

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE  
MOGROVEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**



**EFICIENCIA ENERGÉTICA A TRAVÉS DEL ANÁLISIS  
DEL SISTEMA DAY LIGHT EN EL DEPARTAMENTO DE  
LAMBAYEQUE.**

**AUTOR:**

**OSWALDO JHOÉL HERRERA GIL**

**Chiclayo, 21 Noviembre de 2010**

**EFICIENCIA ENERGÉTICA A TRAVES DEL ANÁLISIS DEL SISTEMA DAY  
LIGHT EN EL DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE.**

**JURADO INTEGRADO POR:**

---

**ING. ALEJANDRO VERA LAZARO  
PRESIDENTE**

---

**ING. LUCIO LLONTOP MENDOZA  
SECRETARIO**

---

**DR. MAXIMILLIANO ARROYO ULLOA  
ASESOR**

## **DEDICATORIA**

A Dios por estar en todo momento y poner en mi camino  
a las personas que más quiero.

## **EPÍGRAFE**

Lo imposible no existe para quien piensa y  
actúa para conseguirlo.

## **AGRADECIMIENTO**

A todas las personas que  
apoyaron en la realización de la  
Tesis.

## **ÍNDICE**

Resumen

I.	Introducción .....	5
II.	Materiales y métodos.....	7
2.	Materiales.....	7
2.1	Datos de Radiación solar total.....	7
2.2	Información de radiometría y fotometría .....	9
2.3	Factores de Conversión .....	10
2.4	Fórmula de irradiancia .....	10
2.5	Tipos de energía solar total .....	11
2.6	Eficiencia teórica de los sistemas day light.....	11
2.7	Fórmula área de un tubo solar .....	11
2.8	Fórmula de iluminancia.....	12
3.	Metodología .....	12
3.1	Clasificación de tablas de radiación solar total .....	13
3.2	Aplicación fórmula de Irradiancia .....	14
3.3	Aplicación fórmula del área de los tubos solares.....	15
3.4	Aplicación fórmula de iluminancia .....	16
III.	Resultados.....	20
IV.	Discusiones.....	26
V.	Propuesta .....	31
VI.	Conclusiones.....	32
VII.	Referencias bibliográficas .....	33
VIII.	Anexos .....	35

## Resumen

El análisis del sistema day light se realizó identificando tecnologías eficientes para canalizar la luz natural en áreas que dependan de la iluminación. Éste análisis se basó en los datos de radiación solar total en los últimos cuatro años en el Departamento de Lambayeque. Se utilizó fórmulas matemáticas que parten de las magnitudes de radiometría y fotometría para determinar valores de lumen por metro cuadrado correspondiente a la luz natural.

Para el análisis de los valores obtenidos se trabajó en una plantilla de Microsoft Excel, los cuales se compararon con las normas técnicas de iluminación determinando el tipo de tecnología que más se adapta a las condiciones del área a iluminar. De esta manera, el sistema day light en los cuatro tipos de sistema tienen una eficiencia teórica en más del 80% para canalizar la luz del medio, demostrando ser eficientes en la variación de captación de luz de acuerdo al diámetro y longitud de los tubos solares y la ubicación geográfica. Al utilizar este tipo de sistemas se desarrollarán tecnologías que ahorren energía de forma económica y respetuosa con el medio ambiente de las fuentes alternativas como es la iluminación natural, reduciendo costos de tarifa eléctrica y minimizando la dependencia energética de los combustibles fósiles como el petróleo, carbón, diesel, gas y de las hidroeléctricas, llevándonos a mejorar la eficiencia energética.

**Palabras Claves:** Sistema day light, radiación solar total, iluminación, radiometría, fotometría, eficiencia energética.

**Keywords:** System day light, radiation solar total, illumination, radiometry, photometry, energy efficiency.

## **Abstract**

The day light system analysis was conducted to identify efficient technologies for channeling natural light in areas that depend on the lighting. This analysis was based on the total solar radiation data in the last four years in the Department of Lambayeque. We used mathematical formulas that are based on quantities of radiometry and photometry to determine values of lumen per square meter for natural light. For the analysis of the values obtained are working in a Microsoft Excel template, which were compared with the lighting standards determining the type of technology best suited to the conditions of the area to be illuminated. Thus, the system light day in the four types of system have a theoretical efficiency over 80% to channel the light of the environment, proving to be efficient and variability of recruitment according to the diameter and length of the solar tubes. By using these systems will develop energy-saving technologies in an economical and environmentally friendly alternative sources such as natural lighting, reducing electricity tariff costs and minimizing the energy dependence on fossil fuels like oil, coal, diesel, gas and hydroelectric plants, leading to improved energy efficiency.

## **I. Introducción**

La situación energética es una preocupación global por que el consumo energético está en constante crecimiento. Esto se ve reflejado en el uso de petróleo, carbón, diesel, gas natural como fuentes de generación eléctrica para iluminación artificial, funcionamiento de maquinarias, transporte, etc. (Greenpeace, 2007). El consumo total de energía corresponde al 33.6% de petróleo, 23.8% a gas, 28.6% a carbón, 5.6% a nuclear y el 6.4% a hidráulica y otras energías renovables. (BP Statistical Review, 2008) – (González y otros, 2009). Estos datos muestran que a nivel mundial el consumo energético se sirve de fuentes primarias como son las energías no renovables consideradas (petróleo, carbón, gas natural) y en el menor porcentaje el consumo o aprovechamiento de las energías renovables.

El Perú no es ajeno a este crecimiento energético por la demanda de energía representada en el sector industrial con el 51%, 22% residencial, 17% comercial y 10% otros, en el año 2008. (BBVA, 2008). Al mismo tiempo, las estimaciones de crecimiento de la demanda de energía en el sector industrial, residencial y comercial serán en un 14% a 15% entre el 2010 al 2015. (MEM, 2010).

El modelo energético de hace unos cinco años estaba basado en el petróleo y otros combustibles fósiles, que día a día se van agotando y por consiguiente incrementan sus precios. (González, 2009). Frente a este modelo existe una alternativa que se puede incluir, que son las energías renovables. (OIMA, 2005). En la actualidad, el Perú está orientado a la eficiencia energética desde el punto de vista de minimizar el consumo de electricidad mediante tecnologías eficientes y el desarrollo de las energías renovables por medio de tecnologías que puedan implementarse en las diferentes zonas del país. (MEM, 2010).

El desarrollo de la eficiencia energética desde el punto de vista de minimizar el consumo de electricidad viene dado de dos maneras: la primera por tecnologías de iluminación artificial como los LED y equipos halógenos y la segunda por tecnologías que se sirven de energías renovables que almacenan energía y producen electricidad para los diferentes usos como es el de iluminación. Las energías renovables son aquellas fuentes de energía que se autogeneran ilimitadamente de manera natural, es decir que no se agotan con el paso del tiempo. Una de estas fuentes o clases es la energía solar, que emite radiación electromagnética difundida en el medio (García y otros, 2003).

Algunos estudios revelan que la luz natural es indispensable para el ser humano, pues la falta de exposición a ella por largos períodos de tiempo tiene como efectos la baja del rendimiento, enfermedades y/o graves desequilibrios energéticos. (Greenpeace, 2008). Al mismo tiempo la luz natural es fuente de iluminación de interiores en los diferentes locales del sector comercial, industrial y residencial, en los cuales se puede realizar una determinada tarea visual, desde una tarea de producción hasta cualquier otra actividad lúdica, siendo ésta la alternativa para minimizar la dependencia energética basado en el modelo de las energías no renovables. (Martín, 2005).

El Departamento de Lambayeque ubicado al norte del Perú, con una latitud de 6° 46' y una altitud de 18msnm, es considerado como una buena zona para el aprovechamiento de la iluminación natural (SENAMHI, 2010).

Por ello, es necesario considerar tecnologías eficientes que puedan capturar y canalizar la luz natural difundida en el medio como el sistema day light surgiendo el principal problema ¿Es posible mejorar la eficiencia energética a través del sistema day light en el departamento de Lambayeque? El objetivo principal de este trabajo es analizar el sistema day light como una herramienta para mejorar la eficiencia energética, conociendo la radiación solar total en Lambayeque y la evaluación de los sistemas mediante la variación mínima y máxima de iluminación que cada sistema puede canalizar en las cuatro estaciones del año.

## II. Materiales y métodos

### 2. Materiales

#### 2.1 Datos de Radiación solar total.

Datos de radiación solar total (directa, difusa y albedo) en los últimos años (2006-2010) en el departamento de Lambayeque, recopilados del centro meteorológico de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Son datos promedios mensuales por hora en todo el día, desde las 6.00 am hasta las 6.00 pm, según consta en las tablas siguientes:

**Tabla 1**  
Radiación solar total (cal/h.cm<sup>2</sup>) en el año 2006.

Mes	Hora							Promedio día (cal/h.cm <sup>2</sup> )
	6.00 am	8.00 am	10.00 am	12.00	2.00 pm	4.00 pm	6.00 pm	
Enero	2.79	22.05	24.00	41.87	50.24	36.28	18.14	27.91
Febrero	2.80	22.08	24.04	41.93	50.31	36.34	18.17	27.95
Marzo	2.69	21.23	23.11	40.31	48.37	34.93	17.47	26.87
Abril	2.23	17.59	19.14	33.39	40.07	28.94	14.47	22.26
Mayo	2.10	16.60	18.07	31.52	37.82	27.31	13.66	21.01
Junio	2.03	16.01	17.43	30.41	36.49	26.35	13.18	20.27
Julio	1.64	12.92	14.07	24.54	29.45	21.27	10.63	16.36
Agosto	2.11	16.70	18.18	31.71	38.05	27.48	13.74	21.14
Setiembre	2.22	17.56	19.12	33.35	40.01	28.90	14.45	22.23
Octubre	2.53	19.99	21.77	37.97	45.56	32.90	16.45	25.31
Noviembre	2.60	20.50	22.32	38.93	46.71	33.74	16.87	25.95
Diciembre	2.76	21.82	23.75	41.43	49.72	35.91	17.95	27.62

**Fuente:** UPRG, 2010

**Tabla 2**  
Radiación solar total (cal/h.cm<sup>2</sup>) en el año 2007.

Mes	Hora	Promedio
-----	------	----------

	6.00 am	8.00am	10.00 am	12. 00	2.00pm	4.00pm	6.00pm	dia (cal/h.cm <sup>2</sup> )
Enero	2.81	22.17	24.13	42.09	50.51	36.48	18.24	28.06
Febrero	2.80	22.10	24.06	41.97	50.36	36.37	18.19	27.98
Marzo	2.72	21.47	23.37	40.77	48.92	35.33	17.67	27.18
Abril	2.31	18.23	19.85	34.62	41.54	30.00	15.00	23.08
Mayo	2.33	18.40	20.03	34.94	41.92	30.28	15.14	23.29
Junio	2.22	17.51	19.06	33.24	39.89	28.81	14.40	22.16
Julio	2.10	16.55	18.02	31.43	37.71	27.24	13.62	20.95
Agosto	1.81	14.26	15.52	27.08	32.49	23.47	11.73	18.05
Setiembre	2.71	21.42	23.32	40.68	48.82	35.26	17.63	27.12
Octubre	2.75	21.75	23.68	41.30	49.55	35.79	17.89	27.53
Noviembre	2.10	16.59	18.06	31.50	37.80	27.30	13.65	21.00
Diciembre	2.53	19.99	21.77	37.97	45.56	32.90	16.45	25.31

**Fuente:** UPRG, 2010

**Tabla 3**  
Radiación solar total (cal/h.cm<sup>2</sup>) en el año 2008

Mes	Hora							Promedio dia (cal/h.cm <sup>2</sup> )
	6.00 am	8.00am	10. 00am	12.00	2.00pm	4.00pm	6.00pm	
Enero	2.70	21.32	23.21	40.49	48.58	35.09	17.54	26.99
Febrero	2.72	21.51	23.42	40.85	49.01	35.40	17.70	27.23
Marzo	2.77	21.91	23.85	41.60	49.91	36.05	18.02	27.73
Abril	2.60	20.55	22.37	39.02	46.82	33.81	16.91	26.01
Mayo	2.80	22.08	24.04	41.93	50.31	36.34	18.17	27.95
Junio	2.55	20.11	21.89	38.18	45.81	33.09	16.54	25.45
Julio	1.80	14.25	15.51	27.06	32.47	23.45	11.73	18.04
Agosto	2.31	18.26	19.88	34.68	41.62	30.06	15.03	23.12
Setiembre	2.53	20.00	21.78	37.98	45.58	32.92	16.46	25.32
Octubre	2.61	20.64	22.47	39.20	47.03	33.97	16.98	26.13
Noviembre	2.72	21.46	23.36	40.74	48.89	35.31	17.65	27.16
Diciembre	2.77	21.84	23.78	41.48	49.77	35.95	17.97	27.65

**Fuente:** UPRG, 2010

**Tabla 4**  
Radiación solar total (cal/h.cm<sup>2</sup>) en el año 2009.

Mes	Hora							Promedio dia
	6.00 am	8.00am	10. 00am	12.00	2.00pm	4.00pm	6.00pm	
Enero	2.70	21.36	23.25	40.56	48.67	35.15	17.58	27.04
Febrero	2.67	21.12	23.00	40.11	48.13	34.76	17.38	26.74
Marzo	2.71	21.38	23.27	40.59	48.71	35.18	17.59	27.06
Abril	2.61	20.60	22.43	39.12	46.94	33.90	16.95	26.08
Mayo	2.68	21.13	23.01	40.13	48.15	34.78	17.39	26.75
Junio	1.71	13.52	14.72	25.68	30.82	22.26	11.13	17.12
Julio	2.54	20.09	21.87	38.15	45.77	33.06	16.53	25.43
Agosto	2.31	18.27	19.89	34.70	41.63	30.07	15.03	23.13
Setiembre	2.32	18.36	19.99	34.86	41.83	30.21	15.11	23.24
Octubre	2.44	19.25	20.96	36.56	43.87	31.68	15.84	24.37
Noviembre	2.53	19.95	21.72	37.88	45.45	32.83	16.41	25.25
Diciembre	2.47	19.49	21.22	37.01	44.41	32.07	16.04	24.67

**Fuente:** UPRG, 2010

### **Tabla 05**

Radiación solar total (cal/h.cm<sup>2</sup>) en el año 2010.

Mes	Hora							Promedio dia (cal/h.cm <sup>2</sup> )
	6. 00 am	8.00 am	10. 00 am	12.00	2.00 pm	4.00 pm	6.00 pm	
Enero	2.68	21.20	23.07	40.25	48.29	34.88	17.44	26.83
Febrero	2.74	21.65	23.57	41.12	49.34	35.63	17.82	27.41
Marzo	2.77	21.84	23.78	41.48	49.77	35.95	17.97	27.65
Abril	2.61	20.64	22.47	39.20	47.03	33.97	16.98	26.13
Mayo	2.52	19.90	21.66	37.79	45.34	32.75	16.37	25.19
Junio	2.47	19.50	21.22	37.02	44.42	32.08	16.04	24.68
Julio	2.41	19.05	20.73	36.17	43.40	31.34	15.67	24.11

**Fuente:** UPRG, 2010

## **2.2 Información de radiometría y fotometría**

Información de radiometría y fotometría, con la finalidad de identificar las magnitudes que estén asociadas con la energía radiante y luz. La magnitud que se utilizó es la irradiancia,

energía electromagnética que incide sobre la unidad de una superficie normal al flujo en una unidad de tiempo, su unidad es el (W/m<sup>2</sup>). (Gromer, 2006).

Se utilizó esta magnitud por la razón que nos ayudará a realizar las conversiones de (cal/h.cm<sup>2</sup>) a (W/m<sup>2</sup>).

### 2.3 Factores de Conversión

Factores de conversión del Sistema Internacional S.I métrico Ingles.

**Tabla 6**

Factores de conversión utilizados, S.I.

Multiplíquese por		Para obtener
Caloría	4.1868	Joules
Hora	3600	Segundos
centímetro cuadrado	0.0001	metros
Lux	0.001496	Watt

**Fuente:** S.I, 1992.

### 2.4 Magnitud de irridancia

Para llegar a tener los valores de irridancia es necesario realizar las conversiones de (cal/h.cm<sup>2</sup>) a (W/m<sup>2</sup>). (Gromer, 2006), se diseñó de la siguiente manera:

$$I = R_t \times J \times R \times B \dots\dots\dots (1)$$

Donde:

**I** = Irridancia (W/m<sup>2</sup>)

**R<sub>t</sub>** = Radiación solar total (cal/h.cm<sup>2</sup>)

**J** = Valor de conversión cal a J

**R** = Valor de conversión hora a segundos

**B** = Valor de conversión cm<sup>2</sup> a m<sup>2</sup>

## 2.5 Tipos de energía solar total

Se utilizó porcentajes de energía solar total que llega a la superficie terrestre estandarizadas por la Comisión Internacional de Iluminación (CIE) los cuales son: 42% de luz visible, 49% de radiación infrarroja y 9% radiación ultravioleta. (Marín, 2005). Para éste análisis se consideró el factor de corrección ( $F_c$ ) del 42%, ya que el sistema day light solo canaliza luz del día.

## 2.6 Eficiencia teórica de los sistemas day light

Datos de eficiencia teórica de los tubos solares (TTE) de acuerdo a la Comisión Internacional de Iluminación (CIE) en función al diámetro del tubo o claraboya (D) y la longitud del tubo (L). Los cuales se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 7**

Eficiencia teórica de los tubos solares.

Tipo de Sistema	D (m)	L (m)	TTE (%)
Sistema 1	0.25	6	89
Sistema 2	0.38	8	91
Sistema 3	0.53	12	90.2
Sistema 4	0.65	12	93.4

**Fuente:** CIE 2010.

**Tabla 8**

Factor de pérdidas de luz en (%).

Tipos	Factor de pérdidas de luz (%)			
	Sist 1	Sist 2	Sist 3	Sist 4
Factor de absorción del sistema	4.2	3.8	4.2	2.5
Factor de reflexión	6.8	5.2	5.6	4.1
Total	11	9	9.8	6.6

**Fuente:** Solatube, 2010.

## 2.7 Fórmula área de un tubo solar

Se utilizó la fórmula del área del círculo en función al diámetro (Thomas, 2005), con la finalidad de tener el área que ocupa la claraboya en un área determinada.

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \dots\dots\dots (2)$$

A = Área (**m<sup>2</sup>**)

d = diámetro de la cúpula o tubo (m)

### 2.8 Magnitud de iluminancia

Para llegar a tener los valores de iluminancia es necesario realizar las conversiones de **lm** (W/m<sup>2</sup>) a lux (**lm** m<sup>2</sup>). (González, 2004). Se diseñó de la siguiente manera:

$$L = \frac{I \times TTE \times F_c \times A}{M} \dots\dots\dots (3)$$

Donde:

- lm**  
L = Iluminancia, lux (**lm** m<sup>2</sup>)
- I = Irridancia (W/m<sup>2</sup>)
- TTE = Eficiencia teórica de los tubos solares (%)
- F<sub>c</sub>** = Factor de corrección de luz visible (%)
- M = Valor de conversión lux a W
- A = Área de la claraboya o tubo (**m<sup>2</sup>**)

### 3. Metodología

Para el análisis del sistema day light se tuvo en cuenta el conjunto de procedimientos lógicos para alcanzar los objetivos planteados en la investigación.

### 3.1 Clasificación de tablas de radiación solar total

En primer lugar para la aplicación de la fórmula matemática.... (1), es necesario la utilización de las tablas de radiación solar total clasificándolas en las cuatro estaciones (verano, invierno, otoño y primavera) según SENAMHI y a la vez se ha determinado los valores más representativos mediante los máximos y mínimos de los datos presentados. Estos valores nos indicaran la fluctuación de la radiación solar promedio en el transcurso del día cada dos horas en los últimos cuatro años. De esta manera se elaboró las siguientes tablas:

**Tabla 8**

Radiación solar máxima y mínima (cal/h.cm<sup>2</sup>) en función de horas día en la estación de verano, año 2006 -2010.

RS	Tiempo						
	6.00 am	8.00 am	10.00 am	12.00 am	2.00 pm	4.00 pm	6.00 pm
Máxima	2.81	22.17	24.13	42.09	50.51	36.48	18.24
Mínima	2.47	19.49	21.22	37.97	44.41	32.07	16.04

**Tabla 09**

Radiación solar máxima y mínima (cal/h.cm<sup>2</sup>) en función de horas día en la estación de invierno, año 2006 – 2010.

RS	Tiempo						
	6.00 am	8.00 am	10.00 am	12.00 am	2.00 pm	4.00 pm	6.00 pm
Máxima	2.10	16.60	18.07	31.52	37.82	27.31	13.66
Mínima	1.80	14.25	15.51	27.06	30.82	22.26	11.73

**Tabla 10**

Radiación solar máxima y mínima (cal/h.cm<sup>2</sup>) en función de horas día en la estación de otoño, año 2006 - 2010.

RS	Tiempo						
	6.00 am	8.00 am	10.00 am	12.00 am	2.00 pm	4.00 pm	6.00 pm
Máxima	2.22	17.56	19.12	33.35	40.01	28.90	14.45
Mínima	1.64	12.92	14.07	24.54	29.45	21.27	10.63

**Tabla 11**

Radiación solar máxima y mínima (cal/h.cm<sup>2</sup>) en función de horas día en la estación de primavera, año 2006 - 2010.

RS	Tiempo						
	6.00 am	8.00 am	10.00 am	12.00 am	2.00 pm	4.00 pm	6.00 pm
Máxima	2.72	21.46	23.36	40.74	48.89	35.31	17.65
Mínima	2.44	19.25	20.96	36.56	43.87	31.68	15.84

### 3.2 Determinación de Irridancia

Para la determinación de la irridancia es necesario tener en cuenta las tablas N 8 – 11.

$$I = R_t \times J \times R \times B \dots\dots\dots (1)$$

Por ejemplo: Irridancia máxima a las 6 am. En la estación de Verano.

$$I = R_t \times J \times R \times B$$

$$I = 2.81 \frac{\text{cal}}{\text{h. cm}^2} \times \frac{4.1568 \text{ J}}{1 \text{ cal}} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \times \frac{1 \text{ cm}^2}{0.0001 \text{ m}^2}$$

$$I = 32.63 \frac{\text{J}}{\text{s m}^2}$$

$$I = 32.63 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

De esta manera se realizará para cada valor como se muestran en las siguientes tablas:

**Tabla 12**

Determinación de irridancia máxima y mínima (W/m<sup>2</sup>) en función de horas día en la estación de verano, año 2006 - 2010.

RS	Tiempo						
	6.00 am	8.00 am	10.00 am	12.00 am	2.00 pm	4.00 pm	6.00 pm
Máxima	32.63	257.76	280.60	489.41	587.30	424.16	212.08
Mínima	28.69	226.62	246.70	441.45	516.34	372.91	186.46

**Tabla 13**

Determinación de irradiancia máxima y mínima ( $W/m^2$ ) en función de horas día en la estación de invierno, año 2006 - 2010.

	Tiempo						
RS	6.00 am	8.00 am	10.00 am	12.00 am	2.00 pm	4.00 pm	6.00 pm
Máxima	24.43	193.00	210.10	366.45	439.74	317.59	158.79
Mínima	20.98	165.71	180.40	314.65	358.32	258.79	136.35

**Tabla 14**

Determinación de irradiancia máxima y mínima ( $W/m^2$ ) en función de horas día en la estación de otoño, año 2006 - 2010.

	Tiempo						
RS	6.00 am	8.00 am	10.00 am	12.00 am	2.00 pm	4.00 pm	6.00 pm
Máxima	25.85	204.20	222.30	387.73	465.27	336.03	168.02
Mínima	19.02	150.28	163.60	285.35	342.41	247.30	123.65

**Tabla 15**

Determinación de irradiancia máxima y mínima ( $W/m^2$ ) en función de horas día en la estación de primavera, año 2006 - 2010.

	Tiempo						
RS	6.00 am	8.00 am	10.00 am	12.00 am	2.00 pm	4.00 pm	6.00 pm
Máxima	31.58	249.49	271.60	473.72	568.46	410.55	205.28
Mínima	28.34	223.86	243.70	425.05	510.06	368.38	184.19

### 3.3 Determinación del área de los tubos solares

Aplicación de fórmula. . . (2) determinará el área de la claraboya o tubo a analizar según su diámetro.

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \dots\dots\dots (2)$$

Por ejemplo, para el área del sistema N° 01:

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$A = \frac{3.1415 \times 0.25^2}{4}$$

$$A = 0.05 \text{ m}^2$$

La misma aplicación para cada sistema.

**Tabla 16**  
Determinación del área de la claraboya o tubo según su diámetro.

Tipo de Sistema	D (m)	L (m)	TTE (%)	A m2
Sistema 1	0.25	6	89	0.05
Sistema 2	0.38	8	91	0.11
Sistema 3	0.53	12	90.2	0.22
Sistema 4	0.65	12	93.4	0.33

### 3.4 Determinación de iluminancia

Para obtener la cantidad de lux que proporciona cada sistema bajo las condiciones climatológicas del departamento de Lambayeque en los últimos años:

$$L = \frac{I \times TTE \times F_c \times A}{M} \dots\dots\dots (3)$$

Por ejemplo, determinar la iluminancia máxima a las 6.00 am en la estación de verano.

$$L = \frac{I \times TTE \times F_c \times A}{M}$$

$$L = \frac{32.62 \frac{w}{m^2} \times 0.89 \times 0.42 \times 0.05 m^2}{0.001496 lux}$$

$$L = 407.63 lux$$

De esta manera se realizará para cada valor como se muestran en las siguientes tablas. Al mismo tiempo se toma en cuenta la tabla 8, que son los factores de pérdida de la luz que cada sistema tiene. Para obtener los valores se consideró solo la estación de verano siendo la más representativa porque la intensidad de iluminación es mayor.

**Tabla 17. Iluminancia (lux) por cada sistema en cada estación del año.**

Estación	Hora	Sistema 01		Sistema 02	
		Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
Verano	6.00 am	407.63	358.38	916.93	806.15
	8.00 am	3220.25	2831.2	7243.75	6368.61
	10.00 am	3505.59	3082.07	7885.6	6932.92
	12 m	6114.39	5515.16	13753.95	12406
	2.00 pm	7337.27	6450.84	16504.74	14510.76
	4.00 pm	5299.14	4658.94	11920.09	10479.99
	6.00 pm	2649.57	2329.47	5960.04	5240
Invierno	6.00 am	305.21	262.07	686.55	589.5
	8.00 am	2411.17	2070.32	5423.77	4657.06
	10.00 am	2624.82	2253.77	5904.36	5069.71
	12 m	4578.17	3930.99	10298.31	8842.52
	2.00 pm	5493.8	4476.62	12357.97	10069.89
	4.00 pm	3967.75	3233.12	8925.2	7272.7
	6.00 pm	1983.87	1703.43	4462.6	3831.76
Otoño	6.00 am	322.93	237.66	726.42	534.6
	8.00 am	2551.18	1877.52	5738.72	4223.37
	10.00 am	2777.23	2043.88	6247.21	4597.59
	12 m	4844.01	3564.91	10896.3	8019.05
	2.00 pm	5812.81	4277.9	13075.57	9622.86
	4.00 pm	4198.14	3089.59	9443.46	6949.85
	6.00 pm	2099.07	1544.8	4721.73	3474.92
Primavera	6.00 am	394.55	354.02	887.52	796.35
	8.00 am	3116.96	2796.77	7011.41	6291.17
	10.00 am	3393.15	3044.59	7632.67	6848.61
	12 m	5918.28	5310.33	13312.8	11945.25
	2.00 pm	7101.94	6372.39	15975.36	14334.3
	4.00 pm	5129.18	4602.28	11537.76	10352.55
	6.00 pm	2564.59	2301.14	5768.88	5176.28

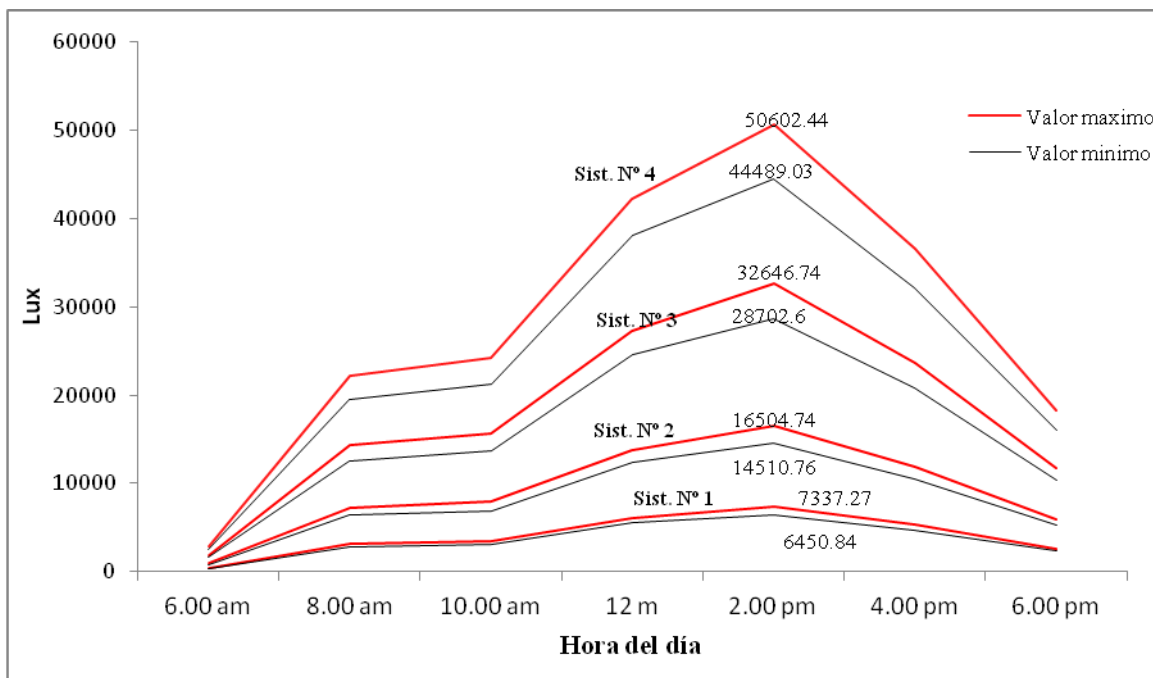
Estación	Hora	Sistema 03		Sistema 04	
		Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
Verano	6.00 am	1813.71	1594.59	2811.25	2471.61
	8.00 am	14328.29	12597.25	22208.85	19525.74
	10.00 am	15597.89	13713.47	24176.72	21255.87
	12 m	27205.61	24539.35	42168.7	38035.99
	2.00 pm	32646.74	28702.6	50602.44	44489.03
	4.00 pm	23578.2	20729.66	36546.21	32130.97
	6.00 pm	11789.1	10364.83	18273.1	16065.48
Invierno	6.00 am	1358.02	1166.05	2104.93	1807.37
	8.00 am	10728.35	9211.77	16628.94	14278.25
	10.00 am	11678.96	10028.01	18102.39	15543.41
	12 m	20370.28	17490.71	31573.93	27110.6
	2.00 pm	24444.33	19918.47	37888.71	30873.62
	4.00 pm	17654.24	14385.56	27364.07	22297.62
	6.00 pm	8827.12	7579.31	13682.04	11747.93
Otoño	6.00 am	1436.88	1057.46	2227.16	1639.06
	8.00 am	11351.31	8353.91	17594.54	12948.57
	10.00 am	12357.13	9094.13	19153.55	14095.91
	12 m	21553.13	15861.86	33407.35	24585.89
	2.00 pm	25863.76	19034.23	40088.82	29503.06
	4.00 pm	18679.38	13746.95	28953.04	21307.77
	6.00 pm	9339.69	6873.47	14476.52	10653.88
Primavera	6.00 am	1755.53	1575.2	2721.08	2441.56
	8.00 am	13868.72	12444.06	21496.52	19288.3
	10.00 am	15097.6	13546.7	23401.28	20997.39
	12 m	26333.02	23627.97	40816.18	36623.35
	2.00 pm	31599.62	28353.56	48979.41	43948.02
	4.00 pm	22821.95	20477.57	35374.02	31740.24
	6.00 pm	11410.97	10238.79	17687.01	15870.12

### III. Resultados

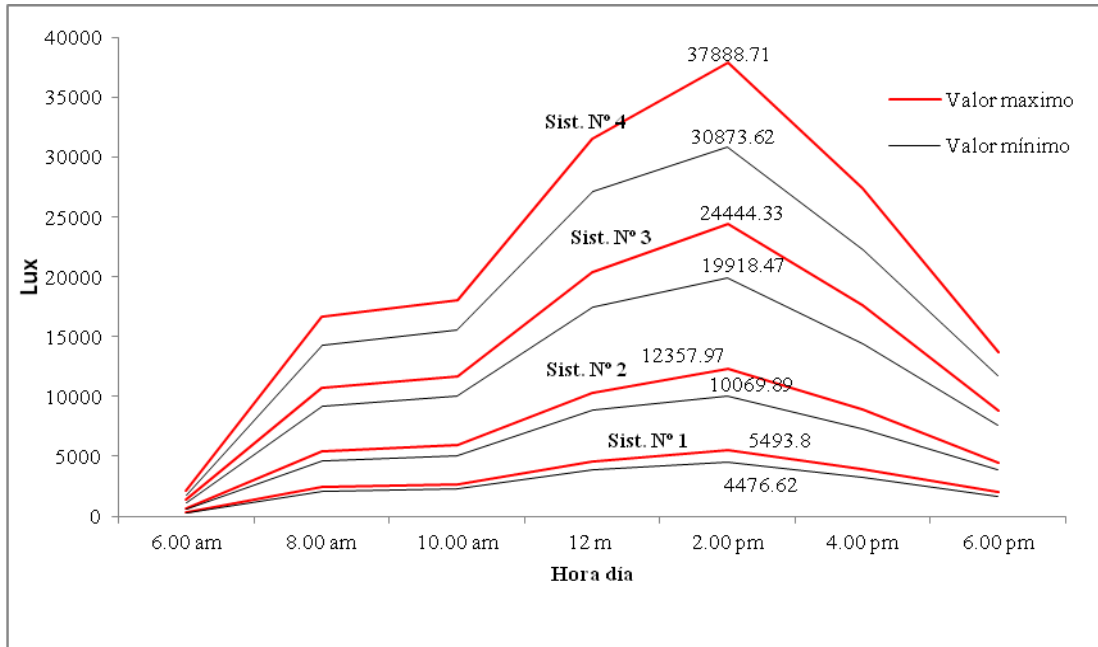
#### Variación mínima y máxima de iluminación.

La evaluación de los sistemas mediante la variación mínima y máxima de iluminación que cada sistema puede canalizar según las estaciones del año, van desde las 6.00 am hasta las 6 pm, horas promedio que sale el sol hasta el ocaso. (SENAMHI, 2010). En las figuras (Fig. 1 – Fig. 4) muestran el comportamiento temporal de los cuatro sistemas en lux teniendo el pico máximo entre las 12.00 y 2.00 pm. Se observa también que en la estación de verano los cuatro tipos de sistemas emiten mayor cantidad de lux, mientras que en la estación de invierno decrece y en la estación de otoño y primavera empiezan ascender, como se observa en (Fig. 2-4). Estos resultados son bajo las condiciones climatológicas del Departamento de Lambayeque ubicado al norte de Perú en una altitud de 18 msnm, latitud de 06°46' y una longitud de 79°50', siendo considerado como una de las mejores zonas para el aprovechamiento de radiación solar.

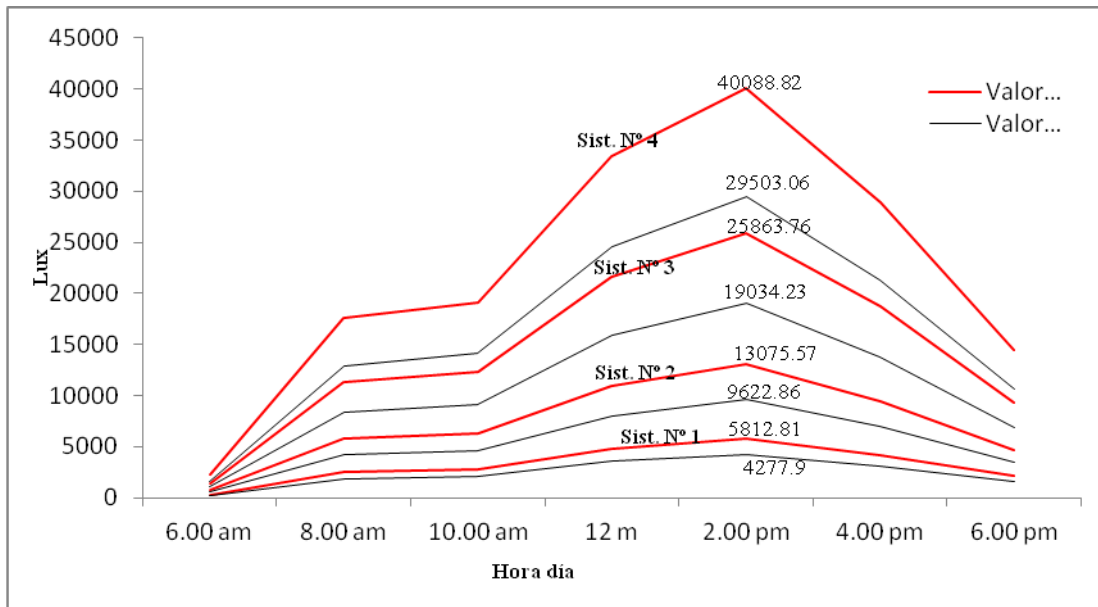
**Fig. 1.** Comportamiento temporal máximo y mínimo de iluminosidad (lux) en la estación de verano, años 2006-2010.



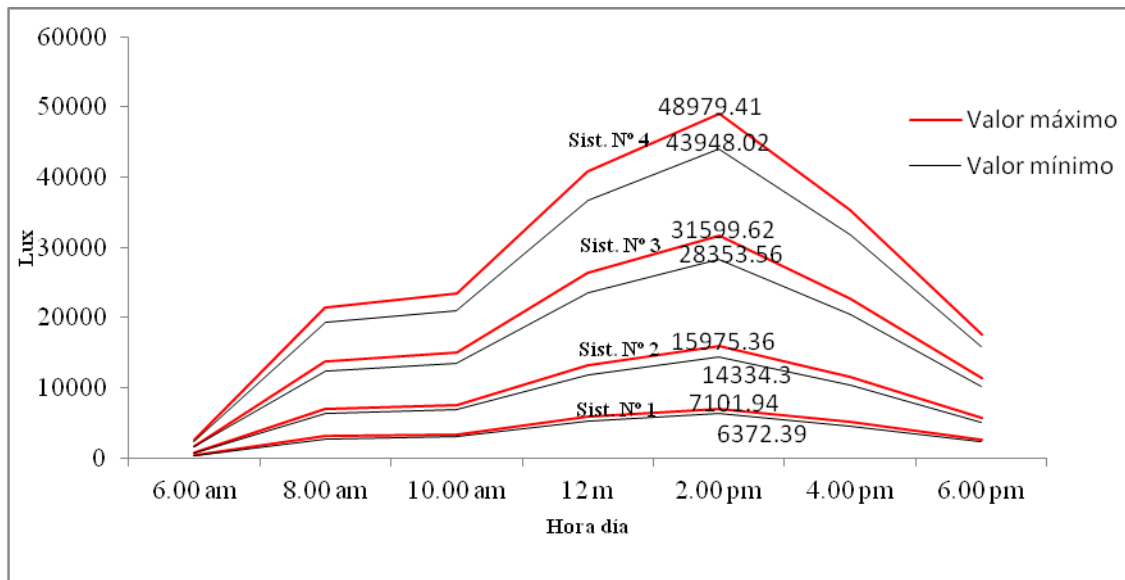
**Fig. 2.** Comportamiento temporal máximo y mínimo de iluminosidad (lux) en la estación de invierno, años 2006-2010.



**Fig. 3.** Comportamiento temporal máximo y mínimo de iluminosidad (lux) en la estación de otoño, años 2006-2010.



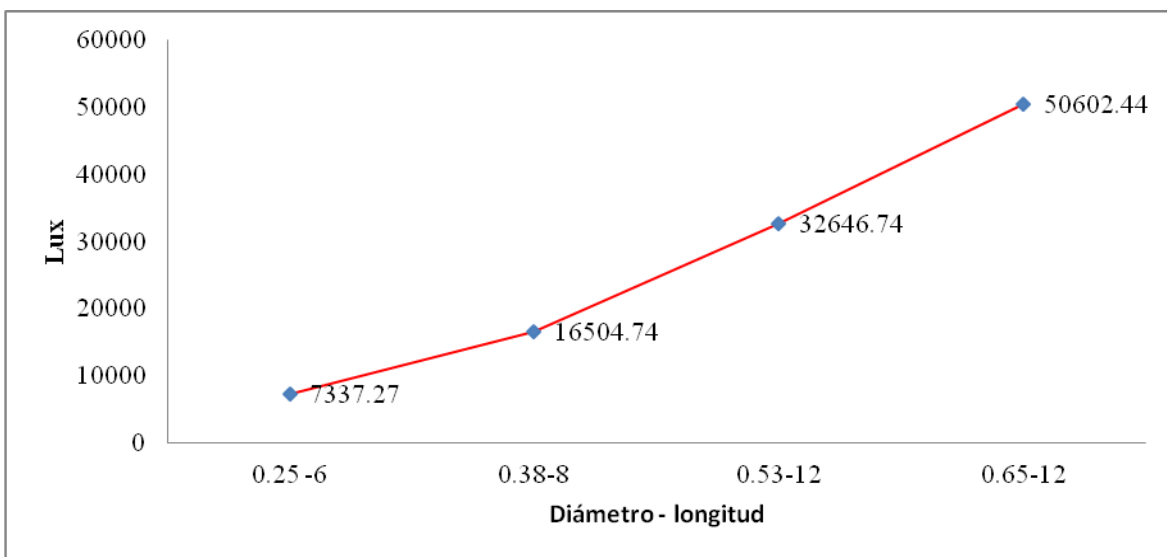
**Fig. 4.** Comportamiento temporal máximo y mínimo de iluminosidad (lux) en la estación de primavera, años 2006-2010.



#### Iluminosidad canalizada según el diámetro y longitud del sistema

Esta figura 5 representa la iluminosidad (lux) del valor máximo a las 2.00 pm en la estación de verano según el diámetro y longitud de los cuatro tipo de sistemas. Se observa cuando el diámetro es mayor del sistema más iluminosidad puede canalizar.

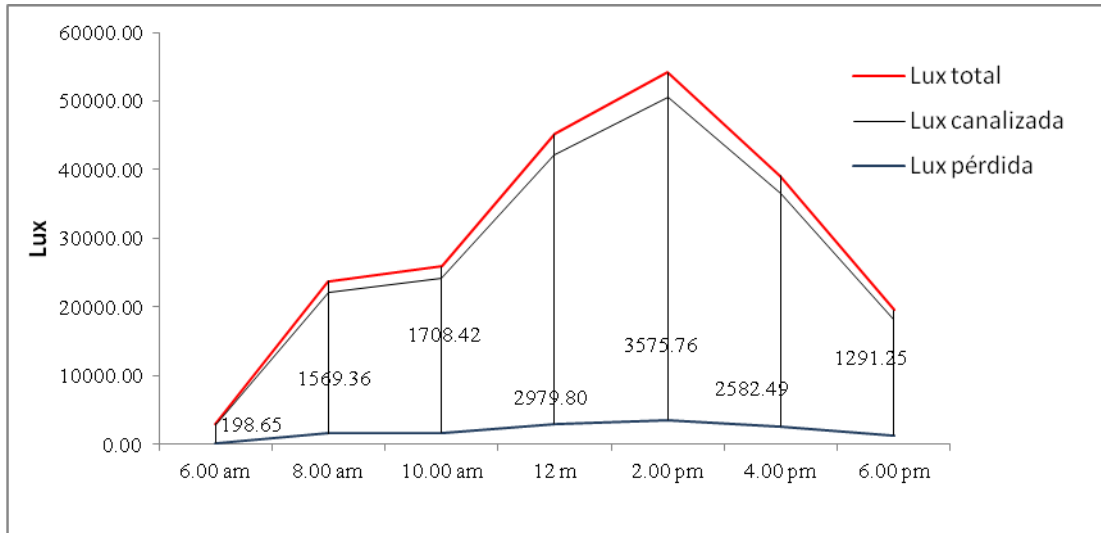
**Fig 5.** Iluminosidad (lux) en función al diámetro y longitud del tubo solar a las 2.00 pm en la estación de verano.



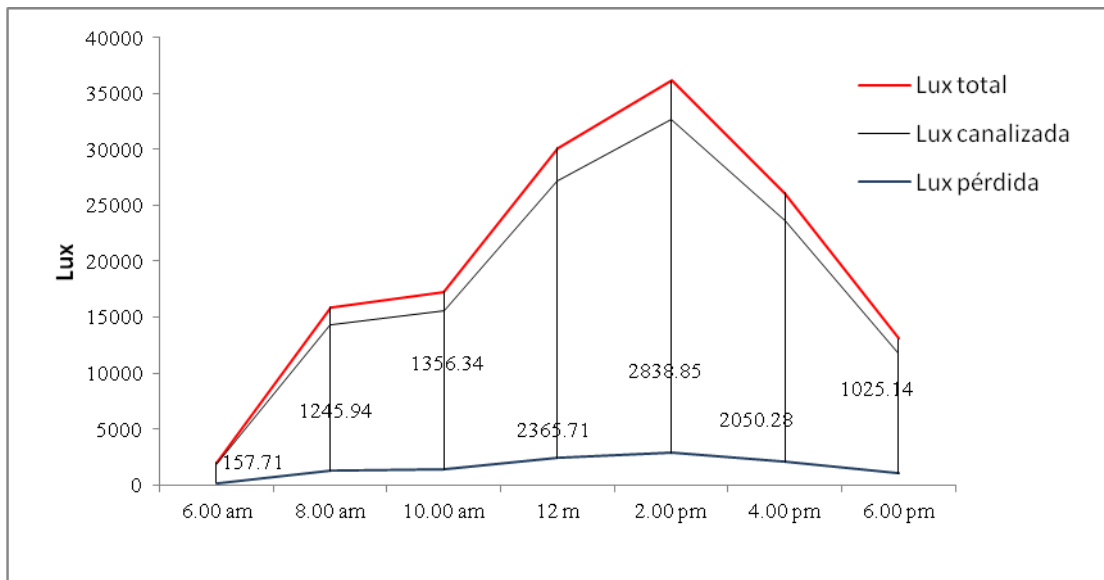
### Pérdidas de iluminosidad, lumen por metro cuadrado según los cuatro sistemas

En las figuras (6-10), indican las pérdidas de lumen por metro en todo el día, desde las 6.00 am hasta las 6.00 pm. La figura nos muestra la cantidad de lux que llega al colector representada por la línea de color rojo y la cantidad de lux que el sistema puede canalizar representada por la línea de color negro y la línea azul los valores de pérdida. De esta manera se presenta los siguientes cuadros por cada tipo de sistema.

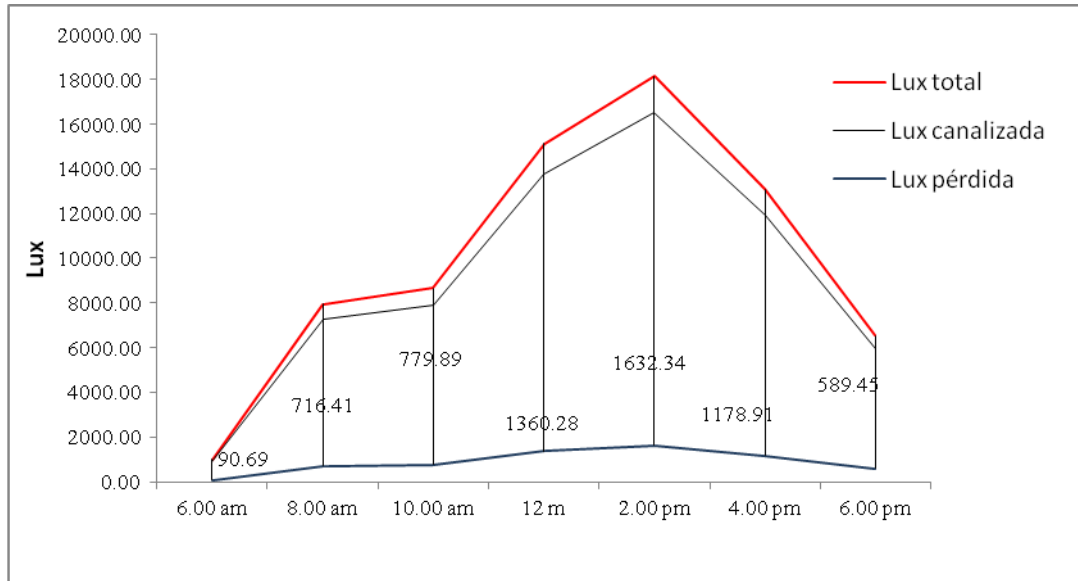
**Fig 6.** Pérdida de lumen por metro cuadrado en la estación de verano según el sistema 4.



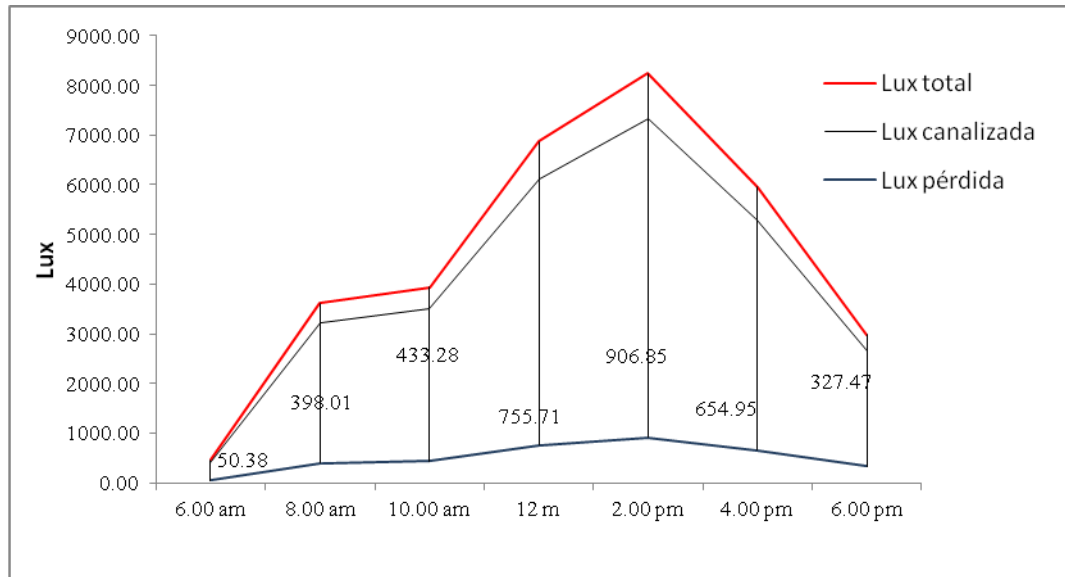
**Fig 7.** Pérdida de lumen por metro cuadrado en la estación de verano según el sistema 3.



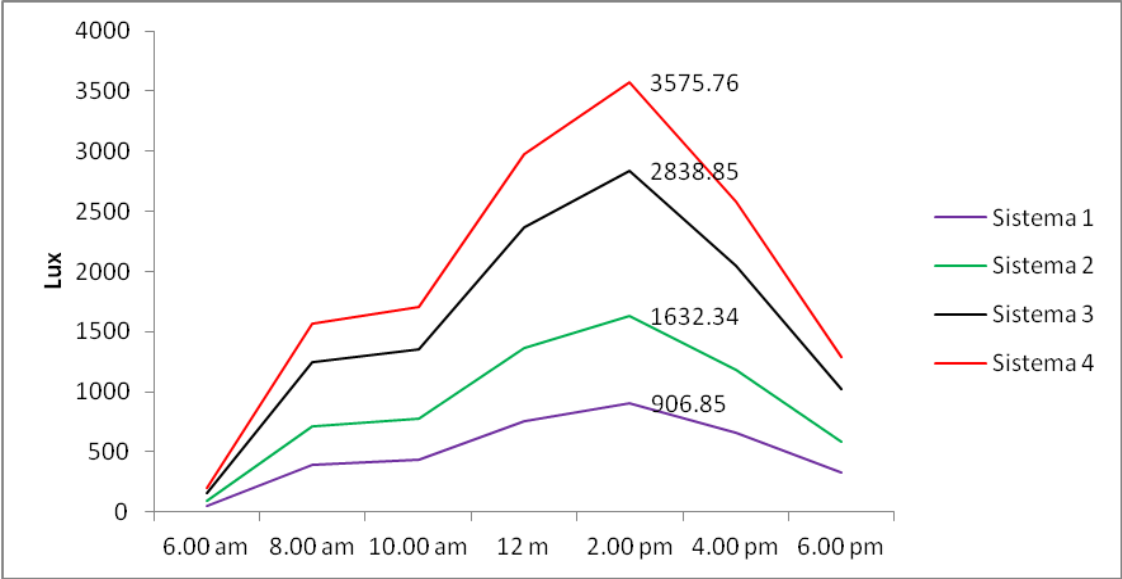
**Fig 8.** Pérdida de lumen por metro cuadrado en la estación de verano según el sistema 2.



**Fig. 9.** Pérdida de lumen por metro cuadrado en la estación de verano según el sistema 1.



**Fig. 10.** Pérdida de lumen por metro cuadrado en la estación de verano según los cuatro sistemas.



#### IV. Discusiones

El análisis del sistema day light mediante la variación mínima y máxima de iluminación en las cuatro estaciones del año se observa en las figuras (1-4) mostrando un comportamiento de iluminación ascendente desde las 6.00 am hasta las 2.00 pm. El sistema que más luz canaliza es el sistema 4 con un mínimo de 2 471.6 lux y un máximo de 50 602 lux en la estación de verano y en la estación de otoño que es la estación donde llega a tener el valor mínimo de 1 639 lux y un máximo de 29 500 lux. Al mismo tiempo se observa la cantidad de lux disponible que aumentaría cuando más grande sea el diámetro del colector y longitud del transmisor (Fig5).

Este comportamiento o variación se basa en el principio de funcionamiento de acuerdo a la eficiencia teórica de los sistemas y especialmente a la luz directa del sol y la que se encuentra difundida por el aire y las nubes, (Solarsport, 2006). El primer principio que es la eficiencia teórica de los sistemas dependerá exclusivamente de los materiales con los que son fabricados, como el colector ubicado en la parte exterior del techo, los cuales, son diseñados con lentes fresnel para la mejor captura de luz en función a cualquier ángulo de incidencia de la luz, rechazando las ondas electromagnéticas ultravioletas e infrarrojo (tecnología raybender), seguido del transmisor que son tubos de aluminio altamente reflexivos –en la parte interna poseen un film polimérico multicapa (tecnología spectralight) permitiendo transportar la máxima cantidad de luz captada por el colector. (Solatube, 2010). Los cuatro sistemas analizados están patentados ante la Comisión Internacional de Iluminación (CIE) bajo la eficiencia teórica mostrada en la tabla 16 según los diferentes diámetros, longitudes y materiales mencionados anteriormente.

Esta eficiencia teórica por cada sistema también se verifica en las pérdidas mínimas que varían entre el 6.6 al 11% según la tabla 8. En las figs. (10) nos resume el comportamiento de las pérdidas que se generan en el transcurso del día por cada tipo de sistema. Estas pérdidas se deben a los factores de absorción y reflexión. Se observa también que la mayor pérdida se da en los sistemas 3 y 4, ya que al tener más área captaría más lux y a la vez pérdidas mayores, como se puede justificar en la fig. (6-9).

El segundo principio se basa en la luz directa del sol y la que se encuentra difundida por el aire y las nubes. Este principio se fundamenta bajo los tipos de radiación solar total que llega a la superficie terrestre como la radiación solar directa, difusa y del albedo. (Jutglar, 2004). A la vez este tipo de radiación está comprendida en radiación infrarroja (49%), luz visible (42%) y radiación ultravioleta (9%). (CIE) (IDEA, 2005). De esta manera los sistemas day light capturan solo el 42% de luz visible porque el resto es rechazado por los materiales con los que son fabricados. Este principio es muy importante para los sistemas day light, ya que la intensidad de la luz emitida por el sol está en constante variación en las diferentes horas del día y en cada época del año. Esto se debe a los factores y elementos clima más representativo la latitud, altitud, movimientos de la tierra y la nubosidad que determina los tipos de cielo. (Bernal y González, 2000).

**Tabla 18:**

Clasificación de tipo de cielo y grado de nubosidad en octavos por cada estación en el Departamento de Lambayeque.

Estación	Nubosidad Octavos	Tipo de cielo
Verano	2	Despejado
Otoño	4	Parcialmente nuboso
Invierno	6	Nuboso
Primavera	4	Parcialmente nuboso

**Fuente:** SENAMHI –UPRG, 2010.

Teniendo en cuenta los principios de funcionamiento de los sistemas day light en el Departamento de Lambayeque, se ejemplificará la iluminancia recomendada para centros comerciales como escaparates grandes de 2 000 lux, significa que se necesita 2000 lux por metro cuadrado para tener una iluminación en un nivel óptimo y siendo lo mejor una iluminación natural y no una iluminación artificial. Se presenta una tabla donde se compara la iluminancia recomendada por las normas de iluminación (MEM y Martín) y los resultados obtenidos por cada tipo de sistema day light tomando como referencia un centro comercial que empieza a trabajar a las 8.00 am.

**Tabla 19.**

Comparación de iluminosidad de cada sistema con la iluminación recomendada por norma en un centro comercial que empieza a trabajar a las 8.00 am, en la estación de verano.

Tipo de sist.	Iluminancia (lux)		Iluminancia recomendada (lux)	Cumple
	Mínima	Máxima		
Sistema 1	2831.2	6 450.84	2000	Sí
Sistema 2	6368.6	14501.3	2000	Sí
Sistema 3	12897.25	32 646.74	2000	Sí
Sistema 4	19525.74	50 602	2000	Sí

De la misma manera se ha realizado una comparación de los resultados de los cuatro tipos de sistemas day light, con respecto a cada estación.

**Tabla 20.**

Comparación de iluminosidad de cada sistema con la iluminación recomendada por norma en un centro comercial que empieza a trabajar a las 8.00 am, en la estación de invierno.

Tipo de sist.	Iluminancia (lux)		Iluminancia recomendada (lux)	Cumple
	Mínima	Máxima		
Sistema 1	2411.17	5493.8	2000	Sí
Sistema 2	4657.06	12357.97	2000	Sí
Sistema 3	9211.77	24444.33	2000	Sí
Sistema 4	14278.25	37888.71	2000	Sí

**Tabla 21.**

Comparación de iluminosidad de cada sistema con la iluminación recomendada por norma en un centro comercial que empieza a trabajar a las 8.00 am, en la estación de otoño.

Tipo de sist.	Iluminancia (lux)		Iluminancia recomendada (lux)	Cumple
	Mínima	Máxima		
Sistema 1	2070.32	5493.8	2000	Sí
Sistema 2	4657.06	12357.97	2000	Sí
Sistema 3	8353.91	25863.76	2000	Sí
Sistema 4	12948.57	40088.82	2000	Sí

**Tabla 22.**

Comparación de iluminosidad de cada sistema con la iluminación recomendada por norma en un centro comercial que empieza a trabajar a las 8.00 am, en la estación de primavera.

Tipo de sist.	Iluminancia (lux)		Iluminancia recomendada (lux)	Cumple
	Mínima	Máxima		
Sistema 1	2796.77	7101.94	2000	Sí
Sistema 2	6291.17	15975.36	2000	Sí
Sistema 3	12444.06	31599.62	2000	Sí
Sistema 4	19288.3	48979.41	2000	Sí

Referente al sector industrial, por ejemplo en los puestos y zonas de trabajo de una cervecería los niveles de iluminación recomendados por norma es de 500 lux. A continuación se presenta tablas donde se esquematizan dichos niveles de iluminación por norma y por cada tipo de sistema.

**Tabla 23.**

Comparación de iluminosidad de cada sistema con la iluminación recomendada por norma en una cervecería que empieza a trabajar a las 6.00 am, en la estación de verano.

---

Tipo de sist.	Iluminancia (lux)		Iluminancia recomendada (lux)	Cumple
	Mínima	Máxima		
Sistema 1	358.38	6 450.84	500	No
Sistema 2	806.15	14501.3	500	Sí
Sistema 3	1594.59	32 646.74	500	Sí
Sistema 4	2471.61	50 602	500	Sí

**Tabla 24.**

Comparación de iluminosidad de cada sistema con la iluminación recomendada por norma en una cervecería que empieza a trabajar a las 6.00 am, en la estación de invierno.

---

Tipo de sist.	Iluminancia (lux)		Iluminancia recomendada (lux)	Cumple
	Mínima	Máxima		
Sistema 1	262.07	5493.8	500	No
Sistema 2	589.5	12357.97	500	Sí
Sistema 3	1166.05	24444.33	500	Sí
Sistema 4	1807.37	37888.71	500	Sí

**Tabla 25.**

Comparación de iluminosidad de cada sistema con la iluminación recomendada por norma en una cervecería que empieza a trabajar a las 6.00 am, en la estación de otoño.

Tipo de sist.	Iluminancia (lux)		Iluminancia recomendada (lux)	Cumple
	Mínima	Máxima		
Sistema 1	237.66	5493.8	500	No
Sistema 2	534.6	12357.97	500	Sí
Sistema 3	1057.46	25863.76	500	Sí
Sistema 4	1639.06	40088.82	500	Sí

**Tabla 26.**

Comparación de iluminosidad de cada sistema con la iluminación recomendada por norma en una cervecería que empieza a trabajar a las 6.00 am, en la estación de primavera.

Tipo de sist.	Iluminancia (lux)		Iluminancia recomendada (lux)	Cumple
	Mínima	Máxima		
Sistema 1	354.55	5493.8	500	No
Sistema 2	796.35	12357.97	500	Sí
Sistema 3	1575.53	25863.76	500	Sí
Sistema 4	2441.76	40088.82	500	Sí

Teniendo en cuenta los resultados para los cuatro tipos de sistemas, de acuerdo a norma de alumbrado de interiores (MEM) y del manual práctico de iluminación (Martín, 2005), éstos sistemas pueden ser aplicados en cualquier tipo de sector como el industrial, comercial y residencial, dependiendo de un estudio previo de luminotecnia.

En un journal titulado “An analysis of daylighting performnce for office buildings in Hong Kong” los autores (Li y Tsang 2007), dieron a conocer que el rendimiento de la luz del día para edificios de oficinas es muy eficaz. Alrededor de un tercio de las zonas de oficinas que están cerca del perímetro de las regiones tienen un factor de luz diurna promedio bueno. Para la región interior de las oficinas de plan de profundidad, algunos sistemas de iluminación natural innovadores, como el tubo de luz podría utilizarse para mejorar el rendimiento de la luz del día. En otro journal titulado “Determination of light efficiency of tubular light guides” se enfoca a la evaluación de su impacto positivo en el ahorro de energía de los edificios. La principal contribución de los conductos de luz es el mejoramiento del confort visual en los edificios con iluminación natural y sus variaciones dinámicas. De esta manera el sistema day light, al ser una tecnología que canaliza la luz

natural, se encuentra bajo los parámetros de la luz visible óptima y sensación de brillo para el ojo humano encontrándose en los 555nm de longitud de onda en el espectro visible. (Gromer, 2006). Justamente esto justifica al mejor confort que se pueda generar en el área a iluminar, generando más productividad, menos cansancio para los trabajadores, mejor color de las cosas, etc. Se puede llegar a una eficiencia energética ya que los sistemas day light, son tecnologías limpias que aprovechan la energía renovable como la luz emitida por el sol, siendo ésta la principal fuente de iluminación. (Guillén, 2004).

## **V. Propuesta**

En la actualidad, el Perú está orientado a la eficiencia energética desde el punto de vista de minimizar el consumo de electricidad por medio de sistemas tradicionales y el desarrollo de energías renovables utilizando tecnologías que puedan implementarse en las diferentes zonas del país. (MEM, 2010). Ésta orientación se basa en la utilización de dos tipos de tecnología: la primera por tecnologías de iluminación como los LEDS que reemplazan rápidamente a otras fuentes de iluminación como los focos incandescentes, fluorescentes o lámparas halógenas y la segunda utilizan tecnología como los paneles solares que aprovechan la energía solar almacenándola y generando electricidad para diferentes usos como la iluminación, pero ésta luz artificial no cumple con buena calidad del color. (Greenpeace, 2009).

Esta orientación que se está aplicando en el Perú con el desarrollo de tecnologías eficientes para mejorar la eficiencia energética y tratar de orientar el modelo energético actual a un modelo energético que predomine las energías renovables, está bien, pero seguimos dependientes del mismo proceso “generar electricidad para. . .” por eso, es necesario proponer tecnologías que canalicen la luz natural del medio con la finalidad de iluminar áreas que dependan de la misma, y una de esas tecnologías es el sistema day light, donde se demostró que el sistema bajo las condiciones climatológicas del Departamento de Lambayeque sí cumple con los parámetros por norma establecidos de iluminación con una eficiencia teórica entre el 89 y 93.4 % y con una pérdida de luz entre el 6.6 – 11%. De esta manera la posible implementación del sistema llevaría a una reducción de costos porque no se pagaría recibos de luz, tecnología limpia, reducción de CO<sub>2</sub>, llevándonos a una eficiencia energética en el norte del Perú.

## **VI. Conclusiones**

- 1.- Para calcular la variación mínima y máxima de los sistemas day light desde el punto de vista de iluminación, fue necesario recopilar datos de radiación solar total y datos de eficiencia teóricas de los sistemas, realizando los cálculos matemáticos de irradiancia e iluminosidad en el transcurso del día desde las 6 de la mañana hasta las 6 de la tarde horas promedio que sale y se oculta el sol.
- 2.- La evaluación de las cuatro sistemas day light demuestran teóricamente su eficiencia bajo las condiciones climatológicas del Departamento de Lambayeque en los últimos cuatro años, en contraste con las normas de iluminación, es factible la posible implementación o utilización de este tipo de sistemas.
- 3.- Si es posible la eficiencia energética mediante los sistemas day light, ya que son tecnologías limpias que aprovechan la luz natural, minimizando la dependencia energética del uso de combustibles fósiles para la producción de electricidad, minimizando la contaminación ambiental y generando ahorros económicos en las tarifas de luz eléctrica.
- 4.- El sistema que más luz canaliza es el sistema N° 04 con un mínimo de 2 471.6 lux y un máximo de 50 602 lux en la estación de verano y en la estación de otoño que es la estación donde llega a tener el menor valor mínimo de 1 639 lux y un máximo de 29 500 lux.
- 5.- La fluctuación constante de iluminosidad en los cuatro sistemas se da exclusivamente desde las 6 de la mañana a 2 de la tarde, horas en las cuales llega al pico máximo, posteriormente desciende hasta las 6 pm. Estando sujetos a la hora y posición del sol en el transcurso del día.
- 6.- De acuerdo a las comparaciones realizadas se identifica que los cuatro sistemas day light para el sector comercial y el sector industrial si cumplen con los requerimientos máximos para iluminar.
- 7.- El sistema day light, al ser una tecnología que canaliza la luz natural, se encuentra bajo los parámetros de la luz visible óptima y sensación de brillo para el ojo humano encontrándose en los 555nm de longitud de onda en el espectro visible generando mejor confort en el área a iluminar, más productividad, menos cansancio para los trabajadores, mejor color de las cosas, etc.
- 8.- La eficiencia de los sistemas dependerá exclusivamente al diámetro y longitud de los tubos solares y la ubicación geográfica

## VII. Referencias bibliográficas

- Arbonés, Nieves. y Cáncer, Luis. 2002. Manual de técnicas de montaña e interpretación de la naturaleza. Barcelona. Paidotribo.
- Bernal, Fernando. y Gonzáles, Raúl. 2000. Geografía general. México. UAEM.
- Carter, J. 2004. Developments in tubular daylight guidance systems. Reino Unido. 32: 220-234. <http://www.informaworld.com/> (acceso, Noviembre 04, 2010).
- Castillo, Francisco. y Sentis, Francesco. 2001. Agrometeorología. Madrid. Aedos.
- Calle, Unsihuay. 2004. Meteorología General. Lima: Universidad Nacional Agraria la Molina
- Centro de Estudios Estratégicos de Ipae 2009. Prospectiva del Sector Eléctrico 2009-2018. <http://www.osinerg.gob.pe/newweb/pages/Publico/1.htm> (acceso, Julio 28, 2010).
- Ferrón. L. Asedes. 2003. Diseño de Lumiductos de Bajo Costo para Vivienda Bioclimática Unifamiliar. Argentina
- Fournier, Luis. 2002. Recursos naturales. Marid. EUNED.
- García. A y Gonzáles J. 2003. Energías Renovables para el desarrollo. España. Thomson
- Gonzáles, J. y Pérez, R. 2009. Centrales de energías renovables. España. Pearson.
- González J. 2009. Energías renovables. España. Reverté.
- González. V. 2004. Física Fundamental. México. Progreso.
- Gullién, O. 2004. Energías renovables – una perspectiva ingenieril. México. Trillas.
- Greenpeace. 2007. Guía de Ahorro de Energía. <http://www.greenpeace.org/mexico/es/Noticias/> (acceso, Octubre 21, 2009).
- Gromer, A. 2006. Física en la Ciencia y en la Industria. España. Reverté
- Ibáñez, Plana. y Polo, Roseel. 2004. Tecnología solar – Energías renovables. Barcelona. Mundi prensa.
- Idae. 2005. Guía técnica para el aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios. <http://www.idae.es/index.php/mod.pags/mem.detalle/idpag.11/recategoria.101/re/menu.30> (acceso, Setiembre 30, 2010).
- Jutglar, Lluís. 2004. Energía solar- Energías alternativas y medio ambiente. Barcelona. Cecac.

Li, Danny y Tsang Ernest. 2007. An analysis of daylighting performance for office buildings in Hong Kong. Copyright. 43: 1446-1458. <http://www.informaworld.com/> (acceso, Octubre 03, 2010).

Martín. F. Manual práctico de iluminación. España. Madrid Vicente.

Minem. 2010. Plan referencial de energía al 2015. <http://www.minem.gob.pe/> (acceso, Octubre 5, 2010).

Mohelnikova, Jitka. 2008. Electric energy savings and light guides. Czech Republic.1: 470-473. <http://portal.acm.org/> (acceso, Octubre 30, 2010).

Mohelníková, Jitka. 2006. Determination of light efficiency of tubular light guides. Palapa 1: 19-24. <http://redalyc.uaemex.mx/> (acceso, Octubre 01, 2010).

Meinel, Aden B. y Meinel P. Marjorie, eds. 1982. Aplicaciones de la Energía Solar. Madrid: Reverté.

Nelson, Robin. 2002. Un día nublado. EUA. Lerner.

Perea, Hugo y Dorich, Javier. 2008. Observatorio Sectorial – Sector Electricidad. <http://www.bbvaibancocontinental.com/tlpu/jsp/pe/esp/home/index.jsp> (acceso, Noviembre 25, 2009).

Solarspot. 2006. La luz natural solar para todos los ambientes. <http://www.solarspot.it/esp/index.php> (acceso, Enero 10, 2010).

Tiravanti, Eduardo. 2009. Eficiencia Energética - Iluminación Industrial y Comercial. <http://www.stilar.net/> (acceso, Octubre 20, 2009).

Thomas. G. 2005. Cálculo una variable. California. Pearson.

Koym, Andrea. Hollenthoner Stefan y Zapata Francisco, eds. 2001. Cost Reduction in the microporpagation of banana by using tubular skylights as saource for natural lighting. Austria. 2: 237-242. <http://www.springerlink.com/journals/>

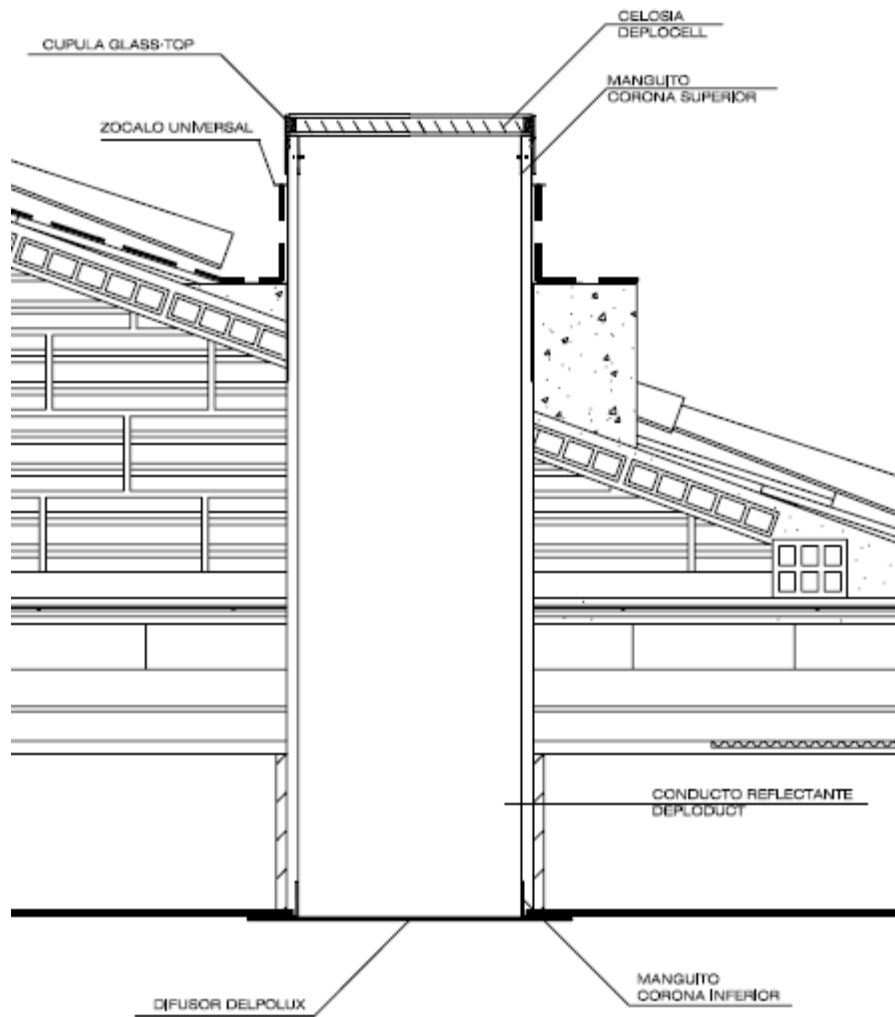
Roldán, Gabriel. y Ramírez, John. 2008. Fundamentos de limnología neotropical. Colombia. Universidad de Antioquia.

Solatube. Catalogo de Información General. <http://www.solatube.com/> (acceso, Agosto 28, 2009).

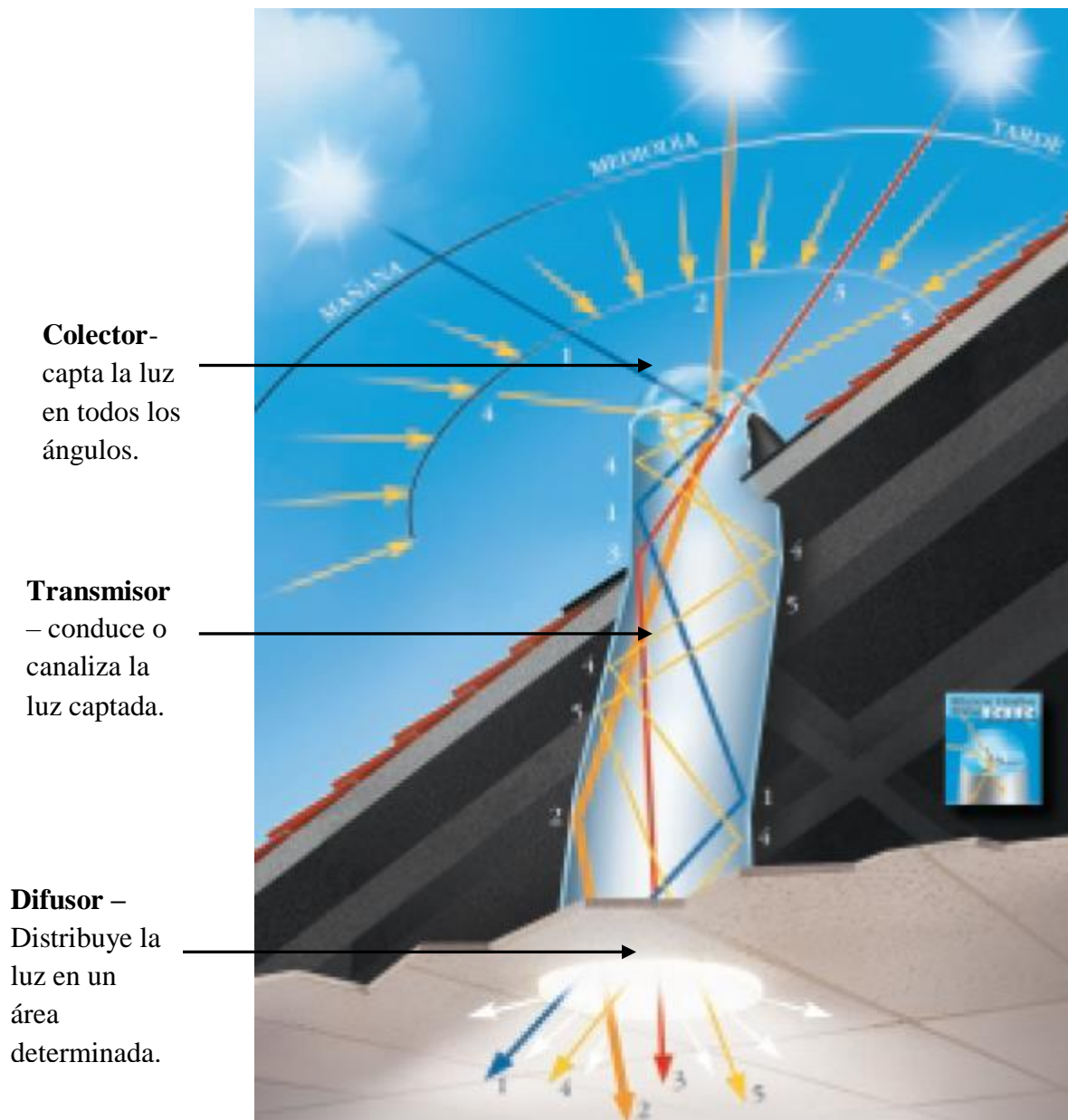
Wieser. M. 2006. Geometría solar para arquitectos. Lima. CEETyDes.

## VIII. Anexos

### Anexo 01: Plano de un sistema day light instalado.



**Anexo 02:** Sistema day light



**Fuente:** Solatube, 2010.

**Anexo 03:** Colector - claraboya o cúpula



**Fuente:** Solatube, 2010.

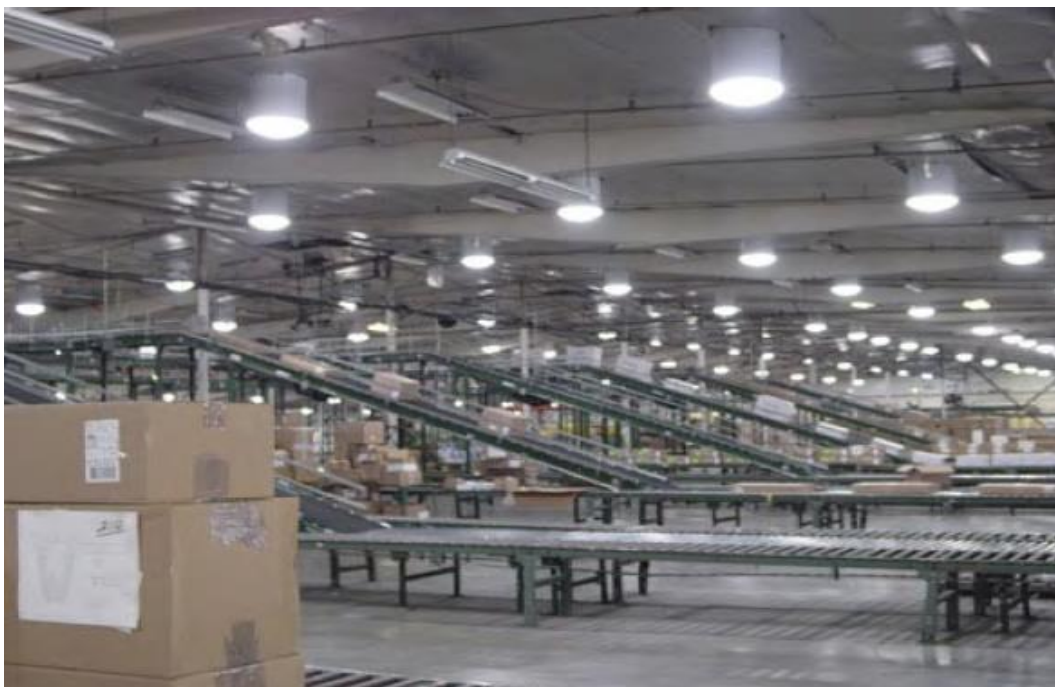
**Anexo 04:** Sistema day light instalados en un centro de venta ropa EEUU.



**Anexo 05:** Sistema day light instalado en un supermercado USA.



**Anexo 06:** Sistema day light en área de producción USA.



**Anexo 07:** Sistema day light en área de producción USA, parte superior –techo.



**Anexo 08:** Norma de alumbrado de interiores.

DGE 017-AI-1/1982

Ministerio de Energía y Minas DIREC. GRAL. DE ELECTRICIDAD Norma Aprobada R.D. N° 168-82-EM/DGE 31.05.1982 Norma N° DGE 017-AI-1/1982	<b>NORMA DE ALUMBRADO DE INTERIORES Y CAMPOS DEPORTIVOS</b>
---	---

**CATEGORIAS DE ILUMINACION Y VALORES DE ILUMINACION PARA TIPOS GENÉRICOS DE ACTIVIDADES EN INTERIORES**

<b>Tipo de Actividad</b>	<b>Categoría de Iluminación</b>	<b>Iluminación Nominal lx</b>
Espacios públicos con alrededores oscuros.	A	20 – 30 – 50
Simple orientación para visitas cortas temporales.	B	50 – 75 – 100
Recintos de trabajo donde las tareas visuales sólo ocasionalmente.	C	100 – 150 – 200
Realización de tareas visuales de gran contraste o gran tamaño.	D	200 – 300 – 500
Realización de tareas visuales de contraste medio o pequeño tamaño.	E	500 – 750 – 1000
Realización de tareas visuales de bajo contraste muy pequeño tamaño.	F	1000 – 1500 – 2000
Realización de tareas visuales de bajo contraste o muy pequeño tamaño a través de un prolongado periodo.	G	2000 – 3000 – 5000
Realización de tareas visuales muy prolongadas y exactas.	H	5000 – 7500 - 10000

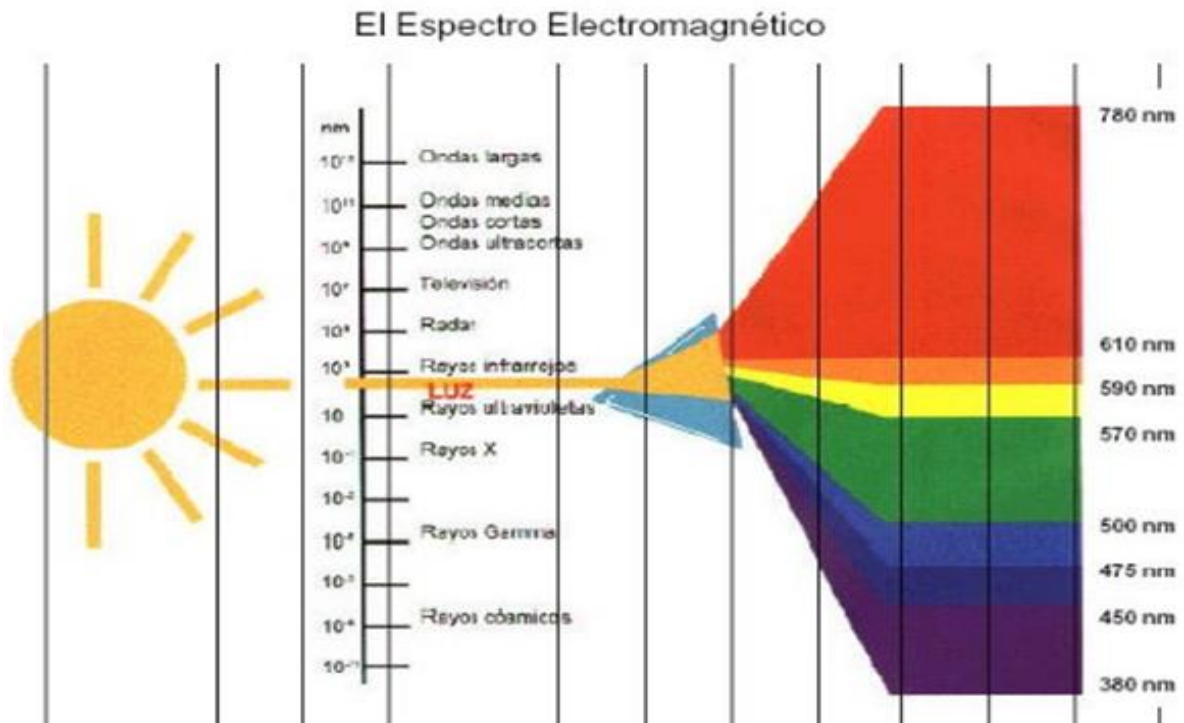
**Tabla V**  
**VALORES DE ILUMINACIÓN NOMINAL RECOMENDABLE PARA**  
**INTERIORES EN GENERAL**

1	2	3	4	5	6
Tipo de recinto o actividad	Categoría de iluminación	Color de luz	Grado de reproducción del color	Limitación del Deslumbramiento Directo	Observaciones
<b>UNIDADES DE VIVIENDA</b>					
- Recintos para conversación, descanso y entretenimiento	B	bc, bn	2	1	
- Áreas de circulación	B	bc, bn	3	3	
- Comedor	C	bc	1	-	
- Tocadores, maquillaje, afeitados, espejo de cuerpo entero.	D		1	1	
- Labores de entretenimiento con Banco de taller	D		2	2	
Tareas ordinarias	E		1	1	
Tareas difíciles.					
- Labores de entretenimiento con atril	E		1	1	
- Planchado	D		2	1	
- Mostrador de cocina y fogón					
Visión no dificultosa	E		2	1	
Visión dificultosa.	D		1	1	
- Lavado en tina, lavado a máquina y enjuague.	D		2	2	
- Estudio de música (piano u órgano)		bc, bn			
Partituras sencillas	D		2	1	
Partituras completas.	E		1	1	
- Lectura, escritura y estudio					
Libros revistas y periódicos	D		2	2	
Escritura a mano, reproducciones, copias malas,	E		2	1	
Escritorios de estudio.	E		2	1	
- Costura a mano o a máquina					
Trabajos ocasionales de elevados contrastes.	D		2	1	
- Trabajos de ligeros a medios	E		2	1	
Trabajos pesados de bajos contrastes	F		1	1	
- Juegos de mesa	D		2	2	

Tabla V (continuación)

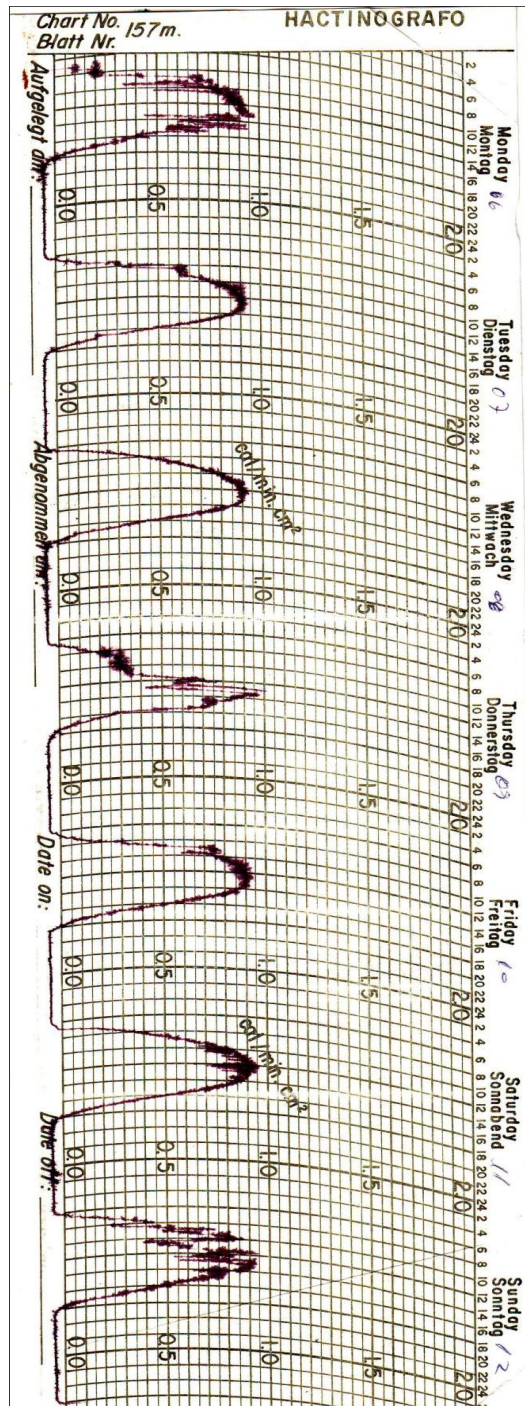
1	2	3	4	5	6
Tipo de recinto o actividad	Categoría de iluminación	Color de luz	Grado de reproducción del color	Limitación del deslumbramiento	Observaciones
<b>INDUSTRIA DE ARTÍCULOS DE CONSUMO Y PRODUCTOS ALIMENTICIOS</b> - Puestos y zonas de trabajo de cervecerías, maltas, lavado, vaciado en barriles, limpieza, cribado, pelado, vaciado en fábricas de conservas y chocolates; trabajos en fábricas de azúcar, secado y fermentación de tabaco crudo. - Clasificación y lavado de productos; molienda, mezclado, embalaje. - Puestos y zonas de trabajo en mataderos, chancherías, lecherías, molinos. - Picado y distribución de verduras y frutas. - Fabricación de especias de alta calidad, trabajos de cocina, fabricación de tabacos y cigarros. - Inspección de jarras y botellas: control de productos, adornos, decoración, clasificación. - Control de colores, salas para laboratorio.	D } D } D } E } E } F	bc, bn bn bc, bn, bd	2 2 2 2 2 1	3 2 2 1 1	
<b>COMERCIO Y VENTAS</b> - Sala de ventas - Caja.	D } E }	bc, bn	2 2	1 1	
<b>TALLERES DE ARTESANÍA Y OFICIOS VARIOS.</b> - Lijado y pintado de partes metálicas. - Pre-ensamble de equipos de calefacción y ventilación. - Talleres de mecánica y plomeros. - Talleres de reparación de automóviles. - Talleres de carpintería. - Talleres de reparación de máquinas y equipos. - Talleres de reparación de radio y televisión.	D } D } D } D } E } E }	bc, bn	3 3 3 3 3 2	2 2 2 2 1 1	Para la iluminación nominal véase procesamiento de maderas.

## Anexo 09: Espectro electromagnético



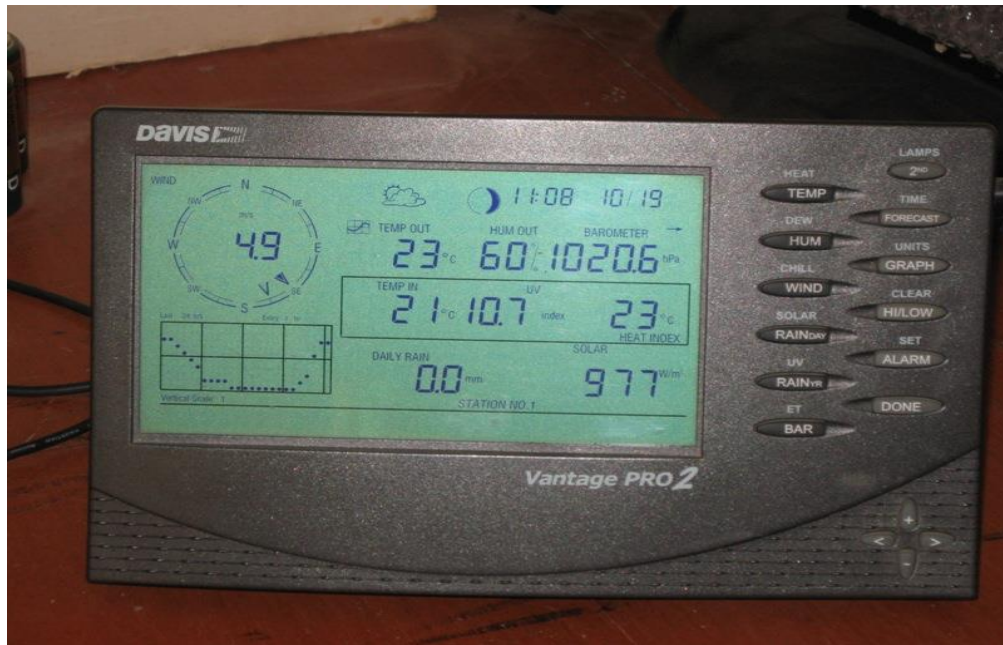
Fuente: Gromer, 2006.

**Anexo 10:** Snif de registro de datos – radiación solar total.



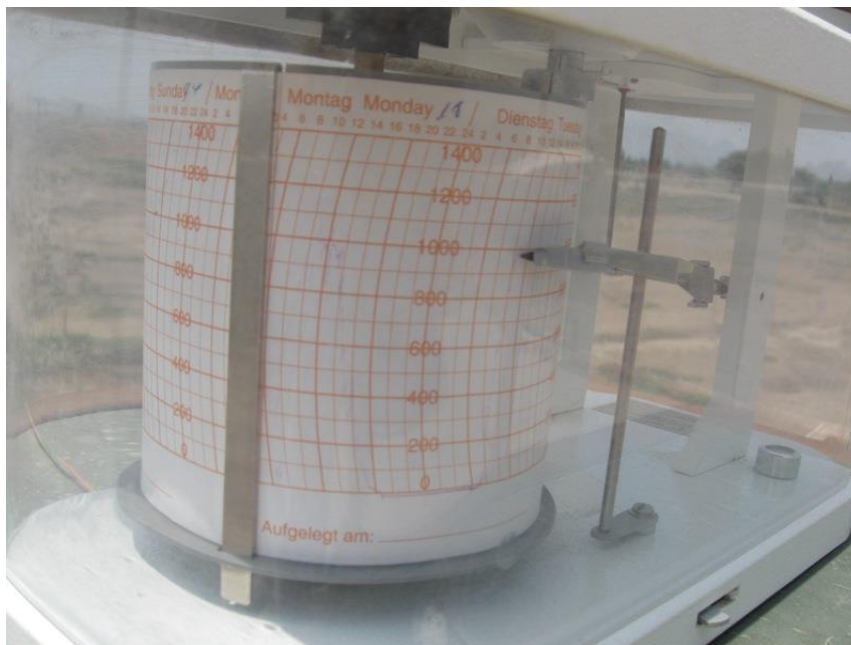
Fuente: UPRG, 2010

**Anexo 11:** Registro de datos- radiación solar total analógico.



**Fuente:** UPRG, 2010

**Anexo 12:** Instrumento meteorológico (piranómetro), captador de radiación solar total.





**Anexo 13:** Datos recopilados del Centro Meteorológico UPRG.

