

Optimización de parámetros de un concentrador solar troncocónico

Rosa Anda

R. Anda
Universidad tecnológica del sur del estado de México, carretera tejupilco-amatepec km 12, tejupilco, Estado de México
rossyanda@gmail.com

M. Ramos.,V.Aguilera.,(eds.). Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Handbook -©ECORFAN- Valle de Santiago, Guanajuato, 2013.

Abstract

This paper deals with optimizing the design parameters of a truncated cone type hub to capture, transfer and diffusion sunlight, so that reflections of light and increase focus on the walls of the cone and subsequently inside the tube project to the interior of any construction. As an initial parameter think the length of the roof opening of a dome active section of the mark Ciralight square through which the sun's rays fall on a vertical.

Considering the length and diameter greater openness (b) and a concentration factor (FC) of 2.46, was used Excel Solver tool for calculating the optimal key dimensions: the angle of generating (α), height of the cone (h) And smaller diameter (a), for which it achieves a desired concentration. In addition, it is calculation and design hub truncated cone graphically in Mechanical Desktop 6 Power Pack, from a cone unit according to active dome above. Finally, we built 1:100 scale model to measure the illuminance under conditions of open skies and controlled, using temperature sensor and photodetectors with ranges from 0 to 130 KLX, finding a FC of 1.78 opencast and 1, 89 with a halogen lamp under controlled condition.

7 Introducción

La mayoría de las actividades humanas y biológicas sobre la tierra están gobernadas y potenciadas por el sol, ya que éste ha constituido un recurso de iluminación a lo largo de la historia del ser humano. El desarrollo y uso de luces artificiales eficientes, ha llevado al humano a separarse de lo saludable y del mejor recurso de iluminación: luz natural. Estudios han demostrado los beneficios en salud, seguridad y productividad laboral cuando las construcciones son iluminadas naturalmente (Roche L., 2000). Además de la calidad de la luz natural, otras de las razones del por qué usarla es su compatibilidad con sistemas de control de iluminación para lograr una reducción del uso y costo de energías convencionales, logrando así un sistema sostenible.

Para transportar luz natural del exterior al interior de un espacio físico, se están empleando luminoductos que son estructuras simples que permiten transmitir la luz natural, en la actualidad hay un incremento considerable en uso de esta tecnología. (CIBSE, 2003), declara una estimación de tres millones de ductos instalados en todo el mundo. Generalmente consisten de un colector (usualmente domo hemisférico de policarbonato), el conducto en sí mismo y un emisor. El diseño de luminoductos tiene diferentes geometrías y constantemente se realizan mejoras y actualizaciones (Carter, 2002), (Jenkins D. M. T., 2003) y (Jenkins D. M. T., 2004), emplean ductos recubiertos de aluminio (96 % de reflexión), en tal grado, la luz es transmitida de forma especular (transparente), existen películas reflectivas desarrolladas por 3M con un grado de reflexión entre 98 y 99%, con lo que la luz es totalmente transmitida hacia el interior. Cada innovación hecha a los luminoductos incrementa su eficiencia, pero es importante verificar la fiabilidad de esta eficacia y su aplicación tecnológica pertinente, de aquí la importancia de corroborar y generar metodologías para cuantificar los niveles de iluminación logrados (Mohammed, 2006).

El presente trabajo trata sobre la optimización de los parámetros de diseño de un concentrador tipo troncocónico para captar, transferir y difundir luz solar, de tal forma que los reflejos de la luz se concentren y multipliquen en las paredes del cono y posteriormente pasarlos por un luminoducto para proyectarlos al interior de cualquier construcción.

Por lo que es necesario caracterizar el comportamiento del transporte de luz natural en un ductos reflectivos con diferente concentración de energía para su aprovechamiento lumínico en cualquier espacio interior donde es difícil lograr niveles de iluminación natural óptimo, posteriormente generar conceptos de alternativas de mejor comportamiento en ductos de diferente construcción, geometría, cambios de sección y concentración diferente mediante técnicas de modelación y simulación.

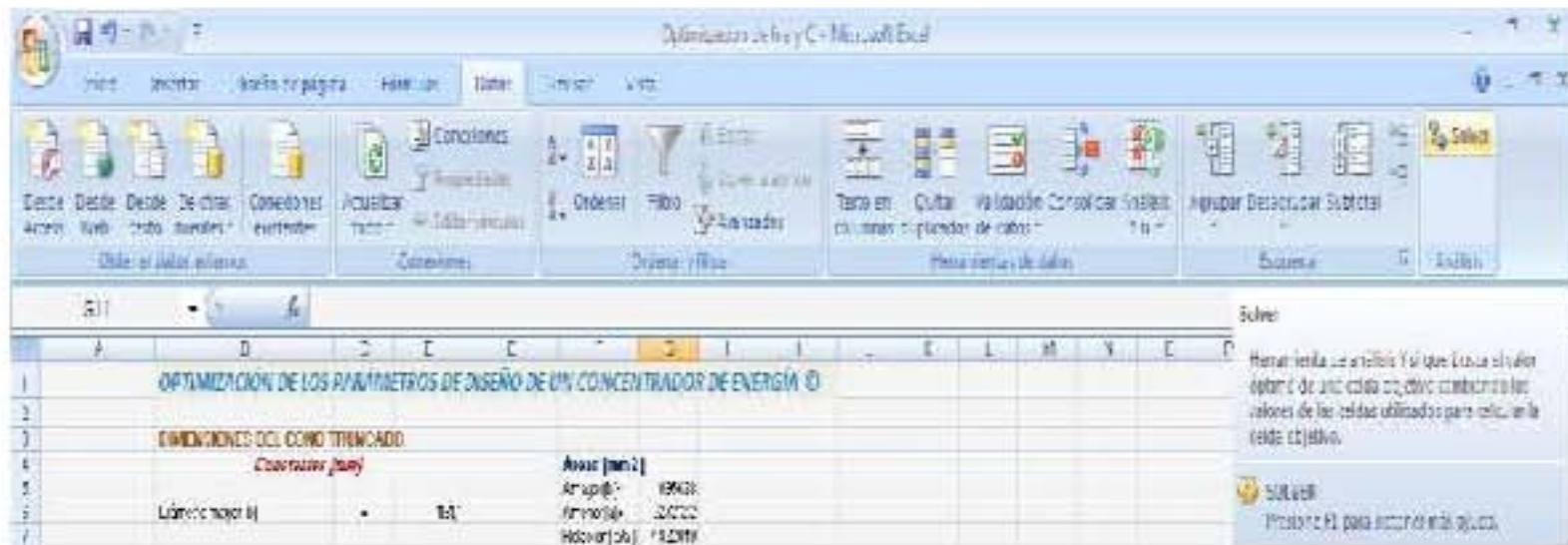
Finalmente, según los resultados obtenidos se optimiza el modelo en función de la geometría, longitudes y niveles de iluminación requeridos para la reducción de costos empleando energías alternativas y como una mejor solución para el ahorro de energía.

7.1 Materiales y métodos

Dentro de las actividades biológicas que los seres vivos realizan a lo largo de su vida, una de las que ocupa la mayor parte de ella, no sólo en el tiempo sino también en el espacio, es el trabajo, producción, reposo, etc. En este sentido estas actividades, para que puedan desarrollarse de una forma eficaz, precisa que la luz (característica ambiental) y la visión (característica personal) se complementen, ya que se considera que el 50% de la información sensorial que reciben los animales es de tipo visual, es decir, tiene como origen primario la luz, en el caso de las plantas se requiere para llevara a cabo el proceso de fotosíntesis. La integración de estos aspectos reportará mayor productividad, confort y seguridad de manera eficiente y eficaz.

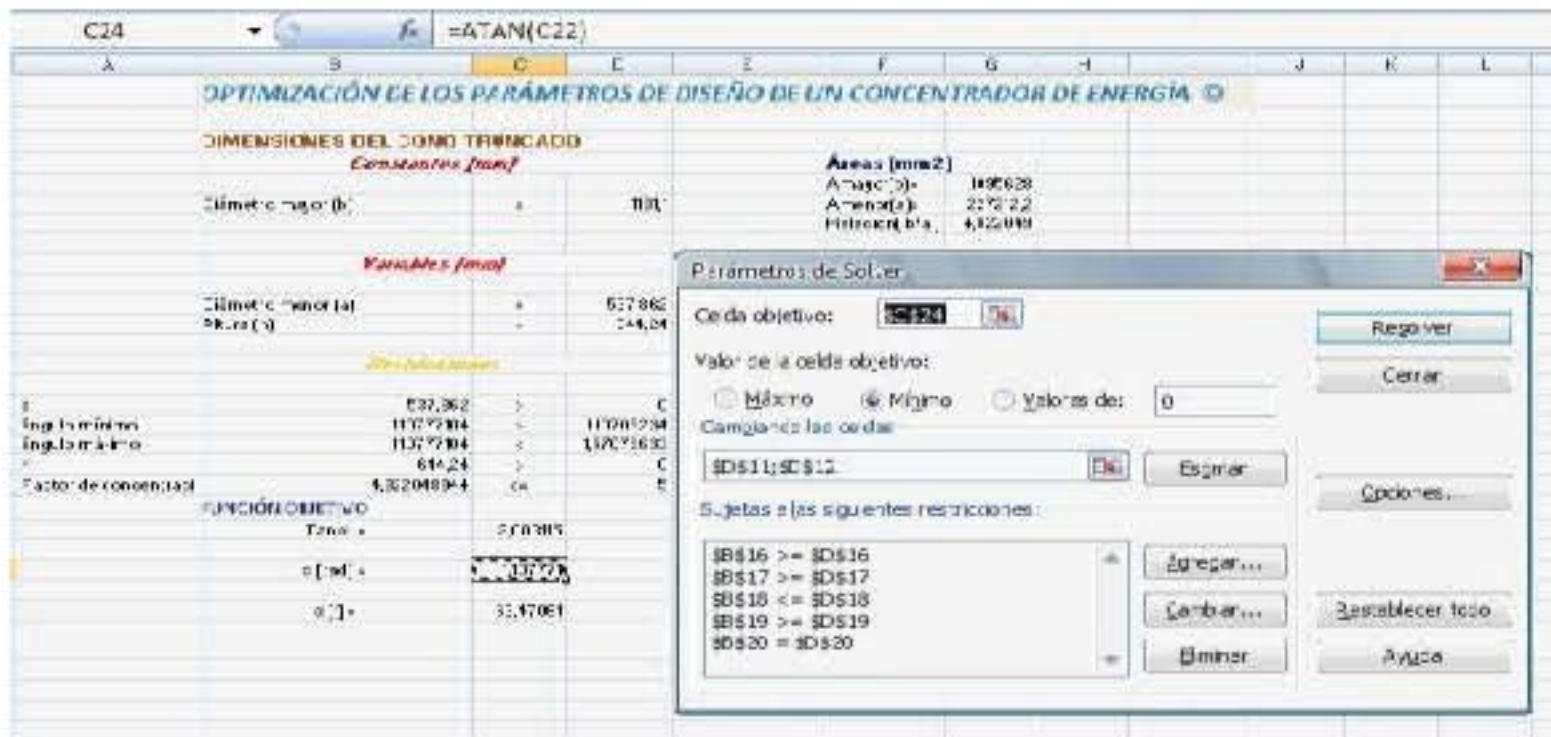
Un problema de optimización consiste en encontrar aquellos valores de ciertas variables que optimizan (es decir, hacen máxima o mínima, según el caso), una función de estas variables. El método más conocido para encontrar el óptimo de una función es a través del análisis de sus derivadas. Este método tiene dos limitaciones: no siempre la función es derivable, y, además, no siempre el óptimo nos da una solución que tenga sentido en la práctica. Lo complejo de este método convergió en los llamados métodos numéricos, aunado a esto la programación en diferentes lenguajes volvió más simple el proceso, por lo que la herramienta que utilizaremos para lograr esta optimización será Solver, popular ya que se encuentra en Excel y es fácil de utilizar. Primero se plantea la función objetivo sujeta a ser optimizada (ángulo de la generatriz del cono truncado α , véase figura 1; la cual contiene a los parámetros o variables a determinar (altura del cono (h) y diámetro menor del cono (a)) y el parámetro constante (diámetro mayor del cono ($b = 1181,1\text{mm}$)), entonces queda expresada por:

Figura 7.1 Acceso a herramienta Solver



Aparecerá la siguiente ventana conteniendo las siguientes características:

Figura 7.2 Definición de a y h mínima según restricciones



En el parámetro de celda objetivo se introducirá la celda que contenga a la función objetivo

$$\alpha = \tan^{-1} [2h/b-a] \quad (7.3)$$

Valuada con valores constante propuestos de inicio: $b = 1181,1$, la restricción de $FC = 2,46$ y para las variables a y h se asignan valores posibles de inicio. Se selecciona la función que se requiere, sea el cálculo de un máximo o de un mínimo.

En el punto de estimar se introducirán las celdas que contengan los valores de las variables a optimizar (a y h) sujetas a las restricciones mencionadas anteriormente (Figura 7.2). En la parte de Agregar se definirán las restricciones a las que esté sujeta (Figura 7.3).

Figura 4 Parámetros y opciones Solver

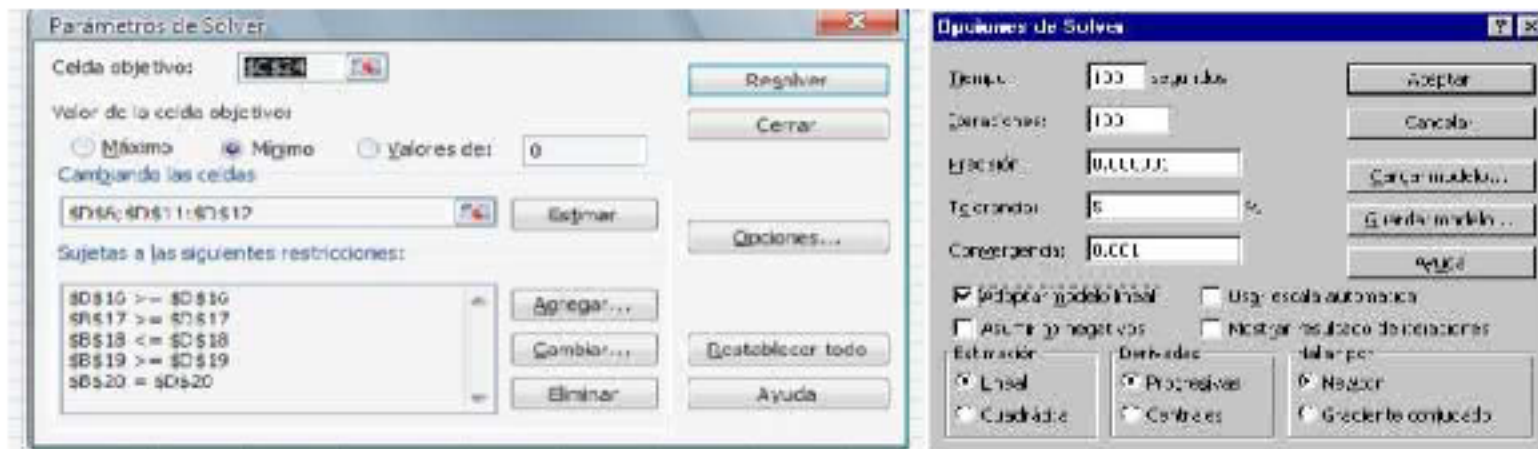


Figura 7.4 Resultados Solver



Una vez introducidos estos datos, seleccione Resolver, y Solver, si todo está bien, mostrará, los datos de las variables a y h óptimas y 3 informes, uno de Respuestas, otro de Sensibilidad y Límites de la solución encontrada que satisface todas las restricciones y condiciones dadas (Figura 7.4).

Para determinar los ángulos permisibles para el cual todos los rayos que incidan verticalmente sobre el concentrador troncocónico entren a éste y posteriormente al ducto que los transferirá al interior del espacio físico a iluminar se empleó el método gráfico del diseño, partiendo de las características geométricas de un cono como son: ángulo de la generatriz, diámetro de la base y altura, ya una vez que este se trunca se obtiene el diámetro menor óptimo (igual a diámetro de ducto), todo esto apoyándose con el software CAD Mechanical Desktop 6 Power Pack.

Entonces se procedió a construir un modelo a escala para concentrar y transportar luz a través de luminoductos con concentrador de energía, por lo que los materiales necesarios son:

Una vez introducidos estos datos, seleccione Resolver, y Solver, si todo está bien, mostrará, los datos de las variables a y h óptimas y 3 informes, uno de Respuestas, otro de Sensibilidad y Límites de la solución encontrada que satisface todas las restricciones y condiciones dadas (Figura 7.4).

Para determinar los ángulos permisibles para el cual todos los rayos que incidan verticalmente sobre el concentrador troncocónico entren a éste y posteriormente al ducto que los transferirá al interior del espacio físico a iluminar se empleo el método grafico del diseño, partiendo de las características geométricas de un cono como son: ángulo de la generatriz, diámetro de la base y altura, ya una vez que este se trunca se obtiene el diámetro menor óptimo (igual a diámetro de ducto), todo esto apoyándose con el software CAD Mechanical Desktop 6 Power Pack.

Entonces se procedió a construir un modelo a escala para concentrar y transportar luz a través de luminoductos con concentrador de energía, por lo que los materiales necesarios son:

- Espacio físico.
- Equipo de computo portátil
- Componentes físicos para generar prototipos: domo pasivo y activo, tubo, extractor, concentrador de luz en papel aluminio y accesorios.
- Dataloger Multilog DB-526
- Sensores de luz rango de 0-130 klx
- Sensores de temperatura de -25 - 110 °C
- Software: Solver , Mechanical Desktop

7.2 Resultados y discusión

Se muestran los resultados obtenidos en el diseño del concentrador solar, tomamos como punto de partida del diámetro mayor ($b = 1181,1$ mm) del domo para calcular las dimensiones fundamentales: ángulo óptimo de la generatriz (α), altura del cono (h), diámetro mayor (b) y menor (a), para los cuales se logra una concentración óptima (Figura 7.5).

Empleando Solver tenemos:

Tabla 7 Informe de respuestas

Celda objetivo (Mínimo):

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
\$C\$24	α [rad] = <=	1,107062813	1,107062813

Celdas cambiantes:

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
\$D\$11	-	753,0418558	753,0418558
\$D\$12	-	427,9662298	427,9662298

Restricciones:

Celda	Nombre	Valor de la celda	Fórmula	Estado	Divergencia
\$D\$16	a Restricciones	753,0418558	\$D\$16>=\$D\$16	Opcional	753,0418558
\$D\$17	ángulo mínimo amin Restricciones	1,107062813	\$D\$17>=\$D\$17	Obligatorio	0
\$B\$18	ángulo máximo amax Restricciones	1,107062813	\$B\$18<=\$D\$18	Opcional	0,463733513
\$B\$19	h Restricciones	427,9662298	\$B\$19>=\$D\$19	Opcional	427,9662298
\$B\$20	FC Restricciones	2,46	\$B\$20=\$D\$20	Opcional	0

En la Tabla 7, se muestra el informe de respuesta, tenemos que en Celda Objetivo aparece la celda de la función objetivo (figura 1) que está en la celda C24, el Nombre, el valor inicial antes de optimizar y el valor óptimo (valor final). En Celdas Cambiantes aparecen las celdas de las variables controlables, el nombre, la solución inicial o valores iniciales de las variables y la solución óptima (valor final), es decir, a en la celda D11 con valor final de 753,04 mm y $h=427,96$ mm en celda D12.

En restricciones se tiene: Valor de la celda: es el valor que toma el lado izquierdo de cada restricción en la solución óptima (figura 1). Fórmula: nos recuerda las restricciones que hemos introducido, . Estado: Nos indica si la restricción se cumple exactamente, con una igualdad, y no hay un margen. En otras palabras, nos indica si la restricción es activa. Divergencia: es el margen que tiene cada restricción.

Tabla 7.1 Informe de sensibilidad

Celdas cambiantes			
Celda	Nombre	Valor Igual	Gradiente reducido
\$D\$11	-	753,0418558	0
\$D\$12	-	427,9662298	0
Restricciones			
Celda	Nombre	Valor Igual	Multiplicador de Lagrange
\$B\$15	a Restricciones	753,0418558	0
\$B\$17	ángulo mínimo α_{min} Restricciones	1,107052813	1
\$B\$18	ángulo máximo α_{max} Restricciones	1,107052813	0
\$B\$19	h Restricciones	427,9662298	0
\$B\$20	FC Restricciones	2,46	0

En el informe de sensibilidad (Tabla 2) muestra: en la parte de Celdas Cambiantes la celda de Valor: nos recuerda los valores óptimos de las variables controlables a y h celdas D11 y D12 respectivamente. Gradiente reducido: indica cuánto deberá cambiar el coeficiente de la función objetivo para que la variable tome un valor positivo controlable, en este caso es 0.

Restricciones: Valor igual: es el valor final que toma el lado izquierdo de cada restricción en la solución óptima de a (celdas B16), h (celda B19), FC (celda B20), α_{min} y α_{max} (celdas B17 y B18 respectivamente).

Las restricciones (celdas D16-D20), indican los lados derechos de las desigualdades a las cuales se condiciona la función objetivo y las cuales son satisfechas.

Tabla 7.2 Informe de límites

Celda objetivo		
Celda	Nombre	Igual
\$C\$24	α (rad) = <=	1,107062813

Celdas cambiantes			Limite inferior	Celda objetivo	Limite superior	Celda objetivo
Celda	Nombre	Igual				
\$D\$11	=	753,0418558	753,0418558	1,107062813	753,0418558	1,107062813
\$D\$12	=	427,9662298	427,9662298	1,107062813	#N/A	#N/A

Valor: nos recuerda los valores óptimos de las variables controlables. Límite inferior: es el menor valor que puede tomar la variable (suponiendo que las demás mantienen el valor óptimo encontrado), y satisfacer todas las restricciones. Celda objetivo (celda C24): valor de la función objetivo si la variable toma el valor del límite inferior y las demás mantienen el valor óptimo encontrado.

Límite superior: es el mayor valor que puede tomar las variables a y h (celdas D11 y D12) (suponiendo que las demás mantienen el valor óptimo encontrado) sin violar las restricciones. Celda objetivo: valor de la función objetivo si la variable toma el valor del límite superior para las variables a y h y las demás mantienen el valor óptimo encontrado.

Finalmente se realizó el dibujo del plano final del concentrador troncocónico con parámetros óptimo en Mechanical Desktop (Figura 6). Todos los rayos del sol que entran en b se concentran y finalmente entran en a . Los parámetros del concentrador troncocónico se muestran en la tabla 7.3.

Tabla 7.3 Dimensiones del concentrador de energía solar

b [mm]	a [mm]	h [mm]	α [rad]
1181,1	753,0418558	427,9662298	1,107

Con los dimensiones obtenidas se logra una concentración $FC= 2,46$, si se requiere una concentración diferente se puede variar los valores de a y h conservando el valor de α .

Se construyó un prototipo a escala 1:100 del concentrador recubierto con una película reflectiva de papel aluminio (figura 7) que se colocó sobre una caja de cartón cerrada de 300 mm de largo, 120 mm de alto y 150 mm de ancho.

Se midió la iluminancia externa (I_e) [KLx] luz sin concentrar, la iluminancia interna (I_i) [KLx] luz concentrada y la temperatura (T) [°C], para determinar el gradiente al interior del prototipo.

Figura 7.5 Diseño final del concentrador solar troncocónico

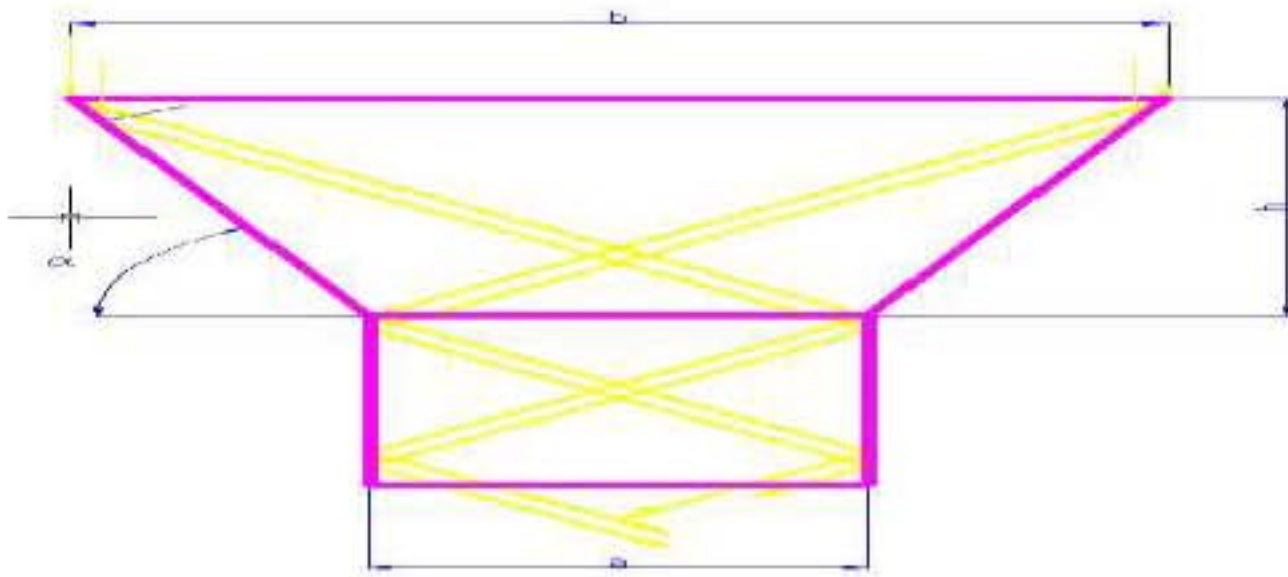


Figura 7.6 Modelo a escala, concentrador y sensores



Los resultados obtenidos en la adquisición de datos de iluminancia y temperatura del modelo escala del concentrador se muestran en la graficas siguientes:

Grafico 7 I_e , I_i y T bajo condiciones controladas

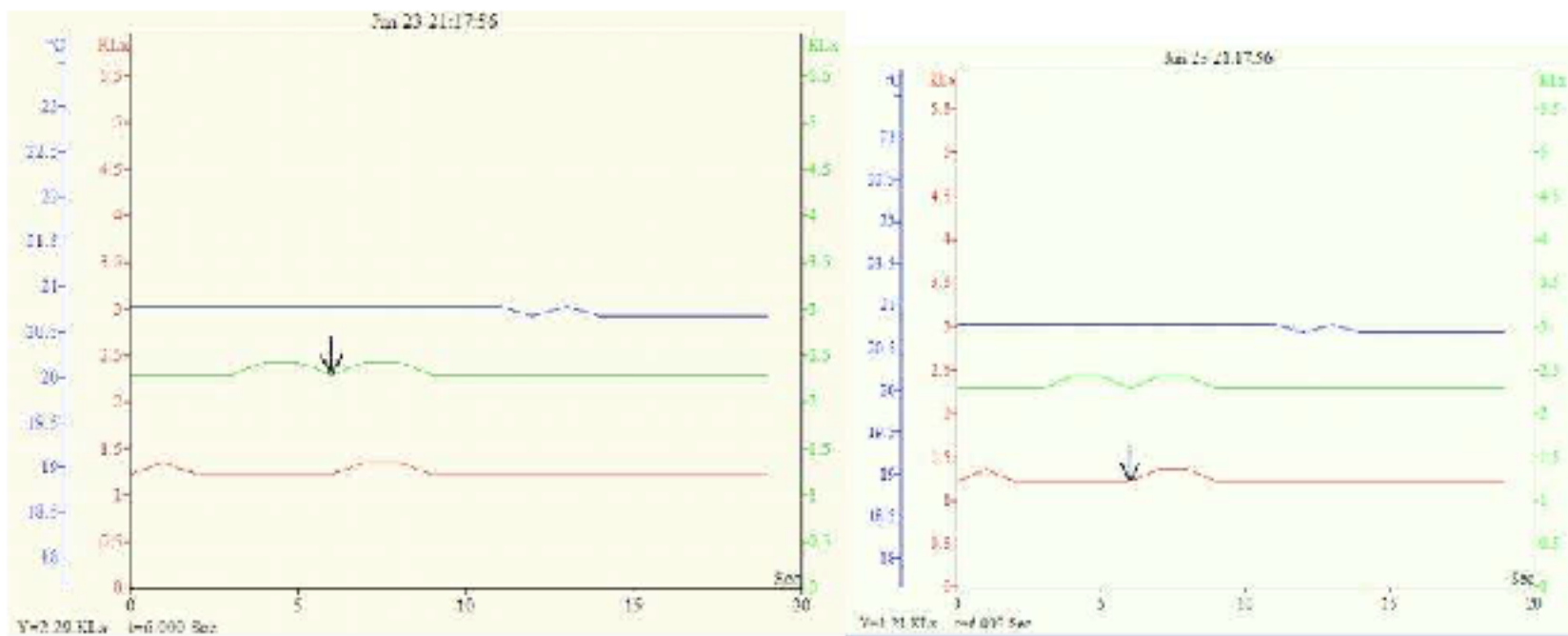
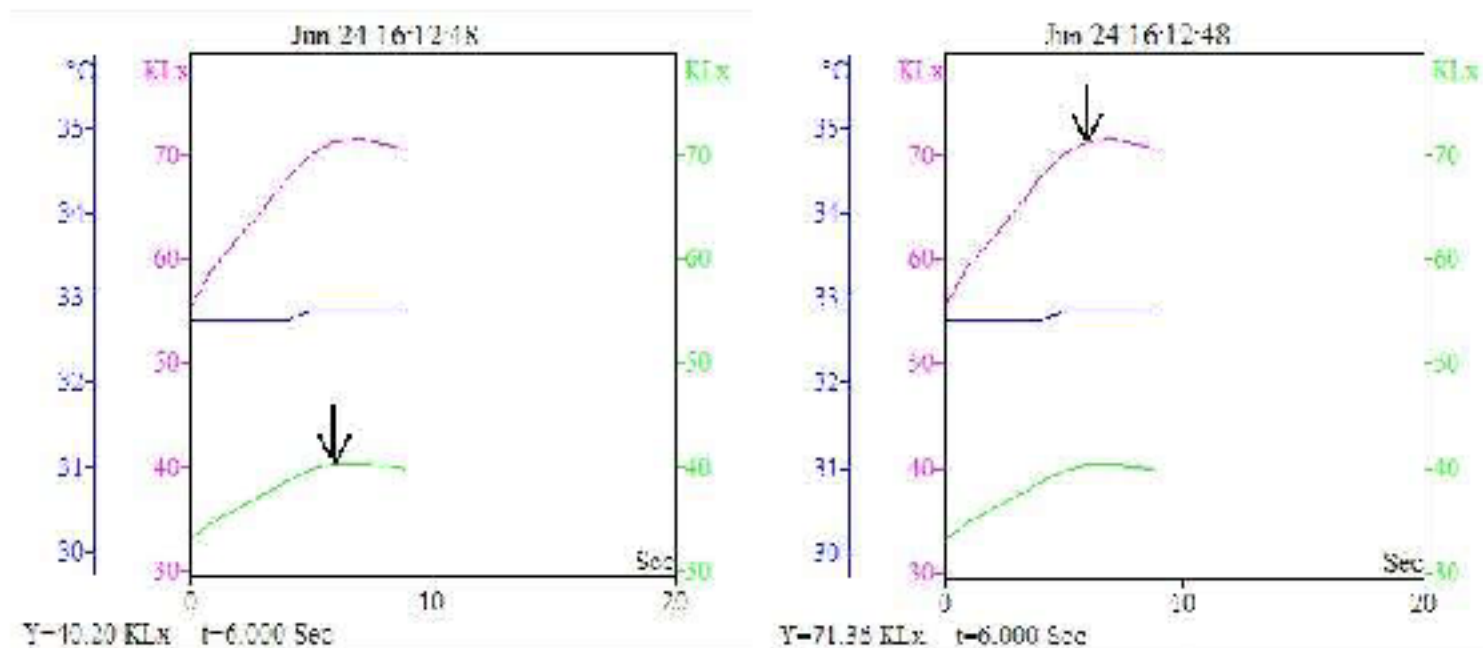


Figura 7.1 I_e , I_i y T , bajo condiciones de cielo abierto

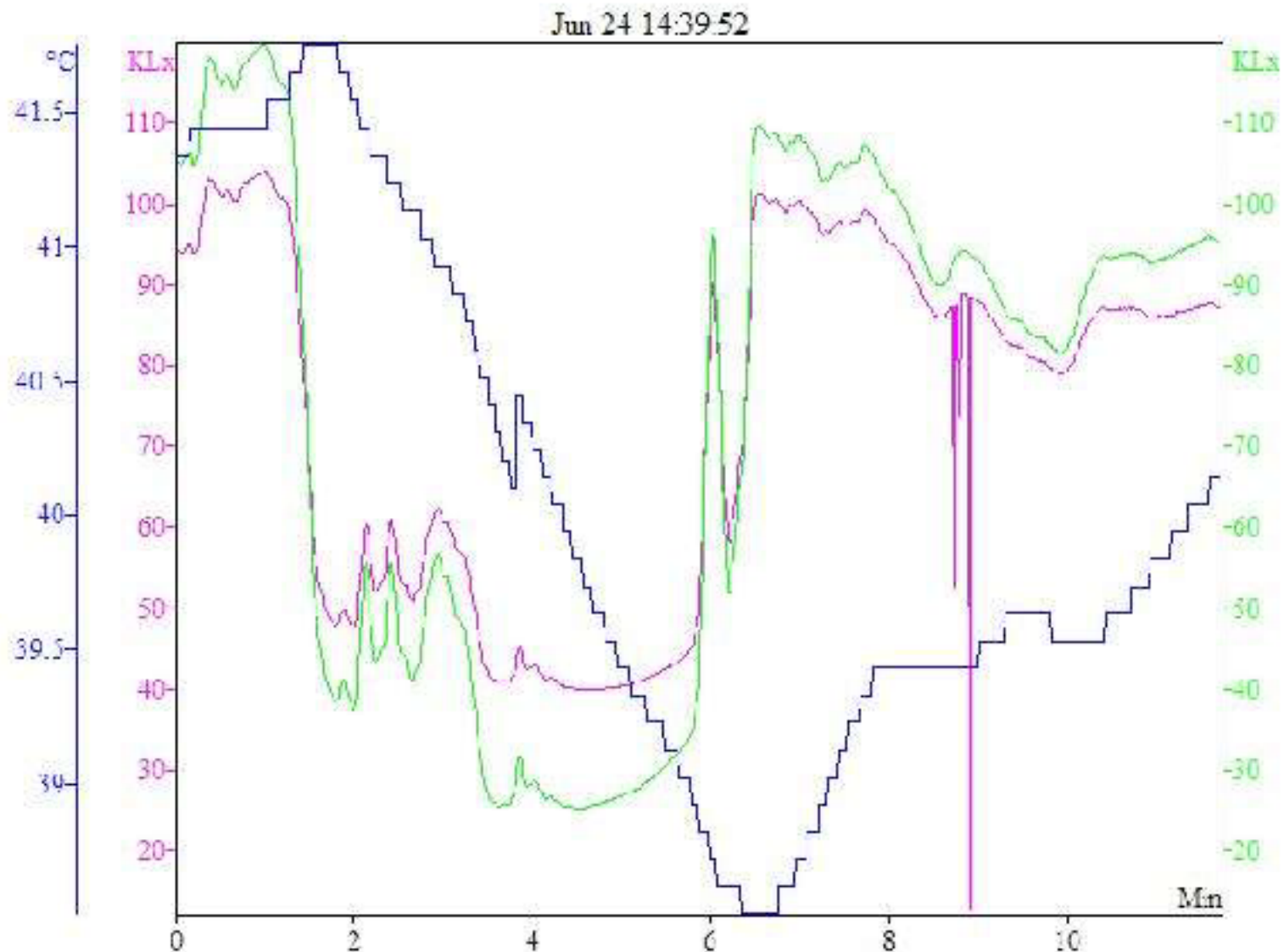


En la grafico 7 se muestra el comportamiento de la luz en condiciones controladas, se empleo una lámpara de halógeno 35 W, 120 V, 29 A y 60 Hz, con lo que se obtuvo un $F_c = 1,89$, considerando los valores digitales en la base de la gráfica y señalados por las flechas dentro de la grafica. En línea color verde se muestra el valor de I_i (luz concentrada), en rojo la I_e (luz sin concentrar) y en azul T .

En el grafico 7.1 se observa los valores de I_i (luz concentrada) línea color magenta, en color verde I_e (luz sin concentrar), con lo que obtuvo el $FC = 1,78$, como dato adicional en azul se observa el comportamiento de la temperatura al interior del prototipo.

En el gráfico 7.2 se observa el comportamiento de la luz a lo largo del tiempo, así como del gradiente de temperatura afectada por la concentración solar al interior del prototipo. se tomaron muestras cada segundo 15000 en total . Se muestra un tiempo de muestreo de 12 minutos bajo condiciones combinadas de cielo soleado y nublado, es decir, luz directa y luz difusa, por lo que para ciertos valores de I_i (línea verde) es menor que I_e (línea magenta), T (línea azul), dichas situaciones deben de estudiarse con más detalle, aumentado el tiempo de muestreo y determinar la relación de concentración del concentrador cuando se presentan condiciones de cielo abierto soleado-nublado donde los valores de iluminancia interna y externa cambian constantemente. Adicionalmente se observa una relación directa en el cambio de la temperatura (aumento de 1 °C en promedio) con respecto al aumento y descenso de los valores de iluminancia en rangos presentados de $I_e = 94 - 102 \text{ KLx}$ e $I_i = 105 - 130 \text{ KLx}$.

Figura 7.2 I_e , I_i y T , bajo condiciones de cielo abierto soleado –nublado



7.3 Conclusiones

Se diseñó concentrador solar tipo troncocónico apoyado en herramientas informáticas para la optimización del dimensionamiento, quedando $b = 1181,1 \text{ mm}$, $a = 573,04 \text{ mm}$, $h = 427,96$, $FC = 2,46$ y $\alpha = 63,43^\circ$.

Se construyó modelo a escala para medir la iluminancia a la entrada y salida del concentrador troncocónico recubierto con película reflectiva de aluminio, con lo cual se logró captar, transferir y difundir luz solar concentrada a razones promedio de 1,78 para cielo abierto, 1,89 con lámpara de halógeno, que están por abajo comparado con el $FC = 2,46$ que sería el ideal según el dimensionamiento planteado, con lo cual se demuestra que es posible lograr concentraciones mayores en función del ángulo de la generatriz, la altura y diámetro de la sección de salida del cono de acuerdo a los niveles de iluminación deseados al interior de una construcción con deficiencia o nula iluminación natural.

7.4 Referencias

Carter, D. (2002). The measured and predicted performances of passive solar light-pipe systems.

Light Research and Technology, 34(1), 39-52. CIBSE. (2003). Lighting products. Building Journal.

Jenkins D., M. T. (2003). Modelling light-pipe performances - a natural daylighting solution.

Applied Energy. Build Enviroment, 38(96), 65-72.

Jenkins D., M. T. (2004). Light pipe prediction methods. . Applied Energy. Build Environment, 79, 77-86.

Mohammed, A.-M. y. (2006). Tubular guidance systems for daylight: Achieved and predicted installation performances. Applied Energy. Build Environment, 83, 774-788.

Roche L., D. E. (2000). Little fair PJ. Occupant reactions to daylaight in offices. Lighting Research and Technology, 32(1), 19-26.