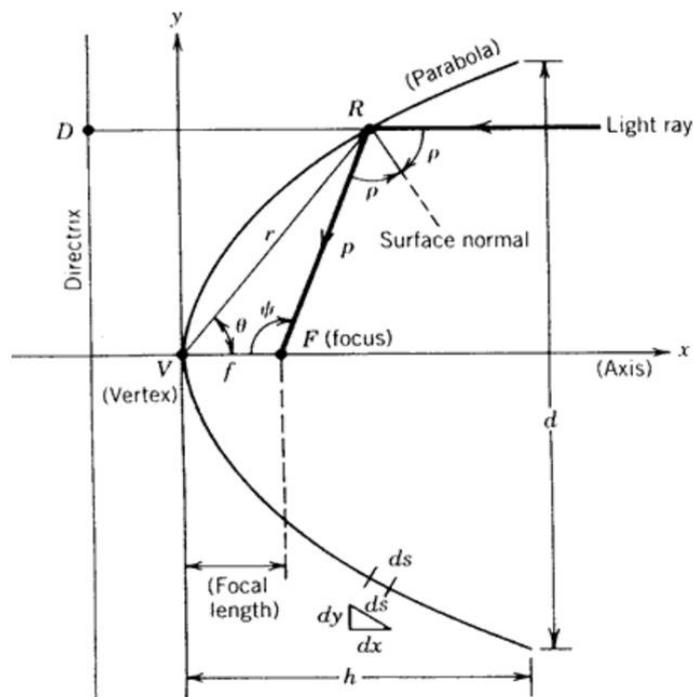


Figura 3. Visualización parámetro ρ . [3]

1.2.3. Atenuador o cortina reguladora

La finalidad de emplear un atenuador es la regulación del flujo que radiación que llega al foco (receptor). Consiste en una serie de lamas coloradas paralelamente que regulan su posición en función de las exigencias.

1.2.4. Bancada y receptor

La bancada, situada en las proximidades del foco, proporciona un soporte estable al elemento sobre el que incide la radiación solar concentrada, al que denomina genéricamente 'receptor'.

1.3. Aplicaciones de los hornos solares existentes

El uso de los hornos solares persigue alcanzar altas temperaturas en el foco del concentrador. Estas temperaturas pueden llegar a los 4000 °C. Los hornos solares son herramientas con un amplio campo de aplicación para el estudio de materiales y fenómenos a alta temperatura:

- la determinación experimental de propiedades químicas, ópticas, eléctricas o termodinámicas de materiales;
- el estudio de fenómenos de distinta índole, como pueden ser el estudio de propiedades de cambio de fase en procesos de vaporización o fusión, la estabilización de cerámicas y materiales refractarios o el crecimiento de cristales.

Algunas de Las aplicaciones de mayor interés en función de su rango de temperaturas son [4]:

- ≈ 1400 °C: producción de hidrógeno mediante el craqueo de las moléculas de metano.
- ≈ 2500 °C: pruebas de materiales en ambientes extremos que permitan ver su resistencia y comportamiento, con vistas a su aplicación en sectores como el nuclear o el aeroespacial.
- ≈ 3500 °C: producción de nanomateriales inducida por sublimación y posterior enfriamiento controlado, mediante energía solar.

En la tabla 1 se presenta un resumen de las características de algunos de los hornos solares existentes. [1].

	Situación	Potencia (kW)	Flujo máximo (W/cm ²)	Heliostatos	Concentrador	Temperatura máxima (°C)
Odeillo	Pirineos orientales de Francia	1000	1600	63 (7.5mx6m)	Espejo parabólico (54mx40m)	3500
Uzbekistán	Tashkent, Uzbekistán	1000	1000	62 (3022.5 m ²)	Disco parabólico (54m de diámetro)	3000
PSI Solar furnace	Suiza	40	500	1 (120 m ²)	Disco parabólico (8.5m de diámetro)	2500
DLR	Colonia, Alemania	22	450	1 (57 m ²)	159 espejos hexagonales (42m ² de superficie)	2500
Valparaíso	Valparaíso, Chile	5		1 (6mx6m)	305 espejos hexagonales, disco parabólico (5.5m de diámetro)	1650
Sandia [5]	Albuquerque, Nuevo México	16	500	1 (95 m ²)	Disco parabólico (6.7m de diámetro)	
SF-60 [6]	Almería, España	69	300	1 (120 m ²) 28 espejos	Disco parabólico (100 m ²)	
SF-40 [7]	Almería, España	40	700	1 (100 m ²)	Eurodish (8.5m de diámetro, superficie 56.5m ²)	
SF-5 [8]	Almería, España	5		1	Disco parabólico (3.5m de diámetro, superficie 8.77m ²)	
Golden	Golden, Colorado	10				

Tabla 1. Horno solares existentes

2. Definición de objetivos

El objetivo del proyecto es el diseño real y su posterior análisis virtual mediante la herramienta Tonatiuh de un horno solar. Dicho horno solar, que parte de un prediseño realizado en un TFG anterior [2], constará de cuatro elementos básicos que serán analizados, heliostato, atenuador, concentrador parabólico y receptor.

Se aprovechará una antena parabólica existente en el laboratorio del departamento, de 1.8 m de diámetro y 0.27 m de altura, como concentrador. Se dispondrá también del heliostato de 2.5 metros cuadrados y la bancada proporcionados también por el departamento de Termodinámica. Por último, el atenuador será motivo de estudio, que se centrará en el efecto del número de lamas y de su inclinación sobre el control del flujo solar.

Orden de trabajo seguido:

- Revisión diseño ideal (TFG Fernando Sánchez Medina) [2];
- Estudio de geometría solar y sombras proyectadas;
- Diseño con las condiciones reales existentes;
- Implementación del atenuador en el modelo de horno solar en Tonatiuh y optimización del diseño;
- Análisis de resultados y posibles utilidades.

3.1. Revisión del diseño óptico

A partir de la revisión del diseño óptico base, realizado en el TFG de Fernando Sánchez Medina [2], se pretende realizar diseño físico para su posterior instalación en la azotea del edificio L1 en los laboratorios de ETSI, teniendo en cuenta las restricciones físicas derivadas de esta ubicación.

3.2. Diseño físico

Se procede a analizar elemento a elemento los componentes del horno solar.

3.2.1. Descripción del lugar de instalación del horno solar

El horno se instalará sobre las vigas instaladas en la azotea de los laboratorios; estas tienen una orientación normal de 16° negativos sobre la orientación sur. Las vigas están separadas a distintas distancias como se refleja en la fig. 4.

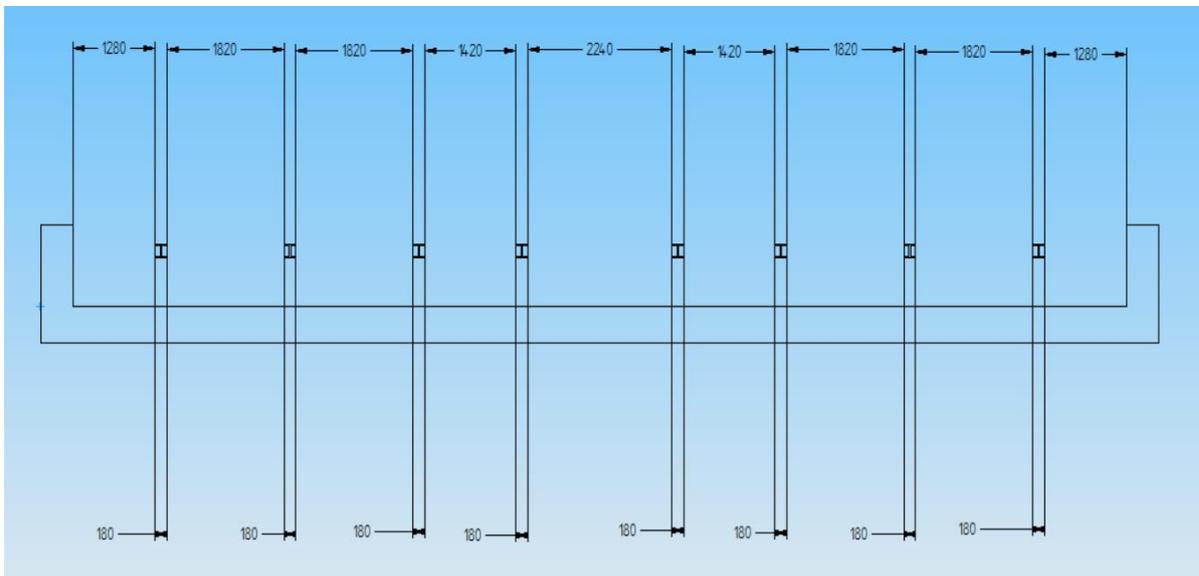


Figura 4. Distanciamiento entre vigas

En la fig. 5 se muestra la nomenclatura empleada para la denominación de las vigas y una mejor visión de la disposición de estas y sus distanciamientos.

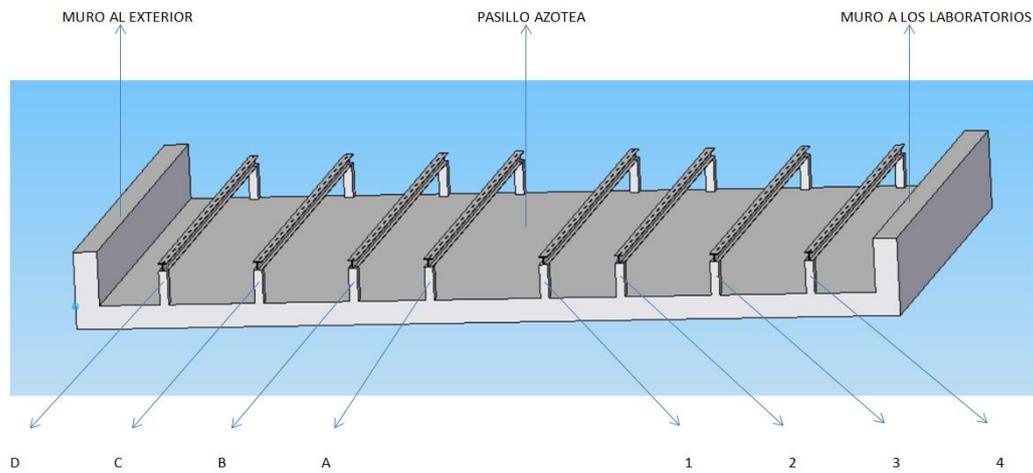


Figura 5. Nomenclatura empleada en las vigas

Se muestran unas fotografías tomadas en la azotea para mostrar la dimensión real que deberá tener el horno solar. La primera imagen (fig. 6) correspondería al lado derecho de la azotea donde las vigas mostradas son la 1, 2, 3 y 4, respectivamente, y la segunda, por tanto, es el lado izquierdo cuya nomenclatura es A, B, C y D (fig. 7).



Figura 6. Vigas 1, 2, 3 y 4



Figura 7. Vigas A, B, C y D

3.2.2. Orientación del terreno donde se instalará el horno solar

Un factor importante a la hora de diseñar la instalación es la determinación de su orientación, lo que se hizo mediante la brújula digital del dispositivo iPhone (Fig. 8). Tras la realización de varias pruebas se determinó que las vigas forman un ángulo de 16° con la dirección Este-Oeste, como se muestra en la Fig. 9.

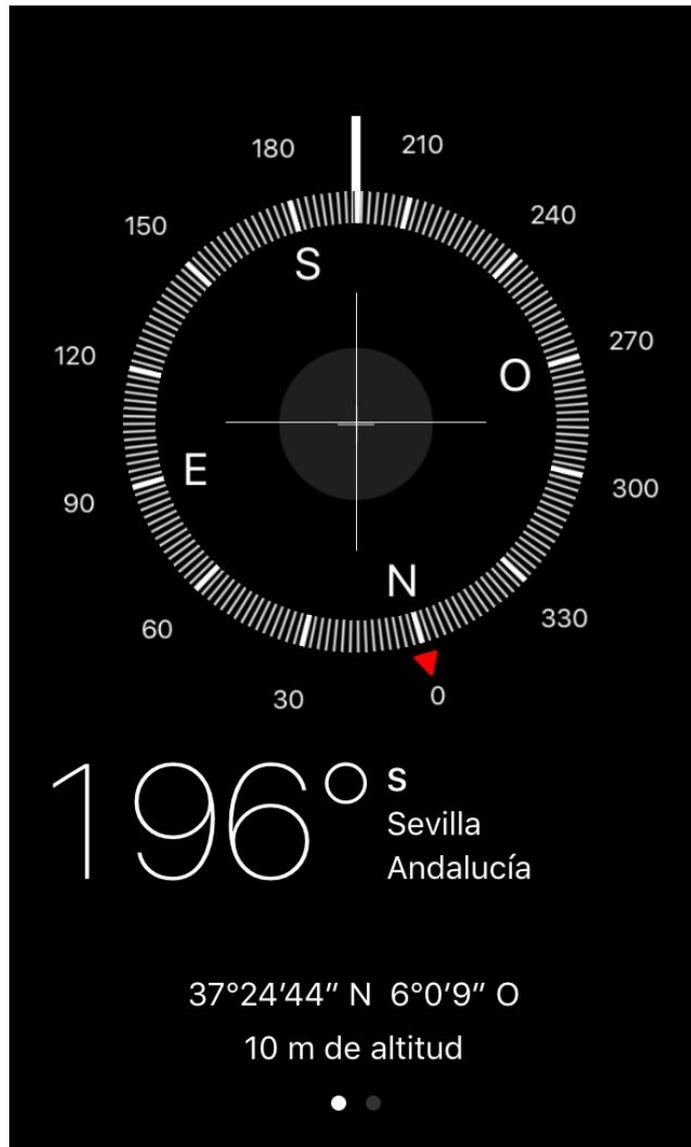


Figura 8. Determinación de la orientación mediante la brújula digital del dispositivo iPhone.

3.2.3. Selección de las vigas donde se instalará el horno

Puesto que el heliostato debe estar colocado en orientación sur se procedió a calcular la distancia a la que se encontrarán el heliostato y el concentrador. Mediante el diseño en Solid Edge realizado se pueden trazar las cotas en función de la orientación sur deseada. Se muestran a continuación (fig. 9) los seis casos posibles existentes que habrá que analizar para seleccionar una posición adecuada de la cortina reguladora, ya que si esta produce sombras sobre el heliostato se reduce en gran medida el flujo solar.

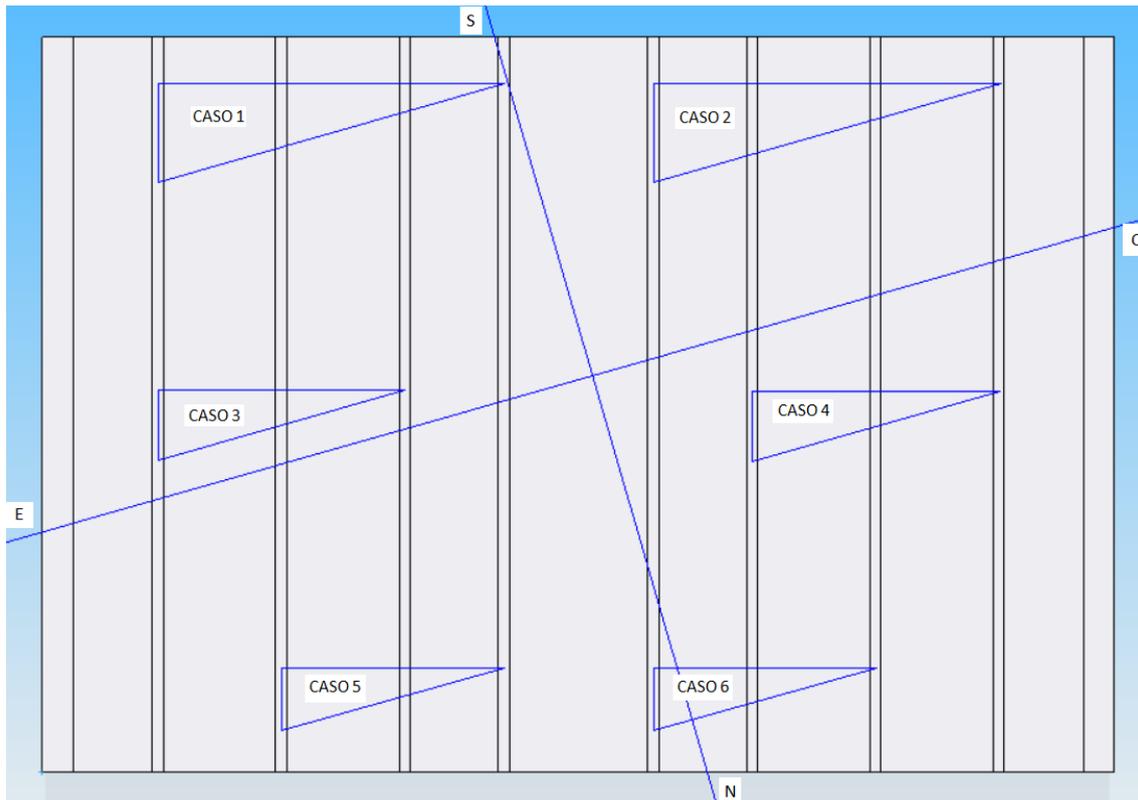


Figura 7. Casuística del distanciamiento entre heliostato y disco parabólico

En cada uno de los casos se ha definido un triángulo, cuyo objetivo es mostrar la distancia entre vigas con un ángulo de 16° . La distancia entre heliostato y disco parabólico corresponde a la hipotenusa de dichos triángulos.

La existencia de dicha diversidad casuística se ha valorado en función de varios factores. Lo primordial es que el atenuador no genere sombras sobre el heliostato por lo que se procede a detallar el análisis de la altura solar mediante la cual se calculó la sombra máxima proyectada. Otro factor tenido en cuenta para instalación es la facilidad de montaje, ya que en la zona de las vigas A, B, C y D la instalación existente de tuberías en la azotea (Fig. 10) podría entorpecer la instalación y mantenimiento del heliostato.

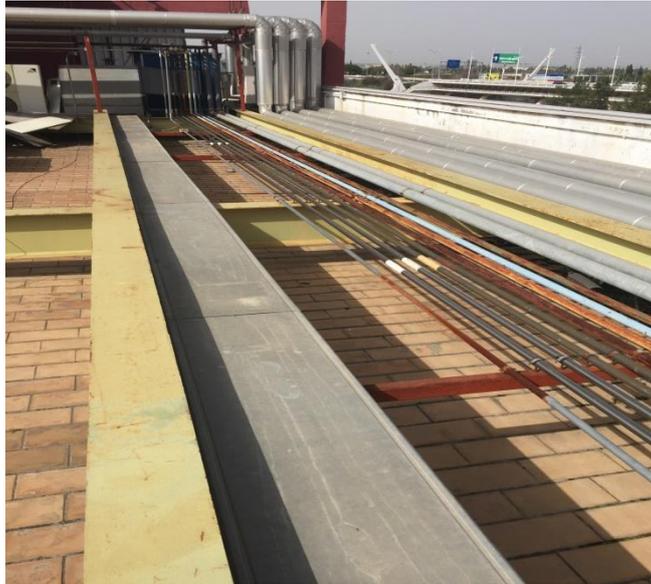


Figura 8. Instalación de tuberías existente en la azotea del L1

El último factor que se ha tenido en cuenta es evitar colocar elementos en las vigas que marcan el pasillo central para evitar entorpecer la circulación de personas por dicho pasillo.

Se mostrarán en una tabla las distancias y los resultados del posterior análisis. Para fundamentar dicha tabla se muestran imágenes del mencionado programa *Solid Edge* del cálculo de dichas distancias.

Casos	Distancia entre heliostato y concentrador (m)
1	5.85
2	5.85
3	4.16
4	4.16
5	3.75
6	3.75

Tabla 2. Distancias posibles entre concentrador y heliostato

En el primer y segundo caso, se obtiene que la distancia entre ambos elementos serían 3.8 metros, la cual podría ser insuficiente en función de la sombra proyectada por el atenuador. Por tanto, se muestra el cálculo realizado para determinar la sombra máxima proyectada por el atenuador.

Estudio de geometría solar y sombras proyectadas

Lo primero será saber cual es la altura solar en las condiciones más desfavorables, es decir, en el solsticio de invierno, el 21 de diciembre. Para esta fecha al mediodía solar se calcula la elevación solar. Se ha calculado mediante la herramienta *SunEarthTools* [12], página de internet que permite realizar cálculos de geometría solar de forma cómoda y precisa para cualquier ubicación. Como resultado se obtiene una elevación de 29.14°. Se muestra el proceso seguido para la obtención de la información obtenida de dicha página y se muestran los datos más relevantes.

1. Primero se seleccionó la enmarcación adecuada a la fecha indicadas. Para saber la hora exacta basta con ver marca que aparece como un punto amarillo en la imagen (fig. 11), que marca la hora exacta.

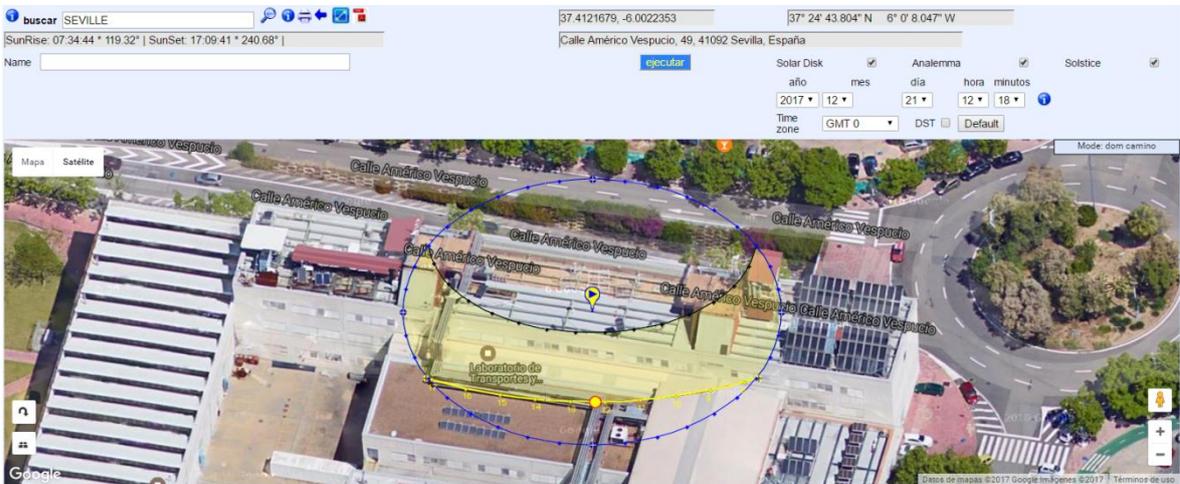


Figura 9. Fecha y horas del solsticio de invierno. [12]

2. Una vez ejecutado se genera un documento en el que aparece toda la información necesaria. Se muestra a continuación la carta solar estereográfica (fig. 10), que es una representación en planta del recorrido solar, y una tabla en la que se muestra como varía la elevación y el azimut conforme pasan las horas del día del solsticio.

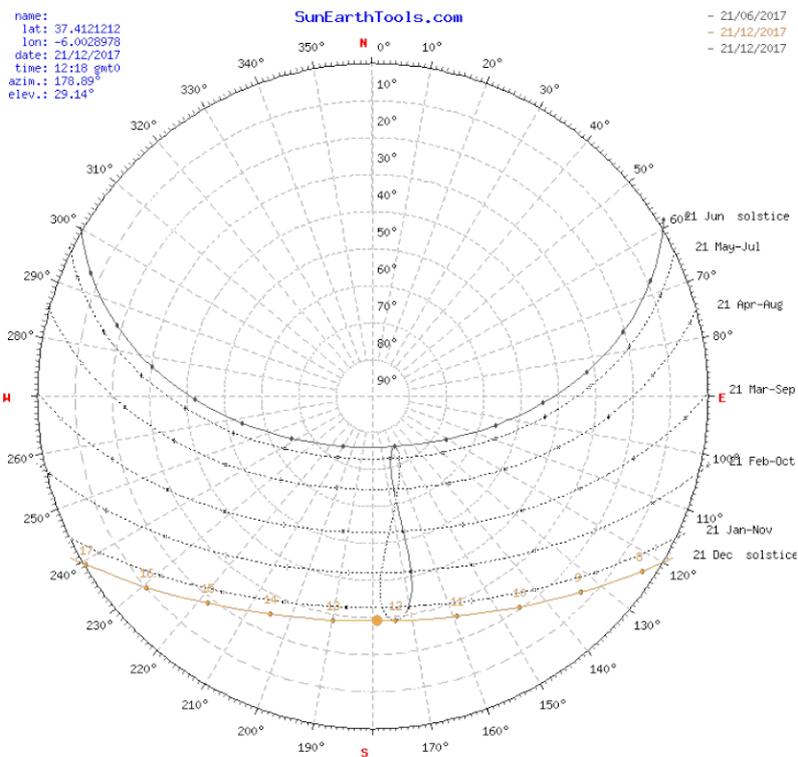


Figura 10. Carta solar estereográfica del movimiento aparente del Sol. [12]

Fecha:	21/12/2017 GMT0	
coordinar:	37.4121212, -6.0028978	
ubicación:	Calle Américo Vespucio, 49, 41092 Sevilla, España	
hora	Elevación	Azmut
07:34:44	-0.833°	119.32°
8:00:00	3.45°	123.22°
9:00:00	12.8°	133.42°
10:00:00	20.57°	145.27°
11:00:00	26.15°	158.98°
12:00:00	28.93°	174.18°
13:00:00	28.5°	189.86°
14:00:00	24.95°	204.75°
15:00:00	18.74°	217.98°
16:00:00	10.5°	229.37°
17:00:00	0.83°	239.21°
17:09:41	-0.833°	240.68°

Figura 11. Tabla de la variación de la elevación y el azimut conforme avanza el día. [12]

Una vez realizado el estudio de la elevación se calcula la sombra máxima que proyectaría un atenuador de 1.8 m de altura con ese ángulo de 29.14°.

Se calcula como:

$$\tan 29.14^\circ = \frac{1.8 \text{ (m)}}{\text{sombra proyectada (m)}}$$

El resultado de dicha operación es igual a 3.229 m. Puesto que la distancia focal es de 0.755 metro se descarta los casos 5 y 6. Los casos 3 y 4 también se descartarán debido a que hay que dejar cierta distancia entre el atenuador y el receptor para evitar que el atenuador sufra daños por las altas temperaturas que se alcanzarán en el receptor. Por lo que finalmente se decide el caso 2 debido a que este no presenta dificultades de montaje, como ya se mencionó antes con la problemática de la instalación con las tuberías. En definitiva la distancia elegida entre heliostato y concentrador es de 5.85 metros.

Dicha expresión no tiene en cuenta la posible inclinación que tendría el heliostato. Puesto que se elige el caso en la que la distancia es 5.85 metros, se colocará el atenuador a una distancia suficiente tanto para que no produzca interferencia sobre los rayos solares al heliostato como para que se dañe con las altas temperaturas producidas en las zonas cercanas al receptor. Dicha distancia elegida ha sido a 4.5 m del heliostato y, por ende, a 1.35 m del concentrador. La distancia al receptor será cercana a los 0.6 m, por lo que será suficiente para que no produzca desperfectos en la cortina reguladora. Dichas distancias se han determinado una vez obtenida la distancia que produciría la inclinación del heliostato. Este queda definida por la

normal al heliostato, formando un ángulo correspondiente a la mitad del ángulo de incidencia solar, por lo tanto el proceso de cálculo queda definido por la siguiente expresión:

$$\text{sen} \left(\frac{\alpha}{2} \right) = \text{sen} \left(\frac{29.14^\circ}{2} \right) = \frac{2.5/2 \text{ (m)}}{\text{distancia (m)}}$$

Siendo α la elevación solar. Dicha distancia obtenida es 0.314 m, siendo entonces las distancias elegidas adecuadas.

3.2.4. Estructuras soporte

3.2.4.1. Estructura soporte del disco parabólico

El concentrador parabólico en este caso está fijo. Se decide, debido a no tratarse de un gran peso, mantener el mismo sistema soporte de la antena satélite de TELEVES, (Anexo 1). Dicha estructura consistente en un soporte que se ajustará a la viga metálica correspondiente atornillándola a ella. Las figuras 12 y 13 muestran extractos del catálogo empleado para la selección de cada uno de sus componentes. (Anexo 1). Se selecciona la antena de 1800 mm de diámetro, que es de la que se dispone en el departamento, y se procede a la selección de los componentes que vienen definidos en esta última imagen, referencias 7387 y 7385.

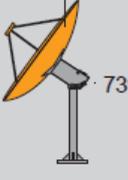
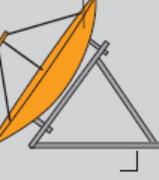
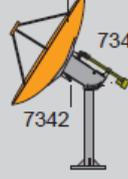
	900	1200	1500	1800	2200
FIJAS	<p>7435 7389</p>  <p>7390</p>	<p>7434</p>  <p>7391</p> <p>7392</p>	<p>9317</p>  <p>7384 7385</p>	<p>9316</p>  <p>7387 7385</p>	<p>9314</p>  <p>9385</p>
MOVILES		<p>7434</p>  <p>7343</p> <p>7342</p> <p>7392</p>	<p>9317</p>  <p>7386</p> <p>9333</p> <p>7385</p>	<p>9316 7388</p>  <p>7385</p> <p>9333</p>	

Figura 12. Catálogo antenas satélite. (Anexo 1)

GAMA DE PRODUCTOS		
Ref.	Denominación	COD.LOGICA
7389	Soporte fijo parábola 900 mm.	FC ACC 7389
7391	Soporte fijo parábola 1200 mm.	FC ACC 7391
7384	Soporte fijo parábola 1500 mm.	FC ACC 7384
7387	Soporte fijo parábola 1800 mm.	FC ACC 7387
7392	Base parábola. 1200 mm.	FC ACC 7392
7385	Base parábola 1500 - 1800 mm.	FC ACC 7385
7343	Brazo motor parábola de 1200 mm.	FC TRC P120
9333	Brazo motor parábola de 1500 y 1800 mm.	FC TRC P180
7342	Accesorios montaje brazo parábola de 1200 mm.	FC ACC 7342
7386	Accesorios montaje brazo parábola de 1500 mm.	FC ACC 7386
7388	Accesorios montaje brazo parábola de 1800 mm.	FC ACC 7388

Figura 13. Componentes estructura soporte antena satélite. (Anexo 1)

3.2.5. Bancada

Como soporte para el receptor se opta, inicialmente, por unas pinzas de laboratorio (fig. 14) reforzadas en la punta por un material refractario con el objetivo de que no se produzcan problemas debido a las altas temperaturas en dicho punto.

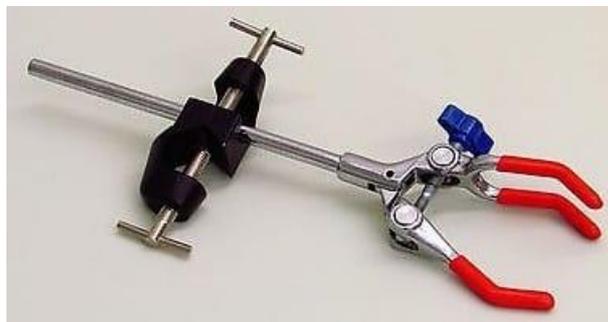


Figura 14. Pinza de sujeción para la bancada. [9]

Dicha pinza irá fija a una barra que estará enroscada al suelo mediante el anclaje mostrado en la fig. 15.



Figura 15. Anclaje de la bancada al suelo [10]

3.2.6. Heliostato

El heliostato plano será suministrado por la empresa *Solar MEMS Technologies*, (Anexo 2). El suministro incluye los elementos de soporte y sujeción a la viga donde se instalará el heliostato.

Los elementos principales del heliostato son superficie reflectante, estructura soporte, mecanismo de seguimiento, sistema de anclaje y sistema de control. En la figura 21 se muestran tres vistas el heliostato. La figura 22 muestra detalles de algunos componentes.

La estructura está fabricada en acero inoxidable. El espejo está fabricado en aluminio y reforzado con una lámina de polietileno. La empresa proporciona una garantía sobre el producto de dos años. La superficie reflectante tiene unas dimensiones de 2.5 x 2.5 metros.

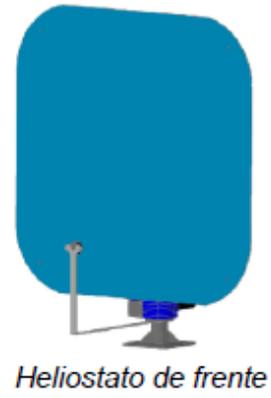
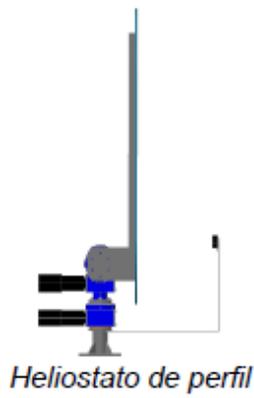
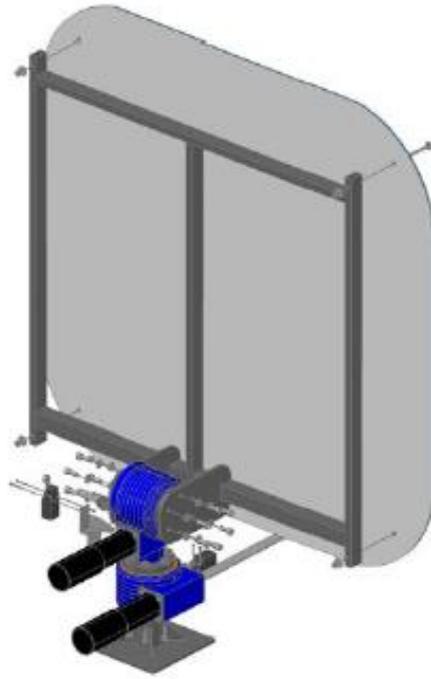
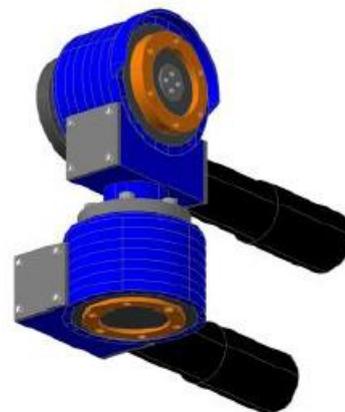


Figura 16. Vistas del heliostato. (Anexo 2)



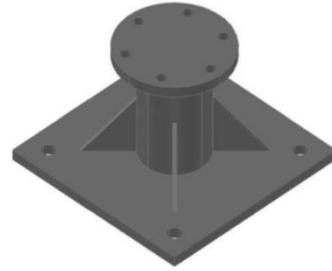
Estructura soporte de los espejos del heliostato.



Bloque de motores del heliostato



Soportes de la estructura soporte del heliostato.



Base estructura soporte del heliostato.

Figura 17. Vistas de componentes del heliostato (Anexo 2)

En la ETSI actualmente hay un heliostato plano instalado de 9 metros cuadrados. Es del mismo fabricante y se muestran unas fotografías realizadas para mostrar cómo sería el resultado final del heliostato empleado en este proyecto.



Figura 18. Heliostato actualmente instalado en la ETSI 1



Figura 19. Heliostato actualmente instalado en la ETSI 2

3.2.7. Cortina reguladora o atenuador

La cortina reguladora o atenuador es el elemento que se empleará para controlar el flujo de radiación solar deseado. Para el diseño de este proyecto se empleará una cortina veneciana, similar a las del mercado de la decoración de hogares, con lamas de aluminio muy fino para que ocasionen las mínimas pérdidas por sombra sobre el concentrador en posición de máxima apertura.

La siguiente imagen (fig. 20) muestra dicho atenuador en varias posiciones en función del ángulo de apertura de sus lamas.

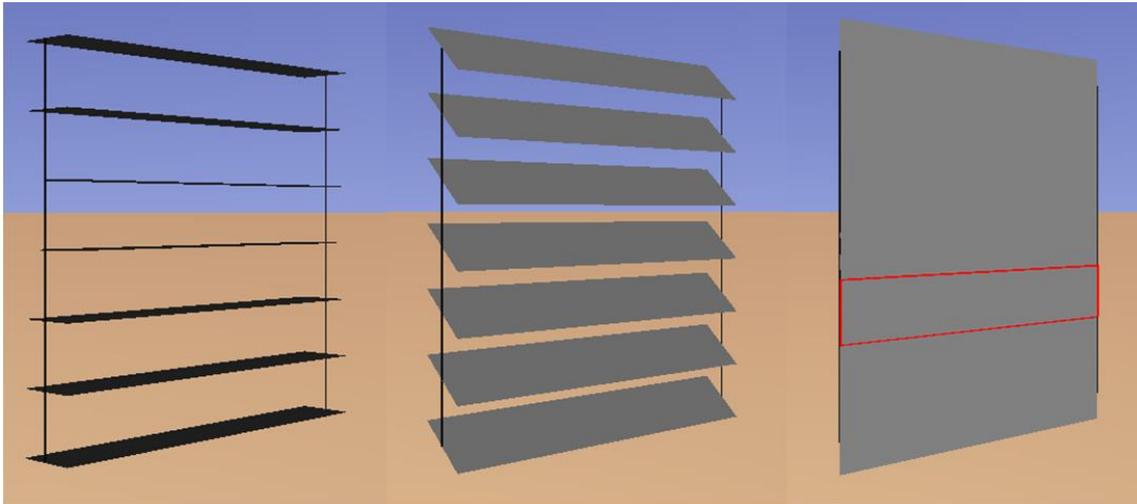


Figura 20. Atenuador en función del ángulo de apertura de las lamas

Un ejemplo de un modelo real podría ser el mostrado en fig. 21.



Figura 21. Posible atenuador real

A continuación, se muestran unas imágenes del atenuador del horno solar de *Sandia National Laboratories* de los Estados Unidos (figs. 22 y 23).



Figura 22. Vista horno solar de Sandia National Laboratories. [5]



Figura 23. Viste desde el interior del atenuador. [5]

3.2.8. Disco parabólico

El disco es un elemento del diseño donde hay que trabajar con mucha precisión. Hay que aplicarle tratamientos a la superficie puesto que esta se encuentra descuidada y requiere un espejado perfecto para conseguir la mayor concentración solar sobre el receptor posible.

El primer punto a analizar es la antena satélite en sí. Las características técnicas de esta quedan definidas por un radio de 0.9 m, una altura de 0.27 m y una distancia focal, distancia más trascendente, de 0.755 m puesto que será la distancia a la que se colocará el receptor.

Para poder espejar la superficie lo primero que hay que hacerle es un tratamiento sobre esta. A recomendación del departamento de fabricación de esta escuela se ha decidido realizar un proceso mecánico de chorreado para dejar la superficie en óptimas condiciones. De cara a la futura construcción del horno, a recomendación de dicho departamento, habrá que tener en cuenta a una empresa sevillana llamada *Galvatec* que tiene una excelente relación calidad-precio.

Una vez determinado el tratamiento a realizar sobre la superficie concentradora habrá que especificar con qué tipo de material reflectante se va a espejar el concentrador. Dicho proceso de espejado tiene la dificultad añadida de la existencia de cierta curvatura. Esta curvatura penaliza especialmente el pegado de la película reflectante, ya que al adherirla pueden producirse ciertas imperfecciones que penalizan a la reflectancia especular del concentrador. En la tabla mostrada bajo de este párrafo se muestran los posibles materiales disponibles en el mercado, haciendo referencia a su fabricante, reflectancia especular, dato más influyente, y costo.

Material	Fabricante	Reflectancia especular	Coste [\$/m ²]
Espejo de vidrio grueso	Flabeg	94%	40
Espejo de vidrio delgado	Naugatech	93-96%	15-40
Película de aluminio	Vegaflex	>87%	<20
Película reflectante	Reflec Tech	94%	20-30

Tabla 3. Posibles materiales. [11]

El análisis comparativo para elegir el material óptimo hace descartar a la película de aluminio y espejo de vidrio grueso. El primero por su baja reflectancia y el segundo por su elevado coste. La película reflectante y el espejo de vidrio delgado tienen características muy parecidas, resultando elegido el espejo de vidrio por su maniobrabilidad frente a la película reflectante para evitar los posibles problemas ocasionados por la curvatura en la película reflectante. Otro motivo para emplear el espejo de vidrio delgado es la disponibilidad de este material por el departamento, lo cual abarataría el coste de construcción.

En condiciones normales tiene una vida útil bastante alta, de 30 años, por lo que es la elección realizada. La geometría de los espejos elegida son gajos para así conseguir un correcto pegado y unas pérdidas mínimas. El adhesivo seleccionado para el pegado de los espejos es del fabricante *SIKA*. El adhesivo elegido de este conocido fabricante es el adhesivo de dos componentes que es el más indicado para este caso. Este es un adhesivo de rápido curado en aplicaciones de pegado estructurales. Dicha información viene detallada en el catálogo de dicho fabricante. (Anexo 3)

Las imágenes mostradas a continuación (figs. 24 y 25) corresponden a fotografías tomadas de la antena parabólica disponible en el departamento.



Figura 24. Imagen frontal antena satélite



Figura 25. Imagen lateral antena satélite

3.3. Nuevo diseño con la herramienta *Tonatiuh*

Este punto muestra el estudio y diseño realizado mediante la herramienta *Tonatiuh* teniendo en cuenta las dimensiones reales a diseñar y la implementación de la cortina reguladora.

3.3.1. Diseño del horno solar

Llegados a este punto se procede con la definición del diseño óptico con la herramienta *Tonatiuh* del horno solar en cuestión. A modo de introducción se define brevemente el funcionamiento de dicha herramienta aunque para mayor información véase [2].

3.3.1.1. Breve descripción de *Tonatiuh*

Tonatiuh es una herramienta que simula el comportamiento de un sistema de concentración solar mediante el ensayo de trazado de rayos. El trazado de rayos sigue la metodología de Montecarlo. Cuanto mayor sea el número de rayos en el ensayo, mayor será la precisión del resultado. Por tanto, cada una de las pruebas se ha realizado con el mayor número de rayos posible, 75 millones de rayos. El programa devuelve los resultados en archivos binarios para su posterior análisis por parte del programa informático *Wolfram Mathematica*. Dicho programa permite obtener la potencia obtenida en el receptor e ilustrará la distribución del flujo solar sobre el sistema.

Se procede a explicar cómo la realización del diseño y la posterior optimización del sistema. La definición de los parámetros fundamentales de *Tonatiuh* tenidos en cuenta para la realización del diseño son los siguientes:

- Definición de la geometría para *Tonatiuh*

Para la definición geométrica en *Tonatiuh* hay que saber que dicho programa trabaja con nodos. Para cada elemento a definir hay que crear nodos mediante el comando definido como "*Group Node*".



Figura 26. Comando "*Group Node*"

Este es el encargado de definir el lugar en el espacio donde se encuentra el elemento del horno en cuestión. Dicho lugar es definido mediante la translación, es decir, las coordenadas donde se encontrará el elemento en cuestión, y la rotación, el ángulo de inclinación de cada elemento.

Una vez definido el "*Group Node*" hay que añadirle un nodo para definir el tipo de elemento, es decir, el tipo de superficie a tratar. "*Surface Node*" es el nodo encargado de dicha función. El comando en cuestión es el indicado en la fig. 27.



Figura 27. Comando "*Surface Node*"

Una vez asociado un nodo de superficie al nodo inicial habrá que indicarle al programa que tipo superficie es la deseada, es decir, indicar qué elemento del horno es el elemento en cuestión. La fig. 28 muestra la variedad de elementos presentes en el programa.

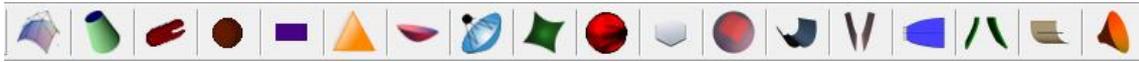


Figura 28. Posibles elementos

En el diseño de este horno los nodos empleados son los mostrados en la siguiente tabla (tabla 4).

Heliostato plano	Disco parabólico	Receptor
		
Figura 29. Comando " <i>Flat Rectangle</i> "	Figura 30. Comando " <i>Parabolic Dish</i> "	Figura 31. Comando " <i>Flat Disk</i> "

Tabla 4. Comandos de selección de superficie

A cada uno de estas superficies hay que agregarle un tipo de material, los posibles materiales con los que trabaja Tonatiuh se muestra en la tabla 5.

Material especular estándar	Material refractario
	
Figura 32. Comando " <i>Specular Standard Material</i> "	Figura 33. Comando " <i>Basic Refractive Material</i> "
Material rugoso especular estándar	Material virtual
	
Figura 34. Comando " <i>Specular Rough Standard Material</i> "	Figura 35. Comando " <i>Virtual Material</i> "

Tabla 5. Comandos de selección del material de la superficie

Por lo que general el material empleado es el especular estándar salvo en el caso del atenuador. El atenuador se diseña con material refractario para evitar posible defectos debidos a las altas temperaturas cercanas a este.

También hay un menú donde quedan caracterizados cada uno de los elementos integrados. Este se encuentra definido como una lista en la que los nodos aparecen ordenados por orden de implementación. En dicho menú es donde hay que modificar los valores que vienen por defecto para diseño el horno solar. En la fig. 36 aparece un ejemplo de cómo aparecen dichos nodos.

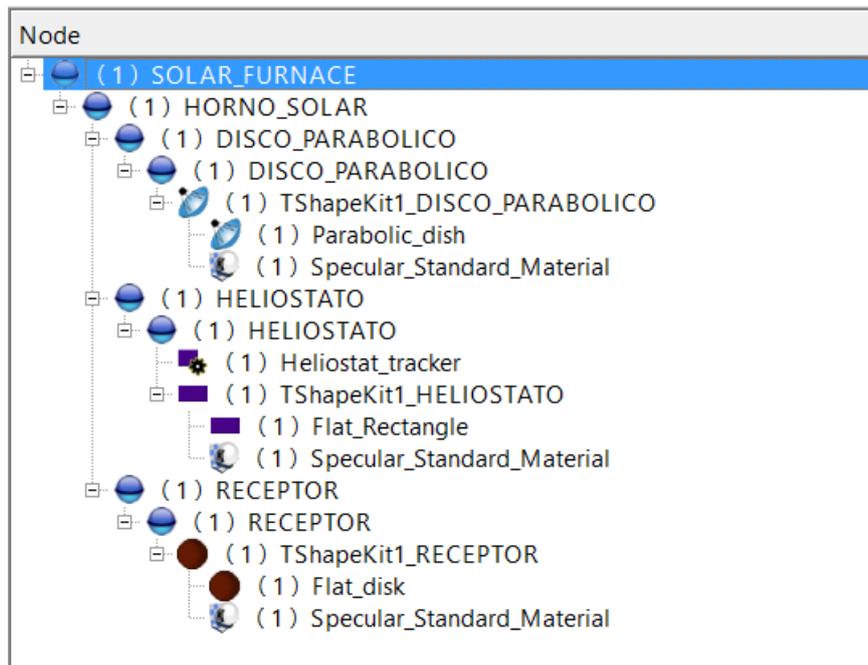


Figura 36. Menú ejemplo de los nodos de un horno solar

Por último, la fig. 37 corresponde a una ventana de Tonatiuh para poder localizar cada uno de los comandos mencionados.

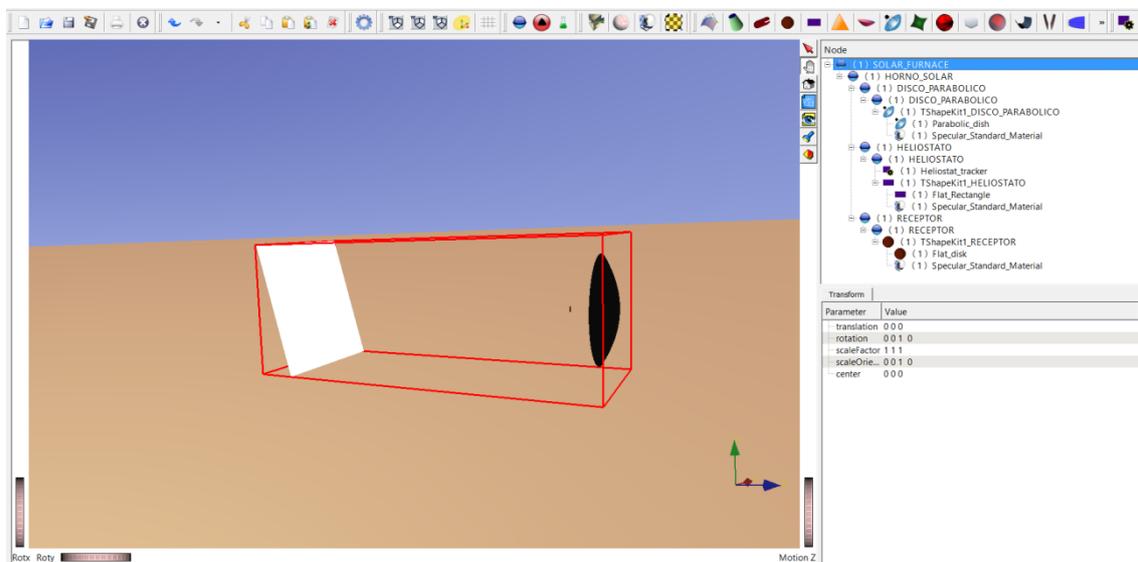


Figura 37. Ventana ejemplo Tonatiuh

- Definición de las características solares

Este punto explica cómo definir la distribución óptica, geométrica y energética de la forma solar. Tonatiuh tiene definidas dos distribuciones solares. La primera de estas es la distribución energética tipo Pillbox que toma al Sol como una esfera perfecta, por lo que un observador lejano lo percibiría como un disco perfecto con brillo constante. Dicha distribución sería el caso ideal, pero la distribución es irreal ya que la radiación solar tiene que atravesar la atmósfera gaseosa de la Tierra, la cual produce una reducción de la intensidad del brillo [15].

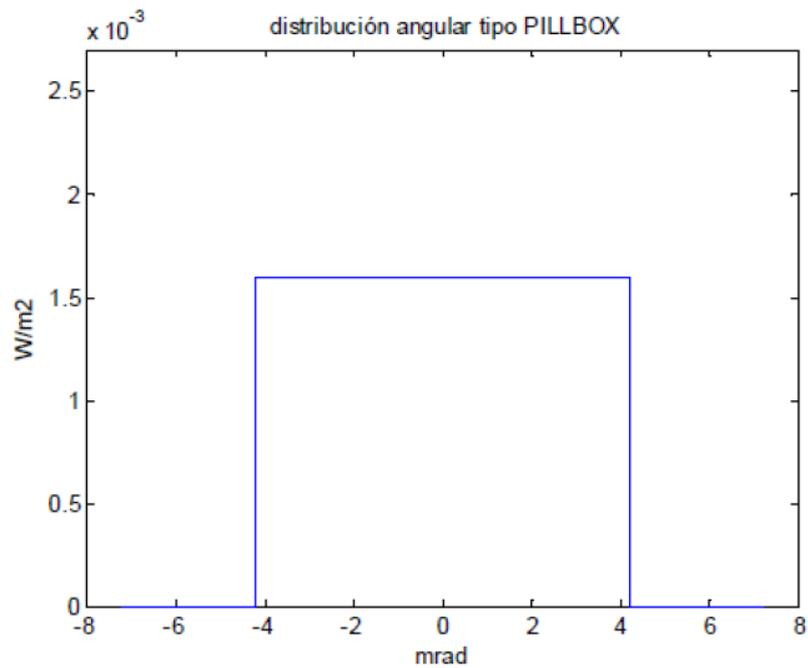


Figura 38. Distribución angular tipo Pillbox. [13]

Por otro lado, la otra distribución presente en Tonatiuh, la empleada en este diseño, es la distribución del modelo de Buie. Esta distribución se caracteriza por su relación circunsolar (CSR) y por no variar con la ubicación geográfica. Para definirla habrá que abrir el menú de Tonatiuh “Environment”>”Sun Light”>”Define SunLight”.

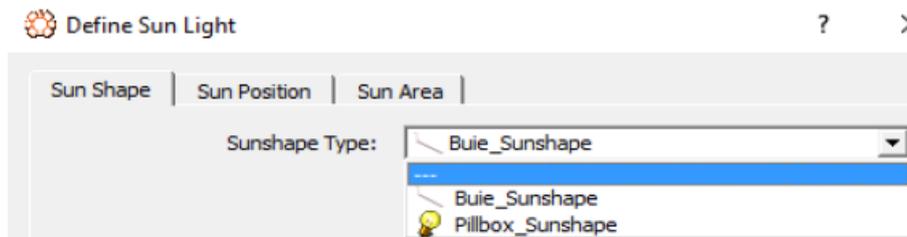


Figura 39. Tipos de distribución energética del Sol

Como la distribución de Buie es la relación empleada en este diseño, se procede a indicar los factores que intervienen en ella y así dejarla definida por completo, para cada una de las simulaciones realizadas, las características solares. Los valores elegidos son los que vienen por defecto tanto en la irradiancia como en la relación circunsolar, ya que una irradiancia de 1000 W/m² y un CSR de 0.02 son valores razonables. De este modo, se introduce estos valores en “Sun Shape”.

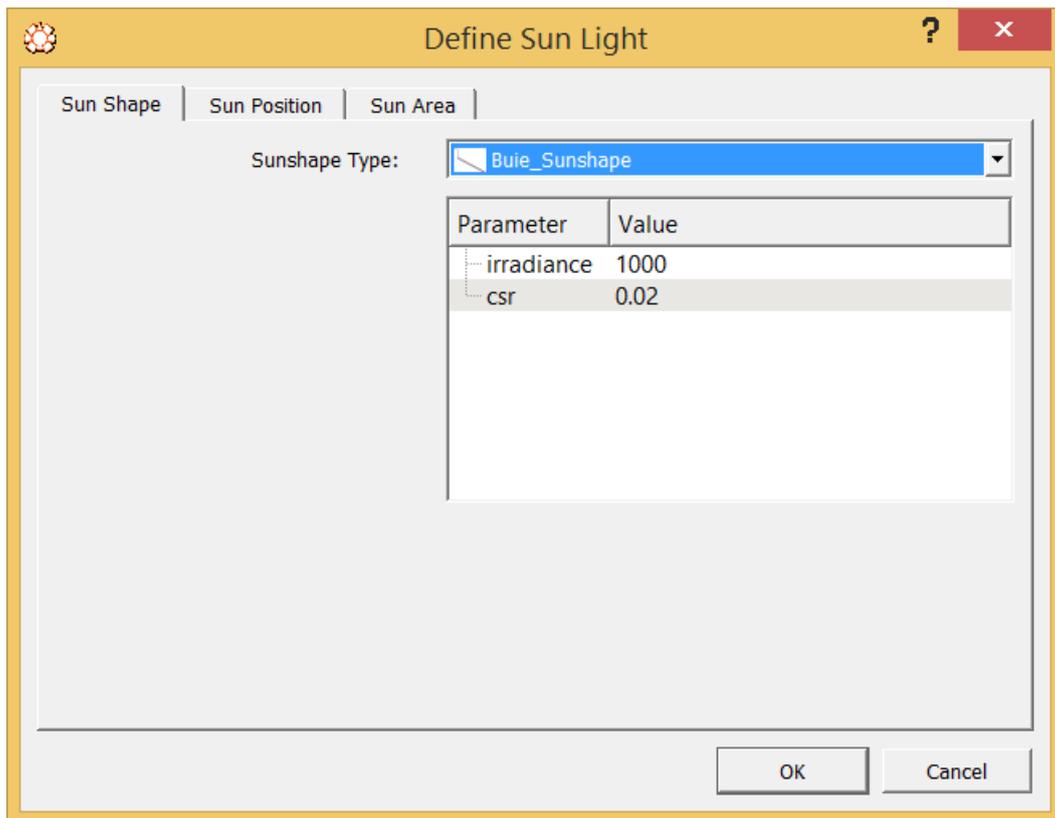


Figura 40. Definición "Sun Shape"

Una vez definida la distribución energética hay que definir la posición solar, es decir, indicarle a Tonatiuh cual es el azimut y la elevación del Sol en el momento deseado, el Solsticio de Invierno. Como especifica el punto *Estudio de geometría solar y sombras proyectadas*, el azimut es 178.89° y la elevación 29.14° . Por lo que se introdujo dichos factores en "Sun Position".

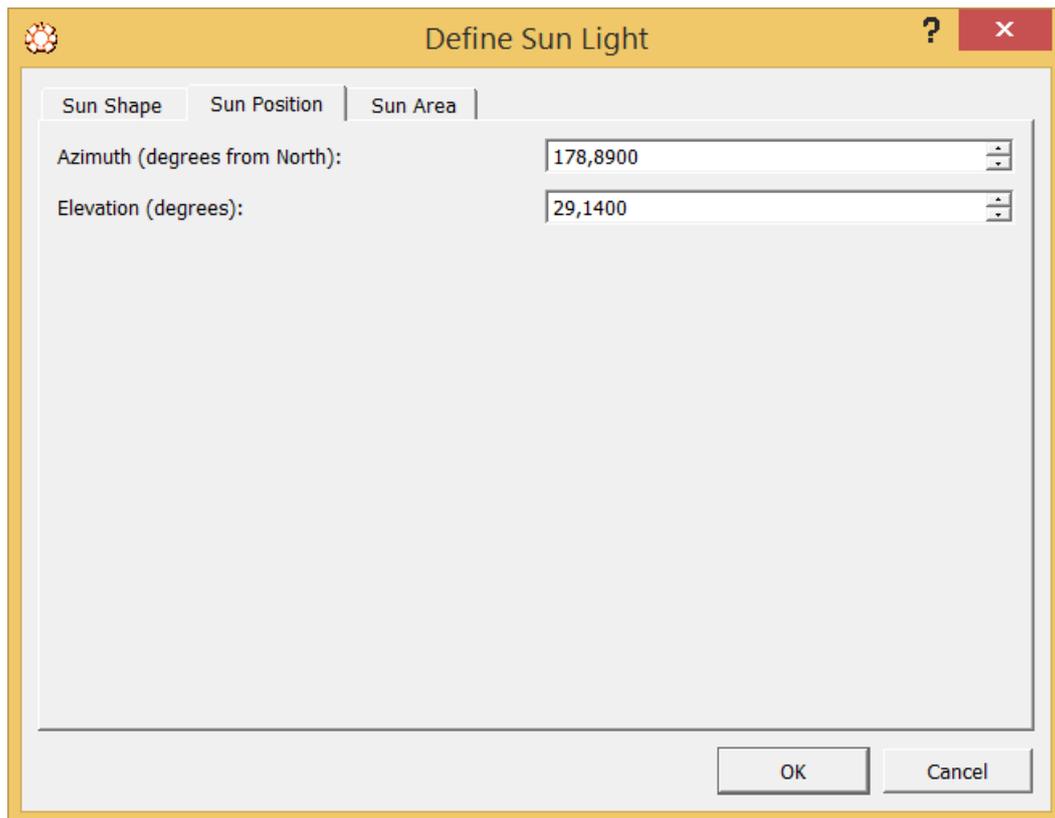


Figura 41. Definición "Sun Position"

- Simulación

Para la simulación, una vez definido el sistema geométrica y ópticamente, habrá que elegir el número de rayos a lanzar para la prueba del sistema. Este número de rayos puede llegar hasta 75 millones de rayos. Hay que tener en cuenta que a mayor número de rayos menor error en los resultados obtenidos. La fig. 42 muestra la ventana de opciones del trazado de rayos.

Para llegar a la ventana de opciones de simulación se despliega el menú "Ray Trace">"Ray Trace Options" y se procede a introducir los valores. El único valor que se modificó es el número de rayos, que será 75 000 000, el resto se mantienen los valores que vienen por defecto.

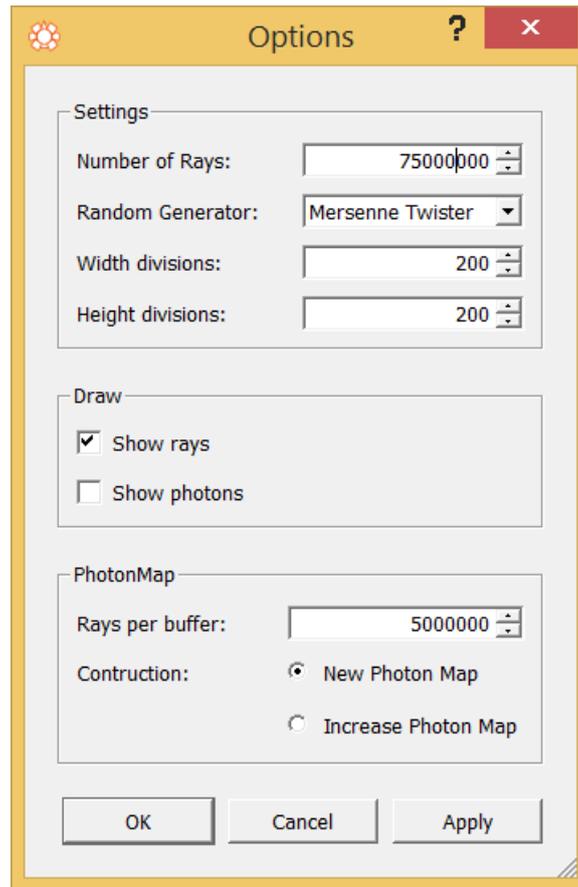


Figura 42. Ventana de opciones de trazado de rayos de Tonatiuh

Una vez definido el número de rayos, el siguiente paso es ejecutar la simulación. En la ventana ejecutar, es decir, en la ventana de “run” hay que definir el tipo de almacenamiento de los archivos que genera el programa. Hay dos opciones, pero en este proyecto todas las simulaciones obtendrán los resultados almacenados en archivos binarios. Para ello hay que elegir la carpeta de destino donde guardar los documentos y el nombre de los archivos. Se elige la opción “Export surfaces”, en la que hay que indicar al programa la superficie a estudiar, es decir, la superficie del receptor donde inciden los rayos solares provenientes del concentrador parabólico. Por último, se elige las coordenadas locales y se desmarca la casilla “Surface Identifier”. Para llegar a esta ventana en Tonatiuh se sigue la siguiente ruta “Ray Trace”>“Run”. Proceso expuesto en la fig. 43.

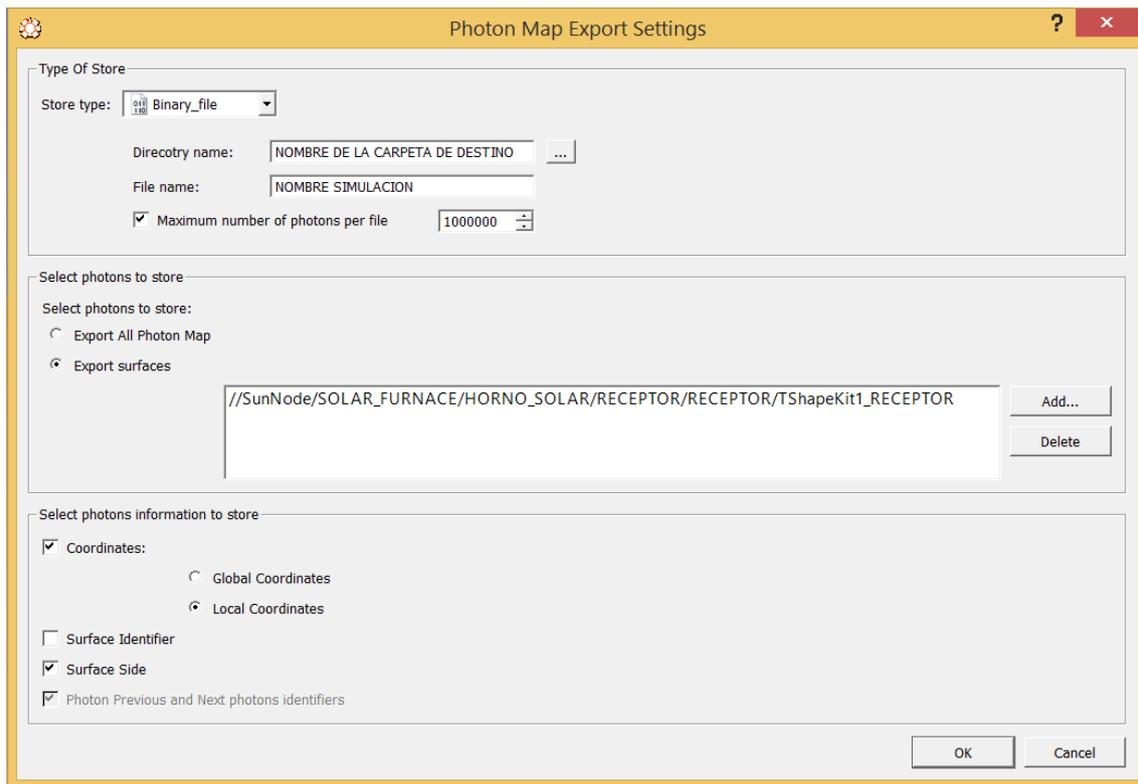


Figura 43. Ventana de ejecución de Tonatiuh

Una vez realizada la simulación, los archivos binarios `_.dat` obtenidos tienen una estructura que indica por orden el ID del fotón, la cara por la que impacta dicho fotón, la coordenada x, la coordenada y, la coordenada z y la energía de cada fotón.

El procesamiento seguido con *“Mathematica”* para el tratamiento de los archivos obtenidos consiste en un código que obtiene la potencia obtenida en la simulación, un gráfico 3D donde apreciar el flujo solar incidente en el área del receptor y un mapa de densidades.

3.3.1.2. Diseño del caso base

Para el diseño del caso de base, los elementos que integran al horno solar son: heliostato plano, disco receptor y receptor. Se realizó a partir de este diseño base los estudios de optimización de la distancia focal y del radio del receptor.

En segundo lugar, se procede a mostrar el proceso seguido. El primer paso correspondió a crear un nodo *“Group Node”* al que se le denominó *“HORNO_SOLAR”* y, al cual, se le agregó los nodos siguientes.

Diseño del disco parabólico concentrador

Al nodo *“HORNO_SOLAR”* se le agregó un *“Group Node”* al que se le llamó *“DISCO_PARABOLICO1”*. En este primero se modificó su posición, situando este a 5.85 metros del punto 0, ya que en el punto 0 se sitúa al heliostato.

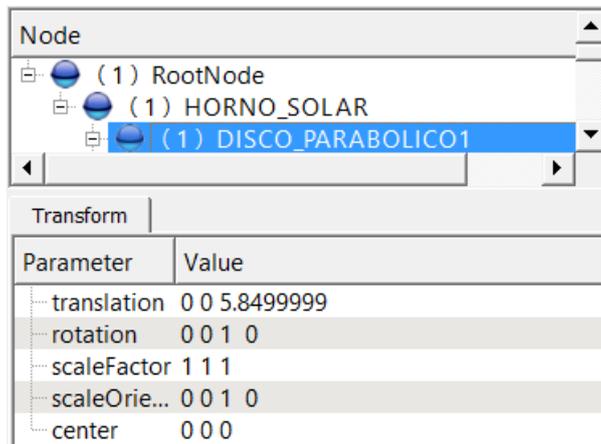


Figura 44. Caso base. DISCO_PARABOLICO1

Se introdujo posteriormente otro nodo a este con el mismo nombre, "DISCO_PARABOLICO2" para modificar su orientación y orientarlo en dirección al heliostato.

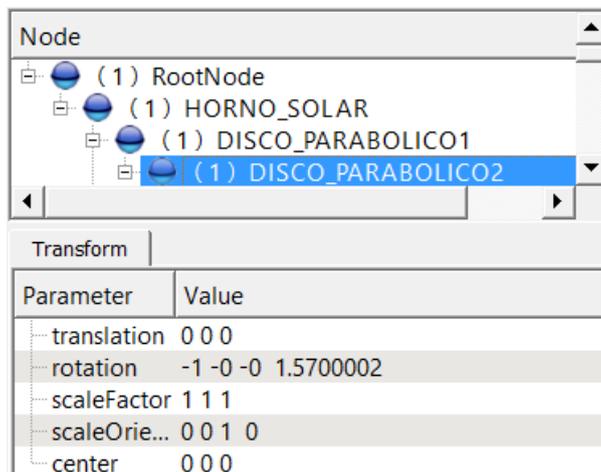


Figura 45. Caso base. DISCO_PARABOLICO2

El siguiente paso realizado fue añadirle un nodo de superficie, "Surface node" al que se le implementó el nodo del disco parabólico, "Parabolic Dish" y también un nodo de material especular estándar, "Specular Standard Material".

Para el disco parabólico la propiedades definidas fueron la distancia focal, "focusLength", igual 0.755 metros, el radio mínimo y el radio máximo igual a 0 y 0.9 metro respectivamente.

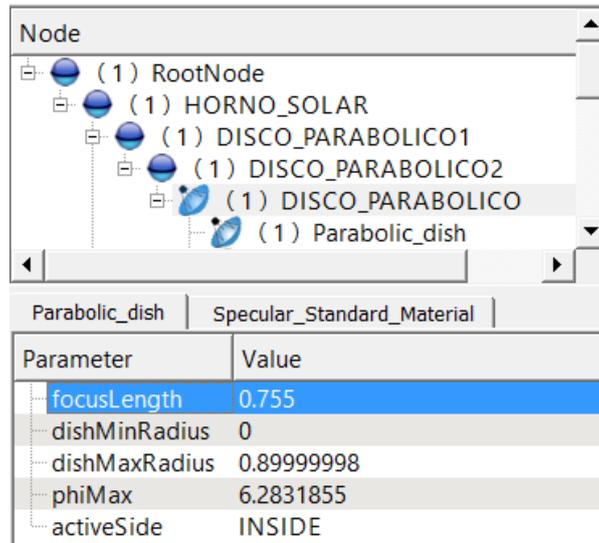


Figura 46. Caso base. "Parabolic_dish"

Para concluir con el diseño de este se definió las propiedades del material de la superficie. Cabe señalar que material empleado es espejo de vidrio delgado. Los únicos parámetros que difieren a los que vienen por defecto son la reflectividad, "*sigma slope*" y el tipo de distribución. El primero de estos se evaluó como el 94%, el "*sigma slope*", que es un parámetro que engloba los errores debidos a la falta de specularidad, debidos a la pendiente y debido al seguimiento, aunque Tonatiuh no tiene en cuenta este último, definido como 2 mrad. Este último valor se ha supuesto constante en todas las simulaciones realizadas en este proyecto. La distribución seleccionada ha sido la distribución NORMAL, que también es constante para todos los elementos de este proyecto.

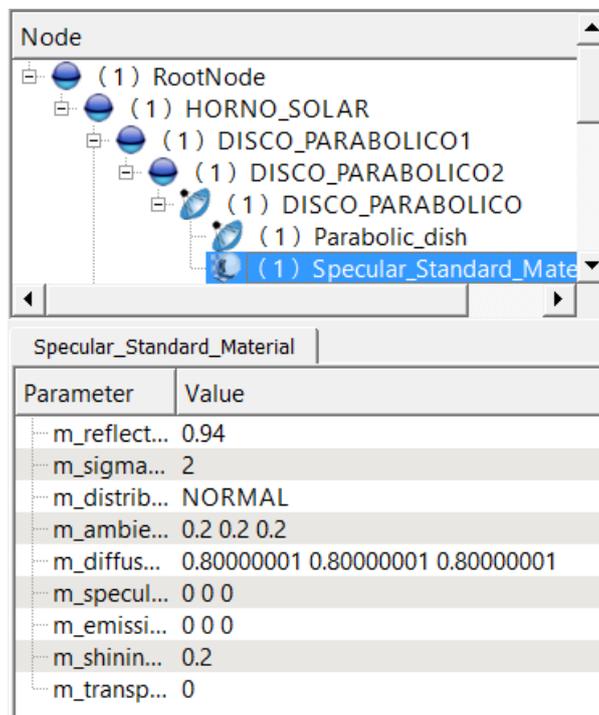


Figura 47. Caso base. Material superficie disco parabólico concentrador

La fig. 48 corresponde al disco parabólico diseñado en Tonatiuh.

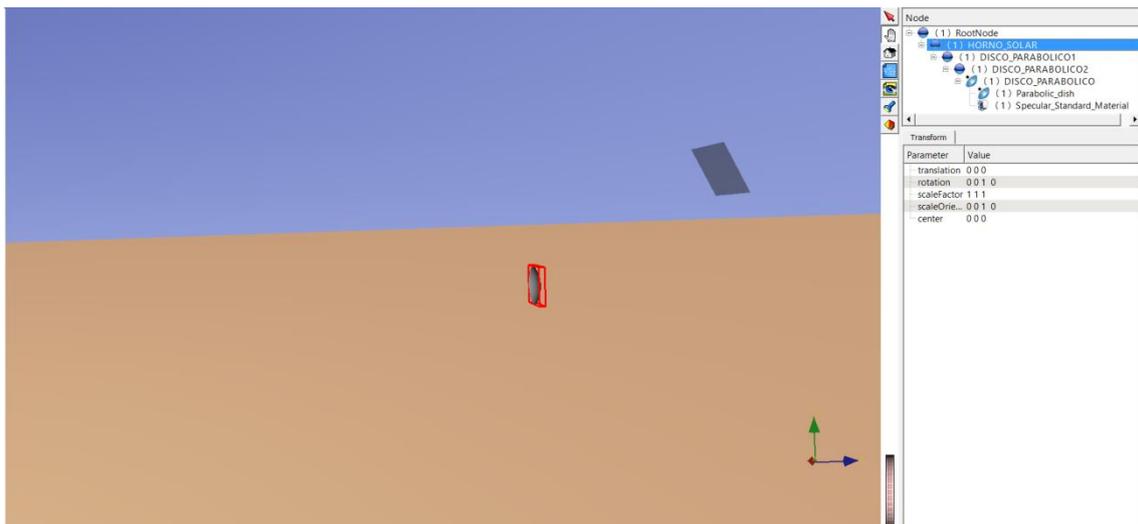


Figura 48. Caso base. Disco parabólico diseñado en Tonatiuh

Diseño del heliostato plano

Al nodo "HORNO_SOLAR" se le agregó un segundo "Group Node", denominado "HELIOSTATO1". En este primero no se modificó los valores que vienen por defecto debido a que el heliostato está situado en el eje de coordenadas elegido.

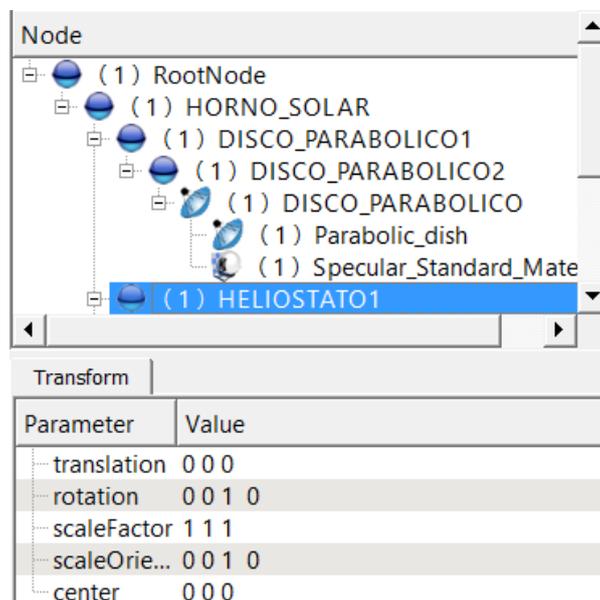


Figura 49. Caso base. HELIOSTATO1

Se introdujo seguidamente el nodo "HELIOSTATO2" al que se le mantuvo los valores que vienen por defecto ya que en el siguiente paso, al introducirle el "tracker" a dicho nodo, el heliostato modifica su orientación automáticamente en función de la posición del Sol.

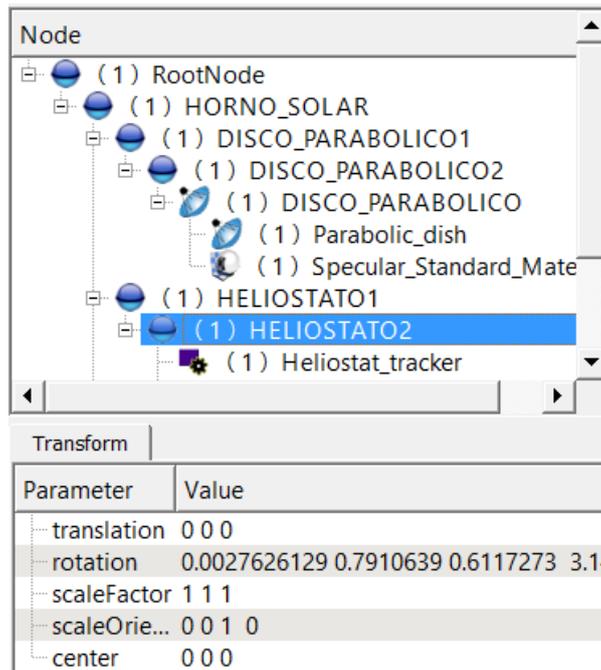


Figura 50. Caso base. Introducción del tracker del heliostato

Como ocurre con el disco parabólico se le introdujo un nodo de superficie para posteriormente añadirle el nodo de heliostato plano, "Flat_Rectangle", y el nodo de las características del material especular, al igual que en el disco parabólico. Las características del material son exactamente las mismas que las del disco parabólico. En cuanto a las características de la superficie del heliostato se definió 2.5 metros tanto de largo como de ancho como puede verse en la fig. 51.

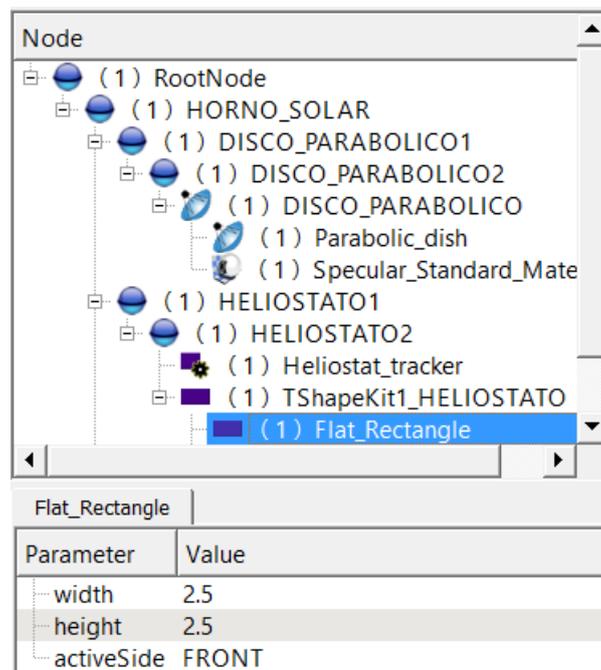


Figura 51. Caso base. "Flat_Rectangle"

Seguido a esto, se puede apreciar la fig. 52 correspondiente al heliostato diseñado en Tonatiuh.

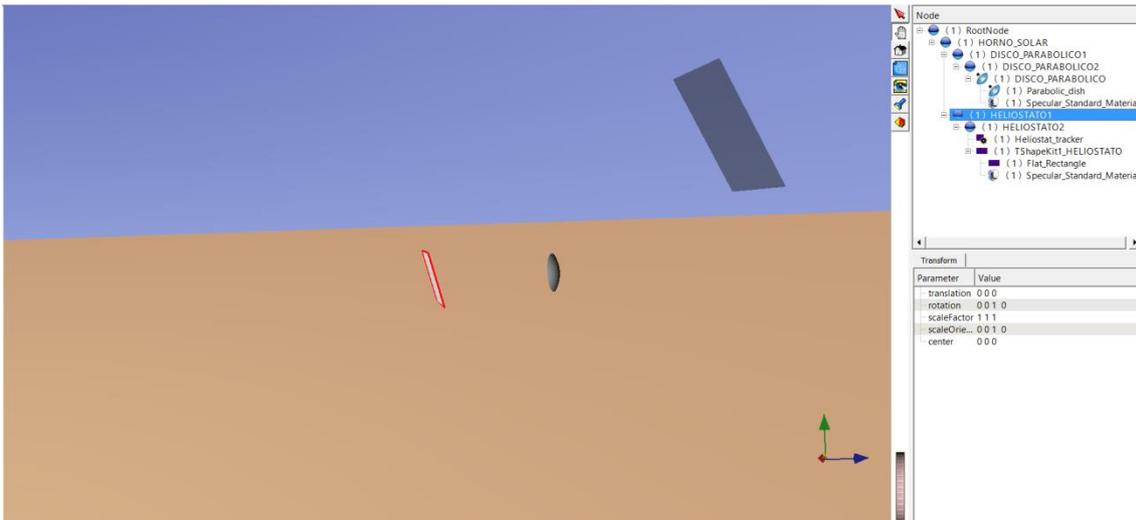


Figura 52. Caso base. Heliostato diseñado en Tonatiuh

Diseño del receptor

Al nodo "HORNO_SOLAR" se le agregó otro "Group Node" denominado "RECEPTOR1". En este se modificó la posición, situándolo a 5.095 metros del eje de coordenadas. Esta distancia corresponde a la distancia del heliostato al concentrador parabólico restándole la distancia focal del concentrador.

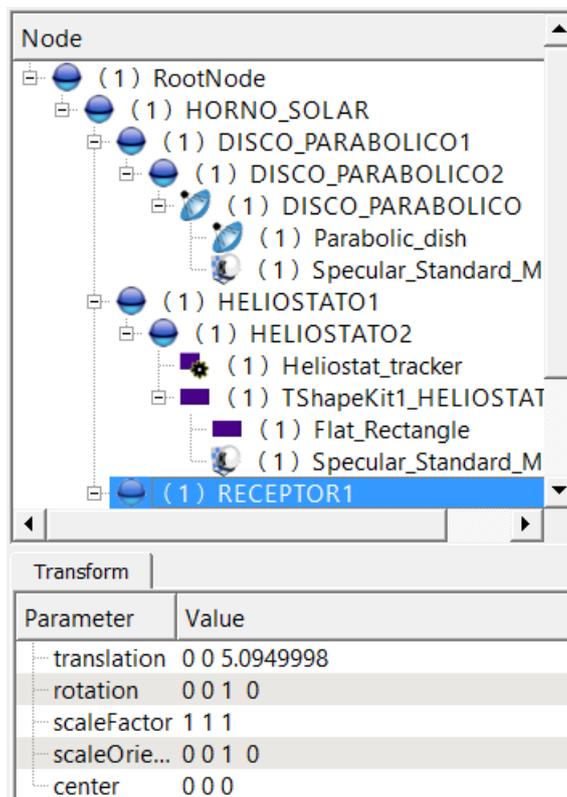


Figura 53. Caso base. RECEPTOR1

Posteriormente se introdujo el nodo "RECEPTOR2" en el que se varió la orientación para orientarlo al heliostato.

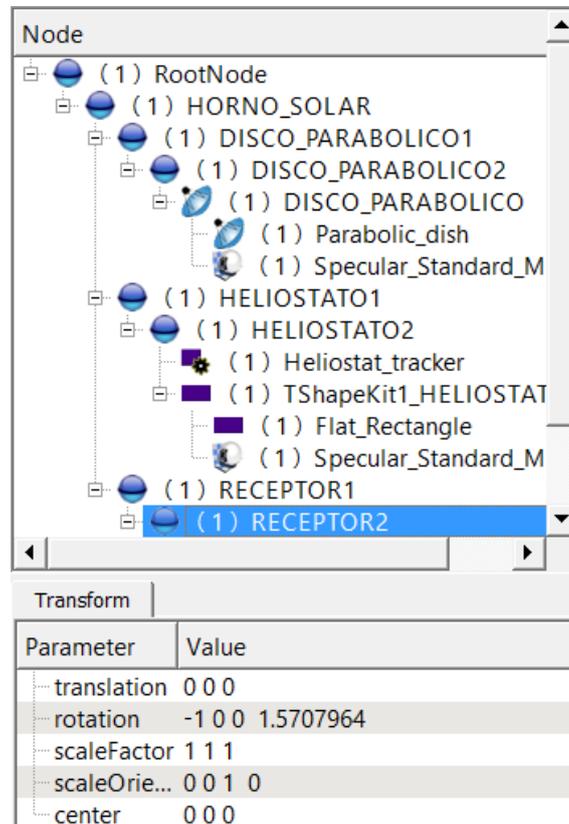


Figura 54. Caso base. RECEPTOR2

Por concluir con el diseño del caso base se añadió un nodo de superficie al que se le agregó el nodo de la superficie del receptor y el nodo de material especular. Este último es igual que en los elementos anteriores, salvo por la reflectancia, ya que este punto es donde debe incidir toda la radiación concentrada. Por tanto, en este punto se le dio el valor 0 a la reflectancia. El nodo del receptor es el correspondiente al nodo "Flat Disk" cuyas características principales definidas fueron un radio igual 0.05 m y la cara de incidencia de los fotones "FRONT". El radio escogido será motivo de optimización más adelante.

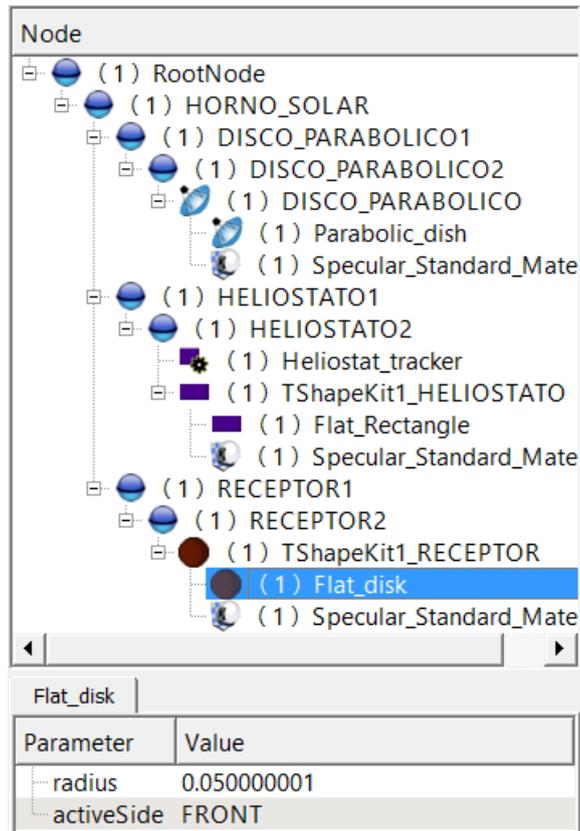


Figura 55. Caso base. "Flat_disk"

El diseño final del caso base del horno solar es el mostrado en la fig. 56. Se muestran sus vistas principales.

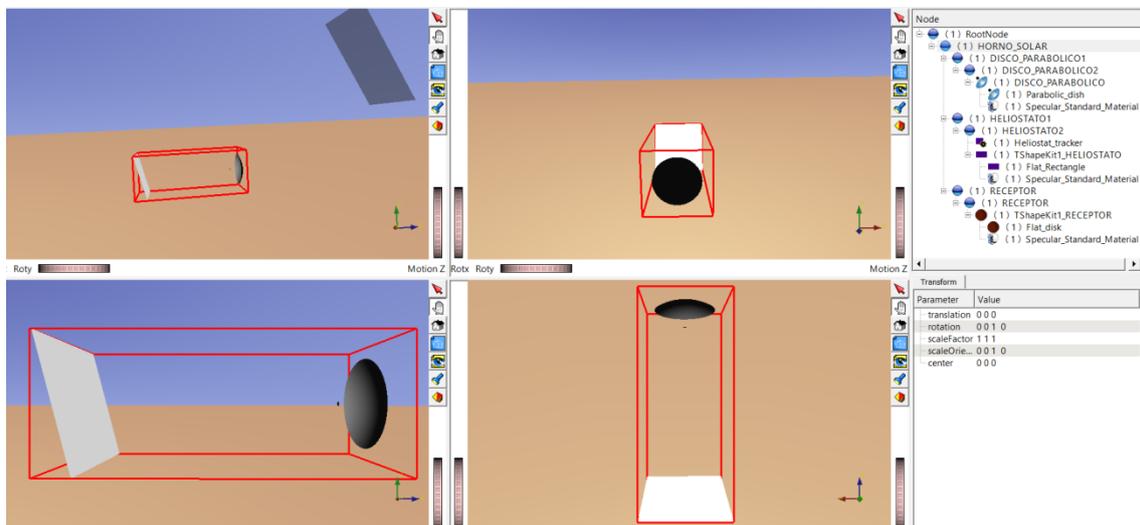


Figura 56. Diseño final del caso base

Para finalizar, en la fig. 57 se muestra el horno con un ensayo de 500 rayos con el objetivo de apreciar las trayectorias de dichos rayos.

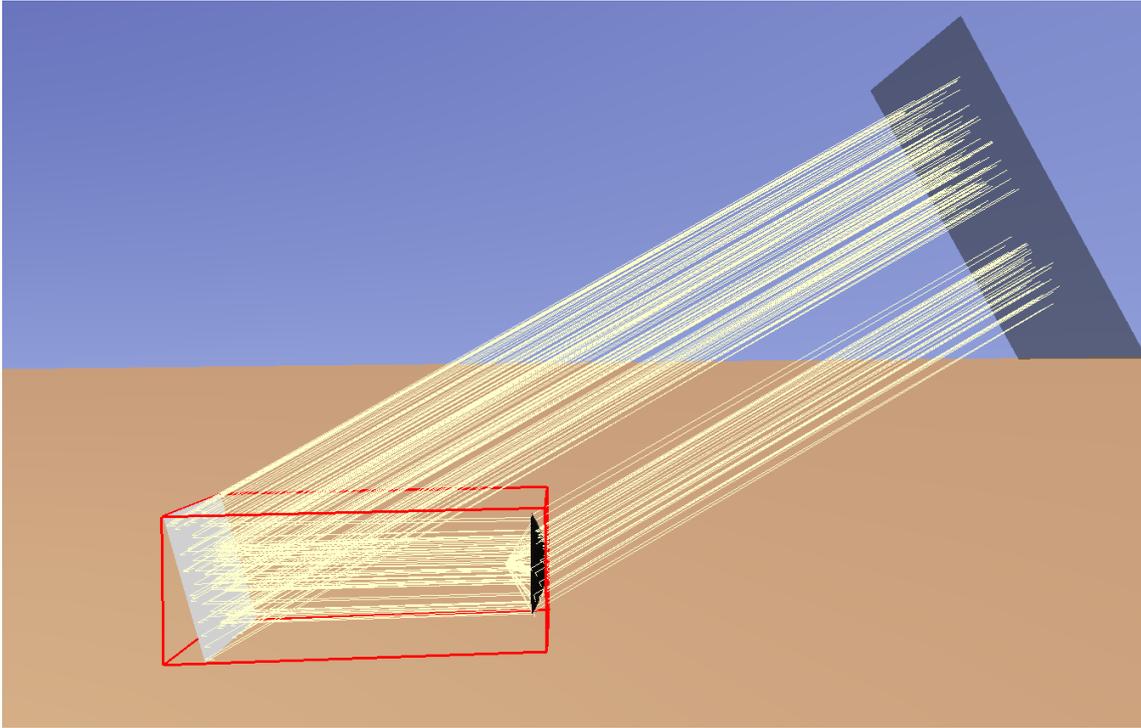


Figura 57. Ensayo 500 rayos

Hecho el diseño se procedió a realizar el análisis de los resultados obtenidos para dicho diseño y ver cuál es la potencia obtenida por el horno solar en el receptor. La potencia obtenida en dicho punto fue 2.24 kW. Se muestra a continuación el mapa de densidades y el gráfico 3D de flujo en la fig. 58, donde también se complementa de una visión del gráfico 3D visto de frente. Para cada uno de los ensayos analizados en este proyecto se incluirá estas tres gráficas para así mostrar una visión del comportamiento del horno. Siempre cada grupo de casos estará definido con el mismo rango para así ver la variación del flujo en los casos más significativos.

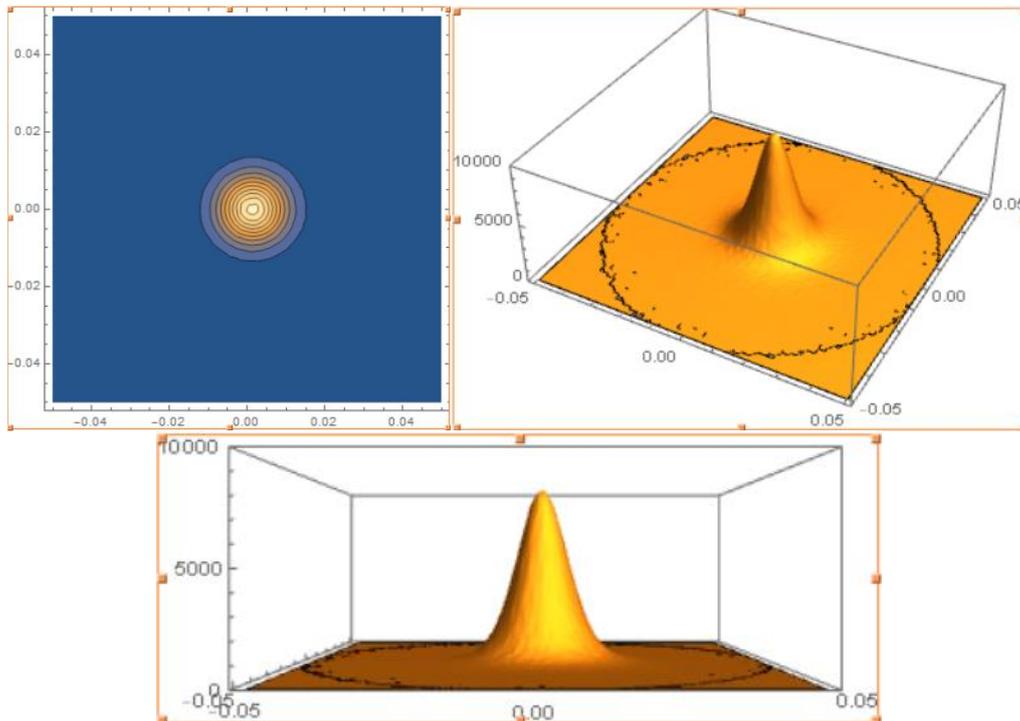


Figura 58. Conjunto gráficos caso 1. Caso base distancia focal 0.755 m

Se puede apreciar los altos valores que toma el flujo de radiación en las zonas centrales del receptor. Este hecho es positivo debido a que se concentra la mayoría de la radiación en la zona central que es la situación deseada.

3.3.2. Análisis de la distancia focal

Una vez analizados los resultados obtenidos en el caso base, se realizó un estudio de la variación de la potencia obtenida en función de la distancia focal. Según el catálogo de TELEVES, (Anexo 1), la distancia focal del disco parabólico es de 0.755, pero se ha realizado tres ensayos más para distintas distancias focales con el objetivo de verificar que la máxima potencia se obtiene colocando al receptor con la distancia focal indicada por el fabricante.

En los ensayos se ha ido variando este parámetro en (-11.5 + 11.5 +23) mm.

A la distancia focal Tonatiuh la denomina *focusLength*, por lo que se usará la misma nomenclatura.

En las próximas figuras se puede apreciar como varían las gráficas en función de cada caso.

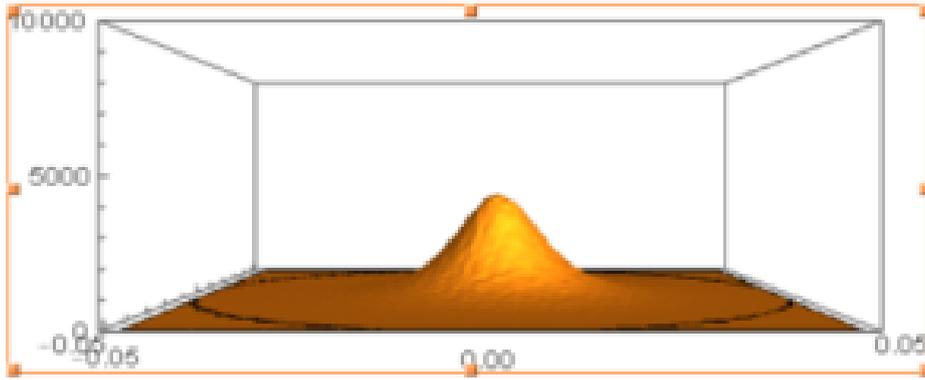


Figura 59. Distribución de flujo distancia focal 0.7435 m

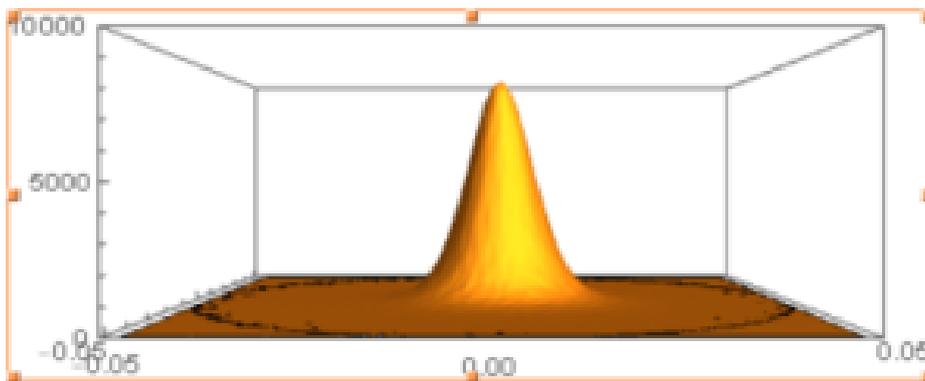


Figura 60. Distribución de flujo distancia focal 0.755 m

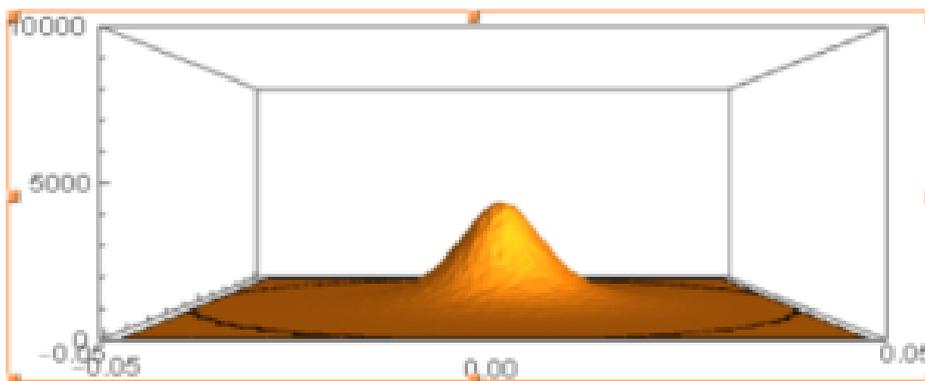


Figura 61. Distribución de flujo distancia focal 0.7665 m

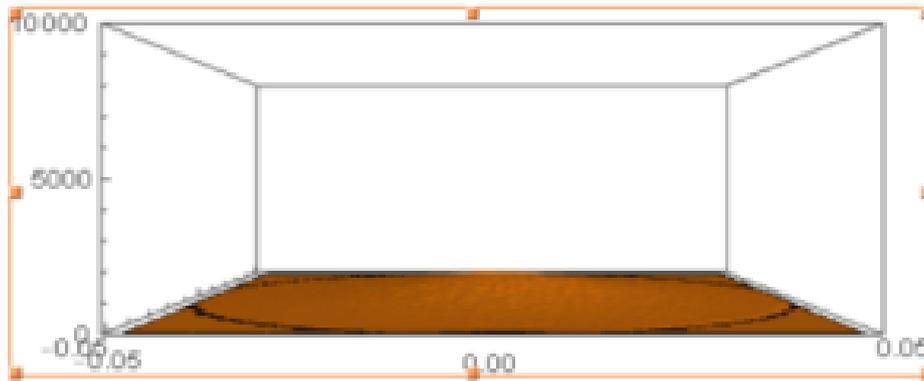


Figura 62. Distribución de flujo distancia focal 0.778 m

Se ve claramente como para el ensayo 1 se produce la mayor concentración de radiación sobre el receptor mientras que en el resto de los casos la radiación va repartiéndose por el resto del radio del receptor. Se llega incluso a que en el ensayo 4 la radiación es tan difusa que se reparte por toda la periferia del área del receptor. La siguiente tabla (tabla 7) muestra la variación de la potencia obtenida sobre el receptor.

Ensayo	2	1	3	4
Distancia focal (m)	0.7435	0.755	0.7665	0.778
Potencia obtenida (kW)	2.23816	2.23884	2.2355	2.13983

Tabla 6. Variación de la potencia obtenida en función de la distancia focal

Para finalizar con el análisis de la variación de la distancia focal, se concluye con que la mejor opción es el caso en la que la distancia focal es 0.755 debido a que es donde se produce la mayor potencia obtenida.

3.3.3. Análisis del radio del receptor

Este análisis es fundamental para saber cuál es el valor del radio que maximiza la potencia obtenida. Dicho análisis es un problema de optimización puesto que tiene efectos contrapuestos, es decir, efectos favorables y desfavorables para cada uno de los casos. Si aumenta el radio del receptor, el número de rayos que inciden sobre este será mayor. Por el contrario, este aumento del radio hace que lleguen menos rayos procedentes del heliostato al concentrador puesto que el receptor intercepta su trayectoria. Al reducir el radio se produce la inversión de los efectos, por lo que se procede a mostrar el análisis realizado.

En los ensayos ha ido variando el radio, tomando los siguiente valores (0.03, 0.04, 0.05 y 0.06) m.

A continuación, se muestra las ilustraciones ya mencionadas para cada uno de los casos ordenadas por tipo de gráfico y ordenadas de izquierda a derecha y de arriba abajo, $r=0.03$, $r=0.04$, $r=0.05$ y $r=0.06$. A partir de ellas se analiza los resultados y se obtiene el óptimo.

- Mapa de densidades de cada uno de los ensayos

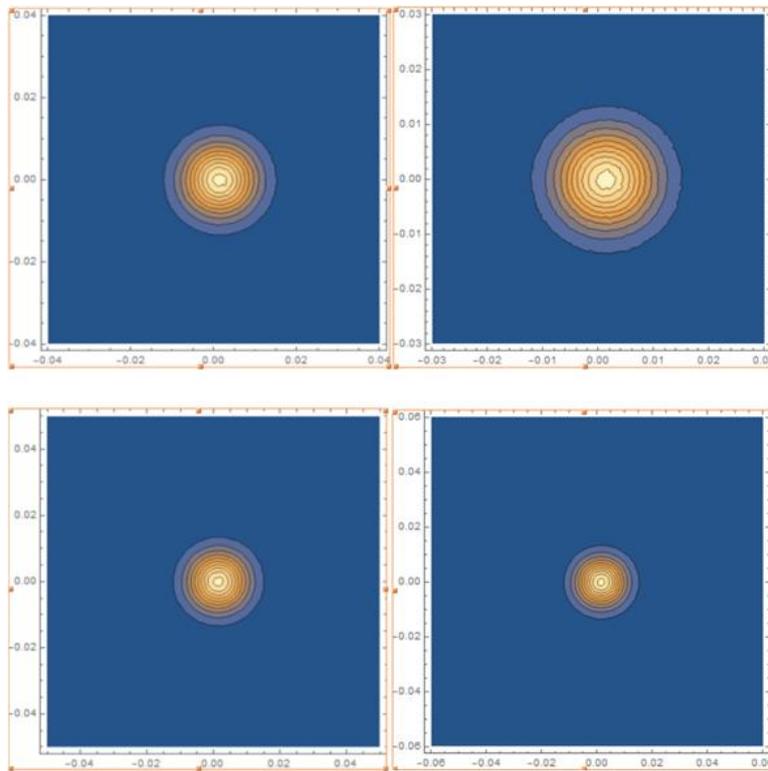


Figura 63. Mapa de densidades optimización del radio del receptor

- Gráficos que muestran la concentración solar en 3D sobre el área del receptor en cada uno de los ensayos estudiados.

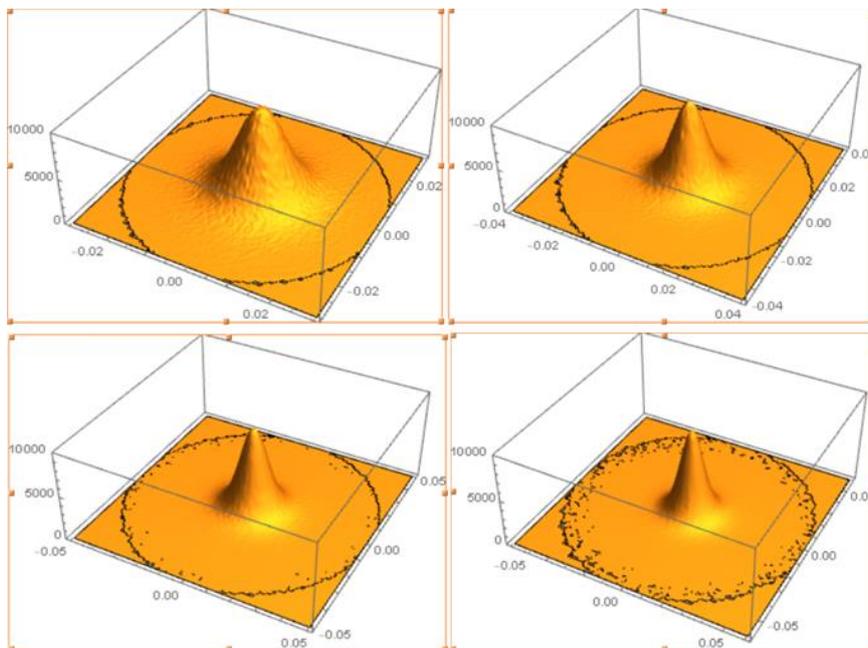


Figura 64. Gráfico concentración solar 3D

- Gráfico que muestra la concentración solar mostrada de frente sobre el área del receptor en cada uno de los ensayos estudiados.

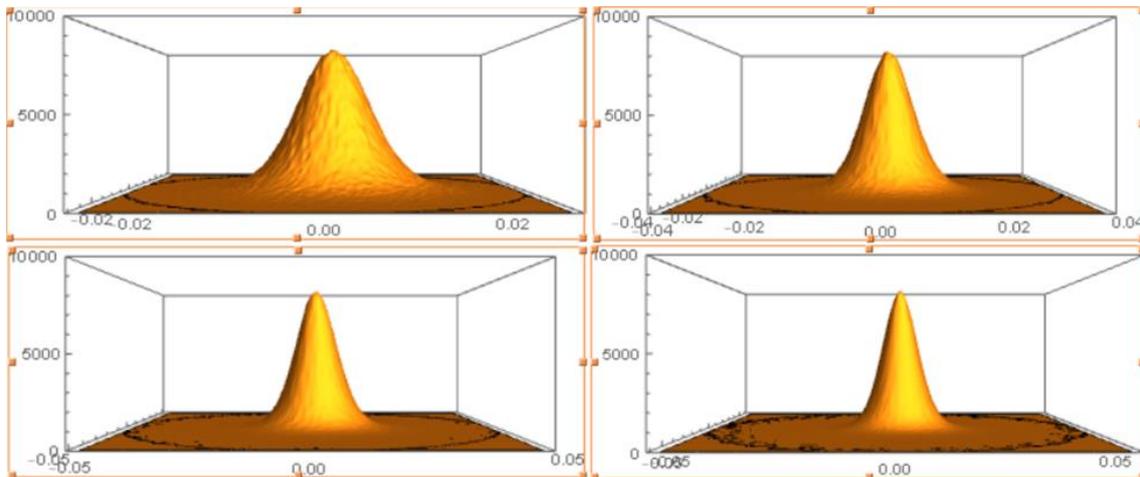


Figura 65. Gráfico concentración solar mostrado frontalmente

Analizando dichas ilustraciones se aprecia claramente en los mapas de densidades como el máximo se encuentra entre los radios 0.04 y 0.05. Cabe destacar que para radios menores, la radiación es más difusa, mientras que cuanto mayor sea radio, más directa será dicha concentración. En la siguiente tabla (tabla 7) se observa la potencia obtenida en el receptor en cada una de los casos.

Ensayo	5	6	7	8
Radio (m)	0.03	0.04	0.05	0.06
POTENCIA OBTENIDA (kW)	2.23034	2.23952	2.23884	2.23776

Tabla 7. Variación de la potencia obtenida en función del radio del receptor

El máximo obtenido es $r=0.04$ m, aun así se hace un ensayo para $r=0.045$ con el fin de agudizar la precisión de este. Una vez realizado el ensayo, nombrado como ensayo número 9, se aprecia como, en efecto, la potencia obtenida aumenta. En la fig.66 se muestra los resultados y gráficos finales de esta optimización.

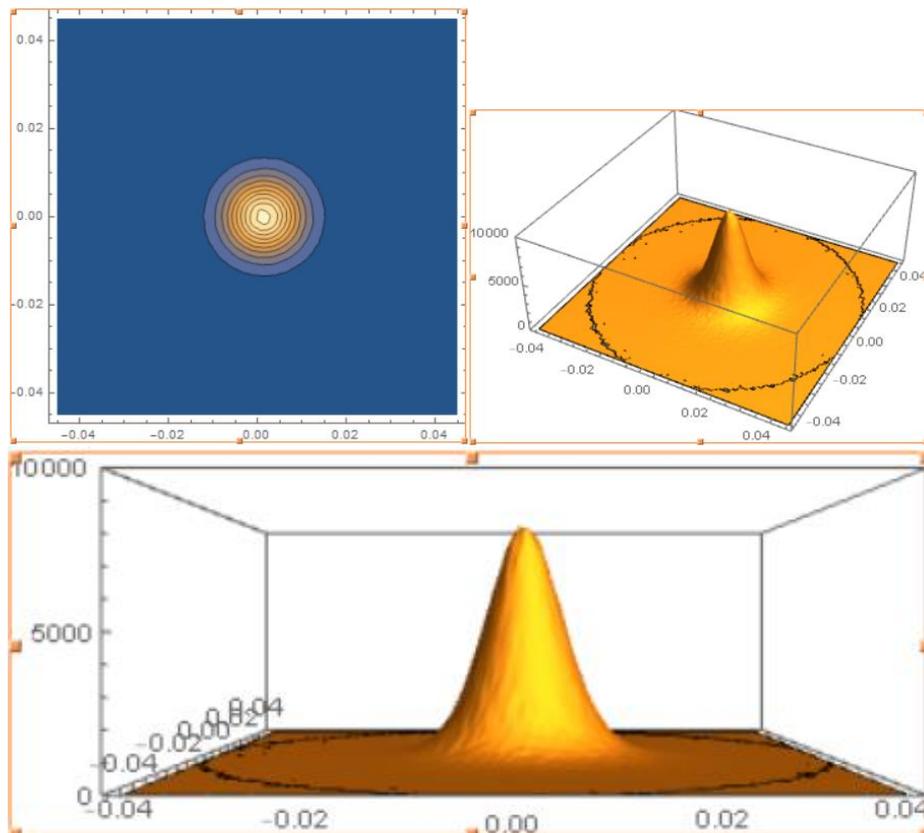


Figura 66. Ilustraciones para el caso optimo del radio del receptor

Para concluir, se define el ensayo 9 como el caso más óptimo de los ya estudiados, y los resultados obtenidos corresponden a un radio del receptor de 0.045 m y una obtención de potencia de 2.24018 kW.

4. Implementación del atenuador

La implantación de la cortina reguladora permite controlar el flujo de radiación incidente sobre el receptor. La implantación de la cortina atenuadora en Tonatiuh fue un proceso trabajoso debido a que este programa carece de esta función. Para las lamas se empleó paneles planos de 1.8 metros de largo, suponiendo que estos tienen un grosor de 1 milímetro, y con una reflectividad nula.

Se hizo ensayos suponiendo un grosor de 1,2 y 3 milímetros de grosor; para los casos en los que el grosor era 2 o 3 milímetros se ha colocado 2 y 3 paneles en paralelo respectivamente para simular los grosores deseados. También se estudió el número de lamas, y por tanto el ancho de estas, ya que estos dos parámetros están relacionados siendo el producto del número de lamas por su ancho igual al diámetro del disco paraboloide, es decir 1.8 metros. Otro motivo más de estudio es la inclinación de las lamas, en este caso se estudió para una inclinación de 0°, 30° y 60°. Por lo tanto la casuística ensayada se muestra en las siguientes tablas.

GROSOR: 1 mm		
ENSAYO 10 0° 3 lamas x 60 cm	ENSAYO 11 30° 3 lamas x 60 cm	ENSAYO 12 60° 3 lamas x 60 cm
ENSAYO 13 0° 6 lamas x 30 cm	ENSAYO 14 30° 6 lamas x 30 cm	ENSAYO 15 60° 6 lamas x 30 cm
ENSAYO 16 0° 12 lamas x 15 cm	ENSAYO 17 30° 12 lamas x 15 cm	ENSAYO 18 60° 12 lamas x 15 cm
ENSAYO 19 0° 20 lamas x 9 cm	ENSAYO 20 30° 20 lamas x 9 cm	ENSAYO 21 60° 20 lamas x 9 cm

Tabla 8. Ensayos para la implementación del atenuador con lamas de 1 mm de grosor

GROSOR: 2 mm		
ENSAYO 22 0° 3 lamas x 60 cm	ENSAYO 23 30° 3 lamas x 60 cm	ENSAYO 24 60° 3 lamas x 60 cm
ENSAYO 25 0° 6 lamas x 30 cm	ENSAYO 26 30° 6 lamas x 30 cm	ENSAYO 27 60° 6 lamas x 30 cm
ENSAYO 28 0° 12 lamas x 15 cm	ENSAYO 29 30° 12 lamas x 15 cm	ENSAYO 30 60° 12 lamas x 15 cm
ENSAYO 31 0° 20 lamas x 9 cm	ENSAYO 32 30° 20 lamas x 9 cm	ENSAYO 33 60° 20 lamas x 9 cm

Tabla 9. Ensayos para la implementación del atenuador con lamas de 2 mm de grosor

GROSOR: 3 mm		
ENSAYO 34 0° 3 lamas x 60 cm	ENSAYO 35 30° 3 lamas x 60 cm	ENSAYO 36 60° 3 lamas x 60 cm
ENSAYO 37 0° 6 lamas x 30 cm	ENSAYO 38 30° 6 lamas x 30 cm	ENSAYO 39 60° 6 lamas x 30 cm
ENSAYO 40 0° 12 lamas x 15 cm	ENSAYO 41 30° 12 lamas x 15 cm	ENSAYO 42 60° 12 lamas x 15 cm
ENSAYO 43 0° 20 lamas x 9 cm	ENSAYO 44 30° 20 lamas x 9 cm	ENSAYO 45 60° 20 lamas x 9 cm

Tabla 10. Ensayos para la implementación del atenuador con lamas de 3 mm de grosor

Para su diseño en Tonatiuh se siguió la misma metodología en todos los casos variando el número de lamas y su ancho, y más adelante, su grosor a base de poner 2 o 3 lamas en paralelo separadas a 1 milímetro. La metodología seguida corresponde al siguiente procedimiento.

Se creó un “*Group Node*” general que establecerá el distanciamiento del atenuador al concentrador, como se definió al final del apartado [3.3.1.2.]. Dicha distancia será 1.35 metros, por lo tanto se colocará a 4.5 metros del heliostato, que corresponde con el punto 0 del eje de coordenadas.

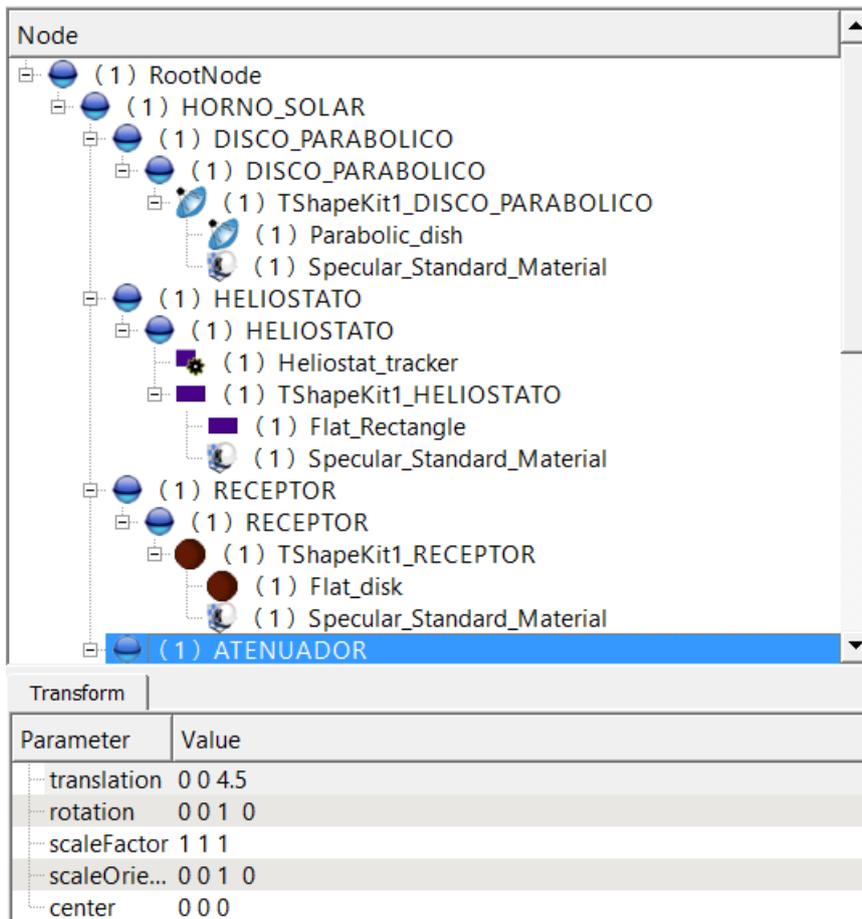


Figura 67. Implantación atenuador. ATENUADOR

En la imagen se ve cómo se añadió el nodo “ATENUADOR” al nodo principal “HORNO_SOLAR”. A continuación se pasó a añadir cada una de las lamas, cambiando en cada caso la distancia con respecto al punto 0 en el correspondiente eje, es decir, si son 3 de 60 cm, como es en este caso, saber que la primera hay que situarla a 0.6 m del punto cero del eje vertical, la siguiente en el eje y por consiguiente la restante a -0.6 m de dicho punto. En la imagen siguiente se aprecia dicho espaciamiento.

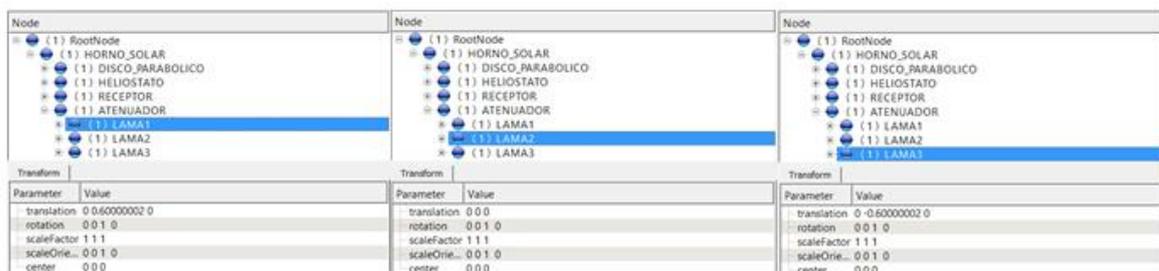


Figura 68. Espaciamiento de las lamas en el caso de 3 lamas de 60 cm

A cada una de las lamas hubo que añadirle otro nodo “Group Node” al que se le denominó “INCLINACIONLAMA” mediante el cual se fue cambiando la inclinación según el ensayo correspondiente. En el caso mostrado en la fig. 71, las lamas están totalmente abiertas por lo que se trata del caso del ángulo de 0°.

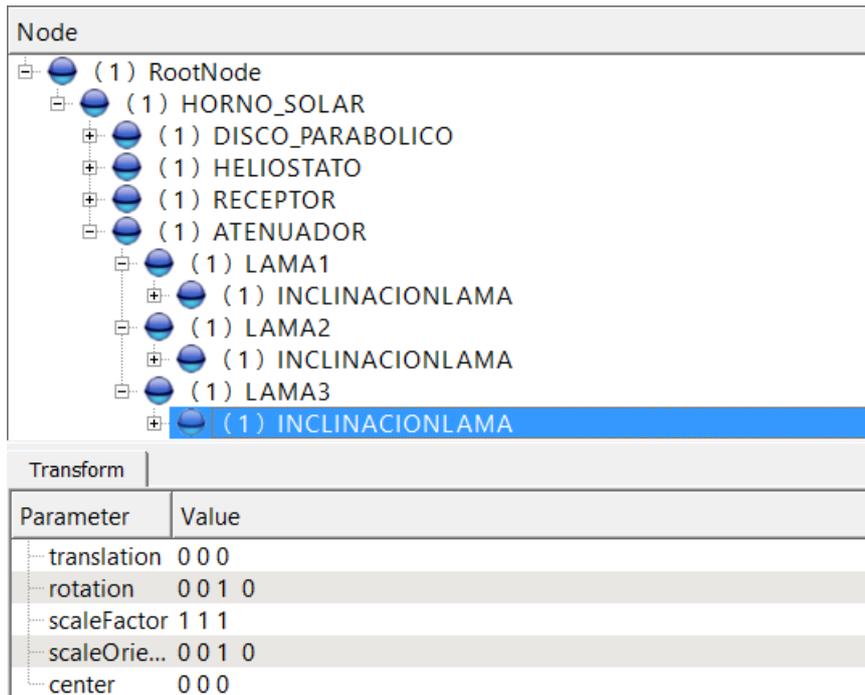


Figura 69. Implantación atenuador. Inclinación de las lamas

Por último hubo que añadirle el nodo de superficie y, a este nodo, el nodo del tipo de superficie, "Flat_Rectange", y el nodo del tipo de material de la superficie, que es una superficie especular estándar con una reflectancia del 0%.

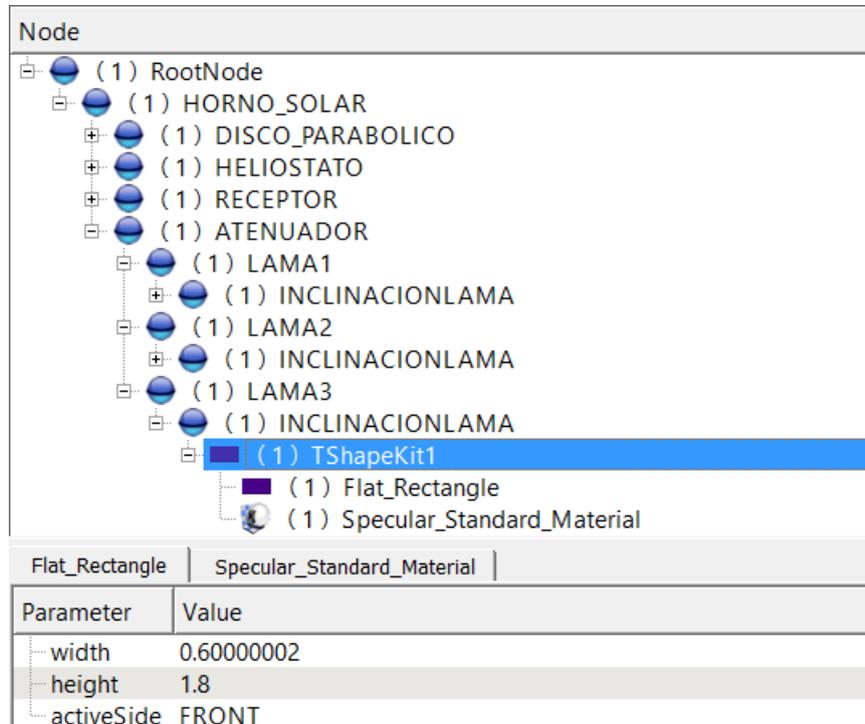


Figura 70. Implantación atenuador. Superficie de las lamas

El diseño final del horno solar con la cortina atenuadora es el siguiente. (fig. 71)

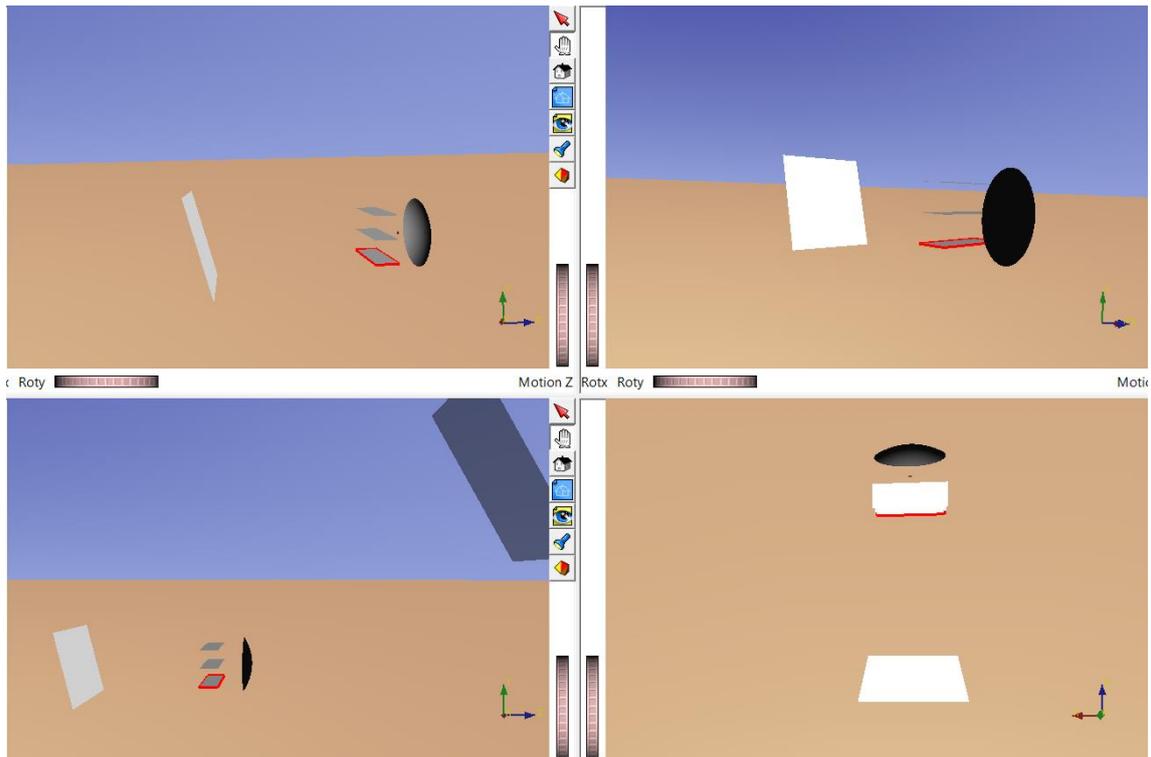


Figura 71. Horno solar con cortina reguladora 3x60. Inclinación 0°

La incidencia solar sobre el horno se contempla en la fig. 72 con un ensayo realizado de 1000 rayos.

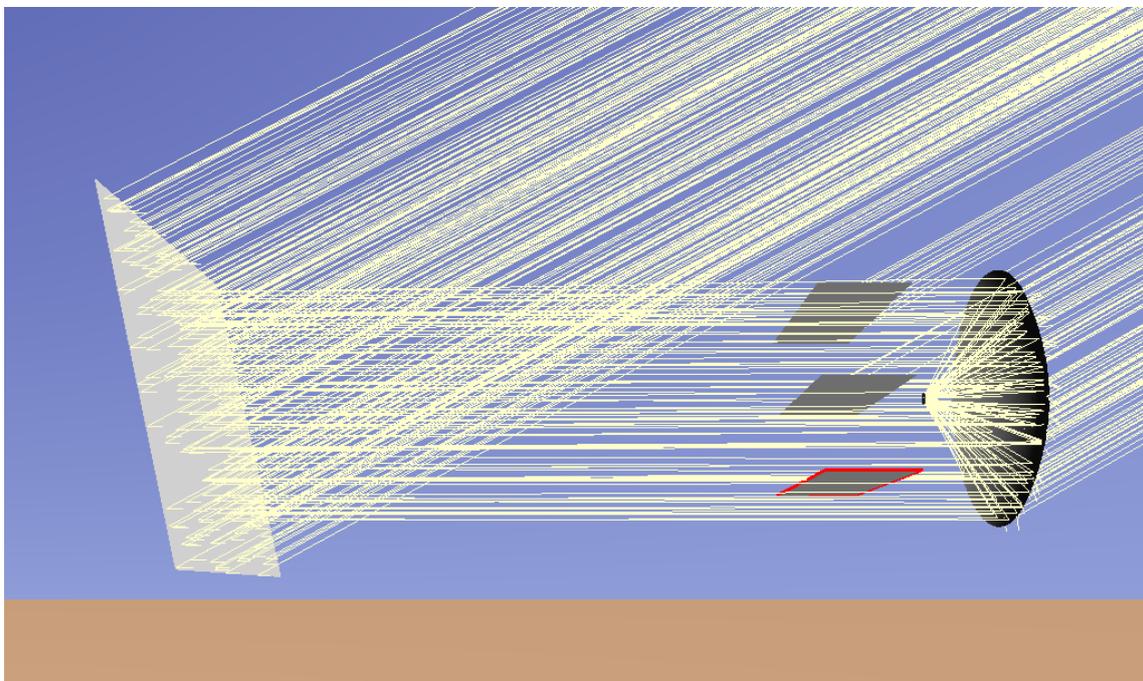


Figura 72. Horno solar. Atenuador 3x60 y 0°. Ensayo 1000 rayos

Antes de comenzar con el estudio del diseño óptimo del atenuador se muestra como varía el número de rayos que inciden sobre el receptor dependiendo de la inclinación de las lamas en los tres casos estudiados: 0°, 30° y 60°.

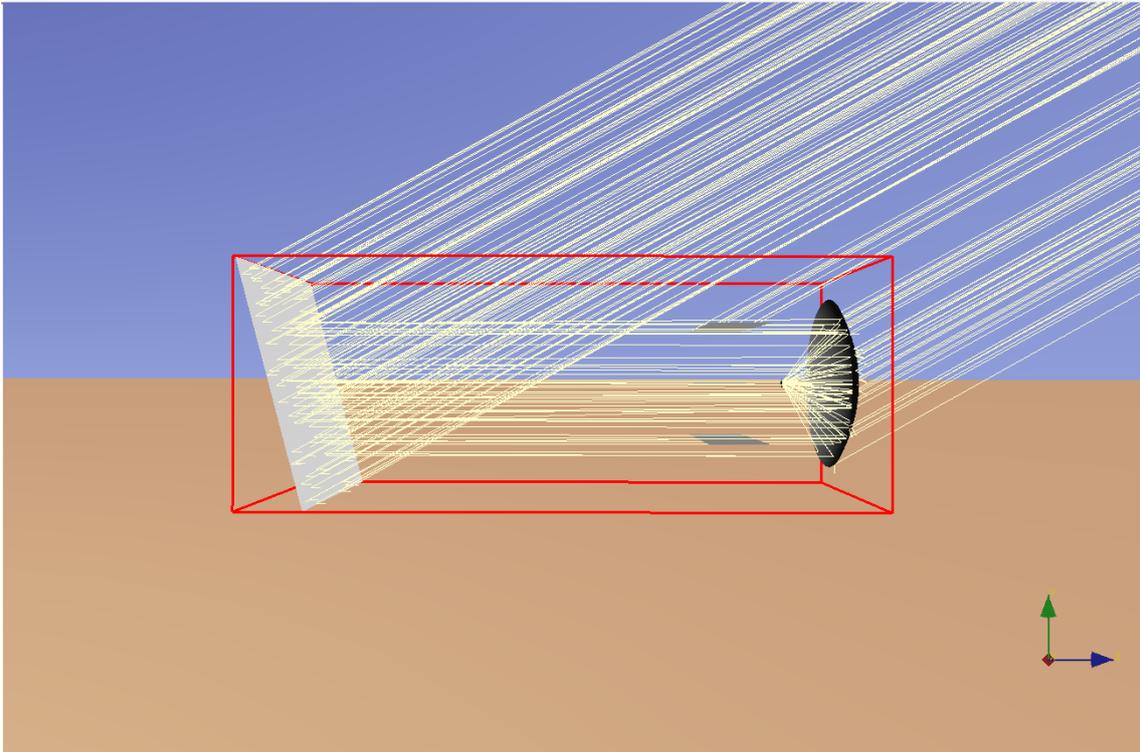


Figura 73. Incidencia solar sobre el receptor con inclinación de 0°

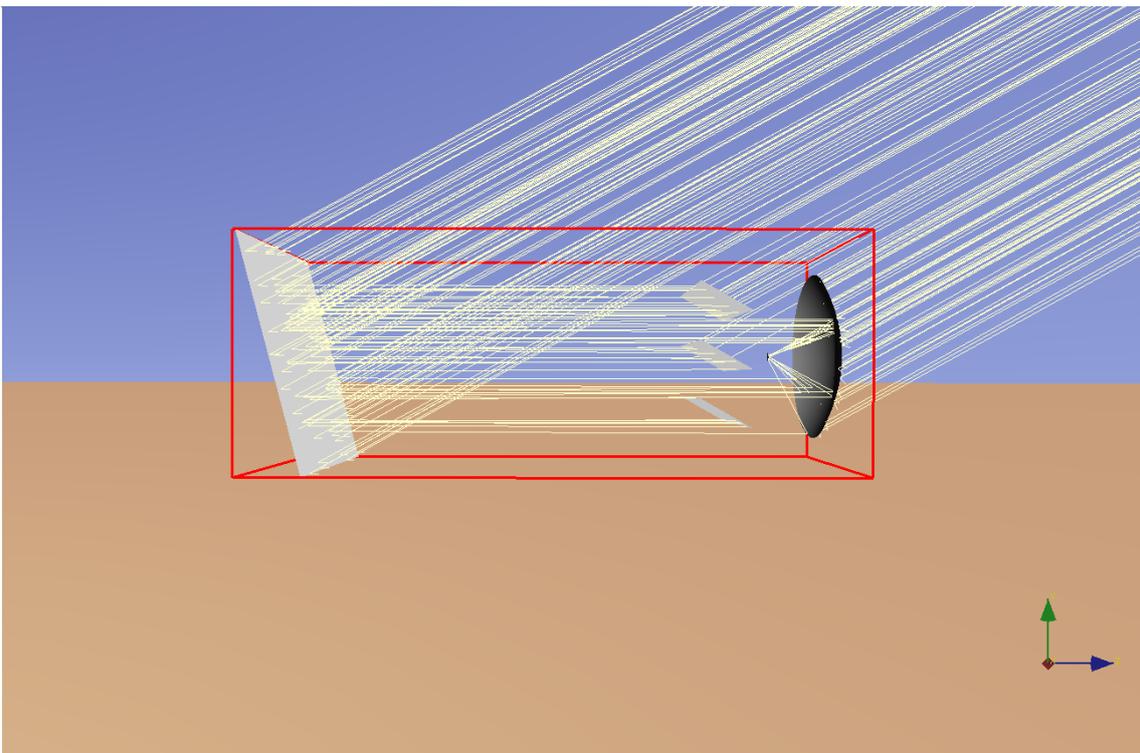


Figura 74. Incidencia solar sobre el receptor con inclinación de 30°

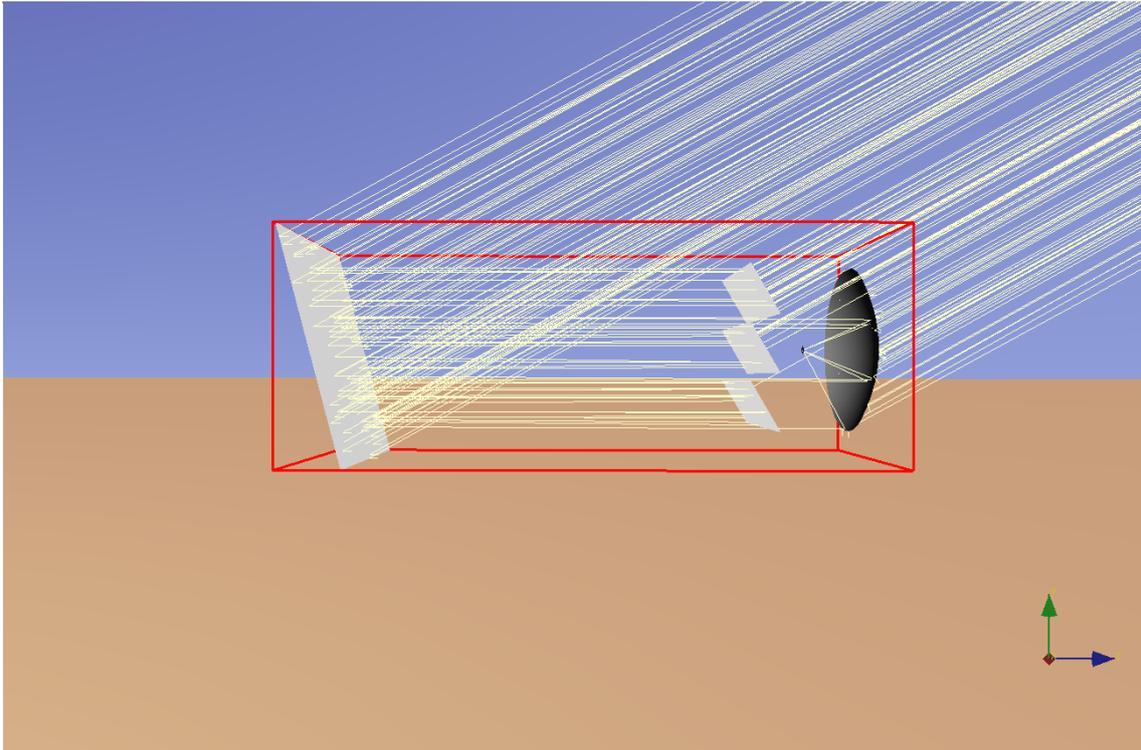


Figura 75. Incidencia solar sobre el receptor con inclinación de 60°

4.1. Ensayos del comportamiento en función de la inclinación y el grosor

En este punto se analiza los ensayos realizados para cada uno de los casos en los que las lamas del atenuador tienen una inclinación de 0° , 30° o 60° . En cada uno de los apartados de este punto se mostrará solamente las imágenes del diseño para cada una de las inclinaciones, pero no para los distintos grosores, puesto que es inapreciable la variación existente visualmente entre lamas de 1, 2 y 3 mm de grosor. Además se mostrará en una tabla los resultados obtenidos en cada uno de los ensayos dependiendo, como ya se ha dicho, de la inclinación de la lama.

4.1.1. Ensayos inclinación de 0°

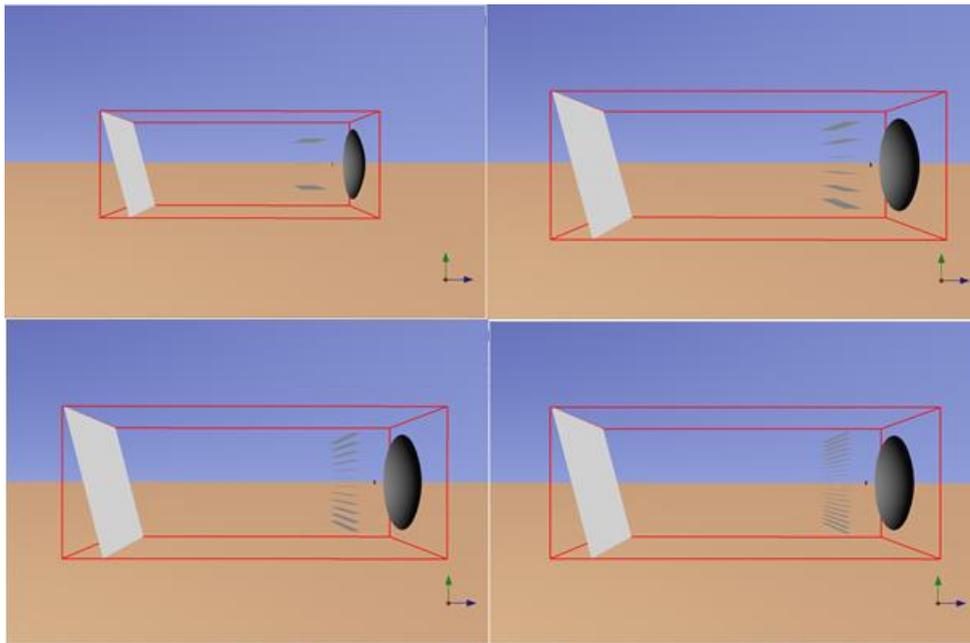


Figura 76. Diseño horno para los distintos atenuadores con inclinación de 0°

Angulo de inclinación	Grosor lamas [mm]	Tipo de atenuador			
		3X60	6X30	12X15	20X9
0°	1	2,22992	2,2312	2,23182	2,23206
	2	2,22672	2,22715	2,22477	2,22407
	3	2,2259	2,2192	2,21688	2,2268

Tabla 11. Potencia obtenida en kW para los distintos ensayo con una inclinación de 0°

4.1.2. Ensayos inclinación de 30°

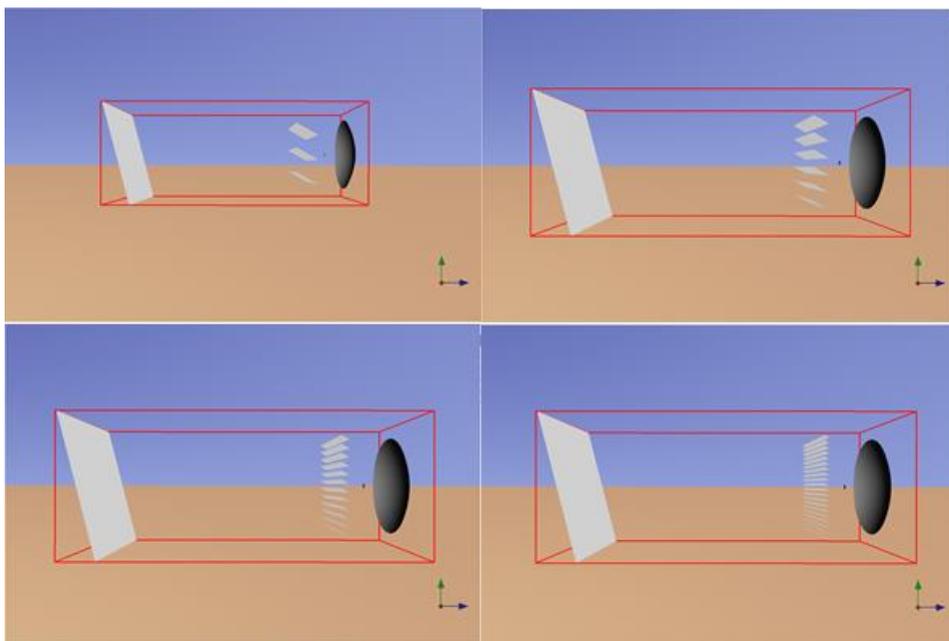


Figura 77. Diseño horno para los distintos atenuadores con inclinación de 30°

Angulo de inclinación	Grosor lamas [mm]	Tipo de atenuador			
		3X60	6X30	12X15	20X9
30°	1	1,07204	1,0991	1,11174	1,12404
	2	1,06893	1,09194	1,09573	1,092
	3	1,06588	1,06166	1,08138	1,09124

Tabla 12. Potencia obtenida en kW para los distintos ensayo con una inclinación de 30°

4.1.3. Ensayos inclinación de 60°

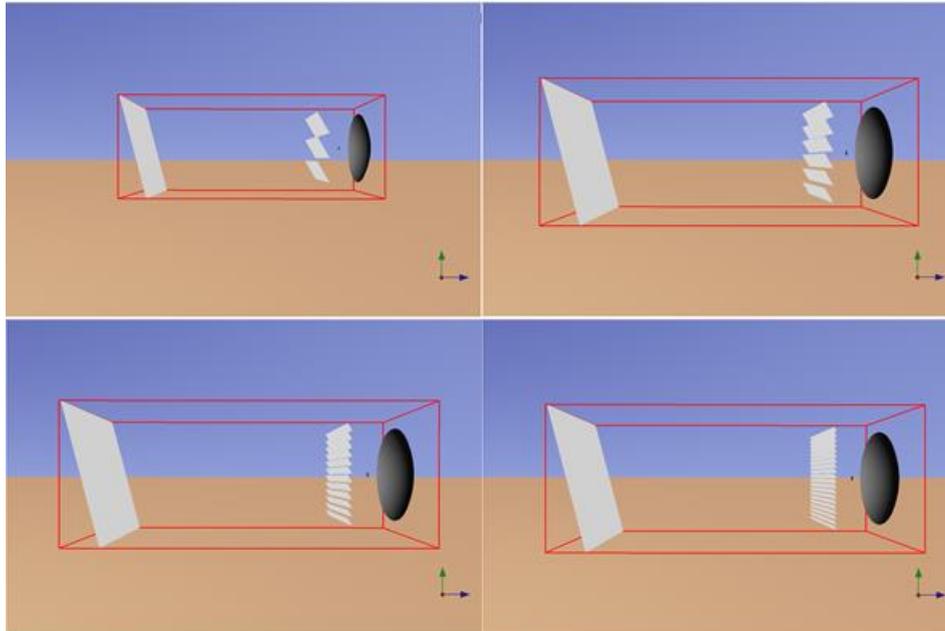


Figura 78. Diseño horno para los distintos atenuadores con inclinación de 60°

Angulo de inclinación	Grosor lamas [mm]	Tipo de atenuador			
		3X60	6X30	12X15	20X9
60°	1	0,266495	0,286158	0,295716	0,2985
	2	0,26465	0,279789	0,279934	0,272569
	3	0,261181	0,247742	0,265968	0,272903

Tabla 13. Potencia obtenida en kW para los distintos ensayo con una inclinación de 60°

4.1.4. Análisis y elección del óptimo

A la vista de los resultados, para los ensayos en los que el grosor es de 1 milímetro, siempre se obtiene la mayor potencia obtenida para el caso en el que hay mayor número de lamas, es decir, para el caso de 20 lamas de 9 centímetros de ancho. Esto es debido a que la radiación solar reflectada por el heliostato no es totalmente paralela, ya que dicha radiación se emite en forma de cono, el cono de reflexión, por lo tanto cuando menor sea el ancho de las lamas, menor será la fracción del cono de fotones que incidirá sobre las lamas del atenuador. La fig. 79 refleja dicha explicación.

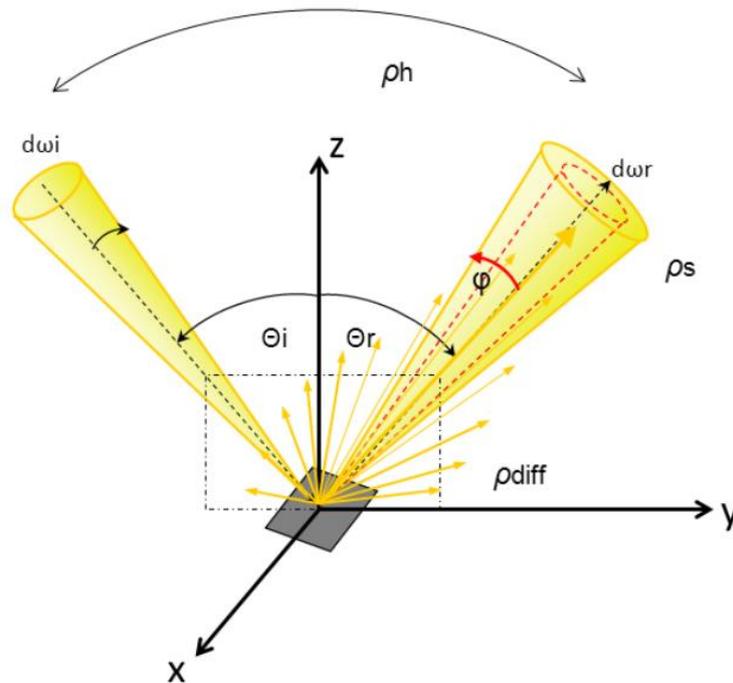


Figura 79. Cono de reflexión. [16]

Para los casos en los que el grosor es 2 milímetros la potencia máxima obtenida se encuentra en los intermedios, esto es producido porque en estos casos se contrarresta el efecto que produce en el grosor de la lamas contra el efecto mencionado anteriormente del cono de reflexión.

Por último, en el caso de mayor grosor, se ve como para 0° , el caso donde se obtiene mayor potencia es para el de menor número de lamas ya que este penaliza más que el cono de reflexión.

Puesto que interesa un caso intermedio que obtenga valores de garantía se decide elegir la opción del atenuador de 12 lamas de 15 centímetros de ancho con un grosor de las lamas de 2 milímetros. Este grosor es una valor típico en los atenuadores de los horno solares existentes.

4.2. Estudio del comportamiento del atenuador seleccionado

Llegado este punto, ya no queda más que exponer el estudio en profundidad de la potencia que se obtuvo en el caso seleccionado. Se realizó estudios para saber la potencia que se obtendría para distintas inclinaciones de las lamas, concretamente para 0° , 15° , 30° , 45° , 60° y 75° . Para cada una de estas inclinaciones la potencia obtenida si el radio fuera el 100%, 99%, 90%, 75%, 50%, 25% y 10%. Por último se calculó el valor del flujo máximo para cada una de las inclinaciones.

Se expondrá para cada uno de los siguientes apartados los datos obtenidos en función de la inclinación, dicha potencia vendrá expresada en kW.

4.2.1. Potencia obtenida para un ángulo de inclinación de 0°

% Radio	100%	99%	90%	75%	50%	25%	10%
Radio (cm)	4.5	4.46	4.05	3.37	2.25	1.13	0.45
Potencia (kW)	2.225	2.227	2.225	2.22	2.172	1.665	0.501

Tabla 14. Variación de la potencia [kW] en función del radio para inclinación de 0°

En este caso se produce un aumento de la potencia obtenida para el 99% del radio, esto es debido a que la optimización del radio del receptor se realizó a un decimal, por lo que aún se podría afinar un poco más en la precisión. No obstante, la variación de potencia es mínima. Se puede apreciar en la tabla 14 cómo la mayor parte de la incidencia de los rayos se produce en el centro del disco, que es la situación deseada para alcanzar una alta concentración en un punto localizado.

Para mayor detalle, se introduce una tabla en la que se incluye la fracción de potencia obtenida conforme menor porción del radio sea analizada.

% Radio	100%	99%	90%	75%	50%	25%	10%
Potencia obtenida (kW)	2.225	2.227	2.225	2.22	2.172	1.665	0.501
Fracción potencia obtenida	1	1	1	0.998	0.976	0.748	0.225

Tabla 15. Fracción de potencia obtenida en función del radio con inclinación de las lamas de 0°

Se confirma cómo la mayoría de la potencia obtenida se produce para el 50% del radio, lo cual confirma que se alcanzara altas concentraciones en el centro del receptor.

4.2.2. Potencia obtenida para un ángulo de inclinación de 15°

% Radio	100%	99%	90%	75%	50%	25%	10%
Radio (cm)	4.5	4.46	4.05	3.37	2.25	1.13	0.45
Potencia (kW)	1.64	1.639	1.639	1.633	1.603	1.231	0.37

Tabla 16. Variación de la potencia en función del radio para inclinación de 15°

Para una inclinación de 15° sucede lo mismo que para 0° y, como se verá más adelante, lo mismo que en el resto de los casos. Por lo que no habrá nada más que comentar.

% Radio	100%	99%	90%	75%	50%	25%	10%
Potencia obtenida	1.64	1.639	1.639	1.633	1.603	1.231	0.37
Fracción potencia obtenida	1	0.999	0.999	0.996	0.977	0.75	0.226

Tabla 17. Fracción de potencia obtenida en función del radio con inclinación de las lamas de 15°

4.2.3. Potencia obtenida para un ángulo de inclinación de 30°

% Radio	100%	99%	90%	75%	50%	25%	10%
Radio (cm)	4.5	4.46	4.05	3.37	2.25	1.13	0.45
Potencia (kW)	1.097	1.095	1.095	1.093	1.072	0.823	0.248

Tabla 18. Variación de la potencia en función del radio para inclinación de 30°

% Radio	100%	99%	90%	75%	50%	25%	10%
Potencia obtenida	1.097	1.095	1.095	1.093	1.072	0.823	0.248
Fracción potencia obtenida	1	0.998	0.998	0.996	0.977	0.75	0.226

Tabla 19. Fracción de potencia obtenida en función del radio con inclinación de las lamás de 30°

4.2.4. Potencia obtenida para un ángulo de inclinación de 45°

% Radio	100%	99%	90%	75%	50%	25%	10%
Radio (cm)	4.5	4.46	4.05	3.37	2.25	1.13	0.45
Potencia (kW)	0.633	0.631	0.634	0.632	0.62	0.477	0.143

Tabla 20. Variación de la potencia en función del radio para inclinación de 45°

% Radio	100%	99%	90%	75%	50%	25%	10%
Potencia obtenida	0.633	0.631	0.634	0.632	0.62	0.477	0.143
Fracción potencia obtenida	1	0.997	1	0.998	0.979	0.754	0.226

Tabla 21. Fracción de potencia obtenida en función del radio con inclinación de las lamás de 45°

4.2.5. Potencia obtenida para un ángulo de inclinación de 60°

% Radio	100%	99%	90%	75%	50%	25%	10%
Radio (cm)	4.5	4.46	4.05	3.37	2.25	1.13	0.45
Potencia (kW)	0.28	0.278	0.279	0.279	0.273	0.211	0.063

Tabla 22. Variación de la potencia en función del radio para inclinación de 60°

% Radio	100%	99%	90%	75%	50%	25%	10%
Potencia obtenida	0.28	0.278	0.279	0.279	0.273	0.211	0.063
Fracción potencia obtenida	1	0.993	0.996	0.996	0.975	0.756	0.225

Tabla 23. Fracción de potencia obtenida en función del radio con inclinación de las lamás de 60°

4.2.6. Potencia obtenida para un ángulo de inclinación de 75°

% Radio	100%	99%	90%	75%	50%	25%	10%
Radio (cm)	4.5	4.46	4.05	3.37	2.25	1.13	0.45
Potencia (kW)	0.06	0.06	0.06	0.059	0.058	0.044	0.013

Tabla 24. Variación de la potencia en función del radio para inclinación de 75°

% Radio	100%	99%	90%	75%	50%	25%	10%
Potencia obtenida	0.06	0.06	0.06	0.59	0.058	0.044	0.013
Fracción potencia obtenida	1	1	1	0.983	0.967	0.733	0.217

Tabla 25. Fracción de potencia obtenida en función del radio con inclinación de las lamas de 75°

4.2.7. Potencia obtenida para un ángulo

En este punto se desea mostrar una visión más generalizada de los datos obtenidos para ver cómo, en efecto, en cada uno de los casos la mayoría de los fotones inciden sobre el 50% interior de la superficie del receptor generando así la potencia.

% Radio	100%	99%	90%	75%	50%	25%	10%	
Radio (cm)	4.5	4.46	4.05	3.37	2.25	1.13	0.45	
Inclinación de las lamas	0°	2.225	2.227	2.225	2.22	2.172	1.665	0.501
	15°	1.64	1.639	1.639	1.633	1.603	1.231	0.37
	30°	1.097	1.095	1.095	1.093	1.072	0.823	0.248
	45°	0.633	0.631	0.634	0.632	0.62	0.477	0.143
	60°	0.28	0.278	0.279	0.279	0.273	0.211	0.063
	75°	0.06	0.06	0.06	0.059	0.058	0.044	0.013

Tabla 26. Variación de la potencia (en kW) en función del radio del receptor.

Se procede a mostrar las ilustraciones que permiten apreciar la acción del atenuador sobre el flujo solar incidente sobre el receptor. Se mostrará el diagrama de densidad, y los gráficos 3D de la incidencia del flujo solar sobre la superficie del receptor vistos frontalmente y en visión genérica.

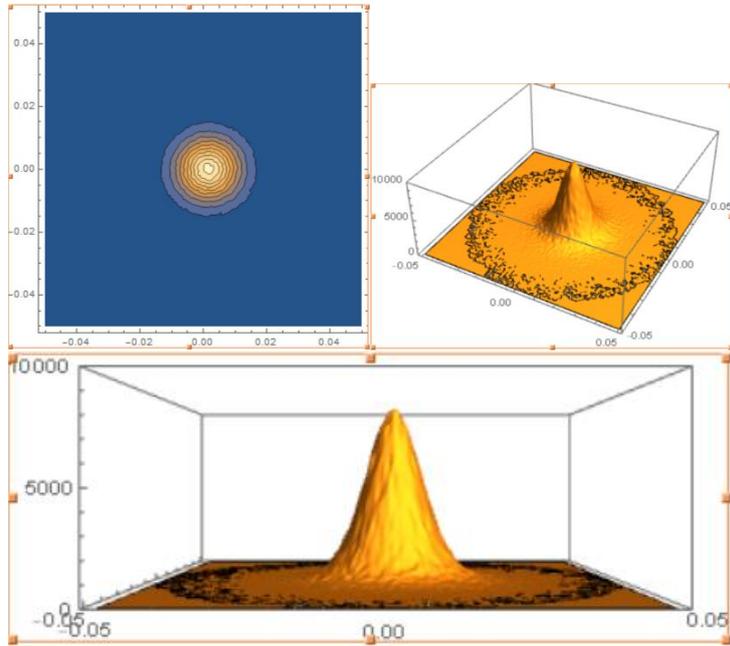


Figura 80. Ilustración para un ángulo de inclinación de 0°

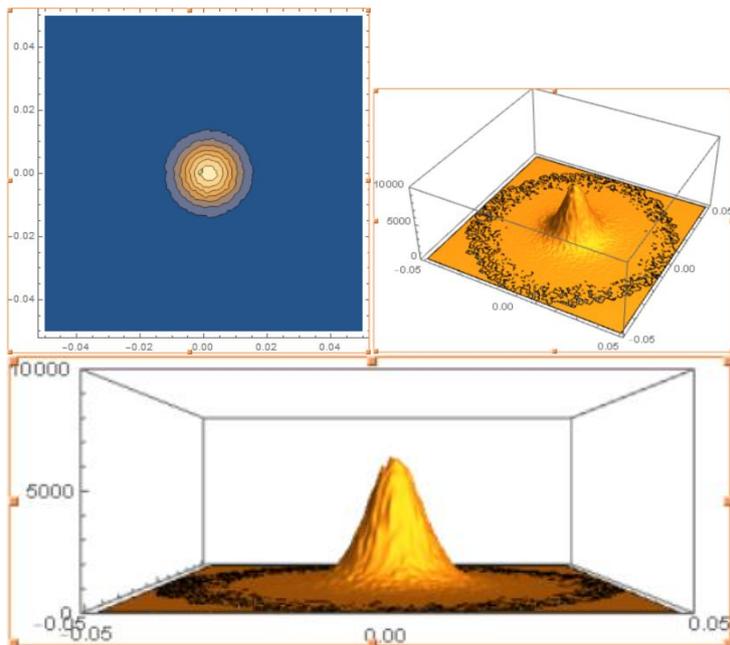


Figura 81. Ilustración para un ángulo de inclinación de 15°

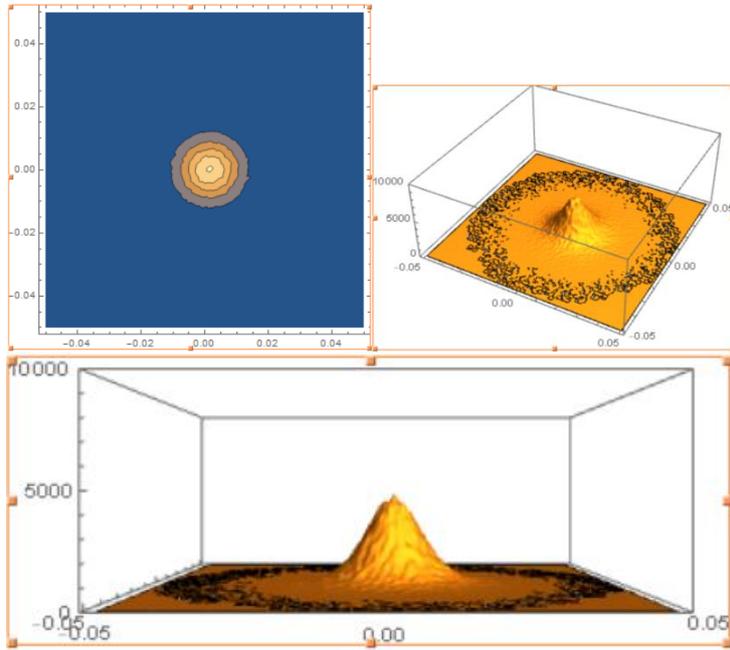


Figura 82. Ilustración para un ángulo de inclinación de 30°

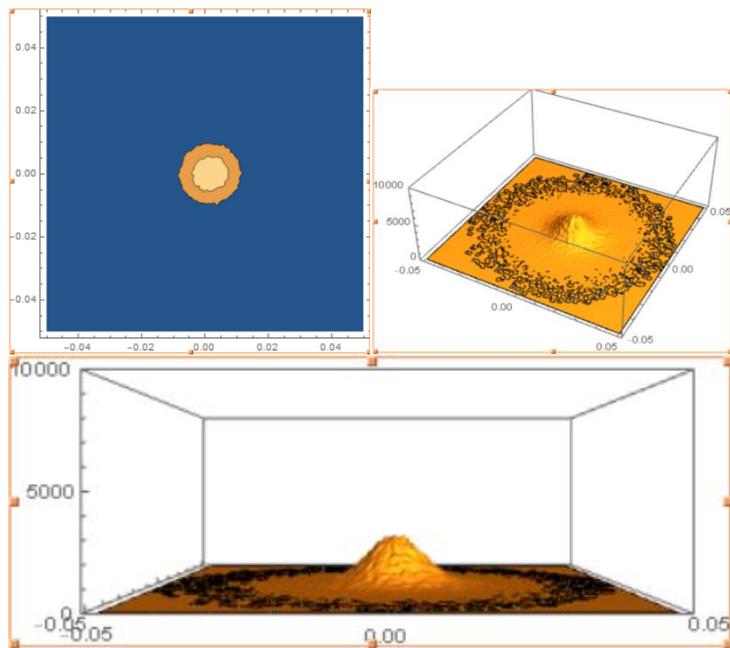


Figura 83. Ilustración para un ángulo de inclinación de 45°

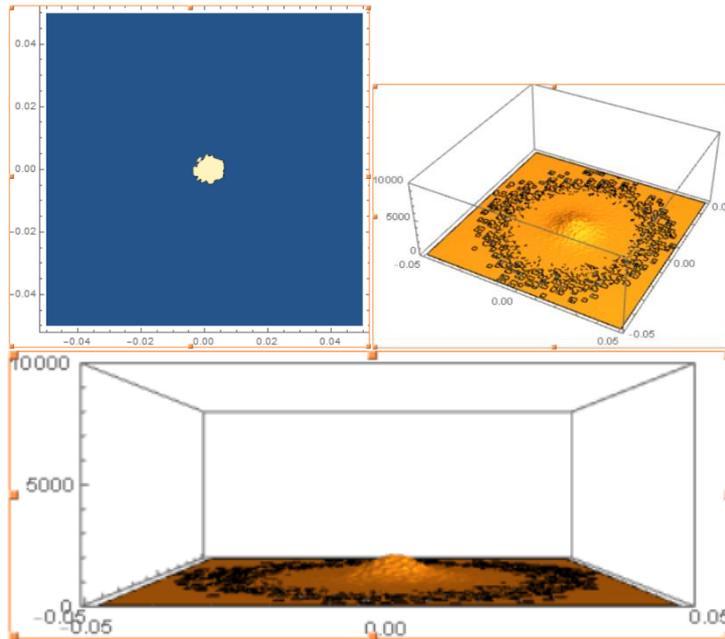


Figura 84. Ilustración para un ángulo de inclinación de 60°

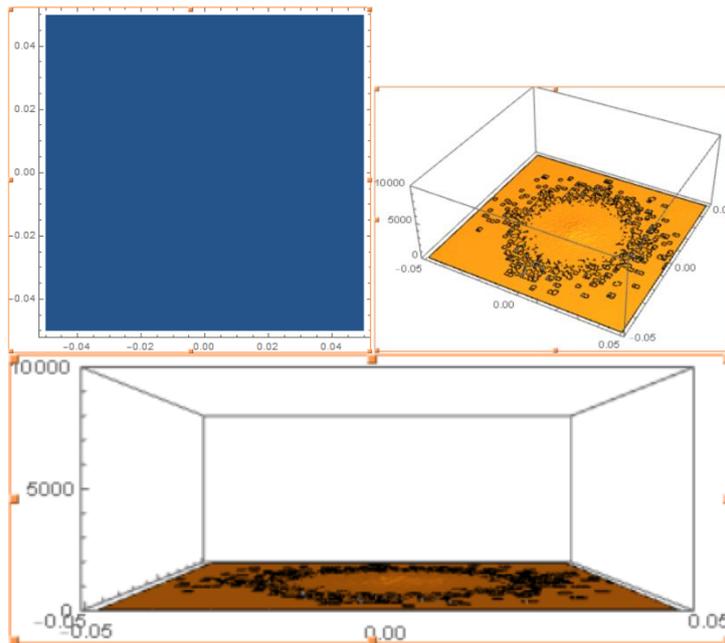


Figura 85. Ilustración para un ángulo de inclinación de 75°

Como reseña a la vista de estas últimas ilustraciones se nota, conforme mayor es el ángulo de inclinación de las lamas, una mayor difusión sobre las distribución del flujo que hace alcanzar concentraciones menores.

4.3. FLUJO MÁXIMO OBTENIDO EN FUNCIÓN DE LA INCLINACIÓN DE LAS LAMAS

Para concluir con el estudio del horno solar se han calculado los flujos máximos en cada uno de los casos con el radio del receptor óptimo, $r=0.045$ m, y con las distintas inclinaciones de las lamas estudiadas anteriormente.

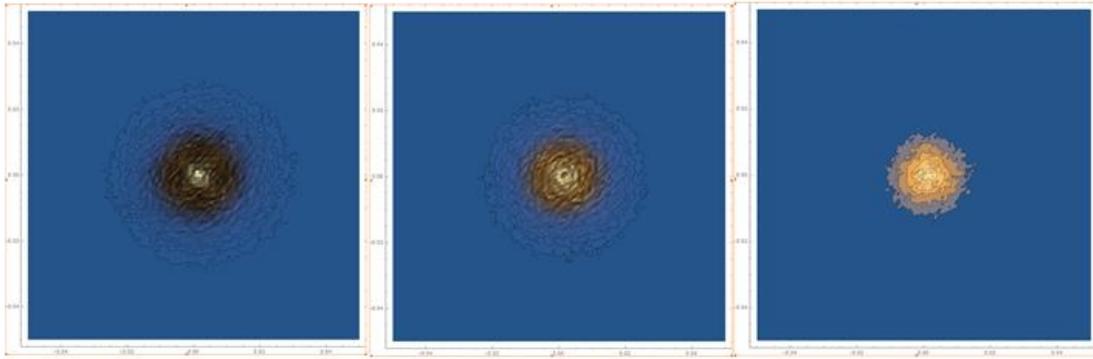


Figura 86. Mapas de densidades para distintos casos

Como se ve en la fig. 86 conforme mayor ángulo de inclinación, lo cual lleva a una menor concentración, se ven colores más claros en el mapa de densidad. Se ha realizado una tabla con los flujos máximos obtenidos.

	Casuística					
Ángulo de inclinación	0°	15°	30°	45°	60°	75°
Número de ensayo	46	53	60	67	74	81
Flujo máximo [kW/m²]	9310	6909	4802	2646	1274	294

Tabla 26. Flujos máximos obtenidos en función de la inclinación de las lamas

A la vista de los resultados obtenidos se ve como disminuye el flujo máximo obtenido sobre la zona central del receptor conforme menor apertura entre las lamas haya. Estos resultados tienen lógica puesto que, como ya se ha estudiado anteriormente, conforme mayor inclinación de las lamas menor concentración se produce.

5. CONCLUSIÓN

El objetivo de este proyecto ha sido el diseño de un pequeño horno solar, incluyendo un elemento atenuador de lamas. que permite regular la potencia y la relación de concentración en el receptor. En este diseño se han tenido en cuenta las restricciones físicas que impone el lugar elegido para la instalación, la azotea del edificio de laboratorios L1 de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería.

Todo el proceso de simulación se ha llevado a cabo con el software de trazado de rayos Tonatiuh. A partir de los resultados proporcionados por este último, y con ayuda de Mathematica para el procesamiento de los datos obtenidos, se calculó, como ya se ha mencionado, la potencia obtenida y se ha caracterizado el flujo de radiación concentrada sobre el receptor.

Cabe mencionar que todos los ensayos o simulaciones fueron realizados en las condiciones del mediodía solar en el solsticio de invierno y con una irradiancia de 1000 W/m^2 . La potencia máxima obtenida en estas condiciones y sin la implementación del atenuador es 2.24 kW. Sin embargo, una vez introducido el atenuador en las simulaciones, desciende ligeramente dicha potencia hasta 2.224 kW.

Antes de la introducción del atenuador en el sistema se realizaron dos análisis iniciales para la mejor definición de la instalación de los cuales cabría mencionar lo siguiente:

1. Es fundamental a la hora de la construcción ser muy precisos con la distancia focal ya que se ha comprobado que una desviación de solo 3.5 centímetros ya produce pérdidas y efectos negativos sobre el óptimo funcionamiento del horno solar y una difusión de la radiación solar sobre el receptor.
2. El radio óptimo del receptor es de 4.5 centímetros ya que para este valor se obtiene la máxima potencia. Esto es debido al equilibrio entre dos efectos contrapuestos: la minimización de la sombra que el receptor produce y la maximización de la superficie receptora para recibir el máximo número de rayos posibles.

A partir de este punto se optimizaron las características de la cortina reguladora en función de los siguientes criterios: número de lamas y, por tanto, el ancho de las mismas y grosor de estas para distintas inclinaciones. Se optó por un atenuador de 12 lamas de 15 centímetro cada una de ellas de ancho y un grosor de 2 milímetros, pudiendo obtenerse una potencia máxima a máxima apertura de las lamas de 2.224 kW.

Este proyecto va orientado a una futura instalación en la que el factor más determinante, de cara a su buen funcionamiento, será la precisión de la construcción, como ponen de manifiesto los análisis realizados, que muestran que pequeñas desviaciones en la distancia entre concentrador y receptor producirán variaciones relativamente grandes de potencia y relación de concentración.

- [1] Pérez Encino, R. A. (2015). "Caracterización óptica y térmica del horno solar del IER". Tesis doctoral. Universidad Nacional Autónoma de México.
- [2] Sánchez Medina, F. (2016). "Diseño y análisis de un pequeño horno solar con Tonatiuh". Trabajo Fin de Grado. Universidad de Sevilla.
- [3] "Concentrator Options"
<http://powerfromthesun.net/Book/chapter08/chapter08.html#8.2%20Parabolic%20Geometry>. Acceso marzo 2017
- [4] "What is the temperature ranges for various purposes?"
<http://www.innovateus.net/alternative-energy/what-solar-furnace>. Acceso diciembre 2016
- [5] "Sandia Solar Furnace". <http://energy.sandia.gov/energy/renewable-energy/solar-energy/csp-2/nsttf/>. Acceso enero 2017
- [6] "sf60 ". <http://www.psa.es/en/instalaciones/hornos/sf60.php>. Acceso diciembre 2016
- [7] "sf40 ". <http://www.psa.es/en/instalaciones/hornos/sf40.php>. Acceso diciembre 2016
- [8] "sf5 ". <http://www.psa.es/en/instalaciones/hornos/sf5.php>. Acceso diciembre 2016
- [9] "Pinza de laboratorio". <https://www.tplaboratorioquimico.com/laboratorio-quimico/materiales-e-instrumentos-de-un-laboratorio-quimico/pinza-de-laboratorio.html>. Acceso enero 2017
- [10] "Fijación de varillas roscadas".
<https://www.hilti.es/content/hilti/E2/ES/es/products/productos/outillage-electroportatif-professionnel/fijacion-directa/fixation-clouage-electriciens-plombiers/clouage-plombier-electricien1.html#id-fijacio-n-de-varillas-roscadas-childsection>. Acceso enero 2017
- [11] "Mirror Types". http://www.greenrhinoenergy.com/solar/technologies/solar_glass.php. Acceso Diciembre 2016. Acceso enero 2016
- [12] "Altura solar"
https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=es. Acceso diciembre 2016
- [13] Blázquez Carnerero, R. (2011). "ESTUDIO DE LA DISTRIBUCIÓN DE FLUJO Y FACTOR DE DESBORDAMIENTO DE UN SISTEMA DE DISCO PARABÓLICO"
- [14] Heimsath, A., T. Schmid, and P. Nitz. "Angle resolved specular reflectance measured with VLABS." *Energy Procedia* 69 (2015): 1895-1903.

[15] "Horno Solar de Alto Flujo Radiativo HoSIER"

<http://www.concentrationsolar.org.mx/instalaciones/horno-solar-de-alto-flujo-radiativo-hosier>. Acceso enero 2017

[16] B. Stine, William and W. Harrigan, Raymond, "SOLAR ENERGY FUNDAMENTALS AND DESIGN: WITH COMPUTER APPLICATIONS", 1985. ISBN 0-471-88718-8

[17] H. P. Garg, "Advances in Solar Energy Technology. Volume 2: Industrial Applications of Solar Energy", pp 168-235, 1987. ISBN 978-94-010-8188-7

[18] "Tonatiuh"

<https://code.google.com/archive/p/tonatiuh/>. Acceso enero 2017

[19] "tonatiuh - Tutorial_ParabolicDish_V201.wiki"

https://code.google.com/archive/p/tonatiuh/wikis/Tutorial_ParabolicDish_V201.wiki. Acceso enero 2017

A. Anexo 1. Catálogo Televés

Antenas parabólicas

54

OF OFF-SET

Descripción

Diseñadas utilizando los más modernos programas de C.A.D. para garantizar el máximo rendimiento de la antena. Están fabricadas en duraluminio ó acero y recubiertas de un acabado de pintura de poliéster aplicada electrostáticamente para evitar su deterioro con el tiempo.

Prestaciones

Han sido diseñadas y fabricadas para garantizar una larga vida en condiciones medioambientales adversas.



GAMA DE PRODUCTOS		COD. LOGICA
Ref.	Denominación	
9305	OFFSET 450 AL	OF P45
9306	OFFSET 600 AL	OF P60
9310	OFFSET 800 AL	OF P80
7383	OFFSET 1000 AL	OF P100
7535	OFFSET 600 FE	
7536	OFFSET 800 FE	
7534	OFFSET 1000 FE	

CARACTERISTICAS TECNICAS				
Referencia	9305	9306	9310	7383
	7535	7536	7534	7534
Díámetro (mm)	450	600	800	1000
Ganan. a 11.7 GHz (dB)	34,0	36,0	36,0	41
Ancho de banda (GHz)	10,75 a 12,75	10,75 a 12,75	10,75 a 12,75	10,75 a 12,75
Angulo OFFSET (°)	26,5	26,5	26,5	26,5
Espesor (mm)	1,5	1,5	1,5	2,5
Angulo de elevación (°)	30-80	30-80	30-80	30-80

	450	600	800	1000
AL	9305 9305(10)	9306 9306(10)	9310 9304(5)	7383 9306(5)
FE		7535 7545(10)	7536 7546(5)	7534 7543(5)
	7383	7493	7390	7390

OF Accesorios

Descripción

Accesorios galvanizados y/o tratados con R.P.F.L. para aumentar su protección a la oxidación.

Aplicaciones

Fijan los discos al suelo o pared, dotando a la instalación de la rigidez y resistencia al viento necesaria.

Prestaciones

Gracias a su cuidado diseño facilitan tanto el montaje como el ajuste de los sistemas en los que se incluyen.

GAMA DE PRODUCTOS		COD. LOGICA
Ref.	Denominación	
7383	Soporte Offset 450 - 600	OF ACC 7383
7390	Base parabola 800 - 900	OF ACC 7390
7394	Base 2 Antenas Offset 450 - 800	OF ACC 7394
7493	Soporte pared	OF ACC 7493

Televés

Antenas parabólicas

56

FC Foco centrado



GAMA DE PRODUCTOS

Ref.	Denominación	COD. LOGICA
7434	Diámetro 1,2 m.	FC P129
7435	Diámetro 0,9 m.	FC P20
9314	Diámetro 2,2 m. c.isop. focal	FC P223
9316	Diámetro 1,8 m. c.isop. focal	FC P169
9317	Diámetro 1,5 m. c.isop. focal	FC P158

CARACTERISTICAS TECNICAS

Referencia	7435	7434	9317	9316	9314
Diámetro (mm)	900	1200	1500	1800	2200
Ancho de banda (GHz)	10,75 a 12,75				
Ganancia a 11 GHz (dB)	36,0	41,5	43,1	44,8	46,5
Distancia focal (mm)	384	512	630	765	925
Espesor (mm)	2	2	2	3	3
Peso del sistema (Kg)	6,4	11,4	47,0	56,2	118,0

FC Accesorios

GAMA DE PRODUCTOS

Ref.	Denominación	COD. LOGICA
7389	Soporte fijo parábola 900 mm.	FC ACC 7389
7391	Soporte fijo parábola 1200 mm.	FC ACC 7391
7384	Soporte fijo parábola 1500 mm.	FC ACC 7384
7387	Soporte fijo parábola 1800 mm.	FC ACC 7387
7362	Base parábola 1200 mm.	FC ACC 7362
7365	Base parábola 1500-1800 mm.	FC ACC 7365
7343	Brazo motor parábola de 1200 mm.	FC TRC P120
9333	Brazo motor parábola de 1500 y 1800 mm.	FC TRC P169
7342	Accesorios montaje brazo parábola de 1200 mm.	FC ACC 7342
7386	Accesorios montaje brazo parábola de 1500 mm.	FC ACC 7386
7388	Accesorios montaje brazo parábola de 1800 mm.	FC ACC 7388

	900	1200	1500	1800	2200
FIJAS	<p>7435 7389 7390</p>	<p>7434 7391 7392</p>	<p>9317 7384 7385</p>	<p>9316 7387 7385</p>	<p>9314 9385</p>
MOVILES		<p>7434 7342 7343 7392</p>	<p>9317 7386 9333 7385</p>	<p>9316 7388 7385 9333</p>	

Televés

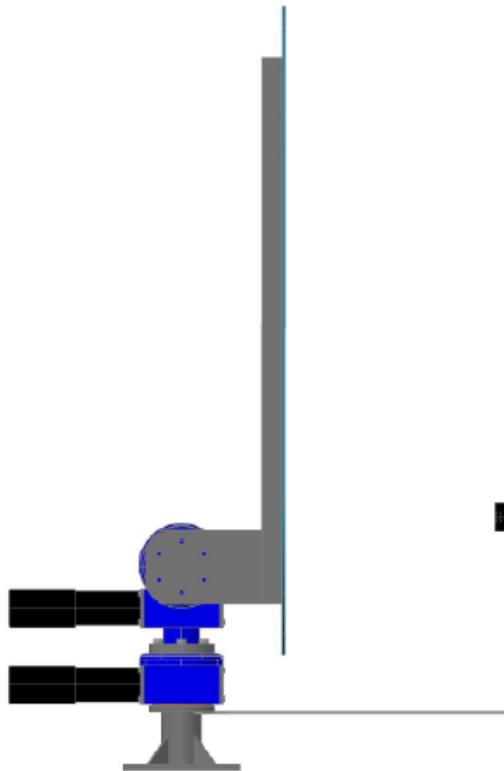
B. Anexo 2. Manual SIR



MANUAL DE INSTALACIÓN
SISTEMA DE ILUMINACIÓN SOLAR

Página: 1 of 14
Versión: 1.06

MANUAL DE INSTALACIÓN SISTEMA DE ILUMINACIÓN SOLAR – SIR –



Solar MEMS Technologies S.L. CIF. B-91794131. Parque Científico y Tecnológico Cartuja'93
c/ Leonardo da Vinci 18, Tecnolincubadora Marie Curie, Planta 1, Módulo 2-41092 Sevilla, SPAIN
Teléfono: +34-95-446 01 13 Fax: 34-95-446 01 13 E-Mail: smt@solar-mems.com

INTRODUCCIÓN

Este manual describe como realizar la instalación mecánica y eléctrica del sistema de iluminación solar llamado SIR, de Solar MEMS.



ATENCIÓN: LEA ESTE DOCUMENTO DETENIDAMENTE ANTES DE REALIZAR LA INSTALACIÓN.

Asistencia técnica

Contacte con Solar MEMS si necesita asistencia técnica sobre la instalación y/o manejo del SIR. Puede enviar un email describiendo su problema a la dirección smt@solar-mems.com. Le responderemos lo antes posible.

Personal cualificado

La instalación y puesta en marcha del producto presentado en este documento debe ser realizada solo por personal cualificado para la tarea. Todas las indicaciones de este documento deben ser tenidas en cuenta. Solo personal cualificado podrá reconocer los riesgos resultantes de la manipulación y el manejo del producto presentado para evitar daños personales, de acuerdo con su aprendizaje y experiencia.

Responsabilidad limitada

El fabricante no asume ninguna responsabilidad debida a: manipulación indebida, instalación no adecuada, reparaciones ineficientes, modificaciones no autorizadas por el fabricante, uso de piezas de repuesto no reconocidas por el fabricante, o daños por no haber seguido las indicaciones de este manual.

No se considerarán reclamaciones derivadas de los detalles, ilustraciones y descripciones de este manual.

La incorrecta instalación puede causar daños a las personas.

El fabricante se reserva el derecho a realizar cambios en el producto, la información técnica, o el servicio, sin necesidad de notificar sobre ello.

La utilización de este producto para aplicaciones no definidas por el fabricante es responsabilidad del usuario.



ATENCIÓN: LA GARANTIA DEL PRODUCTO QUEDARA ANULADA SI ABRE EL EQUIPAMIENTO, LO UTILIZA DE FORMA INAPROPIADA, O NO SE SIGUEN LAS INSTRUCCIONES DESCRITAS EN ESTE MANUAL PARA SU INSTALACIÓN.

Peligros

Solo personal cualificado debe trabajar con este producto, y debe familiarizarse con todas las indicaciones especificadas en este manual.

Cinco reglas de seguridad:

En todo trabajo de manipulación de equipamiento eléctrico se deben tener en cuenta las cinco reglas de seguridad de acuerdo con la normativa EN 50110.

1. Desconexión y aislamiento de la alimentación eléctrica.
2. Protección contra reconexiones accidentales.
3. Asegurar que no existe voltaje.
4. Poner a tierra el sistema.
5. Cubrir o delimitar las partes con voltaje.

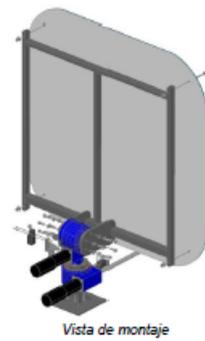
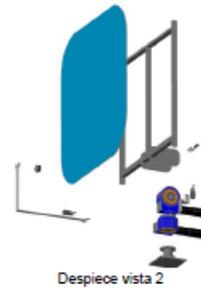
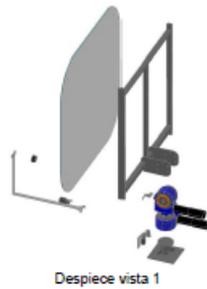
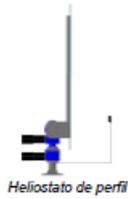
Un uso inapropiado, el manejo incorrecto o el mantenimiento inapropiado, pueden provocar heridas personales o dañar el material.

El personal responsable de la seguridad de la instalación debe asegurar lo siguiente:

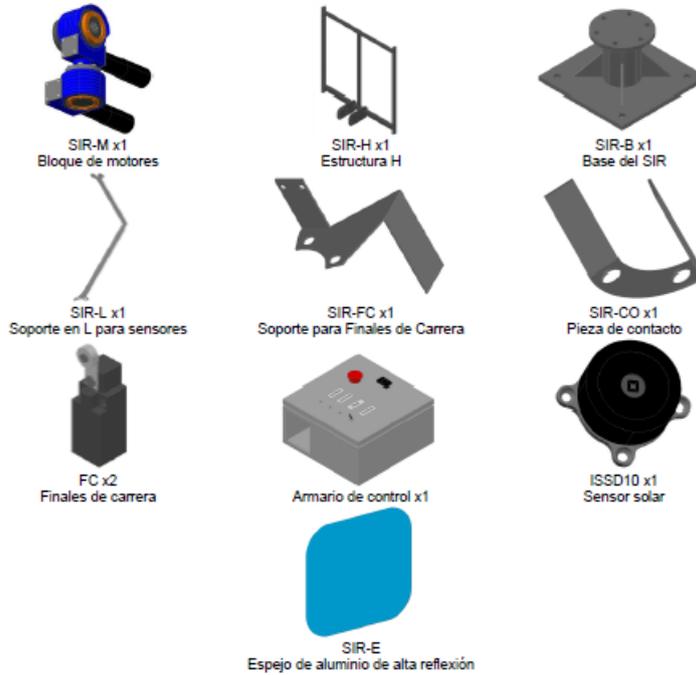
- La instalación, el transporte, el ensamblado, y el mantenimiento son realizados o supervisados por personal cualificado.
- La documentación referida al producto está disponible siempre.
- La información e instrucciones técnicas relacionadas con el montaje, la instalación y el conexionado son tenidas en cuenta.
- Los estándares de seguridad y el equipamiento de seguridad son utilizados siempre.
- Trabajar con el sistema o cerca de él queda restringido al personal cualificado.

INSTALACIÓN

El sistema de iluminación solar SIR es un sistema mecánico con partes móviles, fabricado en acero inoxidable. Incluye un espejo que es irrompible ya que está fabricado en aluminio y reforzado con una lámina polietileno.



Lista de piezas mecánicas



Otros componentes electrónicos

- 2x Cable de 4 metros con conector para motores.
- 1x Anemómetro.

Lista de tornillería

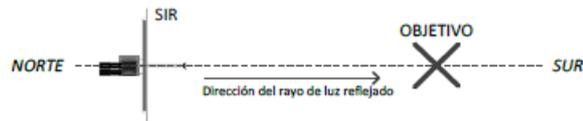
- 18x tornillo Allen M10x25 y arandelas M10.
- 4x tornillo M8x70, tuercas M8, arandelas M8 y arandelas de caucho M8.
- 3x tornillo M4x16 avellanado y tuercas M4.
- 4x tornillo M4x30 y tuercas M4.

Lista de herramientas necesarias

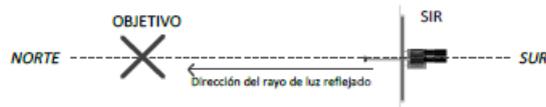
- Llave fija nº 7 para tornillos M4.
- Llave fija nº 13 para tornillos M8.
- Llave Allen nº 8 para tornillos M10.
- Destornillador de cabeza plana para tornillos M8.

PASO 1: REGLAS DE INSTALACIÓN

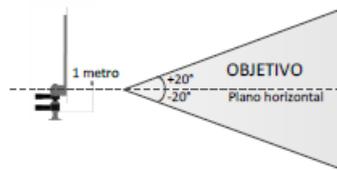
- Determine el lugar o la superficie que desee iluminar. Éste será su objetivo a iluminar.
Por ejemplo: una ventana, una fachada oscura, un espejo fijo, etc.
- Según dónde esté usted localizado:
 - Si está usted localizado en el hemisferio norte, el SIR debe instalarse al norte del objetivo y orientado hacia el sur.



- Si está usted localizado en el hemisferio sur, el SIR debe instalarse al sur del objetivo y orientado hacia el norte.



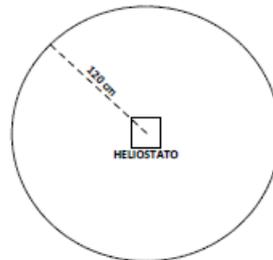
- El SIR debe estar situado lo más cerca posible sobre la dirección que atraviesa el objetivo y que va de norte a sur o de sur a norte.
- El SIR debe instalarse tal que el objetivo deba estar situado con los siguientes límites:
 - Distancia al SIR: mínimo de 1 metro, máximo de 50 metros.
 - Respecto del plano horizontal:
 - 20° por encima.
 - 20° por debajo.



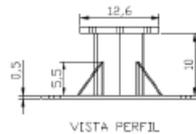
ATENCIÓN:
RESPETE LAS REGLAS DESCRITAS.
SI TIENE CUALQUIER DUDA SOBRE LA INSTALACIÓN, CONSULTE CON SU
DISTRIBUIDOR O EL FABRICANTE.

PASO 2: ESPACIO LIBRE PARA LA INSTALACIÓN

El SIR debe instalarse sobre una superficie horizontal y libre de obstáculos en un entorno circular de al menos 1,2 metros de radio desde la base del mismo, hasta una altura de 2 metros. De esta manera se asegura un espacio libre a las piezas móviles del Heliostato y se evitan accidentes y roturas.

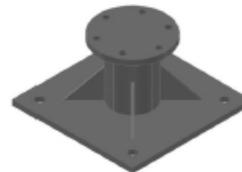
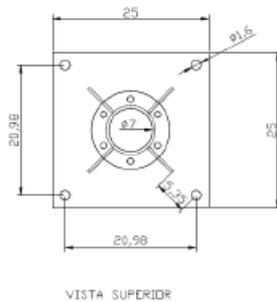


PASO 3: INSTALACIÓN DE LA BASE



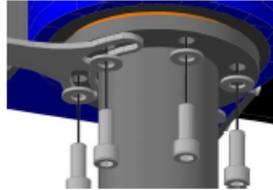
Cada Heliostato tiene una base cuadrada de 25x25 cm de acero inoxidable con cuatro agujeros de M16, con las dimensiones indicadas.

La instalación se realiza en un suelo horizontal, y se puede hacer mediante soldadura o mediante atornillado aprovechando los 4 agujeros de métrica 16. Se deben usar tornillos de acero inoxidable.



PASO 4: MONTAJE DE LOS MOTORES Y SOPORTE L

1. Colocar los motores sobre la base y alinear los agujeros para colocar posteriormente los tornillos.
2. Colocar los dos tornillos que están a la espalda del apuntamiento para asegurar el motor:
 - Usar 2 tornillos Allen M10x25 con arandelas M10, usando pasta fijadora de tornillos.
3. Colocar el soporte L en la dirección del objetivo, y alinear con dos de los cuatro agujeros restantes para poder atomillarlo a la base:
 - Usar 2 tornillos Allen M10x25 con arandelas M10, usando pasta fijadora de tornillos.
4. Atomillar los agujeros que faltan:
 - Usar 2 tornillos Allen M10x25 con arandelas M10, usando pasta fijadora de tornillos.

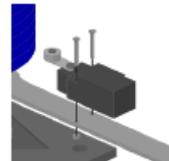


PASO 5: MONTAJE DE LOS SENSORES

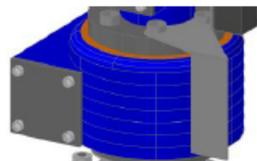
1. (a) Colocar el sensor solar en el soporte en L:
 - Usar 3 tornillos M4x16 avellanado y tuercas M4.
 - Colocar bridas para sujetar el cable del sensor solar bajo el soporte en L.
2. (b) Colocar el final de carrera AC (acimutal) sobre el soporte en L:
 - Usar 2 tornillos M4x30 y tuercas M4.
 - Colocar una brida para sujetar el cable del final de carrera bajo el soporte en L.
3. (c) Colocar la pieza de contacto sobre el motor en los dos tornillos del lateral izquierdo, frontal.
 - Desatomillar los dos tornillos frontales, colocar la pieza SIR-FC, y atomillar de nuevo con pasta fijadora de tornillos.
4. (d) Colocar el final de carrera EL (elevación) sobre la pieza SIR-FC.
 - Usar 2 tornillos M4x30 y tuercas M4.



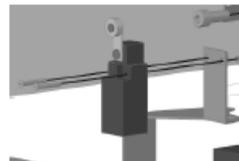
(a) Vista superior



(b) Vista lateral



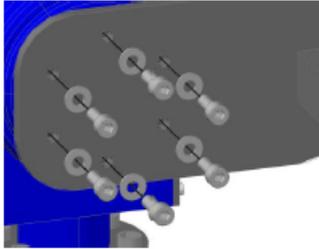
(c) Vista lateral



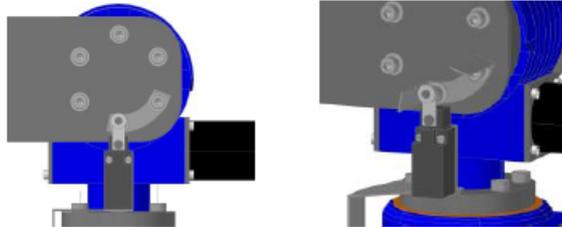
(d) Vista lateral

PASO 6: MONTAJE DE LA ESTRUCTURA H

- Colocar la estructura H sobre el motor, en posición horizontal, y atornillar la cartela derecha:
 - Usar 6 tornillos Allen M10x25 y arandelas M10, empleando pasta fijadora de tornillos.

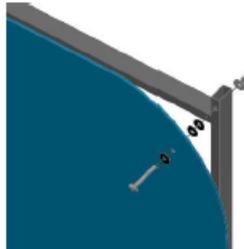


- Colocar la pieza SIR-CO sobre la cartela izquierda y atornillar:
 - Usar 6 tornillos Allen M10x25 y arandelas M10, empleando pasta fijadora de tornillos.



PASO 7: MONTAJE DEL ESPEJO

- Colocar el espejo sobre la estructura H y alinear los agujeros:
 - Usar 4 tornillos M8x70, tuercas M8, arandelas M8 y arandelas de caucho M8.
 - Utilizar 2 arandelas de caucho entre el espejo y la estructura.

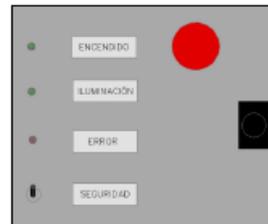


PASO 8: MONTAJE DE LA ELECTRONICA

1. Instalar la caja de control a no más de 3 metros de la base del SIR.
2. Pulsar la seta de emergencia.
3. Seguir las instrucciones indicadas en el interior de la caja de control para cablear los diferentes elementos del Sistema de iluminación solar SIR (de derecha a izquierda):
 - a. Cablear un Puente entre los terminales RCOM, solo en la caja con identificador más alto.
 - b. Cablear un Puente entre los terminales RTC.
 - c. Anemómetro: solo se conecta en la caja de control con identificador 1.
 - d. Comunicaciones externas: COM.
 - e. El sensor solar: ISS.
 - f. Los dos finales de Carrera.
 - g. Los motores:
 - i. 4 hilos para los encoders: GND, 5V, A y B.
 - ii. Dos hilos para potencia: + y -.
 - h. Alimentación externa: 220V y 50Hz.

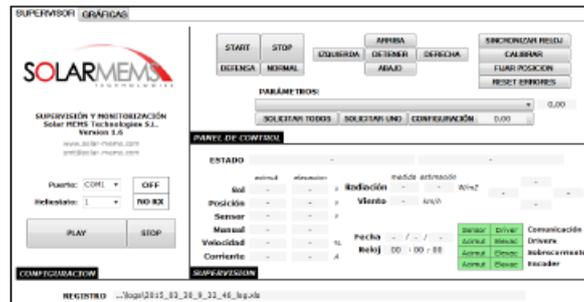
1	230V (P)	Alimentación fase
2	230V (N)	Alimentación neutro
3	GND	Tierra
4	MOTOR AC +	Cable motor acimutal: 2
5	MOTOR AC -	Cable motor acimutal: 1
6	MOTOR EL +	Cable motor cenital: 2
7	MOTOR EL -	Cable motor cenital: 1
8	ENCODER AC 1	Cable motor acimutal: 5
9	ENCODER AC 2	Cable motor acimutal: 6
10	ENCODER AC 5V	Cable motor acimutal: 4
11	GND	Cable motor acimutal: 3
12	ENCODER EL 1	Cable motor cenital: 5
13	ENCODER EL 2	Cable motor cenital: 6
14	ENCODER EL 5V	Cable motor cenital: 4
15	GND	Cable motor cenital: 3
16	FINAL CARRERA AC	Final de carrera sobre soporte L
17	GND	
18	FINAL CARRERA EL	Final de carrera sobre chapa vertical
19	GND	
20	ISS 5V	Sensor solar cable rojo
21	ISS GND	Sensor solar cable azul y malla
22	ISS RS485 +	Sensor solar cable amarillo
23	ISS RS485 -	Sensor solar cable verde
24	COM RS485 +	Red de heliostatos: cable +
25	COM RS485 -	Red de heliostatos: cable -
26	COM GND	Red de heliostatos: cable GND
27	ANEMOMETRO +	Cable de anemómetro
28	ANEMOMETRO -	
29	PUENTE RTC	
30	PUENTE RTC	Puente
31	PUENTE RCOM	
32	PUENTE RCOM	Puente

4. Liberar la seta de emergencia.
5. Activar el magneto-térmico para encender la caja de control.
6. La luz de encendido debe permanecer encendida.
7. La luz de error debe permanecer apagada.
8. La luz de iluminación debe permanecer apagada.



PASO 9: PUESTA EN MARCHA

1. Para realizar la puesta en marcha se debe conectar un ordenador a uno de los armarios de control de la instalación, en los puertos COM RS485 (terminales 24, 25 y 26), utilizando un convertidor USB-RS485, que se incluye en uno de los armarios.
2. A continuación se usará el software SSM (Supervisión y Monitorización).



3. A continuación se definen los pasos a seguir para realizar la puesta en marcha de los sistemas. Se recomienda consultar el anexo "Supervisión y Monitorización con SSM".
 - 1) Pulsar PLAY para comunicar con el sistema. El indicador OFF se pone en ON y color verde.
 - 2) Los indicadores de errores permanecen en verde, y la luz de errores del armario permanece apagada.
 - 3) ESTADO permanece en "Standby".
 - 4) Modificar los parámetros "latitud" y "longitud" con los valores de localización de la instalación, con al menos dos decimales.
 - 5) Medir con un compas digital y un nivel los ángulos de orientación e inclinación del soporte L con el sensor solar. Anotar dichos valores considerando las siguientes referencias:
 - Orientación: Norte 0°, Este 90°, Sur 180°, Oeste 270°.
 - Inclinación: Zenit 90°, Horizonte 0°, Suelo -90°.
 - 6) Modificar los parámetros "objetivo de apuntamiento" de acimut y de elevación con dichos valores.
 - 7) Pulsar el botón SINCROZAR RELOJ, y esperar 10 segundos. La fecha y el reloj deben haberse actualizado.
 - 8) Usar los botones de MOVIMIENTO para apuntar el reflejo del SIR exactamente hacia donde se quiere iluminar.
 - 9) Una vez apuntado el reflejo, pulsar el botón CALIBRAR.
 - 10) Pulsar el botón FIJAR POSICIÓN.

ATENCIÓN:
ES MUY IMPORTANTE QUE LA PUESTA EN MARCHA SE REALICE EN UN DÍA DESPEJADO

ATENCIÓN:
LOS PARÁMETROS IDENTIFICADOR DE RED, LATITUD Y LONGITUD ESTARÁN CONFIGURADOS POR DEFECTO PARA CADA INSTALACIÓN, POR LO QUE NO SERÁ NECESARIO REALIZAR LOS PASOS 4 Y 5.

ATENCIÓN:
ES MUY IMPORTANTE QUE EL ORDENADOR USADO PARA LA PUESTA EN MARCHA TENGA EL RELOJ CONFIGURADO EN HORARIO GMT (MERIDIANO DE GREENWICH) SIN HORARIO DE VERANO.

PASO 10: OPERACIÓN



ATENCIÓN:
EL SISTEMA ES AUTÓNOMO Y NO NECESITA DE NINGÚN TIPO DE AJUSTE DESPUES DE LA INSTALACIÓN Y LA PUESTA EN MARCHA.

- Seta de emergencia: púlsela si necesita detener el funcionamiento. Al hacerlo, se cortará la alimentación eléctrica del SIR. Para volver a activarlo, gírelo y se abrirá automáticamente.
- Interruptor de seguridad: Si quiere que el SIR deje de apuntar, pulse este interruptor. El espejo se colocará en posición de seguridad horizontal.
- Indicadores de iluminación: Se encenderá cuando el SIR esté operando normalmente, iluminando el objetivo. Si está apagado se deberá a una de las siguientes razones:
 - No es un día soleado.
 - Hace viento y el espejo está en posición de seguridad.
 - Sí es un día soleado pero:
 - El espejo no está reflejando la luz del sol sobre el sensor.
 - El sensor solar no está funcionando correctamente.
 - El heliostato no está funcionando correctamente.
 - En estos tres casos, será necesaria una revisión.
- Indicador de error: será necesaria una revisión

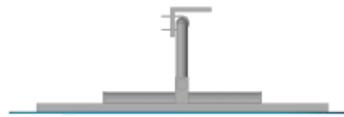
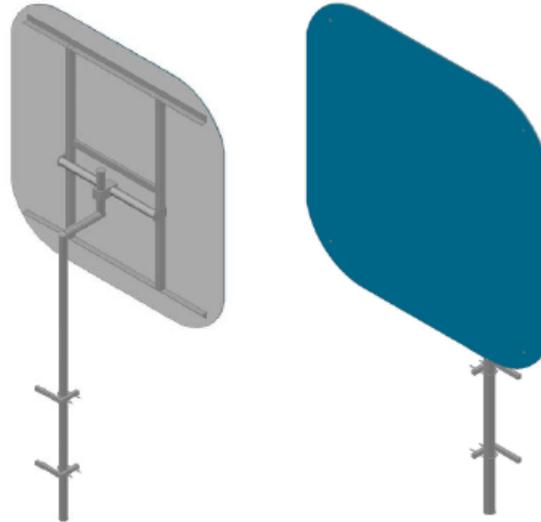
Solar MEMS Technologies S.L.
Parque Científico y Tecnológico Cartuja'93
c/ Leonardo da Vinci 18, Planta 1, Módulo 2,
C.P. 41092 Sevilla — España

Teléfono: +34 954 46 01 13
E-mail: iluminacionsolar@solar-mems.com

ANEXO 1: ESPEJO FIJO



ATENCIÓN:
SOLO PERSONAL CUALIFICADO DEBE REALIZAR EL MONTAJE Y AJUSTE DEL ESPEJO FIJO.



Vista superior

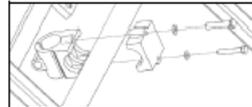
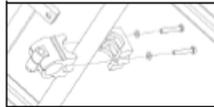


Abrazadera



Pie de nivelación

1. Instale las garras en el lugar de instalación.
2. Coloque el tubo doble-L en las garras, coloquelo en la posición necesaria, y afiance fuertemente las garras.
3. Monte el pie nivelador en el agujero central de la estructura H.
4. Monte el espejo sobre la estructura H con los tornillos de rótula.
5. Coloque la abrazadera en el tubo central de la estructura H (el tubo debe quedar por debajo del pie nivelador).



6. Coloque la estructura H sobre el tubo doble-L, ensartando la abrazadera en el codo corto. Apriete los tornillos de la abrazadera para afianzar con firmeza todo el conjunto.



ATENCIÓN:
NO AFLOJE LAS GARRAS DE SOPORTE CON EL
CONJUNTO MONTADO



7. Ajuste la posición del espejo fijo para dirigir el rayo reflejado hacia dónde usted desee. Para ello afloje los tornillos de la abrazadera para girar y colocar el espejo.
8. Si necesita ajustar la forma del reflejo, ajuste la posición del pie nivelador usando las tuercas.

Garantía

Solar MEMS Technologies S.L. garantiza al consumidor-comprador original (primario) la reparación o reemplazo del heliostato SIR 1.5 que presente defectos bajo los siguientes términos:

La garantía es de dos años desde la fecha de compra (según ley 23/2003):

El producto en cuestión debe ser enviado a Solar MEMS Technologies S.L. (dirección a continuación) dentro del período de garantía y siempre que el consumidor-comprador cumpla con las siguientes condiciones, para que sea viable la reparación o el reemplazo bajo esta garantía:

- El producto no debe haber sido modificado o alterado bajo ningún concepto por un técnico no autorizado.
- El producto debe haber sido instalado de acuerdo con el manual de usuario.

La garantía no cubre:

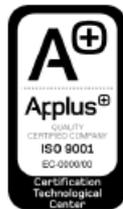
- Daños debidos a una instalación inadecuada.
- Daños intencionados o accidentales.
- Daños por falta de uso, mal uso, corrosión o negligencia.
- Daños provocados por aplicación del producto bajo condiciones severas, como fuertes vientos, hielo, tormentas, relámpagos o cualquier otra adversidad natural.
- Daños debidos a un empaquetado inapropiado en el retomo del producto a Solar MEMS Technologies.

Cualquier cargo por trabajos debidos a arreglos, reemplazos, sustituciones del producto no están cubiertos por esta garantía y no serán pagados por Solar MEMS Technologies S.L.

El envío en retomo a Solar MEMS Technologies S.L. debe ser prepagado por el consumidor-comprador original. Solar MEMS Technologies S.L. pagará los cargos ordinarios del envío de vuelta al consumidor-comprador original únicamente dentro de los países de la Unión Europea.

Dirección de Solar MEMS Technologies S.L.

Solar MEMS Technologies S.L.
Parque Científico Tecnológico Cartuja 93.
Tecnoincubadora Marie Curie.
C/ Leonardo da Vinci 18, Planta 1, Módulo 2.
C.P. 41092, Sevilla, España
E-mail: smt@solar-mems.com
Tif: (+34) 954 460 113



Solar MEMS tiene un sistema de calidad y medioambiente de acuerdo con las normas ISO 9001 e ISO 14001, certificados por la compañía Applus CTC.

C. Anexo 3. Catálogo Sika



Industry

Reacción rápida. Agarre Excelente.
SikaFast® ADP Adhesivo Acrílico basado
en la tecnología ADP

Sika®

SikaFast® – Sistema de adhesivos de rápido curado en aplicaciones de pegados estructurales

Sika® ADP - Tecnología ADP

Derivada de la química de los acrílicos, Sika ha desarrollado su nueva tecnología Sika® ADP (Acrylic Double Performance), manteniendo y superando las características de los mismos. Esto da lugar a una serie única de SikaFast® —sistemas de dos componentes— de rápido curado, flexibles y de bajo olor. Esta tecnología fácil de utilizar, y libre de solventes, constituye la base de una nueva tecnología de adhesivos de Sika, caracterizándose por un rápido agarre inicial, una excepcional adhesión y óptima flexibilidad.

La alternativa real a la tecnología de fijación mecánica

El desarrollo de la tecnología ADP de Sika® ha dado a la industria una nueva generación de adhesivos flexibles y de rápido curado, pudiéndose utilizar en vez de soldadura, remaches, y otras técnicas de fijación mecánica. Gracias al gran agarre inicial de dicho sistema de adhesión y a su excelente adhesión en una amplia variedad de sustratos, las uniones son capaces de transmitir grandes esfuerzos mecánicos. Esta propiedad y el desarrollo de la resistencia en tan solo unos pocos minutos hacen que SikaFast® sea una segura y económica alternativa a las técnicas convencionales de fijación mecánica.

Adecuado para un amplia serie de sustratos

Cuando el adhesivo SikaFast® no está curado, es un material que no desmenuja, con consistencia pastosa, de gran precisión y de fácil aplicación. El sistema de adhesión es adecuado para pegados estructurales y semi-estructurales en una gran serie de sustratos usados en el ensamblaje y operaciones de acabado, tales como metales, plásticos, cristales, recubrimientos de acero, etc.

Aplicación y mezclado

El proceso de mezclado no es crítico y permite, dentro de unas límites, considerables variaciones, aun así asegurando consistencia y permitiendo precisión y fácil aplicación. SikaFast® es un sistema de adhesión bicomponente con una relación de mezcla de 10:1 que cura a temperatura ambiente. El componente A contiene el monómero reactivo, que define sus propiedades mecánicas y de adhesión. El componente B actúa como un iniciador de la reacción. La polimerización empieza cuando los dos componentes se mezclan juntos con la ayuda de un mezclador estático.



Indicación de componente adhesivo en el pegado de la cubierta a los elementos base de las antenas GSM.



Producción eficaz en las cubiertas de las antenas. Pegado de los pequeños flexibles dentro de capas metálicas eliminando fijaciones mecánicas, y ofreciendo un mejor acabado.

Superior: Nuevas posibilidades en el diseño y fabricación de aplicaciones en casas prefabricadas usando técnicas similares para paredes y plásticos.



Pegado de juntas interiores y externas en la industria del FVCE.





SikaFast® – Aplicaciones típicas

Las fotografías de esta página ilustran la variedad de industrias y aplicaciones donde SikaFast® puede ser la respuesta a las fijaciones requeridas.

- Electrodomésticos
- Solares
- Electrónica
- Industria del motor
- Altavoces
- Muebles y equipos
- Asientos
- Ventanas
- Trenes

Los Consultores Técnicos en cooperación con el Departamento Técnico se aseguran de resolver aplicaciones específicas y proporcionar un apoyo técnico como se requiere.

Diseños para el pegado de "Fastings" en la industria del automóvil y en reparación del automóvil donde otros métodos de tiempo son impracticables.



Instalación de sistemas de iluminación gracias a SikaFast® y su resistencia ultraveloz en la industria de fabricación de ventanas.

La instalación de las fijaciones mecánicas por adhesivos adhesivos en la industria del retail y restauración ahorra tiempo y dinero.

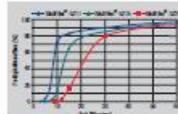
Pegado de cristales en puertas metálicas o plásticas abriendo rigidez en la industria electrónica, con aplicaciones similares con SikaFast®.

SikaFast® – Los beneficios de la tecnología Sika®ADP

... en ingeniería y en optimización de la producción

Rápido agarre inicial
SikaFast® posee un tiempo abierto relativamente largo además de un rápido curado. Estos sistemas de adhesivos ofrecen la ideal combinación de un tiempo largo tiempo abierto, entre 3 y 9 minutos dependiendo del tipo de SikaFast®, y un rápido agarre inicial que permite la manipulación y el desarrollo de la resistencia final en un par de minutos después de la aplicación. Estas propiedades permiten a los fabricantes mantener cortos tiempos de ciclo y así pueden obtener una producción eficiente y rentable.

Excepcional adhesión a una amplia gama de sustratos
SikaFast® desarrolla una excelente adhesión sobre una amplia serie de sustratos con una mínima o sin preparación superficial. Para limpiar las superficies se recomienda usar Sika® ADPrep-S901. Sika® ADPrep-S901 es un agente de preparación superficial especialmente desarrollado para completar el sistema de adhesión Sika®ADP.



Introducción de una pistola manual de tipo con atmósfera al pegado de partes pequeñas.

Agarre y flexibilidad
La alta resistencia alcanzada de los adhesivos Sika®ADP, permiten su uso en nuevas operaciones no factibles con sistemas de adhesivos convencionales tales como polibutadienos monocomponentes. Al mismo tiempo SikaFast® es suficientemente flexible para ofrecer un alto grado de resistencia al impacto y muchos de los otros beneficios asociados del pegado elástico (tan promovidos por Sika, tales como, amortiguación de la vibración y aislamiento acústico).

Sistema de aplicación simple con resultados confiables
SikaFast® es fácil de usar con la ayuda de un pequeño mezclador estático. El resultado es un producto pastoso que está formulado para aplicaciones simples y precisas, con una corta rotura de hilo y buenas propiedades frente al desdoblaje. La tecnología Sika ADP se puede acomodar a pequeñas variaciones en la mezcla de los dos componentes sin afectar al funcionamiento del producto o propiedades físicas del mismo. Además SikaFast® está igualmente adecuado para aplicaciones manuales con pistola y en cartucho o en bobinas y aplicado mediante un sistema de bombas y/o robot en líneas de producción.

Bajo olor
Gracias a la innovación de Sika en la tecnología de pegados acrílicos SikaFast® tiene un muy bajo olor por tanto agradable de usar y de trabajar con él.

Comodidad en la fabricación
Gracias a la consistencia pastosa del SikaFast® y a su buenas propiedades frente al desdoblaje, el retiro de huecos o irregularidades se realiza fácilmente ajustando el corolón acorde con las dimensiones.

- Otras ventajas de SikaFast® en producción**
- Pegados y sellados en una única operación
 - Amplio espectro de aplicaciones
 - Ideal para materiales previamente pintados
 - Capacidad para unir una amplia variedad de materiales diferentes y distintos tipos de espesores.
 - Pegados libres de distorsiones

... de productos

Distribución de esfuerzos
Debido a su inherente flexibilidad, la tecnología ADP de Sika® ofrece muchas de las ventajas del pegado elástico. Incluyendo distribución uniforme de esfuerzos y eliminación de picos de carga.

No daña a los sustratos
Una amplia variedad de materiales puede ser pegado sin dañar el sustrato ni perjudicando la estructura integral debido a los taladros o puntos de soldadura.



Pegado de espigas a la estructura resistente de una planta solar térmica.



... en términos de valor añadido y ventajas competitivas

Reducción de la corrosión

Debido a su buena propiedad como aislante eléctrico, el uso del Sikafast® reduce la corrosión por contacto y la corrosión galvánica en los sustratos metálicos.

NSF aprobación en contacto con alimentos

Para aplicaciones específicas en la industria blanca, Sikafast® ha sido evaluado por la NSF. La tecnología avanzada de Sika cumple con los requisitos de la NSF para contacto fortuito con alimentos.

Wheelmark

Sikafast® está además certificada para cumplir con los requerimientos de la Wheelmark en materiales superficiales con bajas características de propagación de llama para el sector Marino.

Nuevas posibilidades de diseño

A los diseñadores, la combinación de excelentes propiedades de adhesión sobre una amplia serie de sustratos y el gran agarre inicial de Sikafast® les ofrece nuevas posibilidades de diseño y más libertad y creatividad.

Amortiguación de la vibración y aislamiento acústico

Junto a su excelentes propiedades de adhesión, Sikafast® proporciona buenas propiedades de absorción de vibración y de ruidos.

Incremento de la productividad

El rápido agarre inicial desarrollado por Sikafast® permite cortos tiempos de ciclo, y de este modo, incrementa la eficacia en la producción y en procesos de ensamblaje. Debido a su propiedad frente al despegue y a su consistencia pastosa, Sikafast® se aplica fácilmente de manera manual o por robot. Su facilidad de uso y su alto potencial de adaptación confieren un incremento en la productividad.

Ahorro de materiales y peso

Puesto que la flexibilidad de Sikafast® proporciona incluso una distribución uniforme de refuerzos en el pegado de piezas, el espesor del sustrato puede reducirse y simplificar su forma. Esta disminución en material y peso comparado con las técnicas de fijación mecánica, reduce sus costes.

Beneficios adicionales teniendo en cuenta ventajas competitivas

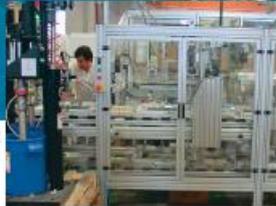
- Costes bajos de ensamblaje debido a que Sikafast® es un sistema de aplicación no laborioso.
- Eliminación de trabajos dobles.
- Pegados y sellados en un único paso.
- Mínima (o fuera necesaria) preparación superficial.



Fácil aplicación y rápido curado brindando un cuenta una eficiente y rápida instalación en la fijación de cables.



Integración de Sikafast® en una línea automatizada de producción cuando una bomba y un sistema de dosificación.



4/5

SikaFast® – la solución profesional

El satisfactorio funcionamiento de un adhesivo depende de un correcto diseño de la unión y una apropiada elección del sistema adhesivo. Nuestro equipo profesional de asesores técnicos trabaja junto con los clientes y el Departamento de Ingeniería y Técnico de Sika para ayudar en el diseño de la mejor solución para los requisitos específicos del cliente. Se realizan de la misma forma tanto si la aplicación es manual como si es automática. En ambos casos la aplicación está satisfactoriamente integrada dentro del proceso de producción.

Pegado de la carcasa de una serra circular a la base, con una pistola recargable adecuada para SikaFast®



Robot alimentado por una bomba.

Desarrollo variable de la resistencia del SikaFast®

En todos los procesos automatizados, a menudo se requiere un mezclador que prolonge el tiempo abierto en varios minutos, junto con un rápido desarrollo de la resistencia. El curado de SikaFast® se puede ajustar satisfactoriamente a estos dos requisitos controlando la refrigeración del mezclador estático o precalentando los sustratos o incluso al adhesivo. Para aplicaciones específicas contactar con el Departamento Técnico de Sika.

Diseño de juntas

Un buen diseño de junta tiene en cuenta:

- Requisitos mecánicos tales como resistencia, tolerancias, etc.
- Aspectos estéticos
- Reparación y reciclabilidad
- Fácil aplicación

y ello es esencial para una exigente y larga vida en servicio.

Un espesor de capa de adhesivo de entre 1 a 3 mm, se ha comprobado que es el más idóneo para la mayoría de las aplicaciones. De cualquier modo, un espesor específico tiene que estar individualmente adaptado a la aplicación. Para aplicaciones específicas consultar con el Departamento Técnico.

SikaFast® sistema de aplicación

Sika colabora con fabricantes de todo el mundo de sistemas de aplicación de dos componentes y tiene un amplio conocimiento de la tecnología de los adhesivos en todas sus formas. Diferentes tipos de equipos pueden usarse para aplicar SikaFast®, dependiendo del tipo de aplicación, tamaño, ciclo de tiempo, o volumen de producción.

- Pistolas de cartucho manual o neumáticas
- Pistolas recargables usando bidones de 20 l.
- Combadores hidráulicos o neumáticos de dos componentes y un sistema de mezcla para aplicaciones manuales o robotizadas.
- Equipos específicos de dosificación con diferentes tamaños.





Sika – Soluciones dirigidas por el servicio técnico

La calidad en el servicio dado por Sika, significa compromiso, ganas y deseos de ayudar a los clientes tan rápido y eficazmente como sea posible. El desarrollo de soluciones junto con los clientes son parte de nuestra mentalidad para la provisión y el apoyo a los clientes industriales.

Sika Sistema de Ingeniería

Sika ofrece a sus clientes apoyo técnico a través de su Departamento Técnico. Los recursos del Centro Corporativo están suplidos por los ingenieros locales de Alemania, Francia, Italia, Reino Unido, Japón y USA. Los siguientes aspectos de Ingeniería están asegurados:

- Conceptos de aplicación
- Viabilidad de la aplicación
- Diseño de procesos y elección de equipos
- Cursos de formación dentro y fuera del lugar de trabajo.
- Producción

Departamento Técnico de Sika

La organización del departamento técnico de Sika en los cinco continentes asegura que los clientes de todo el mundo reciben gran apoyo. Esto incluye lanzamiento de productos, aplicaciones técnicas e investigaciones en las aplicaciones. El Departamento Técnico de Sika está también cerca del Departamento de Investigación y Desarrollo. La cooperación en los proyectos de los clientes implica:

- Apoyo del Servicio Técnico a las consultas.
- Verificación de diseños
- Análisis de riesgos
- Ensayos de adhesión específicos
- Continuo apoyo en producción



Aplicación con robot de un sistema de adhesivos aplicando Sikadur® que permite los ciclos cortos de producción equivalentes en la fabricación de moldes.

Laboratorio que permite a Sika un rápido y flexible estudio de las aplicaciones.

Los más nuevos equipos de análisis permiten al Departamento Técnico apoyar y vincular soluciones a problemas en cooperación con los clientes.



Algunas posibilidades de un buen diseño, juntas adhesivas propuestas por el Departamento Técnico.

SikaFast® – Gama de productos



Tipo de producto	Tiempo abierto	Tiempo de manipulación	Resistencia al clivaje	Substratos*
SikaFast®-3211	3 Min.	10 Min. aproxim.	6-10 MPa	Aluminio, Acero, Laca, ABS, PVC (duro), policarbonato, PMMA, PS, UP, GRP
SikaFast®-3215	5 Min.	15 Min. aproxim.	6-10 MPa	Cristal, Aluminio, Acero, Laca, ABS, PVC (duro), policarbonato, PMMA, PS, UP, GRP
SikaFast®-3221	9 Min.	20 Min. aproxim.	6-10 MPa	Aluminio, Acero, Laca, ABS, PVC (duro), policarbonato, PMMA, PS, UP, GRP

Sika®Adprep-3901 Agente de preparación superficial para adhesivos Sika®ADP

* ABS, PC, PMMA y PS son termoplásticos y son propensos a presentar tensiones internas. Las placas tienen que estar libres de tensión antes de aplicar. Por favor consultar con el Departamento Técnico.

Sika Industry
 C/Argoseras, 17
 P.I. Alcobendas
 28108 - Alcobendas, Madrid
 Telf: 91 494 10 01/02
 Fax: 91 661 00 61



www.sika.es / info@sika.com



02/2016 15. 008 00