

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

**AUTOMATIZACIÓN DE SISTEMAS DE ILUMINACIÓN EN  
EDIFICACIONES COMERCIALES Y DE TRANSPORTE MASIVO**

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
por la Br. León A., María Eugenia  
para optar al Título de  
Ingeniero Electricista.

Caracas, 2010.

## **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

### **AUTOMATIZACIÓN DE SISTEMAS DE ILUMINACIÓN EN EDIFICACIONES COMERCIALES Y DE TRANSPORTE MASIVO**

Prof. Guía: Ing. Wilmer Malpica.  
Tutor Industrial: Ing. Ronald Cabeza

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
por la Br. León A., María Eugenia  
para optar al Título de  
Ingeniero Electricista.

Caracas, 2010.

## CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Caracas, 14 de mayo de 2010

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería de Eléctrica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por la Bachiller María E. León A., titulado:

### **“AUTOMATIZACIÓN DE SISTEMAS DE ILUMINACIÓN EN EDIFICACIONES COMERCIALES Y DE TRANSPORTE MASIVO”**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Electricista en la mención de Industrial, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.



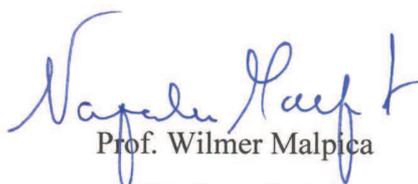
Prof. Nerio Ojeda

Jurado



Prof. Rigel Rangel

Jurado



Prof. Wilmer Malpica  
Profesor Guía

## DEDICATORIA

*A quienes con abnegación dieron todo su esfuerzo y amor para lograr lo que soy. A mi Madre y mis hermanas Yarima y Evelyn, este logro no hubiese sido posible sino estuviesen allí para guiarme, apoyarme y motivarme en los momentos difíciles y de desaliento.*

*Dedicado a ustedes, este éxito es suyo.*

*Muchas Gracias*

## **AGRADECIMIENTOS**

*Principalmente doy gracias a Dios, por guiarme a lo largo de mi vida y darme la constancia y fortaleza para culminar esta meta.*

*A la casa que vence las sombras, la Ilustre Universidad Central de Venezuela, por ser la forjadora de mi educación y conocimiento como profesional. A mi profesor guía Wilmer Malpica gracias por su asesoramiento, paciencia, comprensión y por ser parte importante en esta etapa de mi carrera.*

*Al profesor Alexander Cepeda que con su entusiasmo y su carisma por enseñar, me dio una nueva visión de lo que en verdad es ser un profesional de la ingeniería. A la profesora Mercedes Arocha por su ayuda, sus consejos y por ser una amiga incondicional.*

*Doy gracias a mis amigos Andrés, Analís, Carlos, Abraham, Ernesto, Douglas y Paula, porque entre clases, risas, almuerzos y todos los momentos gratos, ayudaron a transitar este camino.*

*A muchas personas entre compañeros, profesores y secretarias que a lo largo de la carrera siempre me brindaron apoyo para seguir adelante.*

*Al tutor industrial Ing. Ronald Cabeza y a la empresa Dierck Sistemas de Iluminación, por su colaboración en la realización de este trabajo.*

*A mi familia por siempre ofrecerme su amor y su confianza.*

*Y finalmente le doy muchísimas gracias a mi novio Víctor Devia, por brindarme toda la colaboración, confianza y darme su amor incondicional.*

**León A., María E.**

## **AUTOMATIZACIÓN DE SISTEMAS DE ILUMINACIÓN EN EDIFICACIONES COMERCIALES Y DE TRANSPORTE MASIVO**

**Profesor Guía: Wilmer Malpica. Tutor industrial: Ing. Ronald Cabeza. Tesis. Caracas. U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Eléctrica. Ingeniero Electricista. Opción: Industrial. Institución: Dierck Sistema de Iluminación. 2010. 105 h.+ anexos**

**Palabras Claves:** Iluminación de Edificaciones, Automatización en Iluminación, Energía Alternativa, Eficiencia Energética.

**Resumen.** Desarrollo de una metodología para la automatización de sistemas de iluminación en edificaciones comerciales y de transporte masivo, con la finalidad de maximizar el grado de confort, el ahorro energético y la eficiencia. Este trabajo tiene como propósito esbozar un procedimiento que facilite el uso racional de la energía lumínica, pensando en sistemas que favorezcan su ahorro mediante la automatización, y la energía alternativa. La metodología consta de tres parte principales, las cuales permiten desarrollar paso a paso un sistema de iluminación confortable y eficiente energéticamente, que cumpla con las normas nacionales e internacionales, las cuales son: Proyecto de iluminación, estudia las nuevas tendencias tecnológicas en lámparas y luminarias, así como también su distribución en la edificación por medio del software Dialux. Proyecto de control, estudia la tecnología a utilizar en automatización para controlar la iluminación según la iluminación natural y las necesidades de la edificación. Proyecto de energía alternativa, se plantea la energía fotovoltaica y eólica, sus principales componentes y un método de cálculo para dimensionar dichos sistemas. La técnica desarrollada se aplicó en la Estación de Metro Pérez Bonalde, la cual disminuyó el consumo eléctrico a 19,1% en el nivel del andén y mezanina, esto a través del cambio de luminarias, lámparas, creando escenas de control y realizando una alimentación del 30% con energía fotovoltaica. A pesar que el ahorro de energía eléctrica es aproximadamente del 80,9% la implementación de la energía fotovoltaica incrementa los costos del diseño a un 47% debido a que esta tecnología todavía no se encuentra totalmente desarrollada en el país.

## ÍNDICE DE GENERAL

	Pág.
<b>DEDICATORIA</b> .....	iv
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	v
<b>RESUMEN</b> .....	vi
<b>ÍNDICE DE GENERAL</b> .....	vii
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	xi
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	xiii
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPÍTULO I</b> .....	2
<b>ASPECTOS GENERALES DEL TRABAJO</b> .....	2
1.1. Planteamiento del problema. ....	2
1.2. Objetivos.....	3
1.2.1. Objetivo general. ....	3
1.2.2. Objetivo específico.....	3
1.3. Limitaciones. ....	4
<b>CAPÍTULO II</b> .....	5
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	5
2.1. Principios de la iluminación. ....	5
2.1.1. Luz y el ojo. ....	5
2.1.2. Propiedades del color. ....	6
2.1.2.1. Temperatura del color (Tc). ....	6
2.1.2.2. Índice del rendimiento del color (Ra - CRI). ....	7
2.2. Ambiente Luminoso.....	7

2.2.1. Iluminación. ....	7
2.2.2. Flujo Luminoso. ....	8
2.2.3. Iluminancia. ....	8
2.2.3.1. Iluminancia recomendada en el área de tareas. ....	8
2.2.4. Luminancia. ....	9
2.2.4.1. Distribución de luminancias. ....	9
2.2.4.2. Deslumbramiento. ....	10
2.3. Fuentes de Luz. ....	10
2.3.1. Luz Natural. [5]. ....	10
2.3.2. Luz artificial. ....	12
2.3.2.1. Lámparas. ....	13
2.3.2.1.1. Lámpara incandescente. [6]. ....	13
2.3.2.1.2. Lámparas de baja tensión. [6]. ....	15
2.3.2.1.3. Lámparas de descarga de alta intensidad. ....	16
2.3.2.1.4. Lámparas fluorescentes. [7]. ....	17
2.3.2.1.5. Lámparas CDM (Ceramic Discharge Metal Halide) [7]. ....	18
2.3.2.1.6. LEDs (Luz emitida por diodos). [7]. ....	19
2.3.2.1.7. Equipos auxiliares. ....	23
2.4. Proyecto de iluminación. ....	24
2.4. 1. Modelos de iluminación. ....	25
2.4.2. Tipos de iluminación de ambientes. ....	26
2.5. Automatización de los sistemas de iluminación. ....	27
2.5.1. Equipos de control. ....	27
2.5.2. Proyecto de control. ....	28

2.5.2.1. Sistemas de gestión de alumbrado artificial. [9] .....	28
2.6. Energía alternativa.....	32
2.6.1. Energía fotovoltaica.....	32
2.6.1.1. Componentes de un sistema fotovoltaico. [5, 13-14].....	35
2.6.1.2. Costos de implementación. ....	38
2.6.1.3. Ventajas y desventajas. [10].....	39
2.6.2.1. Componentes de un sistema eólico. [10, 15] .....	41
2.8.2.2. Costos de implementación .....	44
2.6.2.3. Ventajas y desventajas.[15] .....	44
2.6.3. Costo total para los sistemas fotovoltaicos y sistemas eólicos. [10] .....	45
2.6.4. Metodología de cálculo para los sistemas fotovoltaicos y eólicos. ....	46
2.7. Normativas Internacionales. ....	55
<b>CAPÍTULO III</b> .....	62
DEFINICIÓN DE LOS CRITERIOS DE ILUMINACIÓN, AUTOMATIZACIÓN Y ENERGÍA ALTERNATIVA.....	62
3.1. Proceso de diseño. ....	62
3.2. Criterios: “Metodología para realizar un sistema de iluminación”. ....	66
<b>CAPÍTULO IV</b> .....	71
PROYECCIÓN DE LOS CRITERIOS DE ILUMINACIÓN, AUTOMATIZACIÓN Y ENERGÍA ALTERNATIVA EN UNA EDIFICACIÓN DE TRANSPORTE MASIVO. ....	71
4.1. Inspección de la Edificación .....	71
4.2. Como la edificación se encuentra construida, se va a realizar el cálculo de la eficiencia energética en iluminación. ....	72

4.3. Seleccionar el tipo de tecnología de iluminación según las normas y ambientes a iluminar .....	74
4.4. Elaboración del proyecto de iluminación: .....	76
4.5. Seleccionar el sistema de control. ....	79
4.6. Elaboración del proyecto de control.....	80
4.7. Realizar el estudio de factibilidad para implementar energía alternativa....	83
4.8. Proyecto de energía alternativa .....	85
4.9. Costo de la implementación .....	88
<b>CONCLUSIONES</b> .....	98
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	99
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	100
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	102
<b>ANEXOS</b> .....	105

## ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

<b>Tabla 1.</b> Longitudes de ondas de los colores del espectro electromagnético. [3] .....	6
<b>Tabla 2.</b> Grupo de apariencia de color de lámparas. [3] .....	6
<b>Tabla 3.</b> Índice del rendimiento del color según el tipo de luz artificial. [3] .....	7
<b>Tabla 4.</b> Iluminancia en diferentes ambientes. [3].....	9
<b>Tabla 5.</b> Descripción de los tipos de las lámparas incandescente. [6] .....	14
<b>Tabla 6.</b> Descripción de los tipos de lámparas de baja tensión .....	15
<b>Tabla 7.</b> Tipos de lámparas HID. [7] .....	17
<b>Tabla 8.</b> Tipos de lámparas fluorescentes. [7].....	18
<b>Tabla 9.</b> Características más importantes de las lámparas. ....	21
<b>Tabla 10.</b> Equipo auxiliar. [8].....	23
<b>Tabla 11.</b> Características más importantes de los modelos de iluminación. [6] .....	25
<b>Tabla 12.</b> Observaciones a considerar para la iluminación según el tipo de ambiente. [7].....	26
<b>Tabla 13.</b> Equipos de control. [8] .....	27
<b>Tabla 14.</b> Cuadro comparativo de los protocolos para la automatización. [9].....	30
<b>Tabla 15.</b> Aspectos que pueden emplearse en los sistemas de gestión y control. [4]	31
<b>Tabla 16.</b> Radiación diaria promedio sobre una superficie horizontal en Caracas (kWh/m <sup>2</sup> /día). [11].....	32
<b>Tabla 17.</b> Ejemplo de una tabla para determinar los Wh/día de las cargas de corriente alterna. ....	47
<b>Tabla 18.</b> Estimación del valor del coeficiente de rugosidad para distintos terrenos. [15].....	53
<b>Tabla 19.</b> Emisiones de CO <sub>2</sub> de las diferentes fuentes de energía. [17] .....	59
<b>Tabla 20.</b> Tipo de luminaria utilizada en la Estación Pérez Bonalde .....	72
<b>Tabla 21.</b> Resumen de cantidad de luminarias y potencia en el área del andén y mezanina.....	73
<b>Tabla 22.</b> Áreas y actividades exteriores en la industria.....	74
<b>Tabla 23.</b> Códigos de ambientes e índices de refracción de techo, pared y piso.....	75

<b>Tabla 24.</b> Resumen de la cantidad de lámparas y potencia instalada en la propuesta de diseño.....	76
<b>Tabla 25.</b> Cuadro comparativo entre la iluminación actual y la propuesta de iluminación.....	79
<b>Tabla 26.</b> Radiación solar promedio (kWh/m <sup>2</sup> /día).....	84
<b>Tabla 27.</b> Temperatura promedio (°C).....	84
<b>Tabla 28.</b> Velocidad media del viento (m/s).....	84
<b>Tabla 29.</b> Radiación Promedio Anual kWh/m <sup>2</sup> .....	85
<b>Tabla 30.</b> Consumo en Wh/día del sistema de iluminación en el nivel andén y mezanina.....	86
<b>Tabla 31.</b> Costo aproximado de la implementación.....	89
<b>Tabla 32.</b> Tabla de precios.....	90
<b>Tabla 33.</b> Facturación Mensual aproximada de la Estación Pérez Bonalde (Situación actual).....	91
<b>Tabla 34.</b> Costo de reposición por lámparas fluorescentes T12.....	91
<b>Tabla 35.</b> Proyección de los egresos situación actual.....	92
<b>Tabla 36.</b> Facturación Mensual aproximada de la Estación Pérez Bonalde (Situación actual).....	92
<b>Tabla 37.</b> Costo por reposición de luminarias T5 y T8.....	93
<b>Tabla 38.</b> Proyección de los egresos - propuesta.....	93

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1.</b> Longitudes de ondas en nm. [2] .....	5
<b>Figura 2.</b> Partes de una lámpara incandescente.....	13
<b>Figura 3.</b> Algunos modelos de lámparas incandescentes.....	14
<b>Figura 4.</b> Modelo de lugares iluminados con lámparas de descarga HID. ....	16
<b>Figura 5.</b> Modelo de lámparas fluorescentes No compactas y Compactas.....	17
<b>Figura 6.</b> Modelo de bombillo y tipo de iluminación de una lámpara CDM-T. ....	19
<b>Figura 7.</b> Modelo de una iluminación con LEDs de colores.....	20
<b>Figura 8.</b> Tipos de iluminación.....	24
<b>Figura 9.</b> Irradiación global anual sobre superficie horizontal del planeta (KWh/m <sup>2</sup> /año).....	33
<b>Figura 10.</b> Zonas con potencialidad de energía solar. [11].....	34
<b>Figura 11.</b> Bóveda celeste y trayectorias solares sobre ella, en los días de solsticios y equinoccios. ....	34
<b>Figura 12.</b> Sistema fotovoltaico autónomo. ....	37
<b>Figura 13.</b> Costos de implementación de un sistema fotovoltaico. ....	38
<b>Figura 14.</b> Zonas de Venezuela con potencialidad de energía eólica. [11].....	40
<b>Figura 15.</b> Modelo de un aerogenerador horizontal y vertical. ....	41
<b>Figura 16.</b> Componentes de una turbina eólica .....	42
<b>Figura 17.</b> Costos de implementación de un sistema eólico. ....	44
<b>Figura 18.</b> Distribución de costos totales del sistema fotovoltaico y del sistema eólico. [10].....	46
<b>Figura 19.</b> Diagrama de Flujo de la metodología del diseño. ....	66
<b>Figura 20.</b> Iluminación en el área del andén. ....	77
<b>Figura 21.</b> Representación en 3D de la distribución luminosa en el área del andén. ....	77
<b>Figura 22.</b> Iluminación en el área de mezanina paga y pública. ....	78
<b>Figura 23.</b> Representación en 3D de la distribución luminosa en el área de mezanina. .....	78
<b>Figura 24.</b> Sección del nivel andén – vista planta .....	80

<b>Figura 25.</b> Sección del nivel mezanina – vista planta.....	81
<b>Figura 26.</b> Nivel andén - Escena 2.....	81
<b>Figura 27.</b> Nivel andén – Escena 3 .....	82
<b>Figura 28.</b> Diagrama de tiempo semanal de 96 horas.....	83
<b>Figura 29.</b> Flujo de caja de los egresos - situación actual.....	94
<b>Figura 30.</b> Flujo de caja de egresos - propuesta. ....	94

## INTRODUCCIÓN

La energía ha traído avances y desarrollos alrededor del mundo, ayuda al ser humano en todas formas, facilita las actividades diarias y es un factor significativo en el mejoramiento de las vidas de muchos individuos, puesto que la tecnología asociada puede aumentar la longevidad y la comodidad de una persona.

Anteriormente la energía se veía como un instrumento al servicio del desarrollo y estaba ligado directamente al confort, es decir que un aumento del consumo energético significaba un incremento de bienestar y una mayor calidad de vida de la sociedad.

En Venezuela, se lleva a cabo un proceso de concientización energética, ya que con el uso adecuado de la energía, se limitaría no solo en el consumo energético sino también la necesidad de producción para abastecerlo.

DIERCK Sistemas de Iluminación, una empresa venezolana – alemana, cuyo objeto es el desarrollo de proyectos en diseños de iluminación arquitectónica, con más de 10 años de experiencia en el área de iluminación; está orientada a la eficiencia energética con máximo confort para los usuarios. DIERCK consiente de las dificultades actuales que atraviesa las empresas de suministro eléctrico, en los últimos tiempos está incursionando en fuentes alternas de energía como suministro preferencial.

El propósito general que persigue este trabajo, es plantear una guía para la elaboración de un sistema de iluminación que facilite el uso racional de la energía lumínica, que sin renunciar al confort minimice el consumo energético, utilizando sistemas que favorezcan su ahorro mediante la automatización, y al mismo tiempo se plantea la utilización de energía alternativa para lograr un autoabastecimiento.

# CAPÍTULO I

## ASPECTOS GENERALES DEL TRABAJO

En este capítulo se esbozan, los problemas a tratar en este trabajo, los objetivos propuestos, y las limitaciones encontradas en la elaboración del mismo.

### **1.1.Planteamiento del problema.**

Con el desarrollo de la tecnología y la automatización, el mundo se dirige a cuidar el medio ambiente implementando diversas soluciones y propuestas para hacer eficiente el ahorro energético. Actualmente, en países como Japón, China, Estados Unidos de Norteamérica, la Unión Europea, Brasil, México y Argentina, están implementando leyes para la eficiencia energética en edificaciones, industrias, maquinarias e iluminación pública.

Aunque este avance ya tiene tiempo implantándose a nivel mundial, en Venezuela ha tenido poca difusión. Debido a esto, no se ha llegado a desarrollar un estándar, norma o ley para la implementación de la tecnología en automatización, domótica o inmótica para el ahorro energético, quedando en consideración de las empresas instaladoras de esta tecnología a su propio criterio de implementación.

No obstante, del consumo energético total de una edificación, un importante porcentaje está destinado a la iluminación de oficinas, almacenes, habitaciones y otro tipo de lugares en el que se puede aprovechar la iluminación natural en ciertas horas del día. Asimismo los sistemas de iluminación en las edificaciones son controladas manualmente y dependiendo del uso de los inmuebles. El control de las luminarias es centralizado o es controlado por espacios, permitiendo en ocasiones que la intensidad de la iluminación no sea la adecuada para el tipo de actividad que se va a realizar y no favorece al ahorro energético.

En la búsqueda de la eficiencia energética en iluminación, la compañía Dierck Sistemas de Iluminación está interesada en realizar un documento base para la automatización de sistemas de iluminación, que facilite y sirva de guía para obtener un máximo ahorro energético, sin minimizar el grado de confort.

## **1.2.Objetivos.**

### **1.2.1. Objetivo general.**

Desarrollo de una metodología para la automatización de sistemas de iluminación en edificaciones comerciales y de transporte masivo, con la finalidad de maximizar el grado de confort, el ahorro energético y la eficiencia.

### **1.2.2. Objetivo específico.**

- Estudiar los diversos tipos de lámparas para edificaciones comerciales, industriales y de transporte masivo.
- Describir las diversas tecnologías existentes para la automatización de sistemas de iluminación.
- Estudiar los usos de energías alternativas y su integración con la energía convencional.
- Definir criterios para la automatización de un sistema de iluminación con la integración de la energía alternativa.
- Proyección de los criterios preestablecidos a una Estación del Metro de Caracas, la cual ha sido caracterizada previamente y se conozca su nivel de consumo energético en iluminación. [1]
- Evaluar el consumo energético en la iluminación de la Estación del Metro de Caracas seleccionada, antes y después de aplicar los criterios de iluminación para verificar el ahorro energético, el grado de confort y la eficiencia del sistema.
- Generar la memoria de costo – beneficio con la automatización del sistema de iluminación.
- Desarrollar una guía con el método propuesto para el diseño de sistemas de iluminación automatizados.

### **1.3.Limitaciones.**

- Acceso limitado a la información de la estación de metro Pérez Bonalde, en cuanto a costos y planos, lo que hace más engorroso la aplicación de los modelos en esta tesis.
- El emplazamiento del sistema fotovoltaico diseñado es del 30% por limitantes en espacio físico de la estación de metro Pérez Bonalde, con lo cual se desaprovecho la utilidad de la energía solar a través de paneles.
- Dificultad para acceder a los productos y materiales a utilizar ya que existen limitaciones en la obtención de las divisas, para que la empresa logre realizar la importación de las luminarias, lámparas y paneles solares, encareciendo los costos del proyecto.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Principios de la iluminación.

Luz y el sentido de la visión, van llevadas de la misma mano, ya que sin una la otra no tiene sentido. Sin luz los ojos no podrían percibir las formas, los colores de los objetos y en definitiva el mundo que nos rodea. Sin una visión que interpretara la luz, ésta no serviría de nada.

##### 2.1.1. Luz y el ojo.

La luz, es energía electromagnética emitida en la porción visible del espectro. Si bien la luz resulta de la combinación de diferentes longitudes de onda de energía visible, el ojo responde a las longitudes de onda de energía electromagnética que están en el rango entre la radiación ultravioleta e infrarroja. El ojo es más sensible a la porción amarilla-verde del espectro. [2]

En pocas palabras, la luz que llega a nuestros ojos y nos permite ver, es un pequeño conjunto de radiaciones electromagnéticas de longitudes de onda comprendidas entre los 380 nm y los 770 nm.[2]

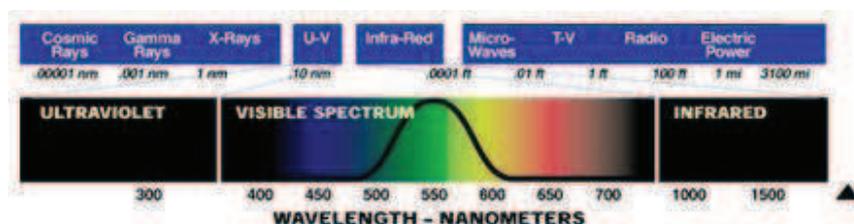


Figura 1. Longitudes de ondas en nm. [2]

El ojo humano sólo es sensible a las radiaciones pertenecientes a un pequeño intervalo del espectro electromagnético. Son los colores que mezclados forman la luz blanca. Su distribución espectral aproximada es:

**Tabla 1. Longitudes de ondas de los colores del espectro electromagnético. [3]**

<b>Tipo de Radiación</b>	<b>Longitud de Onda (nm)</b>
Violeta	380-435
Azul	435-500
Verde	500-565
Amarillo	565-600
Naranja	600-630
Rojo	630-780

### **2.1.2. Propiedades del color.**

La cromaticidad es el término técnico que sirve para describir el color de la luz. Para medir las propiedades cromáticas de una fuente de luz, se utilizan dos sistemas: la temperatura del color y el índice del rendimiento del color. [3]

#### **2.1.2.1. Temperatura del color (Tc).**

La temperatura del color de una fuente lumínica es medida por su apariencia cromática, y se basa en el principio por el cual todos los objetos cuando aumentan su temperatura emiten luz. El color de esa luz cambia según el incremento de la temperatura que se expresa en grados kelvin (°K). [2]

**Tabla 2. Grupo de apariencia de color de lámparas. [3]**

<b>Apariencia del Color</b>	<b>Temperatura del color correlacionada (Tc) °K</b>
Cálido	menor o igual a 3300
Intermedio	entre 3300 y 5000
Luz de día	mayor o igual a 5000

### 2.1.2.2. Índice del rendimiento del color (Ra - CRI).

El índice del rendimiento del color, es la medida de correspondencia entre el color real de un objeto y la veracidad del mismo bajo determinada fuente lumínica. Entre mayor sea el índice del rendimiento del color de una fuente de luz, más “natural” parecerán los colores expuestos a ésta. [3]

Tabla 3. Índice del rendimiento del color según el tipo de luz artificial. [3]

Fuente de Luz Artificial	Índice del Rendimiento del Color (CRI)
Lámpara incandescente	100 (valor referencial)
Lámpara luz mixta	60
Lámpara mercurio	45 – 60
Lámpara metal halide	60 – 97
Lámpara sodio alta presión	21 – 25
Lámpara sodio baja presión	Nulo (Monocromático)
Lámpara fluorescente	65 - 97

## 2.2. Ambiente Luminoso.

El diseño en iluminación es más un arte que una ciencia. Aunque deberán medirse y cuantificarse la cantidad y calidad de luz necesaria en los espacios, la iluminación es más una experiencia de los sentidos que una experiencia intelectual, ya que puede motivar a las personas a estar más activas, relajadas y productivas, pero también puede propiciar sentimientos de abatimiento y depresión. [2]

La comprensión de varios de los términos fundamentales en la tecnología de la iluminación, es básica para la práctica del buen diseño. Con este propósito, a continuación se registran los términos y conceptos más importantes.

### 2.2.1. Iluminación.

Es la aplicación de luz a los objetos, o a sus alrededores para que se puedan ver. [4]

### **2.2.2. Flujo Luminoso.**

Es la potencia radiante evaluada según su acción sobre un receptor selectivo, cuya sensibilidad espectral está definida por las eficiencias luminosas espectrales normalizadas. Su símbolo es  $\Phi$  y su medida es el lumen (lm). [4]

### **2.2.3. Iluminancia.**

Es el cociente del flujo luminoso recibido por un elemento de superficie que contiene el punto, entre el área de dicho elemento. Su símbolo es E y su unidad es el Lux (Lx). [4]

La iluminancia y su distribución en el área de la tarea y en el área circundante tienen un gran impacto en cómo una persona percibe y realiza la tarea visual de un modo rápido, seguro y confortable.

#### **2.2.3.1. Iluminancia recomendada en el área de tareas.**

Los valores dados en las normas son iluminancias mantenidas en el área de la tarea sobre la superficie de referencia, que puede ser horizontal, vertical o inclinada. La iluminancia media para cada tarea no caerá por debajo de los valores allí citados, independientemente de la edad y estado de la instalación. Los valores son válidos para condiciones visuales normales y tienen en cuenta los siguientes factores: [2]

- Aspectos psico-fisiológicos, tal como el confort visual.
- Requisitos para tareas visuales.
- Experiencia práctica.
- Seguridad y economía.

El valor de iluminancia puede ser ajustado al menos en un escalón en la escala de iluminancia, si las condiciones visuales difieren de las suposiciones normales:

- Un factor de 1,5 representa la menor diferencia significativa en el efecto subjetivo de iluminancia.
- En condiciones de iluminación normales se requieren aproximadamente 20 lux para discernir características de la cara humana; de ahí que sea el valor más bajo tomado para la escala de iluminancias.

**Tabla 4. Iluminancia en diferentes ambientes. [3]**

<b>Lugar</b>	<b>Iluminancia (Lx)</b>
Mediodía de verano al aire libre	100.000
Puesto de trabajo bien iluminado	1000
Buen alumbrado público	20 a 40
Noche de luna llena	0.25
Noche de luna nueva	0.01
Buena iluminación en la oficina	500

#### **2.2.4. Luminancia.**

Es la relación entre la intensidad luminosa y la superficie aparente vista por el ojo en una dirección determinada. Su símbolo es L y su unidad es la Candela entre metro cuadrado ( $Cd/m^2$ ). [3]

##### **2.2.4.1. Distribución de luminancias.**

La distribución de luminancias en el campo de visión, ya sea debida a la luz natural o artificial, condiciona el nivel de adaptación del ojo, lo que afecta a la visibilidad de la tarea que se está realizando. [5]

Una luminancia de adaptación bien equilibrada es necesaria para aumentar:

- La agudeza visual (capacidad para distinguir dos objetos que se encuentran próximos).

- La sensibilidad al contraste (discriminación de diferencias de luminancia relativamente pequeñas).
- La eficiencia de las funciones oculares (tales como acomodación, convergencia, contracción de la pupila, movimientos de ojo, etc.).

#### **2.2.4.2. Deslumbramiento.**

El deslumbramiento es la sensación producida por áreas brillantes dentro del campo de visión, y puede ser experimentado bien como deslumbramiento molesto o como perturbador. [5]

Es importante limitar el deslumbramiento para evitar errores, fatiga y accidentes, prestando un cuidado especial para evitarlo si la dirección de visión está por encima de la horizontal. [5]

- En puestos de trabajo en interiores, el deslumbramiento molesto puede producirse a partir de la visión directa de luminarias o ventanas brillantes.
- Si se satisfacen los límites de control del deslumbramiento molesto, el deslumbramiento perturbador no representa un problema importante.

### **2.3. Fuentes de Luz**

Las fuentes de luz, se utilizan para la iluminación de tareas en el entorno de trabajo, en la vivienda, en plazas, colegios, hospitales, etc. Existen dos tipos de fuentes de luz: luz natural y luz artificial, las cuales requieren medidas para manejar la iluminación que aportan.

#### **2.3.1. Luz Natural. [5]**

La luz natural es una fuente luminosa muy eficiente que cubre todo el espectro visible, proporciona un rendimiento de colores perfecto, con variaciones de intensidad, color y distribución de luminancias, con una dirección variable de la mayor parte de la luz incidente.

La disponibilidad y características de la luz natural dependen de la latitud, meteorología, época del año y momento del día. La cantidad de luz natural recibida en La Tierra varía con la situación, la proximidad a las costas o tierra adentro. El clima y la calidad del aire también afectan a la intensidad y duración de la luz natural. De ahí que según los climas, la luz natural pueda ser predecible o muy impredecible.[5]

También es importante el conocimiento de las características propias de la luz natural, que son útiles para el alumbrado en interiores, entre ellas se pueden destacar:

- Los diferentes tipos de distribución de luminancias en el cielo (uniforme, cubierto con nubes, claro y azul)
- El factor medio de luz natural, que permite evaluar la apariencia total de una sala iluminada con luz natural en condiciones de cielo cubierto con nubes.
- La distribución de dicha luz natural en el interior de una sala mediante cálculo.

Los controles establecidos en respuesta a la luz natural proporcionan un medio para obtener un aprovechamiento óptimo de la luz y así ahorrar energía. A fin de controlar la calidad de la luz ambiental, se presentan algunos criterios para el diseño con luz natural:

- La elección del lugar, orientación, forma y dimensiones del edificio, para aprovechar las ventajas de la aportación de luz natural e impedir sus inconvenientes inherentes a la presencia del sol y de su trayectoria.
- La selección de la abertura de penetración de la luz natural y su orientación, es un factor esencial para el control de la calidad de iluminación.

- Las superficies exteriores de los edificios actúan entre ellas. Los parámetros superficiales, que son una variable de diseño para un edificio, resultan restrictivos para los edificios contiguos; esto es debido al hecho de que el color de la luz reflejada desde las superficies de un edificio está influenciado por el color de las otras superficies reflectantes.
- Las superficies del suelo que rodean al edificio, cuya contribución es importante en días de cielos descubiertos, sin nubes, porque la luz incidente sobre las fachadas es reflejada desde el suelo.

### 2.3.2. Luz artificial.

Para iluminar espacios carentes de luz es necesaria la presencia de fuentes de luz artificial, las lámparas, y aparatos que sirvan de soporte y distribuyan adecuadamente la luz, es decir las luminarias. De esta forma es posible vencer las limitaciones que la naturaleza impone a las actividades humanas. [5]

Cada familia de fuentes de luz tiene diferentes características en términos de:

- **Potencia luminosa:** La capacidad en lúmenes de una lámpara nueva se llama *potencia inicial*. La potencia luminosa disminuye con el tiempo, lo cual se llama *depreciación de lumen*.
- **Eficacia:** La eficacia o eficiencia se mide en lúmenes por vatio. Entre mayor sea la eficacia, mayor es la eficiencia energética de la fuente de luz, y su funcionamiento costará menos en el curso de su duración.
- **Duración de la lámpara:** es el tiempo transcurrido hasta que se produce el fallo de la mitad de las lámparas de un lote representativo de una instalación, trabajando en unas condiciones determinadas.
- **Color, control óptico y reproducción de textura.**
- **Funcionamiento** (variación en la potencia luminosa, balastos y transformadores, regulación de la intensidad y fijación).

### 2.3.2.1. Lámparas.

Las lámparas fueron una de las primeras formas de generar luz a partir de la energía eléctrica. Desde que fueran inventadas, su tecnología ha cambiado mucho produciéndose sustanciosos avances en la cantidad de luz producida, el consumo y la duración de las mismas.

#### 2.3.2.1.1. Lámpara incandescente. [6]

Una lámpara incandescente consiste en un filamento (un alambre que se calienta y resplandece), un foco (una envoltura de cristal) y una base. Las designaciones de la lámpara consisten en la potencia, una letra que indica la forma y el diámetro del foco. Los catálogos de lámparas también muestran la longitud del centro de la luz y el diseño del filamento.



Partes de una bombilla

**Figura 2. Partes de una lámpara incandescente**

Los focos pueden ser transparentes, de interior escarchado o blanco suave (para modificar el brillo alto del filamento). Y dependiendo de su diseño producen aproximadamente una eficiencia de 8 a 17 lúmenes por vatio ( $Lm/W$ ). Además a cada lámpara se le asocia un número de horas de utilización que va de 750 a 6000 h.



Figura 3. Algunos modelos de lámparas incandescentes.

En la siguiente tabla se presenta la descripción breve de los diferentes tipos de lámparas incandescentes:

Tabla 5. Descripción de los tipos de las lámparas incandescente. [6]

<b>Lámparas Incandescentes</b>	<b>Descripción</b>
<b>De Servicio General</b>	Son las lámparas incandescentes más comúnmente usadas. Emiten luz en todas direcciones y se usan en lámparas empotradas dirigidas hacia abajo, y en muchas luminarias protegidas o enclaustradas, decorativas o de servicio.
<b>Decorativas</b>	Se usan sin protección. Para fines estéticos están disponibles con muchas formas, bases, acabados y potencia. Los focos transparentes proporcionan destellos festivos.
<b>Reflectantes</b>	Tienen un recubrimiento interno reflector para controlar la luz y una vida útil promedio entre 2000 y 4000 h. Y se usan en exteriores.
<b>De Haz Frío</b>	Son lámparas que usan un recubrimiento dicróico en la posición reflectante del foco, lo que permite dirigir lo rayos de luz visible para iluminar la actividad.
<b>De Halógeno de Tungsteno</b>	Son los tipos más eficientes de lámparas incandescentes, funcionan a temperaturas muy altas y producen una luz blanca muy clara.
<b>Infrarroja</b>	Redirigen parte de su radiación hacia el filamento, resultando una mayor eficiencia. Estas lámparas producen un pequeño flujo de luz visible, son simples, seguras y fáciles de mantener y transportar.

### 2.3.2.1.2. Lámparas de baja tensión. [6]

La mayoría de las lámparas de baja tensión son diseñadas para uso arquitectónico y funcionan a 12 V. La clave de la eficiencia de la iluminación de baja tensión es el tamaño pequeño del filamento en la lámpara, ya que permite controlar mejor la luz en luminarias de menor tamaño.

La mayoría de las lámparas de baja tensión están fabricadas con la tecnología de tungsteno para aprovechar las ventajas del filamento compacto, vida útil y mantenimiento de la luminosidad. Estas las lámparas requieren un equipo auxiliar (transformador) para reducir la tensión del circuito a la tensión de diseño de la lámpara, que es comúnmente de 12 V. Se presentan las cuatro familias básicas de lámparas de baja tensión:

Tabla 6. Descripción de los tipos de lámparas de baja tensión. [6]

<b>Lámparas de Baja Tensión</b>	<b>Descripción</b>
<b>MR</b>	Son lámparas de halógeno de tungsteno reflectantes, son eficientes para acentuar la iluminación, tienen diferentes patrones de haces y potencias.
<b>PAR</b>	Están fabricadas con cristal prensado de haz sellado, el reflector es de cristal aluminizado concentrando el haz y determinando el patrón de la luz, desde un punto estrecho hasta una inundación bastante amplia.
<b>Reflector de Aluminio</b>	Son lámparas de halógeno de tungsteno reflectantes fabricadas en metal, contienen una protección para el destello sobre el filamento, produciendo un haz bien controlado y necesitan cubierta de cristal.
<b>De Cápsula</b>	Son lámparas no reflectantes, requieren cubierta protectora de cristal, son usadas en jardinería, sistemas lineales a pequeña escala o para la iluminación debajo de gabinetes.

### 2.3.2.1.3. Lámparas de descarga de alta intensidad.

Las lámparas de descarga de alta intensidad (HID) que son de: mercurio, haluros metálicos y sodio de alta presión, consisten en un tubo del arco interno que contiene vapores de gas y electrodos, y una envoltura externa o foco fabricada con cristal resistente al calor. El foco externo protege al tubo del arco, absorbe radiación ultravioleta del arco y mantiene una temperatura casi constante dentro de la lámpara para que ésta funcione correctamente. [7]



Figura 4. Modelo de lugares iluminados con lámparas de descarga HID.

La envoltura externa puede ser transparente o estar recubierta con fósforo. La luz se produce cuando ocurre una descarga eléctrica de alta intensidad en el vapor de gas. Todas las lámparas HID requieren algún tipo de balastro u equipo auxiliar, y es importante destacar que el fabricante debe indicar la posición de funcionamiento. A continuación se muestra una tabla con los tipos de lámparas HID:

Tabla 7. Tipos de lámparas HID. [7]

<b>Tipos de Lámparas HID</b>	<b>Descripción</b>
<b>Mercurio</b>	Estas lámparas producen una luz azul verdoso, su eficiencia está entre 40 y 60 Lm/W, la cual aumenta con la potencia. Las lámparas mercuriales mejoran en cuanto a calidad de color y algunas tienen un balastro integrado a la base, eliminando el uso del equipo auxiliar.
<b>Haluro Metálico</b>	Son lámparas de mercurio de alta presión que contienen halogenuros de Dysprosio (Dy), Holmio (Ho) y Tulio (Tm), logrando así un elevado rendimiento luminoso y mejores propiedades de reproducción cromática.
<b>Sodio Alta Presión</b>	Esta lámpara tiene exceso de sodio además de mercurio y xenón, para facilitar el encendido y limitar la conducción de calor en el arco de descarga. Es ampliamente usada en la iluminación de exteriores por su capacidad de acentuar los elementos.

#### 2.3.2.1.4. Lámparas fluorescentes. [7]

Actualmente las lámparas fluorescentes se fabrican en diversas formas, tamaños y potencia. Las lámparas fluorescentes pueden ser lineales, en forma de "U", circulares, cuadradas o compactas, y varían en longitud de 6 a 96 pulgadas. El rango de potencia de las lámparas fluorescentes estándar puede variar de 7 a 215 W.

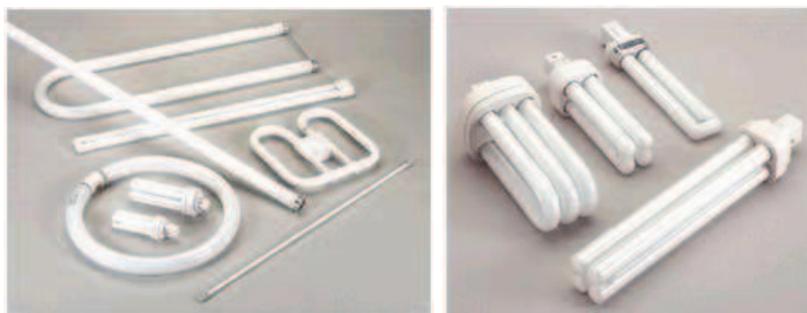


Figura 5. Modelo de lámparas fluorescentes No compactas y Compactas.

Las lámparas fluorescentes son fuentes de luz de descarga, e igual que todas las lámparas de descarga requieren un equipo auxiliar denominado balasto para su funcionamiento. El balasto también consume energía que debe tomarse en cuenta al determinar la eficiencia de un sistema de iluminación en particular. Existen dos tipos de lámparas fluorescentes:

**Tabla 8. Tipos de lámparas fluorescentes. [7]**

<b>Tipos de Lámparas Fluorescente</b>	<b>Descripción</b>
<b>Compactas</b>	Se fabrican en una amplia serie de temperaturas de color, tamaños, formas y potencia. Funcionan con balastos de reactor de bajo costo y algunos modelos ya los incluyen en la base de la lámpara. Las condiciones que afectan el desempeño de las lámparas compactas son la temperatura y la posición de funcionamiento.
<b>No Compactas</b>	Son unidades completas compuestas por un cuerpo, una o más lámparas fluorescente, con uno o más balastos, dispositivos ópticos para distribuir la luz. El término se refiere principalmente a los sistemas de luminarias suspendidas o empotradas. Se utilizan en interiores de escuelas, industrias y comercios. Sus modelos son T12, T8, T5.

#### **2.3.2.1.5. Lámparas CDM (Ceramic Discharge Metal Halide) [7]**

Las lámparas CDM (Ceramic Discharge Metal Halide) han sido desarrolladas en 1994 como una nueva generación de lámparas compactas de descarga de alta intensidad. El rendimiento de las fuentes de luz con tecnología CDM, es superior en cuanto a la calidad de color y su estabilidad, eficiencia luminosa y posee una vida útil aproximadamente de 15000 horas.

Todas las lámparas CDM ofrecen una alta reproducción de colores, (IRC igual o superior al 85%), el cual esta muy cerca de la luz del sol. Existen diferentes modelos de lámparas CDM, son ideales para la iluminación comercial, tiendas por departamento, calzado, ideales para zonas centrales ya que proporcionan una

iluminación de altísima calidad. Estimulan el comercio y las actividades culturales, al destacar la arquitectura y los colores de los lugares iluminados.



Figura 6. Modelo de bombillo y tipo de iluminación de una lámpara CDM-T.

#### 2.3.2.1.6. LEDs (Luz emitida por diodos). [7]

Los diodos luminiscentes o emisores de luz, LEDs, se caracterizan por una duración de vida muy larga, su resistencia a los impactos y un bajo consumo energético. Al ser regulados, el color de luz se mantiene constante. Al ser conectados a la red, se necesitan equipos auxiliares para contar con la corriente de servicio correcta.

La fuente de luz puntual permite dirigir la luz con toda exactitud. El encapsulado del diodo con material sintético cumple las funciones de protección y de lente. La potencia de la radiación del LED disminuye al aumentar la temperatura. Es importante evitar que los rayos solares incidan directamente, e igualmente que el montaje se efectúe en las proximidades de otras fuentes de calor.

Con una vida media de 50.000 horas, los LEDs están disponibles para largos períodos de funcionamiento. El arranque sin retardo alguno, y la reacción inmediata a las órdenes procedentes del control, permiten su empleo para escenas de luz dinámicas cuya característica es la rapidez. Los fabricantes clasifican los LEDs por el

flujo luminoso y la longitud de onda dominante, indicando para ello un código «Bin», así como un grado de selección.

Los LEDs se clasifican por su cromaticidad (en colores, blanca y RGB) y por el modelo (tipo T y de alta potencia).



**Figura 7. Modelo de una iluminación con LEDs de colores**

A continuación se presenta una tabla resaltando las características más importantes de las lámparas descritas anteriormente:

Tabla 9. Características más importantes de las lámparas.

Características	Incandescente	Fluorescente No Compacta	Fluorescente Compacta	Vapor de Mercurio	Sodio Alta Presión	Halogenuro Metálico	LEDs
Potencia (W)	1 – 2000	4 – 215	5 – 50	50 - 2000	50 - 1000	3 – 10000	4 - 50
Flujo Luminoso (Lm)	6 – 40000	1000 – 15500	250 – 2900	1800– 125000	3500– 130000	36 – 220000	–
Eficiencia (Lm/W)	8 – 17	40 – 93	50 – 82	36 – 63	140	18 – 100	87 – 100
Vida Útil (horas)	1000 – 6000	12000– 20000	10000–20000	20000–24000	16000– 24000	2000–20000	50000– 70000
Tiempo de Encendido	Instantáneo	2– 3 segundos	1 segundo	5– 7 min	3 – 4 min	–	Instantáneo
Tiempo de Reencendido	Instantáneo	2– 3 segundos	1 segundo	3 – 6 min	5 – 10 min	–	Instantáneo
Temperatura del Color (°K)	2600–2800	2600–6500	2600–6500	4000–4500	2100–2300	2500–6500	2700–6500

<b>Características</b>	<b>Incandescente</b>	<b>Fluorescente No Compacta</b>	<b>Fluorescente Compacta</b>	<b>Vapor de Mercurio</b>	<b>Sodio Alta Presión</b>	<b>Halogenuro Metálico</b>	<b>LEDs</b>
<b>Rendimiento del color (%)</b>	100	50 - 97	80	48 - 50	25	60 - 100	80 - 90
<b>Color</b>	Blanco cálido	Diferentes colores	Diferentes blancos	Blanco	Blanco Amarillento	Diferentes blancos	Diferentes Colores
<b>Posición de Funcionamiento</b>	Según modelo	Según modelo	Según modelo	Según modelo	Según modelo	Según modelo	Según modelo
<b>Perdida de Flujo (%)</b>	20	25	25	30	20	25	20
<b>Lugares de Utilización</b>	Calles, comercios y residencias.	Residencias, comercios, oficinas, escuelas, hospitales.	Residencias, comercios, oficinas, escuelas, hospitales.	Vial, deportiva, industrial.	Domestico, deportivo, comercial.	Residencias, comercios, oficinas, escuelas, hospitales.	Hoteles, exteriores, oficinas, tiendas, museos

**Continuación de la Tabla 9. Características más resaltantes de las lámparas.**

### 2.3.2.1.7. Equipos auxiliares.

Las lámparas fluorescentes son fuentes de luz de descarga, al igual que todas las lámparas de descarga requieren de un balasto. El balasto proporciona la tensión necesaria y estabiliza la corriente durante el funcionamiento, también consumen energía que debe tomarse en cuenta al determinar la eficiencia de un sistema de iluminación en particular. Los balastos deben coincidir con las características eléctricas de las lámparas para que funcionen correctamente (es decir, con el tipo de lámpara, tensión y potencia). Para lograr la precisión en el cálculo de la eficiencia de las lámparas, la potencia del balasto debe sumarse a los de la lámpara. A continuación se presenta las principales características de estos equipos. [8]

Tabla 10. Equipo auxiliar. [8]

<b>Equipos Auxiliares</b>	<b>Descripción</b>
<b>Balastos Analógicos de 1 a 10 V</b>	Los balastos analógicos regulan linealmente la potencia del tubo fluorescente mediante una correspondencia directa: 1 V = min % de potencia; 10 V = 100 % de potencia.
<b>Balastos Magnéticos</b>	Proporciona un alto voltaje inicial para comenzar la descarga, y luego limita rápidamente la corriente de la lámpara para soportar en forma segura esta descarga. Los balastos están diseñados para funcionar en forma óptima con tipos específicos de lámparas. Las condiciones no óptimas pueden afectar las características de encendido, la potencia luminosa y la vida útil de las lámparas.
<b>Balastos Electrónicos</b>	Son de alta frecuencia y aumentan la eficiencia de los sistemas, produciendo mayor eficiencia energética y menores costos de servicio. Tipos de balastos electrónicos: <b>De reducción de voltaje:</b> tienen circuitos de retroalimentación que mantienen el voltaje de los electrodos cuando se reduce la corriente de la lámpara. Esto permite reducir el voltaje de la lámpara en un amplio rango sin reducir su vida útil. <b>Digitales:</b> con señal de control reciben órdenes a través de una línea de control digital mediante el protocolo DSI o el protocolo DALI. Una de las ventajas de estos balastos es que la señal de control no sufre deterioro ni pérdida. Adicionalmente el protocolo DALI permite gobernar hasta 64 balastos por unidad de control, este protocolo es bidireccional por lo que suministra información de cada balasto, además proveer distintas funciones.

## 2.4. Proyecto de iluminación.

El proyecto lumínico se realiza, de acuerdo a las características principales del proyecto como: características de los locales (dimensiones, color de paredes, techos y suelos), niveles de iluminación requeridos según la actividad a realizar en el área a iluminar (buscar en norma correspondiente), el tipo de luminaria y lámpara a utilizar en cada área (fluorescentes, halogenuros metálicos, etc.)

Una vez establecidas las características principales, uno de los métodos manuales que se podría utilizar es el Método de los Lúmenes para determinar el número de luminarias, que se deben instalar en el área a iluminar. En el Anexo A se describe el procedimiento a seguir del método de los lúmenes.

En la actualidad existen programas de computación que fueron desarrollados principalmente por los fabricantes de luminarias para simplificar los cálculos y dar una respuesta rápida según las necesidades del cliente. Aunque estos programas son muy versátiles, se debe tener conocimiento o un criterio luminotécnico para su utilización, logrando maximizar los beneficios que nos ofrecen los mismos. Algunos de los programas existentes son: Dialux, Relux, Indalux, Lumenlux, Iluminet, entre otros.

Igualmente es importante, decidir los tipos de iluminación que se podrían utilizar en el ambiente a iluminar, los mismos se clasifican según la distribución del flujo luminoso por encima o por debajo de la horizontal. Es decir, dependiendo de la cantidad de luz que ilumine hacia el techo o al suelo:

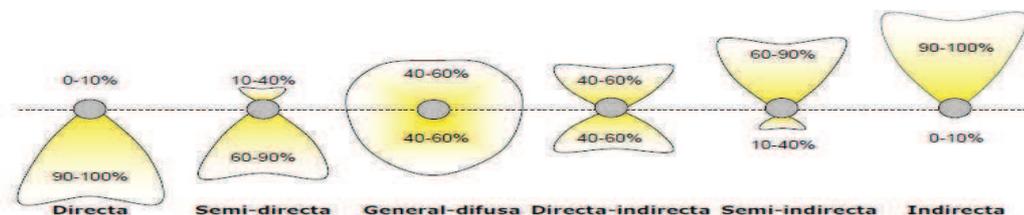


Figura 8. Tipos de iluminación.

### 2.4. 1. Modelos de iluminación.

La iluminación es proporcionada por dispositivos con el fin de distribuir la luz según el tipo de iluminación que se desea implementar. En la siguiente tabla se presenta una reseña de algunos modelos de iluminación:

Tabla 11. Características más importantes de los modelos de iluminación. [6]

Modelos de Iluminación	Descripción	Aplicaciones	Características
<b>Decorativa Empotrada</b>	Es proporcionada por elementos de iluminación empotrados en el techo con el fin de distribuir la luz hacia abajo.	*Comerciales: tiendas, hoteles, restaurantes y oficinas, museos. *Hospitales, escuelas y residenciales.	* Dirigen la vista hacia un objeto o superficie. * Se integran fácilmente a la arquitectura.
<b>Decorativa</b>	Aporta carácter y personalidad a un espacio, define el tono de un interior y ayuda a establecer el estilo de la arquitectura. Su distribución de luz puede ser descendente, ascendente.	*Comerciales: tiendas, hoteles, restaurantes y oficinas, teatros, iglesias y bibliotecas *Residenciales.	*Iluminación Arquitectónica: da más importancia a la apariencia de las luminarias. *Iluminación Residencial: está más relacionada con aspectos de conservación de energía y mantenimiento.
<b>De Riel y Cable</b>	Es un sistema formado por una estructura eléctrica lineal (riel) y una serie de unidades de iluminación (cabezas), las cuales pueden colocarse en cualquier lugar a lo largo del riel.	* En exhibiciones de tienda, aparadores, hoteles, restaurantes, museos y algunos espacios residenciales.	* Flexibilidad: pueden colocarse donde se necesite y cambiarse fácilmente. * Versatilidad: se puede utilizar para iluminación de realce, general decorativa. * Económica: realiza dos funciones, suministra electricidad y soporta las unidades de iluminación.
<b>Fibra Óptica</b>	Es un sistema en el que una fuente remota distribuye la luz a áreas y objetos por medio de uno o más haces de fibra óptica. La luz que ingresa en un extremo de las fibras y se transmite por reflexión interna.	Los sistemas de fibra óptica se usan para: * Iluminación de realce, actividades, jardinería y exhibición. *Efectos decorativos.	*Menor costo de mantenimiento, no hay calor. * Menor escala y peso del dispositivo. * Flexibilidad en el diseño. * Menor consumo de energía en relación a la iluminación decorativa incandescente.

### 2.4.2. Tipos de iluminación de ambientes.

Una buena iluminación es una herramienta favorable para realzar las diferentes áreas de las tiendas, oficinas, industrias, escuelas, etc. Una iluminación adecuada es capaz de lograr que las personas se sientan cómodas, confortables, más activas y productivas. En la siguiente tabla se reseña algunas tips que ayudan a optimizar la iluminación en ambientes comerciales, en oficinas e industriales.

Tabla 12. Observaciones a considerar para la iluminación según el tipo de ambiente. [7]

Tipo de Ambiente	Tips
<b>Comercial</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Considerar la iluminación hacia arriba, ya que proporciona uniformidad al reducir el contraste entre la fuente de luz y el área circundante. Un sistema de iluminación ascendente mejora la iluminancia del techo y de superficies verticales, minimizando las sombras y reduce los reflejos.</li> <li>* Al seleccionar la fuente de la lámpara, verificar el índice de rendimiento del color, ya que mientras más alto es este índice más vibrante o aproximado a la realidad serán los colores del objeto.</li> <li>* La iluminación se debe realizar según el tamaño de la habitación. Para tiendas con techos bajos es recomendable luminarias más pequeñas y de menores lúmenes. En cambio si es de techo alto se recomienda utilizar lámparas de alta potencia intercaladas a mayor distancia, logrando abaratar los costos de instalación y mantenimiento.</li> </ul>
<b>Oficina</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Se debe proporcionar el nivel de luminancia correcto (según la norma) para cada actividad a realizar, así se garantiza la agudeza visual, la sensibilidad de contraste.</li> <li>* Mientras mayor sea la cantidad de luz, hasta cierto valor máximo (límite de deslumbramiento) mejor será el rendimiento visual.</li> <li>* Evitar que la luz sea difusa, ya que se va a percibir un modelado ligero y tendremos la sensación de falta de relieve. Asimismo si la componente direccional es muy fuerte, el modelado es duro y las sombras deforman los rasgos característicos de las personas.</li> </ul>
<b>Industrial</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Se debe tomar en cuenta si en la industria la tarea que se desempeña es necesaria la identificación del color, si esto es esencial utilizar una luminaria con alto índice de rendimiento de color</li> <li>* Los niveles de iluminación y la visibilidad requerida dentro de la industria dependerán de una serie de factores que incluyen: tareas desarrolladas, edades de los trabajadores, el tipo de espacio, tamaño de los artículos que se manejan requiere un alto valor de lúmenes.</li> <li>* Es importante también que si la industria posee la opción de espacio en el techo libre, podría utilizar difusores y trabajar con luz natural y realizar un control con luz artificial para mantener el nivel de luminancia apropiado.</li> <li>* Un ambiente bien iluminado mejorará el desempeño de los trabajadores.</li> </ul>

## 2.5. Automatización de los sistemas de iluminación.

En esta sección se describen los componentes de las instalaciones de alumbrado artificial que se emplean habitualmente en la iluminación de interiores.

### 2.5.1. Equipos de control.

En esta sección se dará una breve descripción de algunos de los equipos de control existentes, que son utilizados comúnmente en el control de iluminación:

Tabla 13. Equipos de control. [8]

<b>Equipo de Control</b>	<b>Descripción</b>
<b>Reguladores de fase o Dimmers</b>	Son dispositivos electrónicos que cortan la onda sinusoidal de corriente alterna en un punto variable, de manera que modulan la potencia entregada a la carga.
<b>Control Manual</b>	Se puede realizar a través de una gran variedad de interfaces, como pulsadores de pared, mandos a distancia, Web e incluso por voz. Es preciso indicar que, aunque se integra el control de la iluminación en un sistema de control, normalmente se debería garantizar la posibilidad de controlar la iluminación mediante interruptores tradicionales.
<b>Detector de luminosidad (Fotocélula)</b>	Se encarga de medir el aporte de luz natural más artificial, que exista en el interior de un área. Con esta información el sistema de control se encarga de regular automáticamente el flujo de las lámparas del lugar que se está controlando y así mantener un nivel de iluminación apropiado.
<b>Detector de Presencia</b>	Se encarga de encender las lámparas cuando detecta la presencia de una persona o apagarlas cuando no la detecta.

### 2.5.2. Proyecto de control

Posteriormente de haber realizado el proyecto de iluminación, se inicia el proceso para efectuar el proyecto de control. Para escoger el tipo de control a utilizar se deberá conocer primero:

- Las características que se desean emplear en el momento de controlar la iluminación (adaptar el nivel de iluminación eléctrica en función de la luz solar, detectar la presencia en zona de paso, control automático de encendido y apagado de luces, atenuar la iluminación, crear un ambiente).
- Se debe escoger la tecnología a utilizar (dimmers, sensores, entre otros) según el tipo de luminarias y lámparas seleccionadas.
- Escoger el tipo de protocolo a emplear, el cual se seleccionará según la tecnología, las características de iluminación, las características de la edificación y la disponibilidad económica del cliente.

#### 2.5.2.1. Sistemas de gestión de alumbrado artificial. [9]

Una vez decidido los dispositivos de regulación a emplear en los sistemas de control, se deberá decidir el sistema de gestión de la edificación, para el cual existen diferentes criterios que se deben valorar. Uno de los puntos es la elección del protocolo de comunicaciones que es el responsable de la comunicación de los diferentes dispositivos de control, la determinación del protocolo determinará directamente la topología del cableado, el tipo de bus o línea de transmisión, en definitiva definirá el potencial del propio sistema de gestión. Algunos de los términos que se deben manejar son:

- a. Protocolo:** es el conjunto de procedimientos utilizados para controlar el intercambio ordenado de información entre dispositivos conectados a una red. En la gestión de edificaciones los más utilizados son: LonWorks, DMX, KNX, entre otros.
- b. Topología:** se refiere a la forma en la que el bus de comunicaciones es cableado, normalmente serán: estrella, anillo, árbol, serie.

- c. **Medio físico de transporte:** el protocolo puede circular sobre cable eléctrico dedicado (bus de comunicación), sobre cable de red eléctrica mediante corrientes portadoras, fibra óptica, radio frecuencia, red inalámbrica, infrarrojo, Bluetooth, Wi-fi, etc.
- d. **Jerarquía:** significa que se dispone de un controlador maestro, el cual gestiona una serie de controladores esclavos y las comunicaciones entre los mismos.
- e. **Bus de comunicaciones.** es un canal de comunicación.

En las siguientes tablas, se presentan algunas diferencias de los protocolos existentes y algunos de los aspectos que se pueden considerar en los sistemas de gestión y control.

Tabla 14. Cuadro comparativo de los protocolos para la automatización. [9]

Protocolo	Desarrollador	Tipo de Medio	Velocidad de Transmisión	Jerarquía	Tipo de Protocolo	Ventajas	Desventajas
<b>BACnet</b>	ASHRAE	Diversos TP, Ethernet, Fibra	Alta	Alta	Abierto	Alto nivel de integración para grandes edificaciones	Costoso, de difícil implementación
<b>LonWorks</b>	Echellon	Diversos TP, Ethernet, Fibra, Radio	Alta depende del medio	Alta	Cerrado	Permite aplicaciones multimedia	Cerrado
<b>KNX</b>	Estándar europeo, fusión de EIB Batibus EHSA	Diversos TP, Ethernet, Fibra, Radio, PLC	Media, depende del medio TP 9600 bps	Alta e intermedia	Abierto	Gran cantidad de dispositivos disponibles	-
<b>ByMe</b>	Vimar	TP, Radio	Baja 9600 bps	Intermedia, baja	Cerrado	Implementación sencilla	Limitado a residencias
<b>My Home</b>	Búcino	TP, Radio	Baja	Intermedia, baja	Cerrado	Implementación sencilla	Limitado a residencias
<b>DALI</b>	Osram, Phillips, Freecale	TP, Radio	Baja	Baja, solo iluminación	Abierto	Permite ahorro de cableado y diagnóstico	Número de dispositivos 64
<b>DMX</b>	Usitt	TP	Media 115200 bps	Baja, solo iluminación	Abierto	Rápido, hasta 512 dispositivos	Solo iluminación escenográfica
<b>X-10</b>		PLC	Muy baja de 50 a 60 bps	Baja	Abierto	Evita uso de cables	Problemas en la comunicación

Tabla 15. Aspectos que pueden emplearse en los sistemas de gestión y control. [4]

<p><b>Estrategias de Control</b></p>	<p><b>Detector de movimiento:</b> es una de las formas de controlar la luz artificial en el interior de una edificación mediante un sensor de movimiento. El sensor responde al movimiento del calor corporal dentro de una zona determinada, encendiendo o apagando la luz, al mismo tiempo incorpora un periodo de retardo para evitar la desconexión no deseada.</p> <p><b>Nivel de iluminación constante:</b> es utilizar una fotocélula par mantener un nivel correcto y mantenido de iluminación durante toda la vida de la lámpara.</p> <p><b>Regulación en función de la luz natural o diurna:</b> se utiliza para aprovechar la aportación de la luz natural través de ventanas o elementos de captación de luz, se emplea una fotocélula en la luminaria o en el techo para medir la cantidad de luz total que existe en el interior, esta medición es enviada al sistema de control que regula automáticamente el flujo de las lámparas para mantener un nivel de iluminación constante en el área de trabajo.</p> <p><b>Control horario y por fechas:</b> es encender y apagar las luces por momentos determinados, y solo van a estar activadas cuando se necesiten. Esto es posible diseñando un plan horario.</p>
<p><b>Flexibilidad en los sistemas de control</b></p>	<p><b>Agrupación de circuitos de alumbrado:</b> como parte del sistema las luminarias suelen estar agrupadas en circuitos que se conectan a la salida del modulo de control, que es el que permite el encendido, apagado y regulación de la iluminación. Se deberá crear varios circuitos de luminarias en función de flexibilizar el diseño, y así cuando se necesite una nueva distribución no se requerirá costosos cambios de cableado.</p> <p><b>Prueba, monitorización y registro de luces de emergencia:</b> los sistemas de gestión del alumbrado pueden ayudar a realizar las pruebas oficiales del alumbrado de emergencia, con la ventaja de que sólo se comprueban la fase permanente y la de encendido/apagado de cada luminaria de emergencia en concreto; las luminarias convencionales seguirán funcionando con normalidad. Las pruebas pueden realizarse de forma automática, de día o de noche, en cada luminaria de forma separada, con un interruptor de prueba o de forma centralizada con un software para PC.</p>
<p><b>Tipos de Control</b></p>	<p><b>Control manual:</b> Siempre es posible ajustar de forma manual la instalación mediante los diferentes elementos de mando y maniobra que están conectados al módulo de control del alumbrado. Además, un sistema de control de alumbrado debe ser capaz de cambiar la relación entre estos interruptores y las luces que controlan de una manera sencilla, permitiendo una mayor flexibilidad en el sistema.</p> <p><b>Control remoto por infrarrojos:</b> existe la posibilidad de utilizar un control inalámbrico por infrarrojos. Este elemento resulta especialmente útil en oficinas y salas de reuniones. Un receptor fijado al techo y un transmisor de mano o de pared controlan la regulación y la conmutación de los grupos de luminarias.</p>

## 2.6. Energía alternativa

Las tecnologías de energía renovable a pequeña escala presentan una alternativa económica y ambiental factible para la provisión de energía a comunidades y para la expansión de la capacidad eléctrica instalada, ya sea por medio de sistemas aislados o por proyectos conectados a la red eléctrica. La región venezolana cuenta con suficientes recursos para desarrollar sistemas hidráulicos, solares y eólicos. [10]

### 2.6.1. Energía fotovoltaica.

El Sol es una fuente de energía abundante e inmediatamente disponible. Un sistema fotovoltaico, captura la energía solar y la convierte en electricidad aprovechable.

A la hora de diseñar una instalación fotovoltaica es muy importante predecir la radiación solar que alcanzará la superficie de los paneles fotovoltaicos. La radiación solar que incide en una superficie no es una constante, varía con respecto a la situación geográfica terrestre en que nos encontremos (latitud), depende de la época del año (distancia Tierra-Sol), de la hora del día y de numerosos factores atmosféricos y meteorológicos. [10]

Los promedios de la radiación solar se expresa en kWh/m<sup>2</sup>/ día o como Horas de Sol Pico (HSP). La coordenadas geográficas de la Ciudad de Caracas son: Latitud 10° 30' N y de Longitud 66° 50' W, la misma tiene una radiación diaria promedio en los últimos 10 años de:

**Tabla 16. Radiación diaria promedio sobre una superficie horizontal en Caracas (kWh/m<sup>2</sup>/día). [11]**

<i>Latitud = 10°30'</i> <i>longitud = 66°50'</i>	Ene	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
<b>Promedio de 10 años</b>	5,8	6,60	7,21	7,37	6,62	5,52	6,3	6,55	6,40	6,26	5,75	5,36

En la figura siguiente aparece la irradiación global anual sobre superficie horizontal del planeta ( $\text{kWh/m}^2/\text{año}$ ) o en HSP. Por ejemplo en España, el valor medio está en torno a  $1500 \text{ kWh/m}^2/\text{año}$ . Y en Caracas, la irradiación anual está en torno a  $1800 \text{ kWh/m}^2/\text{año}$ .

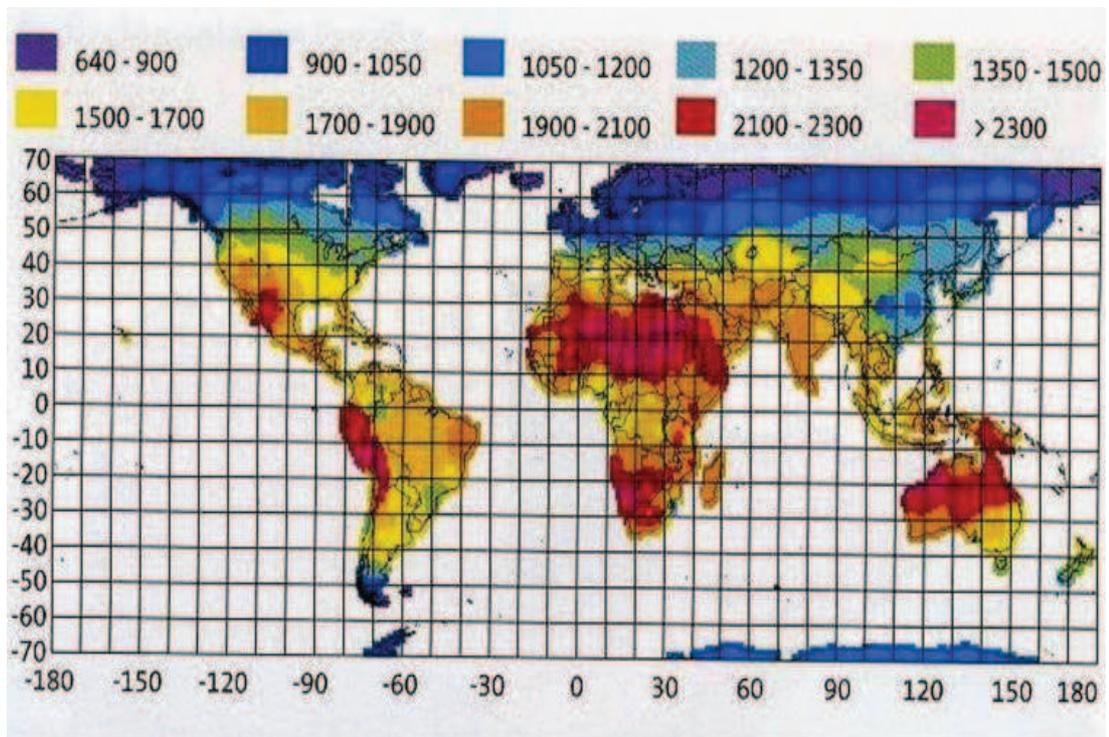


Figura 9. Irradiación global anual sobre superficie horizontal del planeta ( $\text{KWh/m}^2/\text{año}$ ).

En la figura 10 se muestra la radiación diaria promedio para Venezuela, indicando las zonas con potencialidad de energía solar. [11]

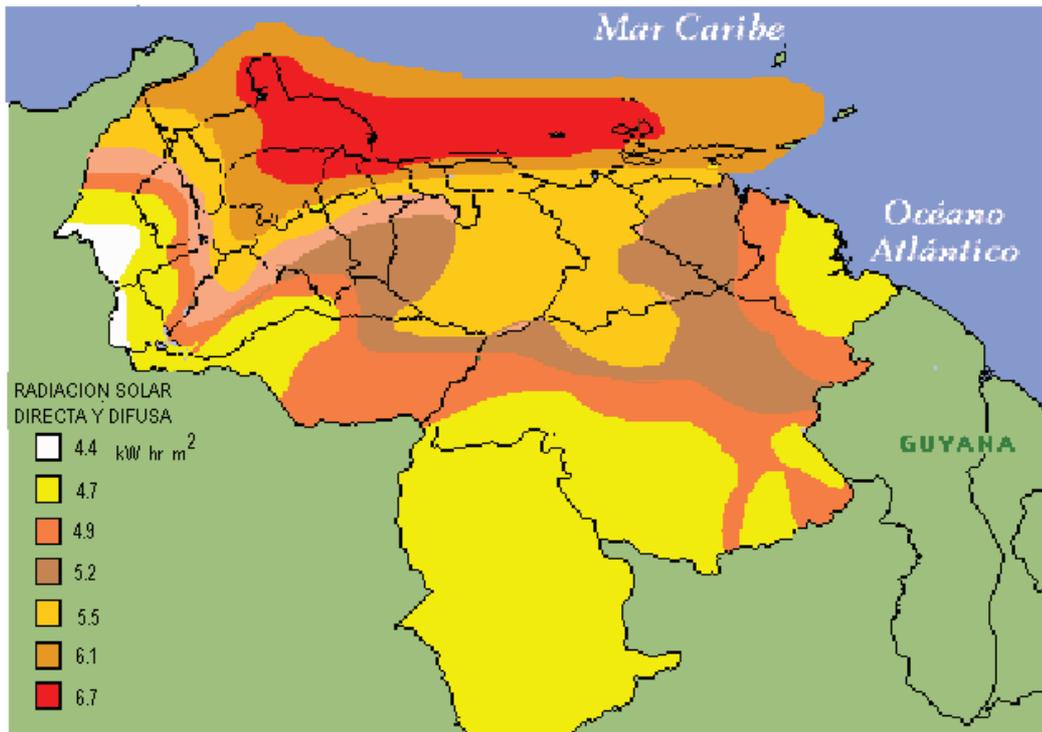


Figura 10. Zonas con potencialidad de energía solar. [11]

La posición del Sol respecto de un punto sobre la Tierra determina la cantidad de irradiación solar que incide sobre ese punto. La posición del Sol depende de la localización geográfica del punto, de la hora y del día.

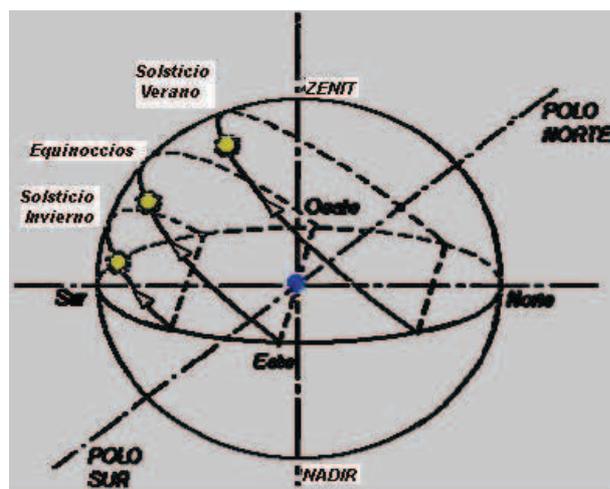


Figura 11. Bóveda celeste y trayectorias solares sobre ella, en los días de solsticios y equinoccios.

La primera observación que obtenemos de la figura anterior, es que debemos tomar en cuenta “El Azimut” para la orientación del panel fotovoltaico. El azimut óptimo de los paneles solares ubicados en el Hemisferio Norte, es estar orientados al sur. Por el contrario, los paneles solares ubicados en el Hemisferio Sur deben estar orientados hacia el norte. Esto es para garantizar la captación solar de los paneles durante todos los periodos del año.

En cuanto a la inclinación óptima, se plantea la siguiente ecuación [12]:

$$\beta_{\text{óptimo}} = 3,7^{\circ} + 0,69 * \phi \quad (1)$$

Donde:  $\beta_{\text{óptimo}}$  representa el ángulo de inclinación óptimo en grados para el panel solar y  $\phi$  representa la latitud en grados.

Según la ecuación planteada anteriormente para Venezuela, la inclinación óptima sería:

$$\beta_{\text{óptimo\_Venezuela}} = 3,7^{\circ} + 0,69 * 10^{\circ}$$

$$\beta_{\text{óptimo\_Venezuela}} = 10,6^{\circ}$$

#### **2.6.1.1. Componentes de un sistema fotovoltaico. [5, 13-14]**

Un Sistema Fotovoltaico es un conjunto de equipos construidos e integrados especialmente para realizar cuatro funciones fundamentales:

1. Transformar directa y eficientemente la energía solar en eléctrica.
2. Almacenar adecuadamente la energía eléctrica generada.
3. Proveer adecuadamente la energía producida (el consumo) y almacenada.
4. Utilizar eficientemente la energía producida y almacenada

Los subsistemas que conforman a un sistema fotovoltaico son:

- **Subsistema de captación:**

Es el generador fotovoltaico, que es el que realiza la transformación directa de la energía solar en energía eléctrica, compuesto por los paneles fotovoltaicos que son placas rectangulares formadas por un conjunto de celdas fotovoltaicas protegidas por un marco de vidrio y aluminio anodizado. La capacidad energética nominal (potencia) de los módulos fotovoltaicos se indica en vatios-pico (Wp), lo cual muestra la capacidad de generar electricidad en condiciones óptimas de operación. La vida útil de un panel fotovoltaico puede llegar hasta 30 años, y los fabricantes generalmente otorgan garantías de 20 o más años. El mantenimiento del panel solamente consiste de una limpieza del vidrio para prevenir que las celdas fotovoltaicas no puedan capturar la radiación solar.

- **Subsistema de almacenamiento:**

Es necesario para almacenar la energía, a consumir, en los momentos en los que no existe suficiente producción energética por parte del sistema de captación, ya que la radiación solar no está disponible continuamente (ciclos día-noche, variaciones estacionales, variaciones meteorológicas). Está formado por las baterías que son construidas especialmente para sistemas fotovoltaicos.

Las baterías para sistemas fotovoltaicos son de ciclo profundo, lo que significa que pueden descargar una cantidad significativa de energía cargada antes de que requieran recargarse.

La capacidad de la batería se mide en “amperio-hora (Ah)”, una medida comparativa de la capacidad de una batería para producir corriente. Diferentes tipos y modelos de baterías requieren diferentes medidas de mantenimiento. Algunas requieren la adición de agua destilada o electrolito, mientras que otras, llamadas ‘baterías libre de mantenimiento’, no lo necesitan. La vida útil de una batería de ciclo profundo es entre 3 y 5 años, pero esto va a depender del mantenimiento y de los ciclos de carga/descarga a los que fue sometida.

- **Subsistema de regulación:**

Es un dispositivo necesario para regular la entrada de la energía procedente del sistema de captación dentro de la instalación. Formado por el regulador de carga. Sirve para controlar la carga y descarga de la batería y de esta forma evitar su destrucción y aumentar su vida útil.

- **Subsistema de adaptación de corriente:**

Está formado por el inversor, su función es adecuar las características de la energía a las demandadas por las aplicaciones, es decir que tipo de energía se requiere: si se necesita energía de corriente directa (6 V o 12 V) o energía de corriente alterna (110 V o 120 V), según las especificaciones de los diferentes equipos eléctricos que se estén alimentando del sistema fotovoltaico.

Además de estos subsistemas, las instalaciones fotovoltaicas incluyen otros equipamientos como pueden ser el cableado, los sistemas de protección y, por supuesto, los elementos de consumo de la energía obtenida (cargas).

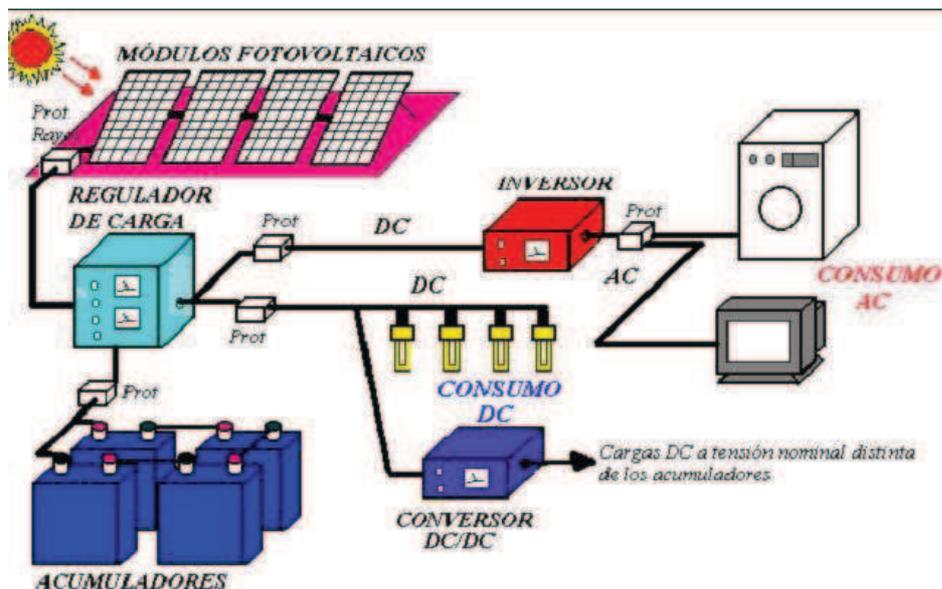


Figura 12. Sistema fotovoltaico autónomo.

### 2.6.1.2. Costos de implementación.

La inversión necesaria para adquirir un sistema fotovoltaico depende de varios factores, por ejemplo: los precios internacionales del mercado fotovoltaico, la disponibilidad local de distribuidores e instaladores de equipos fotovoltaicos, la ubicación y demanda energética de los usuarios. Las características particulares de todos los equipos necesarios para satisfacer la demanda energética (en calidad, cantidad y capacidad), la distancia y la facilidad de acceso entre el lugar de venta de los equipos y el lugar donde se instalará el sistema y los márgenes de ganancia de vendedores e instaladores de equipos, son factores que determinan en gran medida la cantidad de dinero que el usuario final invertirá para electrificar. [10]

En el costo total de un sistema fotovoltaico individual, el panel representa un 30%, el resto son aproximadamente 15 % a la batería, un 15 % al inversor, un 15 % al transporte, 5% a la instalación eléctrica, 5% al regulador y un 15 % a la mano de obra. [10]

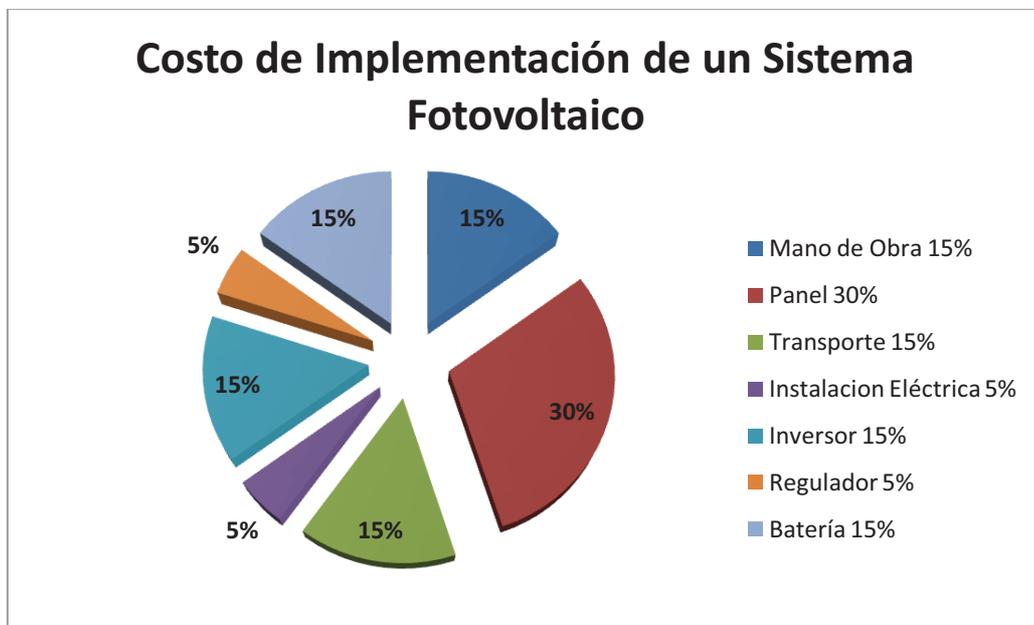


Figura 13. Costos de implementación de un sistema fotovoltaico.

### **2.6.1.3. Ventajas y desventajas. [10]**

A continuación se mencionarán las ventajas y desventajas que los sistemas fotovoltaicos presentan en la región.

#### **Ventajas**

- El área de América Central y del Sur dispone de abundante radiación solar.
- La tecnología fotovoltaica permite soluciones modulares y autónomas.
- La operación de los sistemas fotovoltaicos es beneficiosa con el medio ambiente.
- Los sistemas tienen una vida útil larga (más de 20 años).
- El mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos es sencillo y tiene costos muy bajos.
- La tecnología de equipos y sistemas fotovoltaicos ha alcanzado un grado de madurez que posibilita su utilización para resolver confiablemente los problemas energéticos de nuestros países.
- Existen organismos internacionales y regionales que promueven el uso sostenible de las energías renovables.

#### **Desventajas:**

- La inversión inicial es alta con respecto de la capacidad de pago.
- La cantidad de energía producida es limitada y alcanza solamente para las necesidades básicas de electricidad.
- La disponibilidad de energía es variable y depende de las condiciones atmosféricas.
- Las baterías de ciclo profundo poseen un ciclo de vida promedio de 3 a 5 años, la cual varía según el fabricante.

### 2.6.2. Energía eólica.

El viento es un proceso muy complejo que, sin embargo, puede ser descrito en términos muy sencillos. El sol calienta la superficie de la Tierra en diferente medida, dependiendo de si la superficie está cubierta de nubes, si está directamente expuesta a la luz solar, o si se trata de la superficie del océano. El aire que está encima de las zonas más cálidas, se calienta, se vuelve menos denso y asciende. El aire que sube crea una zona de baja presión, que hace que el aire frío adyacente a alta presión se mueva a las zonas de baja presión. Este movimiento de aire es lo que llamamos viento. [10]

La producción de energía por una turbina eólica o aerogenerador va en función de la velocidad del viento. En la siguiente figura se muestra la potencialidad de producción de energía eólica en Venezuela según los vientos. [11]

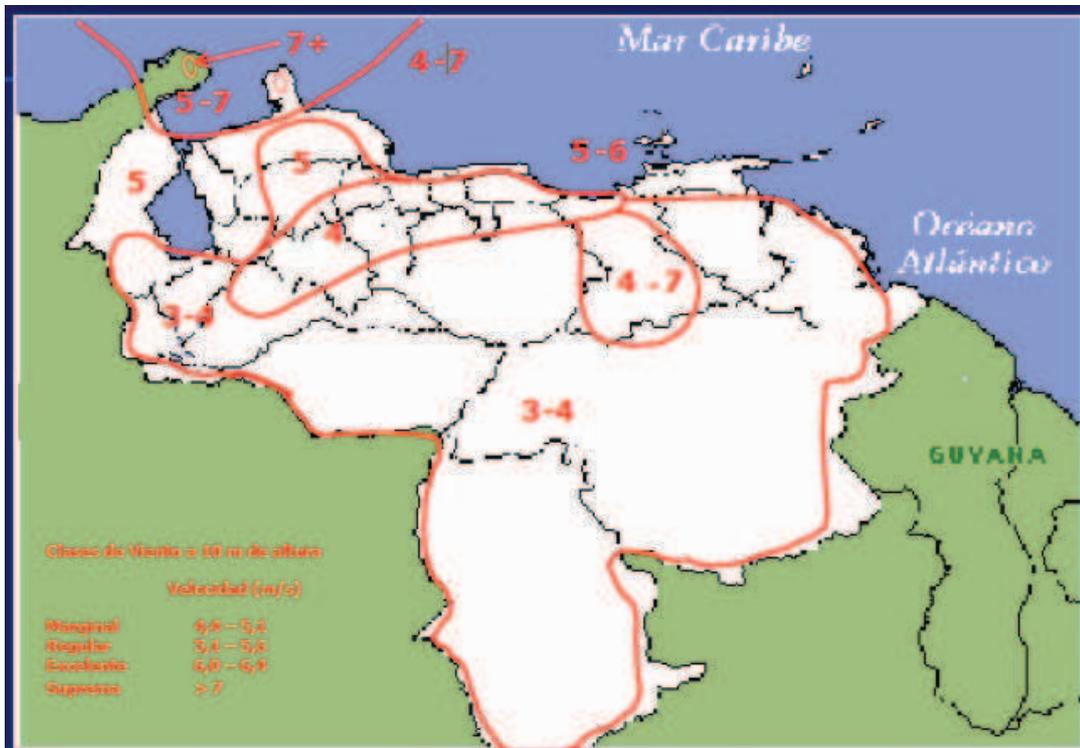


Figura 14. Zonas de Venezuela con potencialidad de energía eólica. [11]

### 2.6.2.1. Componentes de un sistema eólico. [10, 15]

El rotor del aerogenerador es una de las partes más visibles del sistema de energía eólica. La mayoría de las turbinas eólicas que se fabrican hoy en día son máquinas de eje horizontal, con rotor a barlovento con dos o tres palas. Para sistemas de energía eólica pequeños se puede usar también una turbina eólica vertical. Los aerogeneradores verticales tienen un eje perpendicular al flujo del viento. En esta sección únicamente se va a explicar los subsistemas de un sistema eólico de corriente directa.



Figura 15. Modelo de un aerogenerador horizontal y vertical.

Los subsistemas que componen un sistema eólico son:

- **Subsistema de captación:**

Es el aerogenerador, que es el que realiza la transformación directa de la energía del viento en energía eléctrica, y esta compuesto por:

1. **Rotor:** Es el elemento principal de un maquina eólica, su función es transformar la energía cinética del viento en mecánica utilizable. Existen gran variedad de rotores y su clasificación más usual se realiza en función de la disposición del eje: horizontal o vertical. La cantidad de energía que una turbina eólica producirá está determinada sobre todo por el diámetro de este rotor.
2. **Generador:** Convierte el movimiento de rotación de las palas de la turbina eólica en electricidad. El generador puede producir corriente alterna (CA) o corriente continua (CC), y existe en un amplio rango de potencias disponibles.

3. **Caja de cambios:** Muchas turbinas (particularmente aquellas por encima de los 10 kW) usan una caja multiplicadora de velocidad de giro para adaptar la velocidad del rotor a una velocidad adecuada para el generador.
4. **Góndola o chasis:** Es el recinto que protege la caja multiplicadora, el generador y otros componentes de los elementos.
5. **Sistema de orientación:** Las máquinas de eje horizontal tienen este componente, el cual detecta la orientación del viento y coloca el rotor en su misma dirección.
6. **Torre:** Sostiene la turbina y es, por lo tanto, una parte integrante del sistema de energía eólica. Las torres deben ser capaces de resistir rayos, vientos extremos, granizo, y formación de hielo. Hay dos tipos básicos de torres: autosoportadas y mantenidas mediante cables. La mayoría de las torres de sistemas de energía eólica para sistemas domésticos son mantenidas mediante cables. Estas torres son las menos caras, pueden ser construidas con partes de celosía, tubería o tubo y los cables de soporte. Las torres afianzadas con cables son también más fáciles de instalar que las autosoportadas. Sin embargo, en el caso de torre mantenida con cables, se requiere más espacio para su instalación.

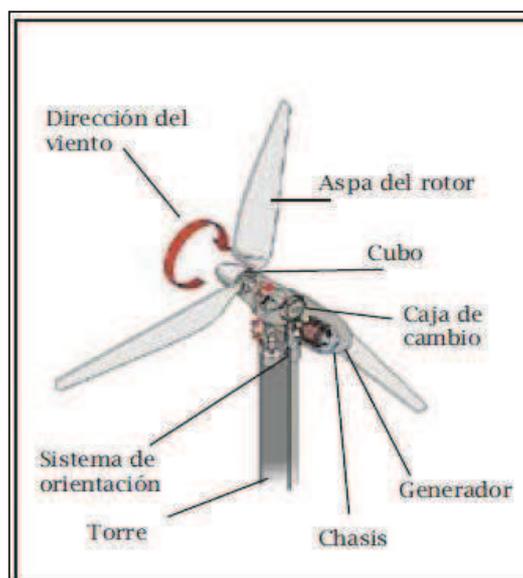


Figura 16. Componentes de una turbina eólica

- **Subsistema de almacenamiento:**

Es preciso para almacenar la energía, a consumir, en los momentos en los que no existe suficiente producción energética por parte del sistema de captación, ya que la velocidad del viento se ve afectada por variaciones estacionales y variaciones meteorológicas. Y al igual que en los sistemas fotovoltaicos utilizan las baterías de ciclo profundo.

- **Subsistema de regulación:**

Es un dispositivo necesario para regular la entrada de la energía procedente del sistema de captación dentro de la instalación. Formado por el regulador de carga. Sirve para controlar la carga y descarga de la batería y de esta forma evitar su destrucción y aumentar su vida útil.

- **Subsistema de adaptación de corriente:**

Está formado por el inversor, su función es adecuar las características de la energía a las demandadas por las aplicaciones, es decir que tipo de energía se requiere: si se necesita energía de corriente directa o energía de corriente alterna, según las especificaciones de los diferentes equipos eléctricos que se estén alimentando del sistema.

- **Sistemas de protección y control:**

Abarcan desde interruptores, cables, fusibles hasta sistemas computarizados de control de sistemas de orientación. La sofisticación de los sistemas de control y protección varía dependiendo de la aplicación de la turbina eólica y del sistema de energía que soporta.

### 2.8.2.2. Costos de implementación.

El costo de un proyecto eólico eléctrico puede variar considerablemente dependiendo de varios factores, entre los cuales se destacan la capacidad eléctrica a instalar en kW, la inclusión de baterías, el uso de un inversor y los aspectos relacionados con la misma instalación. Además la vida útil de un sistema eólico completo se estima entre 15 y 20 años con un mantenimiento adecuado. [10]

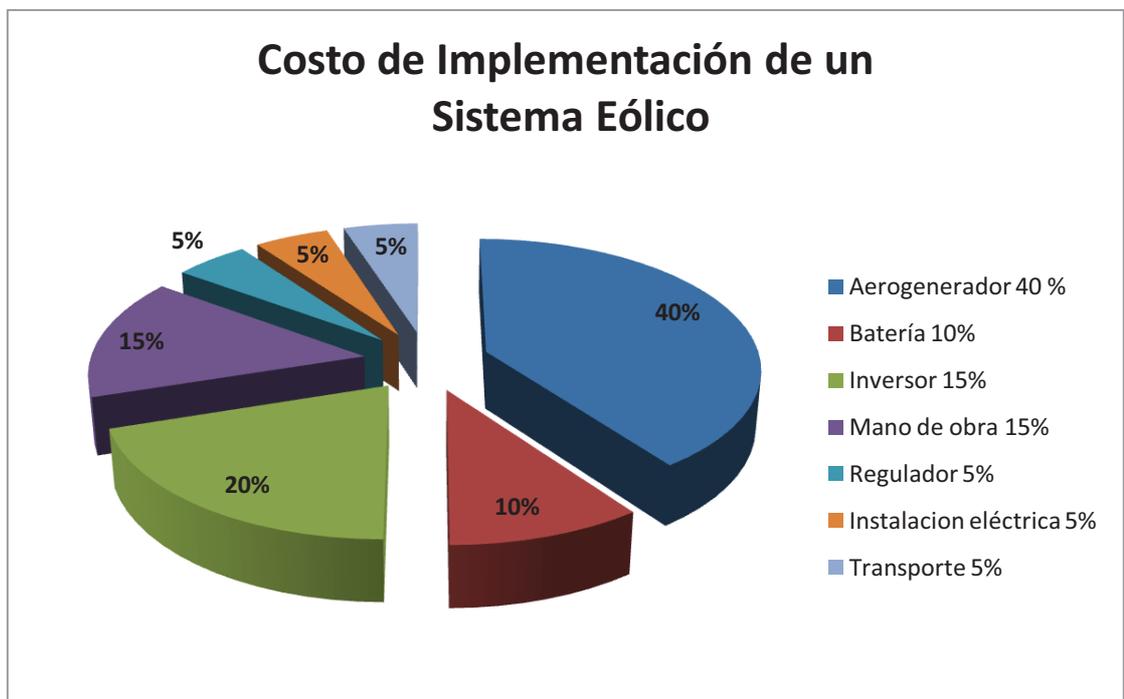


Figura 17. Costos de implementación de un sistema eólico.

### 2.6.2.3. Ventajas y desventajas. [15]

A continuación se presentan las ventajas y desventajas de la energía eólica.

#### Ventajas:

- Mínimo impacto al medio ambiente.
- Fuente inagotable y abundante.
- Generación limpia.
- Bajo mantenimiento y rapidez de instalación.

**Desventajas:**

- Variabilidad del viento.
- Alto costo inicial.
- No es aplicable en todos los sitios ya que depende de la velocidad del viento.
- Impacto visual.
- Las baterías de ciclo profundo tienen un promedio de vida útil de 3 a 5 años.

**2.6.3. Costo total para los sistemas fotovoltaicos y sistemas eólicos. [10]**

Los costos totales de un sistema eólico, al igual que en el sistema fotovoltaico pueden clasificarse de manera general en las siguientes categorías:

- **Costos de inversión:** son aquellos en los que se debe incurrir inicialmente para la compra, transporte e instalación de los equipos fotovoltaicos y eólicos. Estos costos pueden representar un 70-75 % del costo del sistema a lo largo de toda su vida útil. La vida útil de un sistema fotovoltaico y eólico completo, correctamente instalado y con componentes de buena calidad, se estima entre 25 y 30 años.
- **Costos de mantenimiento y operación:** son aquellos en los que se debe incurrir durante toda la vida útil de los equipos para conservar en buenas condiciones del sistema.
- **Costos de reemplazo** son aquellos en los que se debe incurrir cuando las baterías llegan al fin de su vida útil. Generalmente, esto sucede después de 3 a 5 años de uso, pero depende en buena medida del mantenimiento y de los ciclos de carga/descarga a los que es sometida la batería.

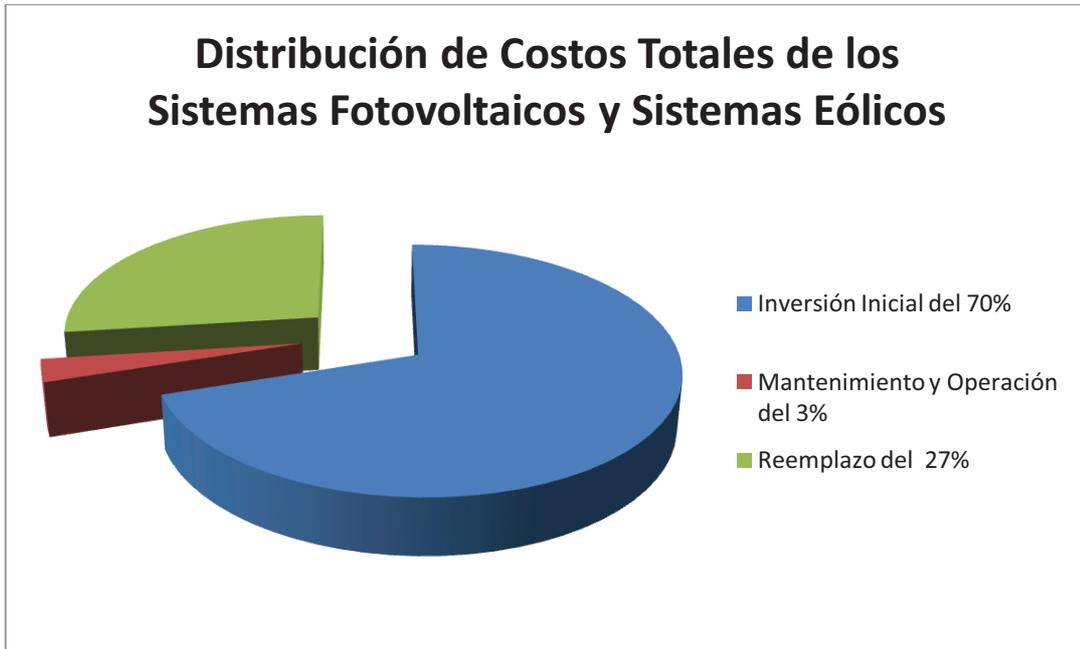


Figura 18. Distribución de costos totales del sistema fotovoltaico y del sistema eólico. [10]

#### 2.6.4. Metodología de cálculo para los sistemas fotovoltaicos y eólicos.

En el momento de dimensionar un sistema fotovoltaico y eólico, debemos tener en consideración los siguientes aspectos:

1. **Establecer que tipo de instalación y los bloques funcionales:** se refiere a que sistema de energía alternativa se desea instalar.
2. **Tensión nominal del sistema:** se refiere a la tensión típica con que se operan las cargas a conectar. A demás se deberá distinguir si dicha tensión es alterna o continua.
3. **Potencia requerida por la carga:** es la potencia demanda por cada carga, que se desea alimentar con el sistema de energía alternativa.
4. **Hora de utilización de las cargas:** conjuntamente con la potencia requerida por la carga deberá especificarse las horas de utilización de dicha potencia.

Se presenta un modelo tabla, con ayuda de la cual se determinarán los Watts/hora diarios de todas las cargas alterna que se pretendan alimentar:

Tabla 17. Ejemplo de una tabla para determinar los Wh/día de las cargas de corriente alterna.

<b>Equipo CA</b>	<b>Horas de uso por día (A)</b>	<b>Consumo del equipo en Watts (B)</b>	<b>Total Wh/día (A x B)</b>
<b>6 Lámparas 14W</b>	c/u 4h en total 24h	84	2016
<b>2 Lámparas 12W</b>	c/u 3h en total 6h	24	144
<b>T.V color 14"</b>	8	60	480
<b>Subtotal 1</b>			2640
Agregar el 10% para tener en cuenta las pérdidas del inversor			264
<b>Demanda total de energía en Wh/día</b>			<b>2904</b>

Los pasos para llenar las tablas presentadas anteriormente son:

- i. Identificar cada carga de corriente alterna, su consumo en Watts y la cantidad de horas por día en que opera. Es importante en el caso de las lámparas verificar el consumo de los balastos.
- ii. Multiplicar la columna "A" por la "B" para obtener los Wh/día de consumo de cada equipo (Columna A x B).
- iii. Sumar los Wh/día de cada equipo para obtener los Wh/día totales de las cargas en corriente alterna "Subtotal 1".
- iv. En el caso de corriente alterna, se le suma el 10% de energía adicional para tener en cuenta las pérdidas del inversor. Es primordial elegir el inversor adecuado, se debe tener en cuenta los niveles de tensión que se manejarán tanto del lado de corriente alterna como de continua.
- v. Obtener la demanda total de energía. "Subtotal 1 + 10% pérdidas del inversor".
- vi. Si existiera cargas en corriente continua, se debería realizar una tabla similar a la empleada para las cargas de corriente alterna pero sin tomar en cuenta las pérdidas del inversor. Al final la demanda total de energía será la carga

obtenida en corriente continua sumada al “Subtotal 1 + 10% pérdidas del inversor”.

5. **Localización geográfica del sistema:** es decir latitud, longitud, altura sobre el nivel del mar. A demás del resumen climatológico en temperatura, presión, vientos (velocidad media), radiación media.
6. **Autonomía prevista:** se refiere a los días (horas) en que se prevé que disminuirá o no habrá generación y que deberán ser tenidos en cuenta en el dimensionamiento de las baterías.
7. **Para el sistema fotovoltaico:** [5, 13]

- i. **Ubicación, orientación e inclinación:**

**Ubicación:** Se refiere al lugar de colocación del panel solar (techo, como teja, en un espacio abierto, en la parte superior de un poste, etc.)

**Orientación:** Si el lugar donde se desea instalar el panel solar, se encuentra en el Hemisferio Norte, el panel deberá orientarse hacia el sur y si este en el Hemisferio Sur, deberá orientarse hacia el norte.

**Angulo de Inclinación:** Con la intención de alcanzar un mejor rendimiento anual promedio, los paneles solares deberán ser instalados en un ángulo fijo, determinado en algún punto entre los ángulos óptimos para el verano y el invierno.

- ii. **Cálculo y pérdidas del inversor:**

Para escoger la potencia del inversor sólo basta que maneje una potencia mayor a la requerida (Subtotal 1 + 10% pérdidas del inversor) y así poder manejar la potencia que se requiera.

Para el cálculo exacto de las pérdidas se debe consultar las curvas de eficiencia que proporciona el fabricante del inversor seleccionado, pero como se conoce que la eficiencia disminuye si la potencia del inversor es baja, en este caso se estimará para los cálculos una eficiencia del 90%.

**iii. Estimación de pérdidas:**

Se deben considerar las pérdidas de energía para conocer la potencia a generar total del sistema. Considerando únicamente las pérdidas por el cableado, suponiendo que la distancia del panel al inversor es aproximadamente de 2 a 4 m. Se asumirá que las pérdidas por cableado representan un 2%.

**iv. Eficiencia del sistema:**

La eficiencia total del sistema ( $E_T$ ) vendrá dada por la resta de la eficiencia general ( $E_G$ ) que es 100% y las pérdidas por cableado ( $E_{pc}$ ):

$$E_T = E_G - E_{pc} \quad (2)$$

Por lo tanto la potencia generada ( $Energía_{Gen}$ ) resulta de la división del “Subtotal 1 + 10% pérdidas del inversor” entre la eficiencia total del sistema ( $E_T$ ):

$$Energía_{Gen} = \frac{\text{Subtotal } 1+10\% \text{ pérdidas del inversor}}{E_T} \quad (3)$$

**v. Selección y número de paneles solares a utilizar:**

Las características intrínsecas de los paneles solares se modifican según la empresa de fabricación, pero de forma general los fabricantes tratan de ofrecer una tensión de circuito abierto elevada a 25°C, de modo tal que el incremento en la temperatura de trabajo de los paneles no afecte o impida el proceso de carga de las baterías. Cuando la temperatura de trabajo es menor a 25°C el voltaje de circuito abierto crece y la corriente de cortocircuito disminuye.

Por esta razón es importante elegir un panel solar con un alto voltaje a circuito abierto, de manera de tener suficiente voltaje de carga para el banco de baterías durante los días calurosos del verano. Las características más resaltantes de los paneles solares que debemos tomar en cuenta son:

- Potencia pico de salida
- Voltaje a circuito abierto (Temperatura indicada por el fabricante)
- Factor de deterioro de la potencia de salida

Para determinar la cantidad de paneles solares a utilizar se deberá calcular:

- a) Temperatura máxima de trabajo: esto se realiza para determinar el valor de la potencia de salida del mismo, la temperatura que alcanza un panel fotovoltaico esta dada por la expresión:

$$T_t = T_a + (k * R) \quad (4)$$

Donde:  $T_t$  es temperatura de trabajo del panel,  $T_a$  es máxima temperatura ambiente,  $R$  es radiación solar en  $mW/cm^2$ ,  $k$  es un coeficiente que varia entre 0,3 y  $0,4 \frac{^{\circ}C \text{ cm}^2}{mW}$ , dependiendo de la velocidad promedio del viento.

Cuando la velocidad del viento es muy baja, o inexistente, el enfriamiento del panel es pobre o nulo, y  $k$  toma valores cercanos o iguales al máximo (0,4). Si la velocidad promedio del viento produce un enfriamiento efectivo del panel, el valor de  $k$  será el mínimo (0,3). El valor de  $R$  varía entre 80 y  $100mW/cm^2$ . Para locaciones con alto valor de insolación diaria se usa el valor máximo. Si existen nubes pasajeras que reducen el valor de irradiación, el valor de  $R$  se reduce a  $80mW/cm^2$ . El producto  $k*R$  representa el incremento de temperatura que sufre el panel sobre la máxima temperatura ambiente.

Luego de determinar todas las condiciones sustituir en la Ec.4

- b) Determinar el incremento en la temperatura  $\Delta T$  de trabajo respecto a la temperatura de prueba que da el fabricante:

$$\Delta T = T_t - T_p \quad (5)$$

- c) La siguiente expresión nos da el valor de la potencia de salida de un panel trabajando a una temperatura de trabajo  $T_t$

$$P_t = P_p (1 - \delta * \Delta T) \quad (6)$$

Donde:  $P_t$  es la potencia de salida a la temperatura de trabajo,  $P_p$  es la potencia pico del panel,  $\delta$  representa el coeficiente de degradación,  $\Delta T$  es el incremento de temperatura sobre la temperatura de funcionamiento del panel.

- d) Para conocer la potencia real que se podrá generar, tenemos:

$$Energía_R = P_t * (Radiación Promedio en HSP) \quad (7)$$

Finalmente el número necesario de paneles vendrá dado por:

$$Número\ de\ paneles = \frac{Energía_{Gen}}{Energía_R} \quad (8)$$

## 8. Para el sistema eólico: [5, 15]

### i. Ubicación y orientación:

**Ubicación:** Se refiere al lugar de colocación del aerogenerador (techo de alguna edificación o en un espacio abierto). Es de vital importancia que donde se ubique el aerogenerador no exista ningún tipo de obstáculo y se encuentre donde haya mejores zonas de viento (esta selección se hará por los datos obtenidos de las velocidades medias de la zona). Además hay que tomar en cuenta si existe un reglamento o permisos legales que se requieran para su instalación.

**Orientación:** Se deberá realizar de forma que la energía captable al cabo de un año sea máxima.

**ii.** El cálculo y pérdidas del inversor, la estimación de las pérdidas y la eficiencia total del sistema, se realizará según lo descrito en los puntos **ii**, **iii** y **iv** correspondientes al sistema fotovoltaico.

**iii. Selección del aerogenerador:**

Al seguir los pasos anteriores, se va obtener la potencia que se debe generar “Energía<sub>Gen</sub>”, con este valor se va escoger el aerogenerador según la potencia nominal más cercana o superior al valor obtenido.

Las características más resaltantes del aerogenerador que dan los fabricantes son:

- Potencia nominal (vatios)
- El diámetro del rotor (metros)
- Velocidad de corte ( $m/s$ )
- Altura del eje. (metros)
- Curva de trabajo del aerogenerador.

Con los datos anteriores se van a realizar los siguientes cálculos:

a) Inicialmente se debe obtener los valores de velocidad media del lugar donde se desea realizar el montaje del aerogenerador (Punto 5), regularmente esta velocidad va a estar asociada a una altura determinada, entonces se va a calcular la velocidad media a la altura del eje (altura donde se va a ubicar el aerogenerador), con la siguiente expresión:

$$V_{\text{altura del eje}} = \left( \frac{H_{\text{altura del eje}}}{H_{\text{altura media}}} \right)^{\alpha} * V_{\text{altura media}} \quad (9)$$

Donde:  $V_{\text{altura media}}$  es la velocidad media determinada,  $H_{\text{altura del eje}}$  es la altura donde se va a ubicar el eje del aerogenerador,  $H_{\text{altura media}}$  es la altura a la cual se determino la velocidad media,  $\alpha$  es el coeficiente de rugosidad del terreno donde será ubicado el aerogenerador, el cual viene dado por la siguiente tabla:

Tabla 18. Estimación del valor del coeficiente de rugosidad para distintos terrenos. [15]

Tipo de Terreno	Coefficiente de Rugosidad ( $\alpha$ )
Liso (mar, arena, nieve)	0,10 a 0,13
Rugosidad moderada (hierba y cultivos)	0,13 a 0,20
Rugoso (bosques, edificaciones)	0,20 a 0,27
Muy Rugoso (ciudades)	0,27 a 0,40

- b) Teniendo este valor de velocidad ( $V_{altura\ del\ eje}$ ) y usando la curva de trabajo del aerogenerador proporcionada por el fabricante, se obtiene el valor de la potencia media de la máquina ( $P_m$ ) para esa velocidad.
- c) Luego para calcular la energía generada diariamente, se utiliza la siguiente expresión:

$$Energía_{Diaria\ Generada} = P_m * 24h \quad (10)$$

- d) Comparar la energía diaria generada ( $Energía_{Diaria\ Generada}$ ) con la energía que debería generar ( $Energía_{Gen}$ ) calculada en el punto **iii**, y verificar si el aerogenerador seleccionado cumple con la capacidad necesitada.

### 9. Banco de reserva para el sistema eólico y fotovoltaico: [14-15]

Para determinar el banco de reservar se debe conocer:

- i. El tiempo de respaldo en horas (autonomía del sistema de energía alternativa a emplearse).
- ii. Energía consumida por la carga durante el tiempo de respaldo.
- iii. El tipo de tensión que se desea tener en el banco de baterías (12V, 24V, 48V)
- iv. Las características de las baterías dadas por el fabricante.

Para conocer la energía consumida ( $Energía_{consumida}$ ), utilizamos la siguiente expresión:

$$Energía_{Consumida} = t_r * Energía_{Gen} \quad (11)$$

Donde:  $t_r$  es el tiempo de respaldo,  $Energía_{Gen}$  es la energía generada por día, calculada en el punto **iii**

Los datos que nos ofrece el fabricante de la batería seleccionada son:

- Tensión de corte
- Tensión de celda
- Tiempo de descarga
- Capacidad en ampere

La potencia y la energía suministrada por el banco de baterías, viene dado por:

$$Potencia_{S_{BB}} = Tensión_{BB} * Corriente_{BB} \quad (12)$$

$$Energía_{S_{BB}} = t_r * Potencia_{S_{BB}} \quad (13)$$

Donde:  $Potencia_{S_{BB}}$  es la potencia suministrada por el banco de baterías,  $Tensión_{BB}$  es la tensión del banco de baterías seleccionado inicialmente,  $Energía_{S_{BB}}$  es la energía suministrada por el banco de baterías,  $Corriente_{BB}$  es la corriente del banco de baterías.

La energía suministrada por el banco de baterías debe ser igual a la energía consumida entre la eficiencia del inversor, entonces:

$$Energía_{S_{BB}} = \frac{Energía_{Consumida}}{Eficiencia_{del\ Inversor}} \quad (14)$$

Sustituyendo las Ec. 11 y 12 en la Ec.13, obtenemos:

$$Tensión_{BB} * Corriente_{BB} * t_r = \frac{Energía_{Consumida}}{Eficiencia_{del\ Inversor}}$$

Despejando:

$$Corriente_{BB} * t_r = \frac{Energía_{Consumida}}{Eficiencia_{del\ Inversor} * Tensión_{BB}} \quad (15)$$

Con la el valor obtenido de  $Corriente_{BB} * t_r$  (Ah), se busca el modelo de la celda indicado, según la características dadas por el fabricante y se comprueba que la energía consumida sea igual o mayor a la que genera el banco de baterías.

$$Energia_{Gen BB} = Corriente_B * Tension_{DB} * N * t_r * Efic. Inversor \quad (16)$$

Donde:  $Energia_{GenBB}$  es la energía final generada por el banco de baterías,  $Corriente_B$  es la corriente de la batería seleccionada,  $Efic. Inversor$  representa la eficiencia del inversor,  $N$  es el número de baterías (según la tensión del banco de baterías),  $Tension_{DB}$  es la tensión final al descargarse la batería,  $t_r$  es el tiempo de respaldo en horas.

#### **10. Control de carga:**

Este control permite que el banco de baterías no se descargue más del 80% o 90% cortando el suministro de energía hacia la carga y de esta forma lograr una mayor vida útil. Las especificaciones de este control va a depender del valor pico de corriente del panel solar o del aerogenerador seleccionado.

#### **2.7. Normativas Internacionales.**

La energía es un bien universal y escaso, tanto en países desarrollados como en países en vía de desarrollo. Esta escasez de energía unida a la forma en que se ha incrementado la demanda en las últimas décadas coloca en peligro el delicado equilibrio energético mundial.

Esta búsqueda de la eficiencia energética y el uso racional de la energía no ha sido ajena para la mayoría de los gobiernos de países preocupados por el sector energético, en general se ha buscado en los últimos 10 o 20 años formas que lleven a un mejor uso de la energía y disminuir las pérdidas asociadas a su utilización.

Una de las comunidades internacionales interesadas en desarrollar la eficiencia energética es la Unión Europea, que busca fomentar la mejora rentable de la eficiencia del uso final de la energía en los Estados miembros, aportando los objetivos orientativos, así como los mecanismos, los incentivos y las normas generales institucionales, financieras y jurídicas necesarias para eliminar los obstáculos existentes en el mercado; creando las condiciones para el desarrollo y el fomento de un mercado de servicios energéticos y para la aportación de otras medidas de mejora de la eficiencia energética destinadas a los consumidores finales. [5]

Uno de los estados miembros de la Unión Europea, que ha desarrollado e implementado algunas normas, guías, programas y acciones para la mejora energética es el Gobierno de España, a través del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) que forma parte del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Varios de los decretos pronunciados por el Gobierno Español, se refieren al ahorro y eficiencia energética de las edificaciones residenciales, de oficinas o industriales. Algunos de los decretos son: [5]

- Real Decreto 1663/2000. Conexión de instalaciones fotovoltaicas a la red de baja tensión.
- Real Decreto 1955/2000. Regulación de las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de energía eléctrica.
- Real Decreto 47/2007. Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción
- Real Decreto 314/2006. Código Técnico de la Edificación, modificado por el Real Decreto 173/2010 por el cual se modifica el Código técnico de la edificación en materia de accesibilidad y no discriminación de las personas con discapacidad.
- Real Decreto 284/1999. Regulación del etiquetado energético de las lámparas.

Algunos de los documentos recientemente aportados por el IDAE tratan sobre la escala de calificación energética de las edificaciones. La escala de calificación consiste en adjudicar a la edificación una clase de eficiencia de un grupo de 7 letras que va desde la A (edificio más eficiente) hasta la G (edificio menos eficiente). Esta certificación energética requiere tomar decisiones a tres niveles: [16]

- a) El indicador energético para comparar las edificaciones: el cual viene dado por las emisiones anuales de CO<sub>2</sub> (kg/m<sup>2</sup>) y la energía primaria anual (kWh/m<sup>2</sup>) de la superficie útil del edificio (estas se deben desglosar para los servicios principales de la edificación).
- b) El grado de similitud que existen entre las edificaciones que se comparan, algunas opciones son: edificaciones construidas en el mismo periodo, edificaciones que tengan el mismo uso, por forma y dimensión, orientación, entre otras.
- c) La escala de calificación que indica los términos en los que se comparan las edificaciones.

Los puntos antes mencionados, han sido desarrollados tomando muchas variables en consideración como: materiales de construcción y aislamientos de las edificaciones, orientación de las edificaciones, clima y regiones de ubicación, iluminación, calefacción, refrigeración, entre otras características; para lograr establecer una calificación y certificación energética.

Indiscutiblemente, no se podría extrapolar directamente la calificación energética desarrollada para el país de España a otros países que no tengan las mismas variables ni semejantes normativas o leyes. Pero lo que si es posible hacer es utilizar las variables en común, los estudios que los han llevado a establecer una eficiencia energética en las edificaciones, las normativas que han desarrollado ajustadas al país, para que cada nación obtenga la calificación y certificación energética de las edificaciones según propias características.

Una de las variables en común, se podría afirmar que es a nivel mundial es la iluminación, porque siempre debe estar ajustada a las necesidades de los usuarios, a las actividades que se desarrollan en el área a iluminar, dar confort, optimizar el aprovechamiento de la luz natural, disponer de un sistema de control y ser eficaces energéticamente.

El Gobierno Español a través del Real Decreto 314/2006 en el que implanta el Código Técnico de la Edificación, del Capítulo 3 en el artículo 15: “Exigencias Básicas de Ahorro de Energías (HE)”, en el punto 15.3. Exigencia básica HE 3: Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación, establece: [16]

“Los edificios dispondrán de instalaciones de iluminación adecuadas a las necesidades de sus usuarios y a la vez eficaces energéticamente disponiendo de un sistema de control que permita ajustar el encendido a la ocupación real de la zona, así como de un sistema de regulación que optimice el aprovechamiento de la luz natural, en las zonas que reúnan unas determinadas condiciones”.

En el desarrollo del Documento Base de Exigencia básica HE 3: Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación, se estipula el valor de eficiencia energética de la instalación (VEEI), el cual mide la eficiencia energética de una instalación de iluminación de una zona de actividad diferenciada. [16]

El valor de eficiencia energética de la instalación VEEI ( $W/m^2$  por cada 100 lux) es función de la potencia total instalada, la superficie iluminada y la iluminancia media horizontal mantenida, según la siguiente relación:

$$VEEI = \frac{P \cdot 100}{S \cdot E_m} \quad (17)$$

Siendo: P es la potencia de la lámpara en W (incluyendo el equipo auxiliar), S es la superficie iluminada en m<sup>2</sup>, E<sub>m</sub> es la iluminancia media mantenida en lux.

Con el fin de establecer los correspondientes valores de eficiencia energética límite, las instalaciones de iluminación se identificarán, según el uso de la zona, dentro de uno de los 2 grupos siguientes: [16]

- a) **Grupo 1:** Zonas de no representación o espacios en los que el criterio de diseño, la imagen o el estado anímico que se quiere transmitir al usuario con la iluminación, queda relegado a un segundo plano frente a otros criterios como el nivel de iluminación, el confort visual, la seguridad y la eficiencia energética.
- b) **Grupo 2:** Zonas de representación o espacios donde el criterio de diseño, imagen o el estado anímico que se quiere transmitir al usuario con la iluminación, son preponderantes frente a los criterios de eficiencia energética.

Los valores de eficiencia energética límite se establecen en el Anexo B

Adicionalmente al valor de la eficiencia energética, se puede asociar un costo económico coligado a las emisiones de CO<sub>2</sub> emitidas por las instalaciones eléctricas relacionadas al producto que utiliza el país para la generación de energía. El costo de las emisiones de CO<sub>2</sub> se calcula por cada tonelada emitida y en Febrero de 2010 su valor aproximado era de 17 euros equivalentes a 24,35 dólares. [17]

En la próxima tabla, se muestra las equivalencias aproximadas por 1 kWh producido de la generación eléctrica de las diferentes plantas en sus correspondientes emisiones de CO<sub>2</sub> en kg/kWh:

**Tabla 19. Emisiones de CO<sub>2</sub> de las diferentes fuentes de energía. [17]**

<b>1 kWh producido por</b>	<b>Emisiones de CO<sub>2</sub> (kg/kWh)</b>
<b>Carbón</b>	0,75
<b>Fuel o gasoil</b>	0,6
<b>Gas natural (central convencional)</b>	0,37
<b>Gas natural (central de ciclo combinado)</b>	0,26
<b>Nuclear</b>	Poco pero no despreciable (minería de uranio, transporte, etc.)
<b>Hidráulica</b>	Despreciable
<b>Eólica</b>	Despreciable
<b>Solas</b>	Despreciable

Por ejemplo en Venezuela, según el informe anual que presenta el Centro Nacional de Gestión del Sistema Eléctrico para el año 2008, la capacidad instalada del sistema eléctrico corresponde a 23.280 MWh, del cual el 63% es de origen hidráulico y el 37% es de origen térmico. Si calculamos las emisiones de CO<sub>2</sub> por cada 1kWh generado, obtenemos:

$$1 kWh_{Venezuela} = (0,63kWh) * \left(0 \frac{kg}{kWh}\right) + (37kWh) * \left(0,6 \frac{kg}{kWh}\right) \quad (18)$$

$$1 kWh_{Venezuela} = 0,222 kg de CO_2$$

Las emisiones de CO<sub>2</sub> se determinan de la siguiente expresión:

$$Emisiones de CO_2 = \frac{Energía generada o consumida * 0,222 kg de CO_2}{1 kWh} \quad (19)$$

Las emisiones de CO<sub>2</sub> que genera la capacidad instalada en Venezuela es:

$$\begin{aligned} \textit{Emisiones de CO}_2 &= \frac{23.280.000 \textit{ kWh} * 0,222 \textit{ kg de CO}_2}{1 \textit{ kWh}} \\ &= 5.168.160 \textit{ kg de CO}_2 \end{aligned}$$

$$\textit{Emisiones de CO}_2 = 5.168,16 \textit{ Toneladas de CO}_2 \textit{ por hora}$$

## CAPÍTULO III

### DEFINICIÓN DE LOS CRITERIOS DE ILUMINACIÓN, AUTOMATIZACIÓN Y ENERGÍA ALTERNATIVA

#### 3.1. Proceso de diseño.

El proyecto de cualquier instalación de alumbrado lleva consigo la consideración de numerosas variables: ¿Cuál es el objeto de la instalación? ¿Se trata de iluminación para visión o para ventas, o para decoración? ¿Cuál es el trabajo visual a realizar y cuanto tiempo va a durar? ¿Cuáles son las exigencias arquitectónicas y decorativas, junto con las limitaciones constructivas del lugar de emplazamiento? ¿Qué consideraciones económicas entran en juego? Las respuestas a tales preguntas determinan la cantidad de luz necesaria y los mejores medios para conseguirla. La cantidad y la calidad del alumbrado interior se deben basar en los siguientes requisitos: [2]

- Rendimiento o eficacia visual
- Confort y placer visuales
- Economía

En definitiva el proceso de diseño con luz se enfoca en lo siguiente: [2]

#### I. ¿Qué iluminar?

Esto puede abordarse mejor como una composición en capas: iluminación de actividades, iluminación de realce e iluminación de ambiente o espacio. Dicho de otro modo, la iluminación para el ambiente total. [2]

- **El proceso de planeación**

Lo que vemos es casi siempre la reflexión de la luz de la superficie, no la luz en sí. Se necesita considerar si un objeto es claro u oscuro, pulido o espectral, texturizado o liso, si el color debe ser realzado o atenuado. El proceso de planeación sigue consecuentemente: [18]

- i. ¿Para qué actividades (funciones) se usará el espacio?
- ii. ¿Qué actividades se realizarán en el espacio?
- iii. ¿Qué detalles arquitectónicos deben enfatizarse?
- iv. ¿Cuál es la atmósfera (ambiente) que se desea? ¿Necesita ser variada?
- v. ¿Con qué estilo debe coordinarse la iluminación?

## II. ¿Cómo iluminarlo?

Una vez que se ha analizado el espacio, se puede decidir la mejor forma de iluminarlo mediante las técnicas básicas: iluminación general, bañadora, acentuada, de proyección u orientación. [2]

- **Determinación de la iluminancia**

Para la determinación de iluminancia se deben seguir los estándares nacionales presentes en la Norma COVENIN 2249-93, o en su defecto los estándares internacionales. El procedimiento se enfoca ahora no sólo en la cantidad de luz sino, igualmente importante, en la calidad. Ahora se toman en consideración los siguientes aspectos de la calidad de la iluminación:

- i. Necesidades humanas.
- ii. Economía y medio ambiente.
- iii. Arquitectura.

- **Dónde colocar la luz**

Un elemento clave de cómo iluminar es dónde colocar la luz, especialmente importante para evitar el resplandor y las reflexiones que deslumbran. También es un factor determinante para saber si la textura de una superficie debe ser enfatizada o atenuada. [18]

### III. ¿Con qué iluminar?

Una vez que decidimos qué iluminar y cómo iluminarlo, estamos listos para decidir con qué iluminarlo. La selección de un sistema de iluminación se realiza en el siguiente orden: primeramente la lámpara, la luminaria, la elección de los controles de iluminación y por último la elección del sistema de alimentación. [2]

- **Elección de la lámpara**

Existe una serie de fuentes de luz que ayudan a tomar una decisión. Antes de elegir, y se debe considerar lo siguiente: [18]

- i. Distribución de la luz.
- ii. Consumo de energía eléctrica.
- iii. Conversión del color.
- iv. Apariencia del color.
- v. Costos de mantenimiento.

- **¿Cómo obtener la distribución deseada?**

La distribución deseada depende de la elección de la lámpara y luminaria. La luminaria no sólo debe contener la lámpara, sino redirigir su luz hacia las áreas deseadas y proteger la lámpara de manera que no se convierta en una fuente de resplandor. [2]

- **Elección de la luminaria**

La elección de las luminarias depende de varios factores: [18]

- i. Distribución propuesta de la luz, función o propósito.
- ii. Apariencia o estilo.
- iii. Instalación: empotrada, superficial, suspendida, en la pared.
- iv. Tipo de edificación (construcción del edificio: nuevo, antiguo).
- v. Calidad del producto: detallado, acabado, durabilidad.
- vi. Costo de operación: energía, reemplazo, limpieza.
- vii. Costo inicial.

- **Elección de los controles**

Seleccione controles de iluminación cuando desee: [18]

- i. Cambiar la escena de iluminación para adaptarla a la actividad.
- ii. Crear una atmósfera.
- iii. Prolongar la vida útil de las luminarias.
- iv. Controlar las luces desde varias posiciones.
- v. Ahorrar energía al apagar las luces automáticamente cuando no hay nadie presente.

- **Elección del sistema de alimentación:** es decir con energía fotovoltaica o energía eólica, según el lugar de ubicación y la estructura de la edificación.

### 3.2. Criterios: “Metodología para realizar un sistema de iluminación”.

La metodología general se especifica en el siguiente diagrama de flujo:

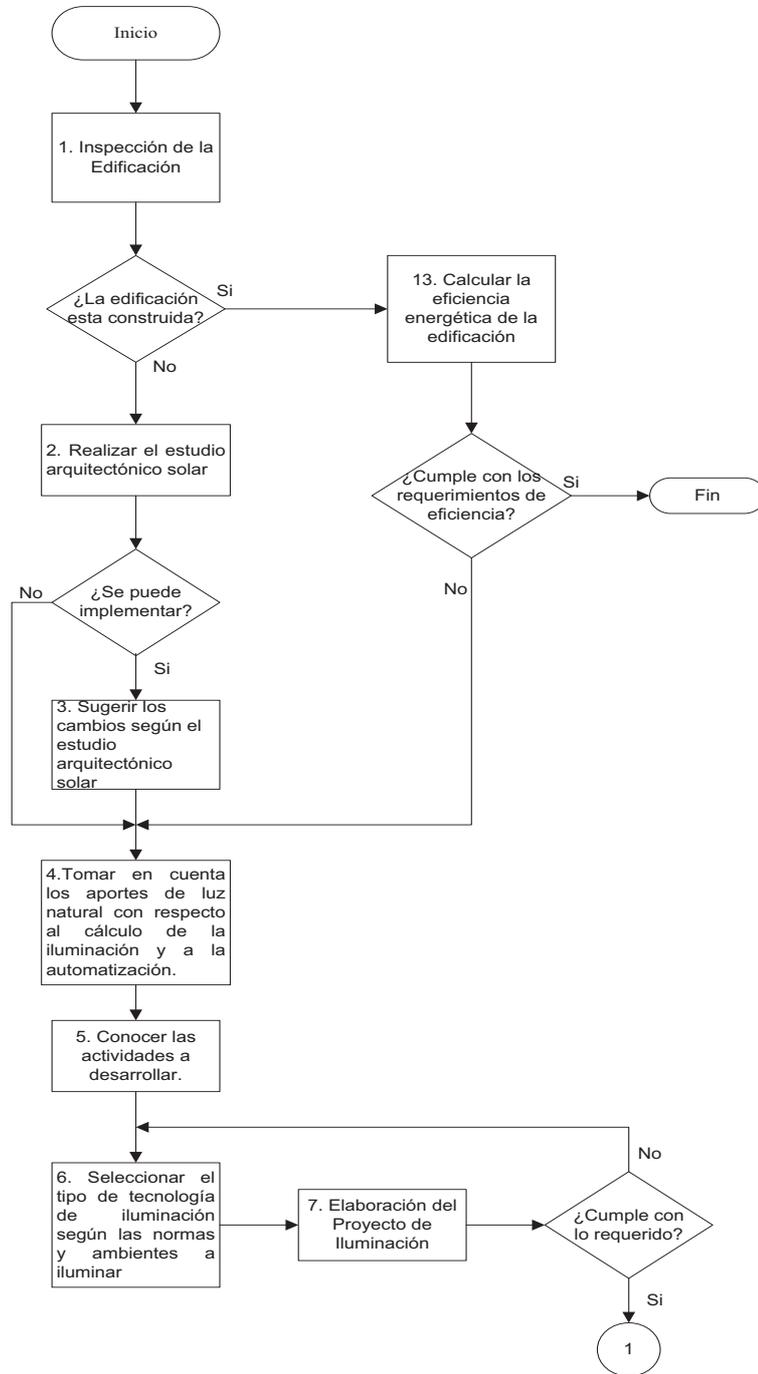
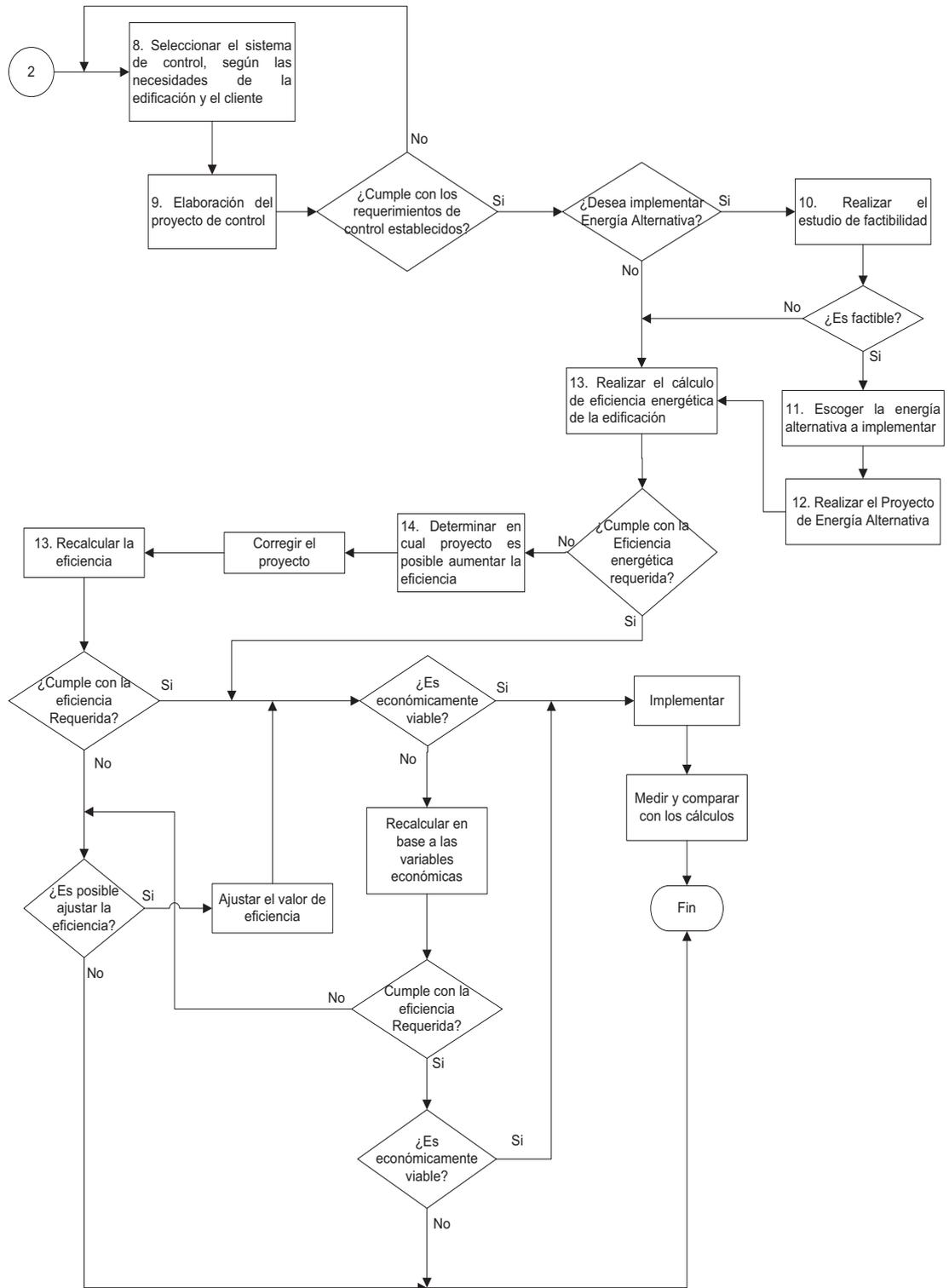


Figura 19. Diagrama de Flujo de la metodología del diseño.



Continuación de la Figura 19. Diagrama de Flujo de la metodología del diseño.

1. **Inspección de la edificación:** conocimiento del sitio de trabajo que se requiere iluminar, se debe realizar las mediciones de ancho, largo y altura del local. Adicionalmente de los índices de reflexión de las paredes, techo y piso. Y es importante observar si posee algún elemento de captación para el aprovechamiento de luz natural.
2. **Realizar el estudio arquitectónico solar:** cuando la edificación no se encuentra construida, se puede realizar el estudio de radiación solar, el cual permitirá saber cuál es la mejor orientación e implantación de la edificación, la profundidad y tamaño total, observar los obstáculos exteriores, la distribución interna de la edificación, así como también definir cual sería la ubicación de los elementos de captación de luz natural para aprovecharla al máximo a lo largo del día.
3. **Sugerir arquitectura:** en este paso, una vez realizado el estudio de radiación solar, si se puede cambiar algunos de los elementos de construcción de la edificación, se le propone y explica al dueño o al encargado de la edificación.
4. **Tomar en cuenta lo aportes de luz natural con respecto al cálculo de la iluminación y al control:** en este punto sea que la edificación se esté construyendo y se hayan hecho algunos de los cambios esbozados en el punto. 2 o no se haya logrado realizar algún cambio; como si la edificación se encuentra construida y posea elementos de captación de luz natural. Se debe tomar en cuenta el nivel que aporta la luz natural de iluminación para lograr realizar un buen control entre la iluminación natural y artificial, y asimismo mantener los niveles de iluminación recomendados por las normas.
5. **Conocer las actividades a desarrollar:** esto se realiza con el fin de escoger los valores de iluminancia correspondientes a la actividad desarrollada, según las normas nacionales o internacionales. En Venezuela se rige por la Norma COVENIN 2249-93.
6. **Seleccionar el tipo de tecnología de iluminación tomando en cuenta las normas y ambientes a iluminar:** elegir el tipo de luminaria y lámpara según la disponibilidad de espacio, potencia, flujo lumínico, eficiencia, vida útil,

rendimiento del color, y a su curva de distribución luminosa. Para los modelos de iluminación y ambientes se hace referencia a las tablas 11 y 12 del presente informe.

7. **Elaboración del proyecto de iluminación:** se recomienda referirse a la tabla 9 que presenta las características estudiadas de algunas lámparas y al *Punto 2.4* del presente informe, el cual muestra los modelos de iluminación y los tips para realizar una mejor distribución de lámparas y luminarias en edificaciones comerciales, de oficina e industriales.
8. **Seleccionar el sistema de control, según las necesidades de la edificación y el cliente:** se recomienda referirse a la tabla 13 del presente informe, que presenta algunos equipos de control, estos equipos se seleccionarán según las lámparas y luminarias elegidas, también por los diferentes ambientes que el cliente requiera representar.
9. **Elaboración del proyecto de control:** se elige el tipo de gestión de control con el fin de manejar los equipos de control seleccionados, las necesidades de la edificación. En este punto se realiza una reunión con el cliente para conocer las necesidades reales y lo que el mismo desea de la implementación del control. Para observar las diferencias de los protocolos y algunos aspectos que pueden emplearse en gestión y control, ir a al *Punto 2.5.2* del informe.
10. **Realizar el estudio de factibilidad:** en esta sección se debe realizar el estudio de cual energía alternativa (biomasa, fotovoltaica, eólica, geotérmica, hidráulica), se podría instalar en el área donde se está realizando el estudio de iluminación, en el presente informe se reseña la energía fotovoltaica y eólica.
11. **Escoger la energía alternativa:** elegir la energía alternativa según el estudio de factibilidad. Asimismo como buscar la metodología de cálculo para el dimensionamiento de la energía alternativa seleccionada.
12. **Realizar el proyecto de energía alternativa:** se recomienda referirse al punto *2.6.4* en el cual se explica la metodología de cálculo para los sistemas de eólicos y fotovoltaicos.

13. **Realizar el cálculo de la eficiencia energética de la edificación:** se recomienda referirse al punto 2.7
14. **Determinar cual subsistema es posible aumentar la eficiencia:** una vez terminado todo el proyecto, verificar el nivel de eficiencia con el establecido, sino lo cumple se deberá revisar cada proyecto (iluminación, control y energía alternativa) verificando que elementos se podrán cambiar para hacer que cumpla con la eficiencia energética planteada al inicio del proyecto.

## CAPÍTULO IV

### PROYECCIÓN DE LOS CRITERIOS DE ILUMINACIÓN, AUTOMATIZACIÓN Y ENERGÍA ALTERNATIVA EN UNA EDIFICACIÓN DE TRANSPORTE MASIVO.

Para la aplicación de los criterios definidos en la sección 3.2, se eligió una edificación de transporte masivo que fue caracterizada previamente, de la cual se conoce su consumo energético en iluminación. [1]

La edificación seleccionada es la estación de pasajero “Pérez Bonalde” de la C.A. Metro de Caracas, para la proyección de los criterios solamente se va a trabajar con dos niveles que son: mezanina y andén.

Para esta sección se van a seguir los pasos definidos en la Figura 19. Diagrama de flujo de la metodología del diseño.

**4.1. Inspección de la Edificación:** la estación en estudio se divide físicamente en 4 ambientes, de los cuales se van a trabajar únicamente con dos:

- **Mezanina:** el acceso a la estación conduce al público hacia un área que es un vestíbulo donde se ubican las taquillas de cobro de pasajes y los torniquetes, los cuales se encargan de separar el vestíbulo del área de mezanina. Este nivel de mezanina está diseñado para distribuir adecuadamente la circulación de los usuarios, además es donde se encuentran las escaleras fijas y mecánicas que conducen al nivel del andén.
- **Andén:** este nivel es donde los usuarios abordan y se bajan de los trenes, su diseño es semejante al nivel de mezanina, su disposición está orientada a la buena circulación de los usuarios y a que se distribuyan uniformemente a lo

largo del andén. Particularmente en la estación Pérez Bonalde tiene túneles gemelos adyacentes a la estación y la plataforma es central.

Adicionalmente se observa que no existe ningún elemento de captación de luz natural hacia el nivel de mezanina y andén. La iluminación de la estación Pérez Bonalde se realiza con lámparas PHILIPS, a continuación se presenta en la tabla 20 los modelos de luminarias utilizados en la estación:

**Tabla 20. Tipo de luminaria utilizada en la Estación Pérez Bonalde**

<b>Tipo de Luminaria</b>	<b>Potencia (W)</b>
Fluorescente T12 de 1 lámpara (incluye balasto electromagnético)	<b>52</b>
Fluorescente T12 de 2 lámparas (incluye balasto electromagnético)	<b>95</b>

**4.2. Como la edificación se encuentra construida, se va a realizar el cálculo de la eficiencia energética en iluminación:** para realizar este cálculo se debe contabilizar las luminarias que conforman el nivel de mezanina y el nivel del andén para conocer la potencia consumida, así como también su distribución en el área.

A continuación se presentan el levantamiento eléctrico de luminarias para cada área de la estación a iluminar.

**Tabla 21. Resumen de cantidad de luminarias y potencia en el área del andén y mezanina.**

Código	Descripción del Ambiente	Tipo de Luminaria		Total de Luminarias	Carga Conectada (W)
		Fluorescentes			
		1 tubo	2 tubos		
M-17	Área pública de mezanina		106	106	10.070
M-18	Área paga de mezanina		245	245	23.275
P-19	Andén (Raya amarilla)	250		250	13.000
P-19	Andén (Centro de la estación)		96	96	9.120
	<b>Total</b>	<b>250</b>	<b>447</b>	<b>697</b>	<b>55.465</b>

Con la finalidad de calcular la eficiencia energética y corroborar que se cumple el nivel de lúmenes apropiado para la instalación según la Norma COVENIN 2249, se va a realizar:

1. Cálculo teórico, que se realiza con la potencia consumida por el conjunto de lámpara instaladas (incluyendo el balasto), el área a iluminar y el nivel de lux recomendado por la norma. Este procedimiento se hace con la suposición de que todas las lámparas están funcionando.

El valor límite de eficiencia energética de la instalación VEEI (véase anexo B), para lugares de andenes y mezanina es  $3,5 \text{ W}/\text{m}^2$  por cada 100 lux instalados y el valor recomendado por la norma para el área de mezanina y andén es de 300 lux.

Para el cálculo del valor de eficiencia energética de la instalación, separamos la potencia consumida por cada área, especificada en la tabla 20 y utilizamos la Ec. 17:

$$VEEI_{\text{Límite}} = 3,5 \text{ W/m}^2$$

$$VEEI_{\text{Nivel Mezanina}} = \frac{(10070 + 23275) * 100}{(14,09 * 128,34) * 300} = 6,15 \text{ W/m}^2 \geq VEEI_{\text{Límite}}$$

$$VEEI_{\text{Nivel Andén}} = \frac{(13000 + 9120) * 100}{(15,04 * 150,5) * 300} = 3,26 \text{ W/m}^2 \leq VEEI_{\text{Límite}}$$

El cálculo anterior demuestra teóricamente que el nivel de mezanina no cumple con el valor de eficiencia energética de la instalación de iluminación. Y a pesar que el nivel de eficiencia energética es adecuado para el nivel del andén, cuando se realizó la inspección se observó que aproximadamente el 50% de las lámparas estaban dañadas.

**4.3. Seleccionar el tipo de tecnología de iluminación según las normas y ambientes a iluminar:** en este caso las normas establecidas que se van a seguir son:

- **Norma COVENIN 2249-93:**

Tabla 22. Áreas y actividades exteriores en la industria

Estación de pasajeros Ambiente:	Nivel de Iluminación (Lux)	Plano respecto al piso (m)
Mezanina (general)	300	0
Andenes	300	0

- **Normas de Proyecto de C.A. Metro de Caracas (Capítulo 9)**

Tabla 23. Códigos de ambientes e índices de refracción de techo, pared y piso

<b>Código de Ambientes</b>	<b>Nombre del Ambiente</b>	<b>Nivel Requerido (Lux)</b>	<b>Hfc/Ro/Pa/Pr</b>
M-17	Área pública mezanina	300	0/50/30/20
M-18	Área paga mezanina	300	0/50/30/20
P-19	Área pública del andén	300	0/50/30/10

Donde Hfc indica la altura del plano de trabajo (cm); Ro es el porcentaje de índice de refracción de techo; Pa es el porcentaje de índice de refracción de pared; Pr es el porcentaje de índice de refracción de piso.

La tecnología de iluminación a utilizar va a depender del nivel que se va a iluminar:

**Nivel andén:** en este nivel se van a utilizar dos modelos de lámparas según el área:

- **Raya amarilla:** en este espacio se va a implementar con luminarias asimétricas y lámparas fluorescente T8. Se utilizan luminarias asimétricas para que la distribución luminosa incida sobre la plataforma del andén y no sobre los rieles del tren. Las lámparas T8 tiene un promedio de vida útil de 3 años.
- **Centro de la estación:** en esta área se utilizará luminarias simétricas y lámparas fluorescente T5. Se implementa con luminarias simétricas para que la distribución luminosa incida en el centro de la plataforma y se complemente con la distribución proveniente del área de raya amarilla. Las lámparas T5 tiene un promedio de vida útil de 3 años.

**Nivel mezanina:** en este nivel se utilizará el mismo modelo de luminarias y lámparas tanto en el área de mezanina pública como en el de mezanina paga. En esta área se utilizará luminarias simétricas colgantes y lámparas fluorescente T5. Se implementa

con luminarias simétricas colgantes para que la distribución luminosa incida en toda la superficie de mezanina. Las lámparas T5 tienen un promedio de vida útil de 3 años.

**4.4. Elaboración del proyecto de iluminación:** teniendo en cuenta las normas que se deben cumplir y el tipo de tecnología en iluminación en instalar, se realiza el proyecto de iluminación con el software Dialux. A continuación se presentan los resultados obtenidos:

**Tabla 24. Resumen de la cantidad de lámparas y potencia instalada en la propuesta de diseño.**

	Tecnología en lámparas	Nº de lámparas instaladas	Potencia por lámpara (W)	Potencia instalada (W)	Flujo luminoso por lámpara (lm)	Flujo luminoso instalado (lm)
<b>Nivel Andén</b>	T5	24	54	1296	4.450	106.800
	T8	198	41	8118	3.350	663.300
	<b>Subtotal 1</b>	<b>222</b>		<b>9.414</b>		<b>770.100</b>
<b>Nivel Mezanina</b>	T5	153	54	8262	4.450	680.850
	<b>Subtotal 2</b>	<b>153</b>		<b>8.262</b>		<b>680850</b>
	<b>Total</b>	<b>375</b>		<b>17.676</b>		<b>1.450.950</b>

$$VEEI_{\text{Límite}} = 3,5 \text{ W/m}^2$$

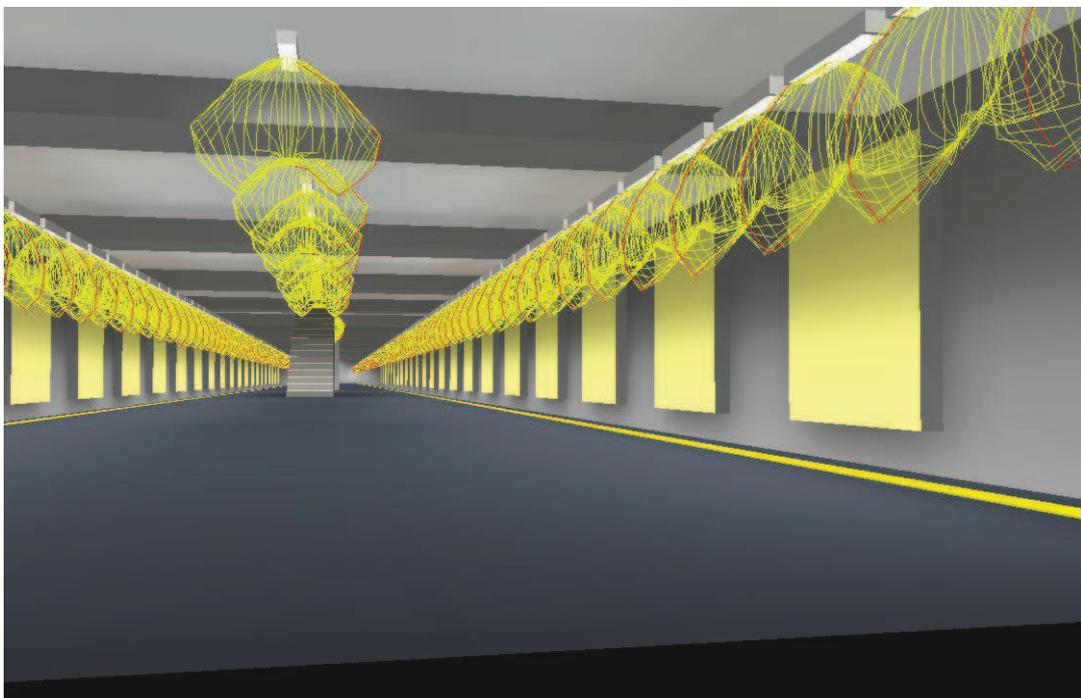
$$VEEI_{\text{Nivel Mezanina}} = \frac{(8262) * 100}{(14,09 * 128,34) * 300} = 1,52 \text{ W/m}^2 \leq VEEI_{\text{Límite}}$$

$$VEEI_{\text{Nivel Andén}} = \frac{(1296 + 8118) * 100}{(15,04 * 150,5) * 300} = 1,39 \text{ W/m}^2 \leq VEEI_{\text{Límite}}$$

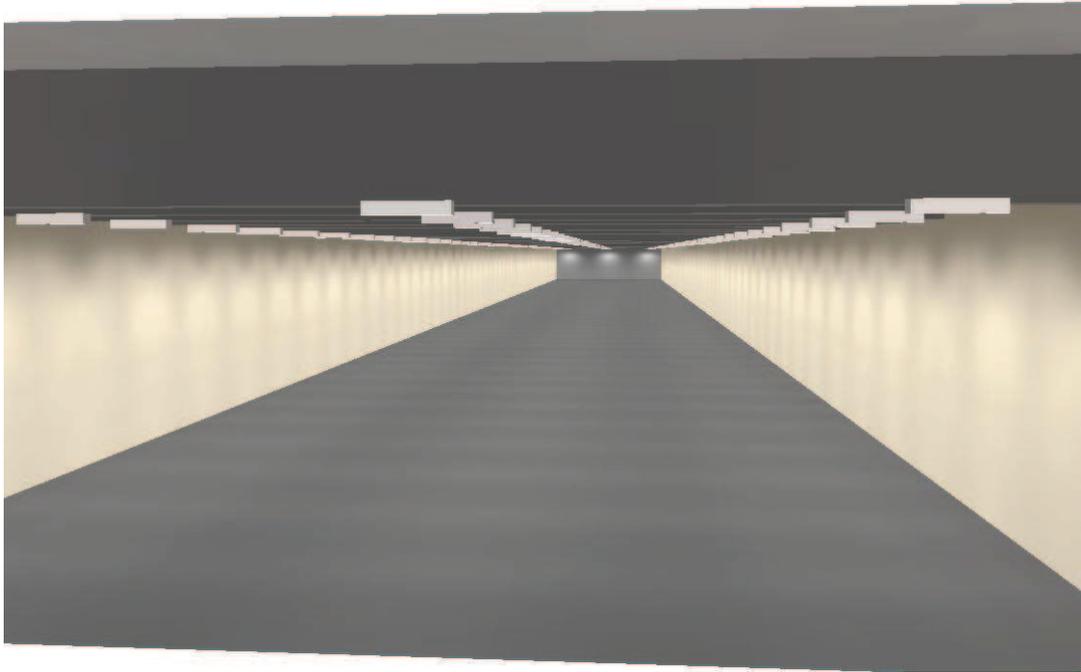
Como se muestra anteriormente en los cálculos, el proyecto de iluminación propuesto cumple con el valor límite de eficiencia energética de la instalación VEEI por cada 100 lux, en el área de mezanina y del andén. A continuación se presenta algunas imágenes de la propuesta de iluminación realizada con el programa Dialux:



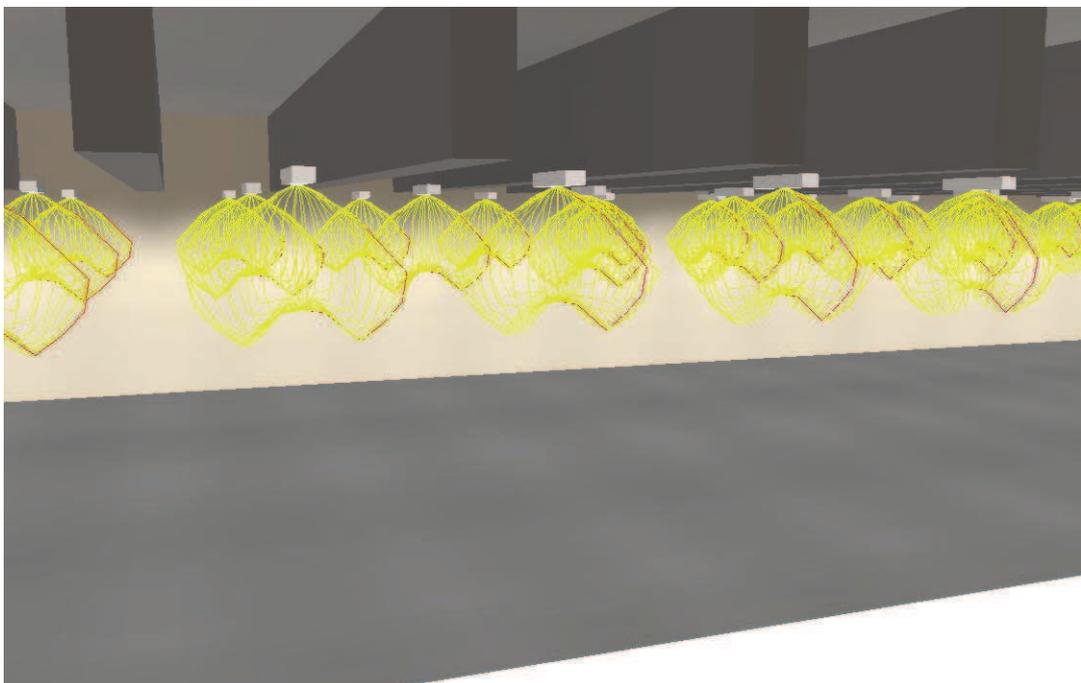
**Figura 20. Iluminación en el área del andén.**



**Figura 21. Representación en 3D de la distribución luminosa en el área del andén.**



**Figura 22. Iluminación en el área de mezanina paga y pública.**



**Figura 23. Representación en 3D de la distribución luminosa en el área de mezanina.**

Se presenta una comparación del consumo energético antes y después de la propuesta del proyecto de iluminación:

Tabla 25. Cuadro comparativo entre la iluminación actual y la propuesta de iluminación.

Iluminación Actual			Propuesta de Iluminación		
Número de lámparas instaladas		Potencia Total (W)	Número de lámparas instaladas		Potencia Total (W)
<b>Andén Raya Amarilla</b>	250	13.000	<b>Andén Raya Amarilla</b>	198	8.118
<b>Andén Centro de la Estación</b>	96	9.120	<b>Andén Centro de la Estación</b>	24	1.296
<b>Mezanina Paga y Pública</b>	351	33.345	<b>Mezanina Paga y Pública</b>	153	8.262
<b>Total</b>	<b>697</b>	<b>55.465</b>	<b>Total</b>	<b>375</b>	<b>17.676</b>

Como podemos observar en la tabla anterior, con el 46,2% menos de números de lámparas instaladas se logra una mejor distribución en iluminación, como se muestran en las figuras 20 y 22. Asimismo con la implementación de la más reciente tecnología en luminarias se consigue disminuir a 31,87% el consumo eléctrico.

**4.5. Seleccionar el sistema de control:** al escoger el sistema de control se deberá conocer el funcionamiento de la estación en este momento para así obtener un buen uso de las luminarias.

En la actualidad en la estación Pérez Bonalde, no existe ningún tipo de control en la iluminación, la misma funciona durante todo el día los 365 días del año, lo que causa una disminución de la vida útil de las lámparas fluorescentes T12 a un año y su balasto electromagnético. Por ello la empresa C.A. Metro de Caracas, realiza

acciones de mantenimiento en un periodo estimado de un año de reposición para los tubos y balastos electromagnéticos. [1].

Debido a que las lámparas a utilizar son fluorescente T5 o T8 según el área, se van a utilizar balastos electrónicos.

**4.6. Elaboración del proyecto de control:** en este paso se establecerá el sistema de gestión del alumbrado, para el cual se utilizará el protocolo KNX, que es un protocolo abierto y que acepta diversos tipos de tecnología a controlar. Asimismo se establecerá:

- Se realizará una distribución de tres circuitos de control de las luminarias instaladas. En el nivel del andén, se instalaron 222 luminarias, cada circuitos controlará 74 luminarias, y en el nivel mezanina se instalaron 153 luminarias y cada circuito controlara 51 luminarias. Donde C1 se refiere al circuito uno de control, C2 indica circuito dos de control, y C3 indica circuito tres de control

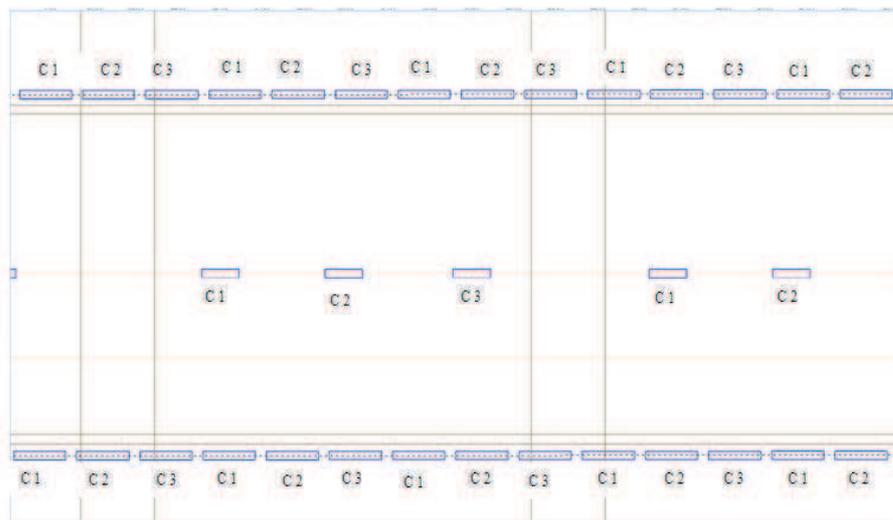
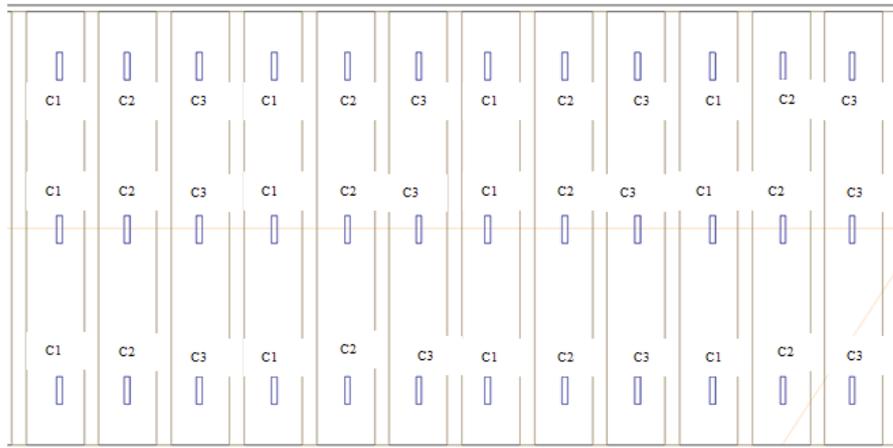


Figura 24. Sección del nivel andén – vista planta



**Figura 25. Sección del nivel mezanina – vista planta**

- Se realizarán tres escenas de iluminación:
  - i. Escena 1. Full iluminación: para esta escena los tres circuitos de control están activados (ver Figura 20)
  - ii. Escena 2. Dos circuitos: para esta escena únicamente están activados dos de los circuitos de control.



**Figura 26. Nivel andén - Escena 2**

- iii. Escena 3. Un circuito: para esta escena estará activado un solo circuito de control.



**Figura 27. Nivel andén – Escena 3**

- Se efectuará tres controles horarios, de los cuales el control 2 y 3, se efectuarán de forma que, cada circuito de control (C1, C2, C3) tenga el mismo periodo de uso semanal o mensual.
  - i. Control 1: encenderá las lámparas a las 5 am y las apagará a las 12 pm, estando asociado a la Escena 1.
  - ii. Control 2: realizará un cambio en la iluminación asociado a la Escena 3, encenderá las lámparas a las 12 pm y las apagará a las 5 am, es decir se mantendrá encendido sólo un circuito de control para generar una iluminación de seguridad.
  - iii. Control 3: se activará cuando en la estación de pasajeros Pérez Bonalde, exista algún tipo de mantenimiento realizado por los empleados de la compañía.

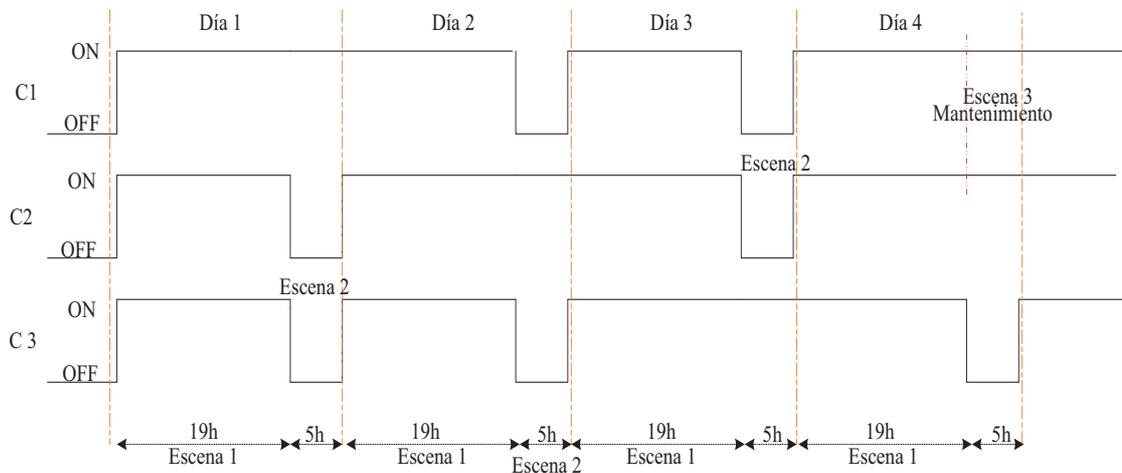


Figura 28. Diagrama de tiempo semanal de 96 horas

**4.7. Realizar el estudio de factibilidad para implementar energía alternativa:** en esta sección, se investigará sobre los datos geográficos y meteorológicos de la zona.

La estación de metro Pérez Bonalde, se encuentra al oeste de la ciudad de Caracas, en el Municipio Libertador del Distrito Capital. Las coordenadas geográficas se pueden apreciar en la imagen sacada del programa Google Earth, la cuales son: latitud  $10^{\circ} 30'26,34''$  N, longitud  $66^{\circ} 56'52,02''$  O, altitud 970,18 M.S.N.M.

El resumen climatológico para esta zona, se obtuvo a través de la Dirección de Hidrología y Meteorología del Sistema Nacional de Información Hidrológica y Meteorológica (SINAIHME) de la estación climatológica Caño Amarillo, la cual es la estación climatológica instalada más cercana a la estación de pasajeros Pérez Bonalde, en el periodo 1995 – 2005 arrojó los siguientes resultados:

**Estación Climatológica Caño Amarillo:** Latitud: 10° 30' N. Longitud: 66° 55'.  
 Altitud: 990 M.S.N.M.

**Tabla 26. Radiación solar promedio (kWh/m<sup>2</sup>/día)**

Estación Climatológica Caño Amarillo	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Promedio
<b>Promedio en 10 años</b>	7,8	8,3	8,3	6,8	6,6	6,7	7,5	7,5	7,4	7,1	7,1	7,0	7,3

**Tabla 27. Temperatura promedio (°C)**

Estación Climatológica Caño Amarillo	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Promedio
<b>Mínimo</b>	25,2	25,4	27	28,1	27,9	27,1	27,0	26,5	27,0	27,0	26,0	25,2	26,62
<b>Máximo</b>	25,4	26,4	27,6	28,3	28,1	27,4	27,1	27,5	27,9	27,4	26,4	25,6	27,1

**Tabla 28. Velocidad media del viento (m/s)**

Estación Climatológica Caño Amarillo	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Promedio
<b>Promedio en 10 años</b>	3,0	3,1	3,2	3,2	3,4	3,9	3,5	3,1	3,1	3,0	2,7	2,8	3,2

Por las tablas del resumen climatológico, se puede deducir que es posible la utilización de energía alternativa fotovoltaica, ya que existe un nivel promedio de radiación alto. Asimismo se observa de la tabla 28, que la velocidad promedio del viento no es óptima para la utilización de energía alternativa eólica, ya que no se podría garantizar la generación continua de energía.

Por lo tanto la recomendación sería instalar como energía alterna un sistema fotovoltaico. Además por la ubicación de la estación, habría que tomar en cuenta la posibilidad de alimentar con energía fotovoltaica el 30% de la instalación realizada en el nivel mezanina y el nivel andén, ya que el emplazamiento del sistema se efectuaría en una edificación adyacente a la estación, no perteneciente a la C.A. Metro de Caracas.

**Tabla 29. Radiación Promedio Anual kWh/m<sup>2</sup>**

Radiación Promedio en kWh/m <sup>2</sup> /día (A)		Días del Mes (B)	Radiación Promedio Mensual (AxB)
<b>Enero</b>	7,8	31	241,8
<b>Febrero</b>	8,3	28	232,4
<b>Marzo</b>	8,3	31	257,3
<b>Abril</b>	6,8	30	204
<b>Mayo</b>	6,6	31	204,6
<b>Junio</b>	6,7	30	201
<b>Julio</b>	7,5	31	232,5
<b>Agosto</b>	7,5	31	232,5
<b>Septiembre</b>	7,4	30	222
<b>Octubre</b>	7,1	31	220,1
<b>Noviembre</b>	7,1	30	213
<b>Diciembre</b>	7,0	31	217
<b>Radiación Anual kWh/m<sup>2</sup>/anual</b>			<b>2678,2</b>

**4.8. Proyecto de energía alternativa:** se va a realizar con energía fotovoltaica, y se va seguir el procedimiento expuesto en la sección 2.6.4 del presente informe.

La potencia total instalada en el nivel mezanina y andén se encuentra reflejada en la tabla 30 que muestra el consumo anual. Es importante destacar que la escena 1 se mantiene encendida 19 horas al día por 365 días del año, la escena 2 se enciende 5 horas al día y solo 353 días del año, y la escena 3 se encenderá 5 horas al día por 12 días del año ya que se supondrá que el mantenimiento se realiza una vez al mes.

Tabla 30. Consumo en Wh/día del sistema de iluminación en el nivel andén y mezanina.

Potencia total instalada (A)		Horas de uso anual (B)	Wh/anual (AxB)	30 % del consumo anual Wh/anual	Total consumo en Wh/anual
Escena 1	17.676 W	6.935 horas	122.583.060	36.774.918	36.774.918
Escena 2	8.838 W	1.765 horas	15.599.070	4.679.721	4.838.805
Escena 3	5.892 W	60 horas	353.520	106.056	106.056
				10%perdidas del inversor	4.156.069,5
					<b>45.716.764,5</b>

**i. Ubicación, orientación e inclinación:**

**Ubicación:** se colocará el panel solar en el techo del edificio adyacente a la salida sur de la estación Pérez Bonalde.

**Orientación:** como el lugar a instalar se encuentra en el hemisferio norte el panel deberá ser orientado hacia el sur.

**Angulo de Inclinación:** la inclinación óptima para el panel solar por la Ec. 1 es:

$$\beta_{\text{óptimo Est. Pérez Bonalde}} = 3,7^{\circ} + 0,69 * 10,3^{\circ}$$

$$\beta_{\text{óptimo Est. Pérez Bonalde}} = 10,8^{\circ}$$

**ii. Eficiencia del sistema:**

La eficiencia total del sistema vendrá dada por la Ec. 2 que es la resta de la eficiencia general ( $E_G$ ) que es 100% y las pérdidas por cableado que son 2% ( $E_{pc}$ ):

$$E_T = 100 \% - 2 \% \rightarrow E_T = 98\%$$

Por lo tanto la energía generada ( $Energía_{Gen}$ ) resulta de la división del Total entre la eficiencia total del sistema, mostrada en la Ec. 3:

$$Energía_{Gen} = \frac{45.716.764,5 \text{ Wh/año}}{0,98} = 46.649.759,7 \text{ Wh/año}$$

**iii.** Selección y número de paneles solares a utilizar:

Se seleccionó el panel fotovoltaico de 235W, los datos del panel son:

- Potencia pico de salida: 235 W.
- Tensión a circuito abierto: 37 V.
- Temperatura de trabajo  $25^{\circ}C$
- Factor de deterioro de la potencia de salida:  $0,485\frac{\%}{^{\circ}C}$

Para determinar la cantidad de paneles solares a utilizar se deberá calcular:

- 1) Temperatura máxima de trabajo, los datos mostrados en la Ec.4 han sido extraídos de la tabla 27:

$$T_t = 27,1^{\circ}C + \left( 0,3 \frac{^{\circ}C \text{ cm}^2}{mW} * 80 \frac{mW}{\text{cm}^2} \right) = 51,1^{\circ}C$$

- 2) El incremento en la temperatura  $\Delta T$  de trabajo respecto a la temperatura prueba que da el fabricante se determina a través de la Ec. 5:

$$\Delta T = 51,1^{\circ}C - 25^{\circ}C \rightarrow \Delta T = 26,1^{\circ}C$$

- 3) La Ec. 6 nos da el valor de la potencia de salida de un panel trabajando a una temperatura  $T_t$

$$P_t = 235 \text{ W} * \left( 1 - 0,00485 \frac{\%}{^{\circ}C} * 26,1^{\circ}C \right) \rightarrow P_t = 205,25 \text{ W}$$

Para conocer la potencia real que se podrá generar, utilizamos la Ec.7: la radiación anual se obtiene de la tabla 29, recordando que la misma se expresa en kWh/m<sup>2</sup> o en Horas de Sol Pico (HSP).

$$P_R = 205,25 W * 2.678,2HSP = 549.707,312 Wh/anual$$

4) Finalmente el número necesario de paneles viene dado por la Ec.8:

$$\text{Número de paneles} = \frac{46.649.759,7 Wh/anual}{549.707,312 Wh/anual} = 84,86 \text{ paneles}$$

El número de paneles fotovoltaicos necesarios que se deberían instalar son 85 paneles, para cubrir una demanda del 30% de energía consumida.

Para la selección del inversor se selecciono el que manejara la potencia requerida consumida (17.676 Wp). El inversor seleccionado es un SMA que maneja 10 kW por lo tanto se debe adquirir dos inversores.

Como la C.A. Metro de Caracas, posee sus propios transformadores, el sistema de energía alternativa únicamente comprenderá los sistemas de: captación, adaptación de corriente, el cableado y las protecciones necesarias para su instalación en la estación de pasajeros Pérez Bonalde.

**4.9. Costo de la implementación:** después de haber evaluado la factibilidad técnica de la implementación de sustitución de tecnología en lámparas, mecanismos de automatización y energía alternativa, se desarrolla la última fase del proceso que sería los costos que surgen de los cambios planteados. Los precios presentados en la siguiente tabla, son costos aproximados de los productos en dólares.

**Tabla 31. Costo aproximado de la implementación**

<b>Producto</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Unitario en \$</b>	<b>Costo Total en \$</b>
Lámpara con balasto FLR 5375873 Feldberg T5	279	170	47.430
Lámpara con balasto 330230 Allgäu T8	198	170	33.660
Actuador de 16 canales	1	200	200
Fuente de alimentación	1	150	150
Controladores horarios de 4 canales	4	200	800
Contactores	15	100	1.500
Panel fotovoltaico SHARP modelo Multi-Purpose 235 W	85	800	68.000
Inversor SMA Sunny Mini Central 10000TL	2	1000	2000
Montaje	85	80	6.800
<b>Total de Inversión</b>			<b>160.540\$</b>

Como se observa en la tabla de costos el valor de la implementación tiene un aumento aproximado del 47% solo por el hecho de utilizar energía alternativa fotovoltaica, ya que este tipo de tecnología no es desarrollada en el país y se debe importar de otros países.

Se conoce que para la estación Pérez Bonalde de la C.A. Metro de Caracas, la demanda asignada contratada (DAC) es de 310 kVA y la carga total conectada (CTC) es 205,664 kW. [10]

El estudio del sistema de iluminación, se está realizando a través de una contratista del Metro de Caracas, por lo tanto se desconoce la facturación mensual de la estación Pérez Bonalde, para poder realizar un análisis económico entre el sistema de iluminación actual y el propuesto, se va a realizar una facturación estimada del gasto anual del consumo eléctrico de toda la estación. El costo de facturación eléctrica, se efectuó con las tarifas de la Electricidad de Caracas que por la demanda asignada contratada y la carga total conectada coloca a la estación Pérez Bonalde en Servicio General 2: T05. (Anexo D).

Tabla 32. Tabla de precios

Servicio General 2	
T05	
Demanda en Bs/kVA	Energía Bs/kWh
8.027,0732	49,5501

El análisis económico se efectuará mediante el método de decisión económica Costo Anual Uniforme, el cual permitirá escoger la alternativa económica más viable. Para ello, se compara la situación actual en la estación Pérez Bonalde con la propuesta planteada. Las condiciones de estudio son:

- El estudio económico se realizará en un periodo de tres años, debido a que la primera sustitución de las lámparas fluorescentes T5 y T8 corresponde a ese periodo.
- Se estima una tasa inflacionaria anual del 26%, según las proyecciones del Banco Central de Venezuela.
- El cambio de divisa norteamericana se establece en 4,30 Bs por dólar.
- No se contempla el retorno por salvamento de las lámparas.
- Se incluye los gastos relacionados por: implementación del nuevo sistema de iluminación, reposición de lámparas y facturación.
- Se tomará en cuenta solo la reposición de lámparas en el nivel andén y mezanina, ya que se conoce la cantidad total de lámparas existentes en la estación.

1) **Cálculo de egresos anuales - situación actual.** la energía consumida mensualmente por la estación actualmente es:

$$Energía\ Mensual = 87.664\ W * 24 \frac{h}{días} * 30\ días = 63.118,08kWh$$

Se va suponer que la lectura del medidor se realiza cada 30 días.

Tabla 33. Facturación Mensual aproximada de la Estación Pérez Bonalde (Situación actual)

		Bolívares
<b>Cargo por Energía</b>	$\frac{63.118,08kWh * 0,0495501 * 30,}{30}$	3.127,5071
<b>Cargo por Ajuste de Combustible y Energía (10%)</b>	$(3.127,5071) * 0.1$	312,7507
<b>Cargo por Demanda Asignada</b>	$\frac{310kVA * 8,0270732 * 30,}{30}$	2.488,392
<b>Costo por Operación Municipal (2%)</b>	$(5928.6505) * 0,02$	118,573
<b>IVA (12%)</b>	$(5928.6505) * 0,12$	725,6668
<b>Total de Factura</b>		<b>6.772,89</b>

Se considerará que este costo mensual promedio se mantiene a lo largo de los 12 meses, obteniendo un costo anual de factura eléctrica de: **81.274,68 Bs/anual**.

El costo de las lámparas fluorescente T12, obtenido por internet desde la página de PHILIPS es:

Tabla 34. Costo de reposición por lámparas fluorescentes T12.

Tipo de lámpara		Cantidad	Precio Unitario Bs	Sub total Bs
<b>Fluorescente T12</b>	<b>1 tubo</b>	250	215	53.750
	<b>2 tubos</b>	447	258	115.326
<b>Total de Costo</b>				<b>169.076</b>

Para calcular la anualidad de cada alternativa, primero se proyectará a futuro cada uno de los egresos.

$$Egreso Anual = Costo de la factura eléctrica + Costo de reposición$$

$$Egreso Anual = 81.274,68 + 169.076 = 250.350,68 Bs$$

$$\text{Egreso año 1} = \text{Egreso anual} * (1 + i)^1 = 250.350,68 * (1 + 0.26)^1 = 315.441,9 \text{ Bs}$$

$$\text{Egreso año 2} = \text{Egreso anual} * (1 + i)^2 = 250.350,68 * (1 + 0.26)^2 = 397.456,74 \text{ Bs}$$

$$\text{Egreso año 3} = \text{Egreso anual} * (1 + i)^3 = 250.350,68 * (1 + 0.26)^3 = 500.795,50 \text{ Bs}$$

**Tabla 35. Proyección de los egresos situación actual**

<b>Egreso Anual</b>	<b>Egreso Año 1</b>	<b>Egreso Año 2</b>	<b>Egreso Año 3</b>
250.350,68Bs	315.441,9 Bs	397.456,74 Bs	500.795,50 Bs

- 2) Cálculo de egresos anuales – propuesta.** para conocer la energía mensual del sistema de iluminación a implementar, a los vatios consumidos de la estación en general, se le resta los vatios consumidos por las lámparas del andén y mezanina de la situación actual y se le suma los vatios consumidos por el control horario.

$$\text{Energía Mensual} (87.664 - 55.465 + 17.676 + 8.838 + 5.892)W * 24 \frac{h}{\text{días}} * 30 \text{ días}$$

$$\text{Energía Mensual} = 46.515,6 \text{ kWh}$$

Se va suponer que la lectura del medidor se realiza cada 30 días.

**Tabla 36. Facturación Mensual aproximada de la Estación Pérez Bonalde (Situación actual)**

		<b>Bolívares</b>
<b>Cargo por Energía</b>	$\frac{46.515,6kWh * 0,0495501 * 30,}{30}$	2.304,852
<b>Cargo por Ajuste de Combustible y Energía (10%)</b>	$(2.304,852) * 0.1$	230,485
<b>Cargo por Demanda Asignada</b>	$\frac{310kVA * 8,0270732 * 30,}{30}$	2.488,392
<b>Costo por Operación Municipal (2%)</b>	$(5.023.7298) * 0,02$	100,4746

<b>IVA (12%)</b>	$(5.124,2044) * 0,12$	614,9045
<b>Total de Factura</b>		<b>5.739,11</b>

De igual forma, se considerará que este costo mensual promedio se mantiene a lo largo de los 12 meses, obteniendo un costo anual de factura eléctrica de: **68.869,31 Bs/anual.**

El costo de las lámparas fluorescente T5 y T8, obtenido por internet desde la página de PHILIPS es:

**Tabla 37. Costo por reposición de luminarias T5 y T8**

<b>Tipo de lámpara</b>		<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario Bs</b>	<b>Sub total Bs</b>
<b>Fluorescente</b>	<b>T5</b>	177	322,5	57.082,5
	<b>T8</b>	198	301	59.598
<b>Total de Costo</b>				<b>116.680,5</b>

$$\text{Costo de lámp. 3 año} = \text{Costo lámparas} * (1 + i)^3 = 116.680,5 * (1 + 0.26)^3$$

$$\text{Costo de lámp. 3 año} = 233.404,87 \text{ Bs}$$

Para calcular la anualidad de ésta alternativa se proyecta el egreso anual:

$$\text{Egreso Anual} = \text{Costo de la factura eléctrica}$$

$$\text{Egreso Anual} = 68.869,31 \text{ Bs}$$

$$\text{Egreso año 1} = \text{Egreso anual} * (1 + i)^1 = 68.869,31 * (1 + 0.26)^1 = 70.659,91 \text{ Bs}$$

$$\text{Egreso año 2} = \text{Egreso anual} * (1 + i)^2 = 68.869,31 * (1 + 0.26)^2 = 109.336,92 \text{ Bs}$$

$$\text{Egreso año 3} = \text{Egreso anual} * (1 + i)^3 = 68.869,31 * (1 + 0.26)^3 = 137.764,51 \text{ Bs}$$

**Tabla 38. Proyección de los egresos - propuesta**

<b>Egreso Anual</b>	<b>Egreso Año 1</b>	<b>Egreso Año 2</b>	<b>Egreso Año 3</b>
68.869,31 Bs	70.659,91 Bs	109.336,92 Bs	137.764,51Bs

**3) Toma de decisión por costo anual uniforme.** Como se refirió anteriormente el cálculo de la anualidad se efectúa con la comparación de las opciones, a continuación se presentan los flujos de caja para cada opción.

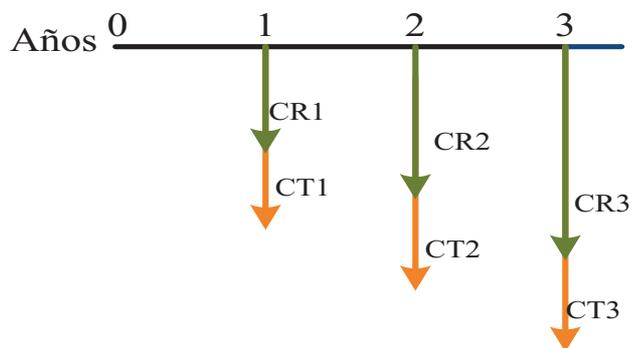


Figura 29. Flujo de caja de los egresos - situación actual

Donde: CTi es costos por factura eléctrica y CRi es el costo por reposición de lámparas.

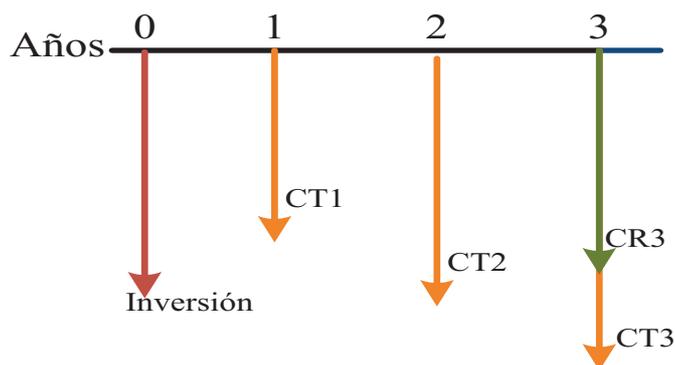


Figura 30. Flujo de caja de egresos - propuesta.

Donde: INV representa la inversión inicial, CTi es costos por factura eléctrica y CRi es el costo por reposición de lámparas.

Para calcular la anualidad de la situación actual de la propuesta, empleamos la siguiente expresión:

$$Opción_{Situación actual} = Egreso Anual * \left( \frac{(1+i)^n * i}{(1+i)^n - 1} \right) * \left( \frac{1}{(1+i)^n} \right) \quad (19)$$

$$Opción_{Situación propuesta} = \left( Egreso Anual * \left( \frac{(1+i)^n * i}{(1+i)^n - 1} \right) * \left( \frac{1}{(1+i)^n} \right) \right) + \left( Egreso en Rep. Lámp * \left( \frac{(1+i)^n * i}{(1+i)^n - 1} \right) * \left( \frac{1}{(1+i)^n} \right) \right) + INV * \left( \frac{(1+i)^n * i}{(1+i)^n - 1} \right) \quad (20)$$

Donde  $i$  representa el interés mensual,  $n$  el número de periodos.

Aplicado las ecuaciones 19 y 20 respectivamente para el cálculo de la anualidad:

$$\begin{aligned} Opción_{Sit. actual} &= 315.441,68 Bs * \left( \frac{(1 + 0,0216)^{12} * 0,0216}{(1 + 0,0216)^{12} - 1} \right) * \left( \frac{1}{(1 + 0,0216)^{12}} \right) \\ &+ 397.456,74 Bs * \left( \frac{(1 + 0,0216)^{24} * 0,0216}{(1 + 0,0216)^{24} - 1} \right) * \left( \frac{1}{(1 + 0,0216)^{24}} \right) \\ &+ 500.795,50Bs * \left( \frac{(1 + 0,0216)^{36} * 0,0216}{(1 + 0,0216)^{36} - 1} \right) * \left( \frac{1}{(1 + 0,0216)^{36}} \right) \end{aligned}$$

$$\mathbf{Opción_{situación actual = 83.976,45 Bs}}$$

Donde la inversión vendrá dada por:

$$Inversión en Bs = 160.540\$ * 4,30 \frac{Bs}{\$} = 690.322 Bs$$

$$\begin{aligned} Opción_{Sit. propuesta} &= 70.659,91 Bs * \left( \frac{(1 + 0,0216)^{12} * 0,0216}{(1 + 0,0216)^{12} - 1} \right) * \left( \frac{1}{(1 + 0,0216)^{12}} \right) \\ &+ 109.336,92 Bs * \left( \frac{(1 + 0,0216)^{24} * 0,0216}{(1 + 0,0216)^{24} - 1} \right) * \left( \frac{1}{(1 + 0,0216)^{24}} \right) \\ &+ 137.764,51 Bs * \left( \frac{(1 + 0,0216)^{36} * 0,0216}{(1 + 0,0216)^{36} - 1} \right) * \left( \frac{1}{(1 + 0,0216)^{36}} \right) \\ &+ 233.404,87 Bs * \left( \frac{(1 + 0,0216)^{36} * 0,0216}{(1 + 0,0216)^{36} - 1} \right) * \left( \frac{1}{(1 + 0,0216)^{36}} \right) \\ &+ \left( 690.322 * \left( \frac{(1 + 0,0216)^{36} * 0,0216}{(1 + 0,0216)^{36} - 1} \right) \right) \end{aligned}$$

$$\mathbf{Opción_{situación propuesta = 110.659,6 Bs}}$$

Al comparar la anualidad de la situación propuesta con la anualidad de la situación actual, se observa que bajo el criterio del costo anual uniforme la opción<sub>Sit.propuesta</sub> no es económicamente viable.

$$\mathbf{Opción_{sit.propuesta} > Opción_{sit.actual}}$$

Adicionalmente al cálculo de la anualidad, se podría deducir las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) que por el uso del sistema de energía alternativa se dejan de emitir hacia la atmosfera, como se expresa en la Ec. 18.

$$1kWh_{Venezuela} \text{ genera } 0,222 \text{ kg de } CO_2$$

Y cada tonelada de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) emitido tiene un valor de 24,35\$, además se conoce que:

- Cada año de 365 días tiene 8.760 horas.
- Se conoce que la estación Pérez Bonalde, mantiene la iluminación encendida en toda la estación las 24 horas del día. Entonces las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) correspondiente al área del andén y mezanina actualmente se determinan a través de la Ec.19:

$$Emisiones \text{ de } CO_2 \text{ Est. Pérez Bonalde} = \frac{55,465kWh * 0,222kg \text{ de } CO_2}{1kWh}$$

$$Emisiones \text{ de } CO_2 \text{ Est. Pérez Bonalde} = 12,312 \text{ kg de } CO_2 \text{ cada hora}$$

$$Emisiones \text{ de } CO_2 \text{ Est. Pérez Bonalde} = 8760 * 12,312 \text{ kg de } CO_2$$

$$Emisiones \text{ de } CO_2 \text{ Est. Pérez Bonalde} = 107863,9 \text{ kg de } CO_2 \text{ anuales}$$

$$Emisiones \text{ de } CO_2 \text{ Est. Pérez Bonalde} = 107,9 \text{ Toneladas de } CO_2 \text{ anuales}$$

Esto equivale a un costo de:

$$Costo \text{ por emisión de } CO_2 = 107,9 * 24,35\$ * 4.3 \frac{Bs}{\$}$$

$$Costo \text{ por emisión de } CO_2 = 11.297,67 \text{ Bs}$$

Si efectuamos la cuenta anterior tomando los valores de la tabla 30, correspondientes a la propuesta de iluminación que incluye: la nueva tecnología en luminarias instaladas, el sistema de control propuesto y suministrando el 30% de la energía consumida a través de sistema fotovoltaico, obtendremos:

*Consumo anual Est. Pérez Bonalde*

*= Consumo Anual – 30% del consumo suministrado sist. fotovoltaico.*

*Consumo anual Est. Pérez Bonalde = 138.535.650 – 45.716.764,5 Wh/añual*

*Consumo anual Est. Pérez Bonalde = 92.818.885,5 Wh/añual*

*Emisiones de CO<sub>2</sub> Est. Pérez B =  $\frac{92.818,885kWh/añual * 0,222 \text{ kg de CO}_2}{1kWh}$*

*Emisiones de CO<sub>2</sub> Est. Pérez Bonalde = 20.605,8 kg de CO<sub>2</sub> añuales*

*Emisiones de CO<sub>2</sub> Est. Pérez Bonalde = 20,6 Toneladas de CO<sub>2</sub> añuales*

Esto equivale a un costo de:

*Costo por emisión de CO<sub>2</sub> = 20,6 \* 24,35\$ \* 4.3  $\frac{Bs}{\$}$*

*Costo por emisión de CO<sub>2</sub> = 2.156,9 Bs*

Si realizáramos la implementación del sistema propuesto que es solamente planteado en el nivel de mezanina y andén, únicamente se emitirá el 19,1 % en toneladas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) a la atmósfera, obteniendo una reducción del 80,9 % en consumo eléctrico.

## CONCLUSIONES

- En función del objetivo principal, se puede concluir que en la estación de pasajeros Pérez Bonalde, es factible realizar el cambio de la tecnología lumínica y de automatización, ya que se obtendría un 71,49% en ahorro de energía eléctrica, logrando un sistema confortable y eficiente.
- Con el uso del 30% de energía fotovoltaica, combinada con la automatización y el cambio lámparas y luminarias, el ahorro de energía eléctrica sería del 80,9% en la estación de pasajeros Pérez Bonalde.
- Únicamente con la implementación de las nuevas tecnologías en lámparas y luminarias reducen a 46,2 % el número de lámparas instaladas en el nivel de mezanina y andén.
- La energía fotovoltaica, logra una reducción aproximada del 80% de las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) anuales hacia la atmosfera en la estación de pasajeros Pérez Bonalde, a pesar de que solo se esta proporcionando el 30% de la misma.
- El uso de energía fotovoltaica, incrementa los costos de implementación en 47% de la inversión inicial, ya que esta tecnología todavía no es desarrollada en el país. En conclusión los costos asociados marcarán la gran diferencia que nos alejará de que la implementación de tales sistemas de energía alternativa (eólica y fotovoltaica) sea competitiva respecto al uso de energía convencional.
- Para verificar la rentabilidad de la inversión del proyecto, se debería conseguir las facturas del consumo eléctrico de la estación.

## RECOMENDACIONES

- Realizar un estudio para extender la aplicación del control horario y sustitución de la nueva tecnología en lámparas y luminarias en otras áreas de la estación no contempladas en este informe.
- Se sugiere realizar para las estaciones de pasajeros que se encuentre en proceso de construcción (Línea 4), como para las edificaciones comerciales, un estudio para la integración de paneles fotovoltaicos en las estructuras de la edificación. Así como también la integración de captadores de luz natural para el aprovechamiento de la iluminación natural.
- Profundizar el estudio para incluir los ahorros energéticos en los sistemas, realizando un control en las escaleras mecánicas, señalización, vestíbulos, baños, entre otras áreas.
- Antes de realizar cualquier implementación de energía eólica o fotovoltaica, efectuar un estudio en el área de emplazamiento con la finalidad de tener exactitud en los datos de climatológicos.
- Se recomienda realizar estudios en la implementación de la energía eólica y fotovoltaica, en la Escuela de Ingeniería Eléctrica, así como también crear módulos de investigación para desarrollar esta tecnología en nuestro país.
- A pesar que el estudio de anualidad no es favorable para la implementación del proyecto de iluminación propuesto, se recomienda realizar el análisis de anualidad con la reposición total de las lámparas de toda la estación para verificar que si es propicio la implementación del proyecto.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Rondón, J.; Estudio Técnico – Económico para implantar soluciones de uso racional de la energía eléctrica en las estaciones de pasajero de La C.A. Metro de Caracas. (Tesis). Caracas: Universidad Central de Venezuela, 2003.
- [2] Fernández, Luís C. Técnicas y Aplicaciones de Iluminación. (Libro). Editorial Mc. GrawHill, Madrid 1992.
- [3] Ereú, M. Alumbrado público. Criterios, diseños y recomendaciones. Venezuela, Tercera Edición, 2007.
- [4] COVENIN 2249-93. Comisión Venezolana de Normas Industriales. Normas Venezolanas de Iluminación. Iluminación en tareas y áreas de trabajo. Caracas 1993.
- [5] Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía. (En línea). <<http://www.idae.es/IDAEpublicaciones>>. [Consulta: 20/01/2010].
- [6] Carranza C., Emilio. Luminotecnia y sus aplicaciones. (Libro) Editorial Plana. México, 2000.
- [7] Página luminotécnica, con catálogos de luminarias. (En línea). <<http://www.luz.philips.es> > [Consulta: 12/12/2009]
- [8] Romero, C.; Vázquez, F.; De Castro, C. Domótica e inmótica. Viviendas y edificios inteligentes. (Libro). Editorial Alfa-omega. México 2007.
- [9] Ingeniería en Automatización y Control industrial. (En línea). <<http://es.wikipedia.org> > [Consulta: Febrero 2010].

[10] Larraín, Sara., Stevens, Caroline. Las fuentes renovables de energía y el uso eficiente. (Libro). Chile. Editorial LOM. Octubre 2002.

[11] Entrevista realizada al Ingeniero Luís Alfaro en el Sistema Nacional de Información Hidrológica y Meteorológica (SINAIHME). Febrero 2010.

[12] Lorenzo, E. La energía que producen los sistemas fotovoltaicos conectados a la red: El mito del 1300 y “el cascabel del gato”. Instituto de Energía Solar. Universidad Politécnica de Madrid. (S/F).

[13] Capítulo 4: El panel fotovoltaico. (En línea). <<http://www.enalmex.com>> [Consultada: 18/11/2009].

[14] Farrington, Daniels. Uso directo de la energía solar, (Libro). Editorial Herman Blume. Madrid, España 2007.

[15] Tannini, Ricardo. Energía eólica: Teoría y características de instalaciones. (Guía).(S/F).

[16] Código técnico de la edificación. (En línea). <<http://www.codigotecnico.org>> [Consulta: 23/03/2010].

[17] Protocolo de Kioto sobre el cambio climático. (En línea). <<http://es.wikipedia.org>>. [Consulta: 23/03/2010].

[18] Guía técnica de eficiencia energética en iluminación. (En línea). <<http://www.guialuminica.es>>. [Consulta: 10/09/2009].

## BIBLIOGRAFÍA

Banco Central de Venezuela. (En línea). <<http://www.bcv.org.ve>>  
[Consultada: 20/04/2010].

Bermúdez B., Gabriel L.; Especificaciones de un sistema de generación de energía eléctrica usando paneles fotovoltaicos y convertidores DC/AC (Tesis). Caracas: Universidad Central de Venezuela, 2008.

Capítulo 4: El panel fotovoltaico. (En línea). <<http://www.enalmex.com>>  
[Consulta: 18/11/2009].

Carranza C., Emilio. Luminotecnia y sus aplicaciones. (Libro) Editorial Plana. México, 2000.

Catálogo General de Luz 2007-2008. Iluminación general, sistema LEDs y equipos de conexión electrónicos. OSRAM.

Centro Nacional de Gestión del Sistema Eléctrico; Informe Anual 2008. Caracas 2008.

Código técnico de la edificación. (En línea).<<http://www.codigotecnico.org>>. [Consulta: 23/03/2010].

COVENIN 2249-93. Comisión Venezolana de Normas Industriales. Normas Venezolanas de Iluminación. Iluminación en tareas y áreas de trabajo. Caracas 1993.

Criado, Víctor. Manual práctico de evaluación de una instalación de energía eólica a pequeña escala. (Guía). Madrid: España 2003

Entrevista realizada al Ingeniero Luís Alfaro en el Sistema Nacional de Información Hidrológica y Meteorológica (SINAIHME). Febrero 2010.

Ereú, M. Alumbrado público. Criterios, diseños y recomendaciones. Venezuela, Tercera Edición, 2007.

Farrington, Daniels. Uso directo de la energía solar, (Libro). Editorial Herman Blume.

Gasquet, Hector L., Manual Teórico y Práctico sobre los Sistemas Fotovoltaicos. (En línea). <<http://www.solartrinic.com>>. [Consulta: 20/02/2010].

Guía técnica de eficiencia energética en iluminación. (En línea). <<http://www.guialumínica.es>>. [Consulta: 10/09/2009].

Ingeniería en Automatización y Control industrial. (En línea). <<http://es.wikipedia.org>> [Consulta: Febrero 2010].

Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía. (En línea). <<http://www.idae.es/IDAEpublicaciones>>. [Consulta: 20/01/2010].

La Electricidad de Caracas [en línea]. <<http://www.laedc.com.ve>>. (En línea). [Consultada: 20/04/2010]

Larraín, Sara., Stevens, Caroline. Las fuentes renovables de energía y el uso eficiente. (Libro). Chile. Editorial LOM. Octubre 2002.

Lorenzo, E. La energía que producen los sistemas fotovoltaicos conectados a la red: El mito del 1300 y “el cascabel del gato”. Instituto de Energía Solar. Universidad Politécnica de Madrid

Página luminotécnica, con catálogos de luminarias [en línea].  
<<http://www.luz.philips.es>> [Consulta: 12/12/2009]

Principios de iluminación. (En línea). <<http://www.holophane.com.mx>>  
[Consulta: 20/11/2009].

Protocolo de Kioto sobre el cambio climático. (En línea). <<http://es.wikipedia.org>>.  
[Consulta: 23/03/2010].

Romero, C.; Vázquez, F.; De Castro, C. Domótica e inmótica. Viviendas y edificios inteligentes. (Libro). Editorial Alfa-omega. México 2007.

Rondón, J.; Estudio Técnico – Económico para implantar soluciones de uso racional de la energía eléctrica en las estaciones de pasajero de La C.A. Metro de Caracas. (Tesis). Caracas: Universidad Central de Venezuela, 2003.

Sogari, Noení. Diseño de un sistema híbrido solar-eólico para proveer de energía a una comunidad, (Tesis). Argentina: Universidad Nacional Del Nordeste, 2003.

Tannini, Ricardo. Energía eólica: Teoría y características de instalaciones. (Guía).  
Ruiz, José M., Seminario de energías renovables. CPR Tomelloo. Marzo 2005

Fernández, Luís C. Técnicas y Aplicaciones de Iluminación. Editorial Mc. GrawHill, Madrid 1992.

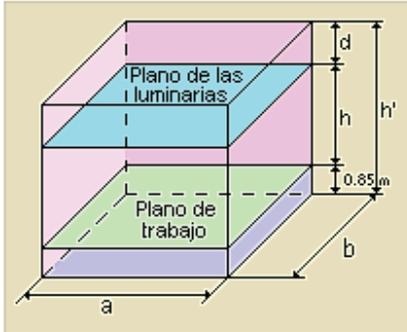
## **ANEXOS**

## Anexo A. Descripción del método de los lúmenes

### Datos Iniciales:

1. Dimensiones del local y la altura del plano de trabajo.

$h$ : altura del plano de trabajo y las luminarias.



$H^1$ : altura del local.

$D$ : altura del plano de las luminarias al techo.

$D^1$ : altura del plano de trabajo al suelo

$a$ : ancho del área a iluminar

$b$ : largo del área a iluminar

2. Determinar el nivel de luminancia media, según la actividad que se desarrollará en el área a iluminar. Buscar este valor en normas nacionales o internacionales. (En Venezuela los valores de luminancia media se encuentran tabulados en la norma COVENIN 2249:95)
3. Calcular el Índice Local ( $k$ ), a partir de la geometría del lugar, según la ecuación:

Para luminarias predominantemente directas:

$$k = \frac{a*b}{h*(a+b)} \quad (A.1)$$

Para luminarias predominantemente indirectas:

$$k = \frac{3*a*b}{2*h^1*(a+b)} \quad (A.2)$$

El índice local, es un número comprendido del 1 al 10, si se obtiene un número mayor que 10 con las ecuaciones anteriores, no se consideran pues la diferencia entre usar diez o un número mayor en los cálculos es despreciable.

4. Determinar los coeficientes de reflexión de techo, pared y suelo. Se pueden utilizar las siguientes tablas, la primera establece la reflexión de techo, pared y piso. Y la segunda tabla establece la reflectancias de los colores y materiales:

**Tabla A. 1. Factores de reflexión de techo, pared y piso**

<b>Superficie</b>	<b>Color</b>	<b>Factor de Reflexión (<math>\rho</math>)</b>
<b>Techo</b>	Blanco	0,7
	Claro	0,5
	Medio	0,3
<b>Paredes</b>	Claro	0,5
	Medio	0,3
	Oscuro	0,1
<b>Piso</b>	Claro	0,3
	Oscuro	0,1

**Tabla A. 2. Reflectancias de los colores y materiales**

<b>Colores</b>	<b>Reflectancias</b>	<b>Materiales</b>	<b>Reflectancias</b>
<b>Blanco</b>	0,70 – 0,85	<b>Mortero</b>	0,30 – 0,55
<b>Amarillo</b>	0,50 – 0,75	<b>Hormigón</b>	0,25 – 0,50
<b>Azul</b>	0,40 – 0,55	<b>Ladrillo</b>	0,15 – 0,40
<b>Verde</b>	0,45 – 0,65	<b>Mármol blanco</b>	0,60 – 0,70
<b>Rojo</b>	0,30 – 0,50	<b>Granito</b>	0,15 – 0,25
<b>Marrón</b>	0,30 – 0,40	<b>Madera</b>	0,25 – 0,50
<b>Gris Oscuro</b>	0,10 – 0,20	<b>Espejos</b>	0,80 – 0,90
<b>Negro</b>	0,03 – 0,07	<b>Acero pulido</b>	0,50 – 0,65

5. Determinar el factor de utilización ( $\eta$ , CU), estos valores los suministran los fabricantes a partir del índice local y los factores de reflexión. Si el factor de utilización no se puede obtener por lectura directa, se realiza una interpolación lineal.
6. Determinar el factor de mantenimiento o de depreciación ( $\delta$ ) este valor dependerá del grado de suciedad ambiental y de la frecuencia de la limpieza del área a iluminar.

**Tabla A. 3. Factores de depreciación**

	<b>Periodo de Mantenimiento (Horas)</b>		
<b>Ambiente</b>	<b>2500</b>	<b>5000</b>	<b>7500</b>
<b>Limpio</b>	0,95	0,91	0,88
<b>Normal</b>	0,91	0,85	0,80
<b>Sucio</b>	0,80	0,68	0,57

**Cálculos:**

7. Calcular el flujo luminoso total necesario con la siguiente expresión:

$$\Phi_T = \frac{E * S}{\eta * \delta} \quad (\text{A.3})$$

Donde: E es luminancia media deseada, S la superficie del plano de trabajo,  $\Phi_T$  es el flujo luminoso total,  $\eta$  es el factor de utilización y  $\delta$  el factor de depreciación

8. Cálculo del número de luminarias, es redondeado por exceso.

$$N = \frac{\Phi_T}{n * \Phi_L} \quad (\text{A.4})$$

Donde: N es el número de luminarias, n es el número de lámparas por luminaria,  $\Phi_T$  es el flujo luminoso total y  $\Phi_L$  es el flujo luminoso de una lámpara.

## Anexo B. Tabla de los valores límites de eficiencia energética

Tabla B. 1. Valores límites de eficiencia energética en las instalaciones de iluminación

Grupo	Zonas de Actividad Diferenciada	VEEI límite
<b>Grupo 1</b>  <b>Zonas de no Representación</b>	Administrativo en general	3,5
	Andenes de estaciones de transporte	3,5
	Salas de diagnóstico <sup>(4)</sup>	3,5
	Pabellones de exposición o ferias	3,5
	Aulas y laboratorios <sup>(2)</sup>	4
	Habitaciones de hospital <sup>(3)</sup>	4,5
	Recintos interiores asimilables a grupo 1 no descritos en la lista anterior	4,5
	Zonas comunes <sup>(1)</sup>	4,5
	Almacenes, archivos, salas técnicas y cocinas	5
	Aparcamientos	5
	Espacios deportivos <sup>(5)</sup>	5
<b>Grupo 2</b>  <b>Zonas de Representación</b>	Administrativo en general	6
	Estacionamientos de transporte <sup>(6)</sup>	6
	Supermercados, hipermercados y grandes almacenes	6
	Bibliotecas, museos y galerías de arte	6
	Zonas comunes en edificios residenciales	7,5
	Centros comerciales (excluidas las tiendas) <sup>(9)</sup>	8
	Hostelería y restauración <sup>(8)</sup>	10
	Recinto de interiores asimilables a grupo 2 no descritos en la lista anterior	10
	Religioso en general	10
	Salones de actos, auditorios y salas de usos múltiples y convenciones. Salas de ocio o espectáculo, salas de reuniones y salas de conferencias <sup>(7)</sup>	10
	Tiendas y pequeño comercio	10
	Zona comunes <sup>(1)</sup>	10
Habitaciones de hoteles, hostales, etc.	12	

- (1) Espacios utilizados por cualquier persona o usuario, como recibidor, vestíbulos, pasillos, escaleras, espacios de tránsito de personas, aseos públicos, etc.
- (2) Incluye la instalación de iluminación del aula y las pizarras de las aulas de enseñanza, aulas de práctica de ordenador, música, laboratorios de lenguaje, aulas de dibujo técnico, aulas de prácticas y laboratorios, manualidades, talleres de enseñanza y aulas de arte, aulas de preparación y talleres, aulas comunes de estudio y aulas de reunión, aulas clases nocturnas y educación de adultos, salas de lectura, guarderías, salas de juegos de guarderías y sala de manualidades.
- (3) Incluye la instalación de iluminación interior de la habitación y baño, formada por iluminación general, iluminación de lectura e iluminación para exámenes simples.
- (4) Incluye la instalación de iluminación general de salas como salas de examen general, salas de emergencia, salas de escáner y radiología, salas de examen ocular y auditivo y salas de tratamiento. Sin embargo quedan excluidos locales como las salas de operación, quirófanos, unidades de cuidados intensivos, dentista, salas de descontaminación, salas de autopsias y mortuorios y otras salas que por su actividad puedan considerarse como salas especiales.
- (5) Incluye las instalaciones de iluminación del terreno de juego y graderíos de espacios deportivos, tanto para actividades de entrenamiento y competición, pero no se incluye las instalaciones de iluminación necesarias para las retransmisiones televisadas. Los graderíos serán asimilables a zonas comunes del grupo 1
- (6) Espacios destinados al tránsito de viajeros como recibidor de terminales, salas de llegadas y salidas de pasajeros, salas de recogida de equipajes, áreas de conexión, de ascensores, áreas de mostradores de taquillas, facturación e información, áreas de espera, salas de consigna, etc.
- (7) Incluye la instalación de iluminación general y de acento. En el caso de cines, teatros, salas de conciertos, etc. Se excluye la iluminación con fines de espectáculo, incluyendo la representación y el escenario.
- (8) Incluye los espacios destinados a las actividades propias del servicio al público como recibidor, recepción, restaurante, bar, comedor, auto-servicio o buffet, pasillos, escaleras, vestuarios, servicios, aseos, etc.
- (9) Incluye la instalación de iluminación general y de acento de recibidor, recepción, pasillos, escaleras, vestuarios y aseos de los centros comerciales.

## Anexo C.1. Hoja de dato del Inversor Sunny Mini Central 10000TL

### 4.1.8 Sunny Mini Central 9000TL / 10000TL / 11000TL

Nombre	Unidad	Preajuste de fábrica		
		SMC 9000TL-10	SMC 10000TL-10	SMC 11000 TL-10
Betriebsart (modo de func.)	-	Mpp-Betrieb	Mpp-Betrieb	Mpp-Betrieb
E_Total	kWh	-	-	-
Fac-Limit delta	Hz	2	2	2
Fac-Start delta	Hz	1	1	1
Fan-Test	-	0	0	0
h_Total	h	-	-	-
Inst.-Code	-	-	-	-
Plimit	W	9000	10000	11000
Pmax	W	9000	10000	11000
Riso-Min	kOhm	1500/900	1500/900	1500/900
SMA-Grid-Guard	Versión	especifico de la versión	especifico de la versión	especifico de la versión
SMA-SN / SMA-NumSer	-	especifico del equipo	especifico del equipo	especifico del equipo
Software-BFR / Firmware-BFR	Versión	especifico de la versión	especifico de la versión	especifico de la versión
Software-SRR/ Firmware-SRR	Versión	especifico de la versión	especifico de la versión	especifico de la versión
T-Max-Fan-In	grdC	75	75	75
T-Max-Fan-Mod	grdC	110	110	110
T-Start-Fan-Mod	grdC	80	80	80
T-Start-Fan-In	grdC	65	65	65
T-Stop / T-parada	s	2	2	2
T-Stop-Fan-Mod	grdC	70	70	70
T-Stop-Fan-In	grdC	60	60	60
Upv-Start / Vpv-Inicio	V	400	400	400
Usoll-Konst / Vteórico-Const	V	500	500	500

## Anexo C.2. Hoja de dato del Panel Solar SHARP 235W

**SHARP SOLAR**

NEC 2008 Compliant  
Module output cables 12 AWG with locking connectors

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS**

Maximum Power (Pmax)*	235 W
Tolerance of Pmax	+10%/-5%
Type of Cell	Monocrystalline silicon
Cell Configuration	60 in series
Open Circuit Voltage (Voc)	37.0 V
Maximum Power Voltage (Vpm)	30.0 V
Short Circuit Current (Isc)	8.60 A
Maximum Power Current (Ipm)	7.84 A
Module Efficiency (%)	14.4%
Maximum System (DC) Voltage	600 V
Series Fuse Rating	15 A
HOCT	47.5°C
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.485%/°C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.351%/°C
Temperature Coefficient (Isc)	0.053%/°C

\*Measured at (STC) Standard Test Conditions: 25°C, 1 kW/m<sup>2</sup> insolation, AM1.5

**MECHANICAL CHARACTERISTICS**

Dimensions (A x B x C below)	39.1" x 64.6" x 1.8"/994 x 1640 x 46 mm
Cable Length (l)	43.3"/1100 mm
Output Interconnect Cable**	12 AWG with MC4 Locking Connector
Weight	44.1 lbs / 20.0 kg
Max Load	50 psf (2400 Pascals)
Operating Temperature (cell)	-40 to 194°F / -40 to 90°C

\*\*A safety lock clip (Multi Contact part number PV-SSH4) may be required in readily accessible locations per NEC 2008 690.33 (C)

**QUALIFICATIONS**

UL Listed	UL 1703
Fire Rating	Class C

**WARRANTY**

25-year limited warranty on power output  
Contact Sharp for complete warranty information

Design and specifications are subject to change without notice.  
Sharp is a registered trademark of Sharp Corporation. All other trademarks are property of their respective owners. Contact Sharp to obtain the latest product manuals before using any Sharp device. Cover photo: Solar Installation by SPG Solar.

**IV CURVES**

**DIMENSIONS**

BACK VIEW: 39.1"/994 mm, 64.6"/1640 mm, 1.8"/46 mm, 2.9"/74 mm, 16.4"/415 mm

SIDE VIEW: 32.3"/820 mm, 3.9"/100 mm, 37.7"/958 mm, 43.3"/1100 mm

**Anexo D.Tarifas Vigentes EDC**

# VP Asuntos Regulatorios

## ELECAR

Tabla de Precios al 22-03-06 (FAP = 1,6894)

G.O. N° 37.415

### Servicio Residencial Social

T01	
1er Bloque. Hasta 200 kWh (Bs.)	2do Bloque. Resto del Consumo (Bs/kWh)
1.608,0000	160,7900

Esta tarifa es exclusiva para tensión monofásica de 120 voltios. No le corresponde ningún tipo de ajuste, bien sea el cargo por ajuste de combustible y energía (CACE) o el factor de ajuste de precio (FAP). Es aplicable a usuarios del servicio residencial social siempre y cuando su consumo no exceda el equivalente a 200 kWh mensuales durante dos meses consecutivos, en caso contrario el usuario pasaría a la siguiente tarifa (residencial general).

### Servicio Residencial General

T02		
1er Bloque. Hasta 200 kWh (Bs.)	2do Bloque. Entre 201 y 500 kWh. (Bs/kWh)	3er Bloque. Resto del Consumo (Bs/kWh)
16.539,9524	133,3950	167,4195

La tarifa residencial general puede ser para alimentación monofásica o bifásica en 120 ó 120/240 voltios. Esta tarifa esta sujeta a los ajustes de CACE y FAP. Los usuarios pertenecientes a esta tarifa cuyo promedio de consumo mensual durante dos meses, exceda los 500 kWh, les será aplicada la siguiente tarifa (residencial alto consumo). No obstante, si al cabo de un año calendario (calculado en diciembre), el promedio de consumo mensual equivalente de estos usuarios es inferior a 200 kWh, los mismos pasarán a la tarifa residencial social (T01) anteriormente descrita siempre y cuando posean alimentación monofásica.

### Servicio Residencial Alto Consumo

T03	
1er Bloque. Hasta 500 kWh (Bs.)	2do Bloque. Resto del Consumo (Bs/kWh)
56.558,5610	145,5756

Esta tarifa puede ser con alimentación monofásica o bifásica en 120 ó 120/240 voltios y esta sujeta a los ajustes de CACE y FAP. Los usuarios de esta tarifa que mantengan durante dos meses consecutivos un consumo inferior a 500 kWh pasarán a la tarifa residencial general (T02).

### Servicio General 1

T04	
Demanda Bs/kVA	Energía Bs/kWh
10.461,0182	66,0555

Para clientes en baja tensión, su uso está destinado a atender los servicios generales y áreas comunes de los inmuebles, también a industrias con demanda asignada contratada menor o igual a 10 kVA y para cualquier uso distinto del residencial e industrial siempre y cuando la DAC no exceda de 100 kVA

### Servicio General 2

T05	
Demanda Bs/kVA	Energía Bs/kWh
8.357,0732	49,5501

Esta tarifa también esta concebida para clientes en baja tensión, la diferencia radica en que su uso está destinado a industrias cuya demanda asignada contratada sea mayor de 10 kVA y para cualquier uso distinto del residencial e industrial cuya DAC supere los 100 kVA.

### Servicio General 3

T06	
Demanda Bs/kVA	Energía Bs/kWh
8.027,2179	45,2590

La tarifa general 3 está concebida para ser suministrada en media tensión. En el caso de La Electricidad de Caracas dichas tensiones pueden ser: 4,8 kV, 8,3 kV, 12,47 kV y 30 kV. Esta tarifa esta destinada a cualquier usuario con demanda asignada contratada mayor a 1000 kVA.

### Servicio General 4

T07	
Demanda Bs/kVA	Energía Bs/kWh
6.659,8006	23,0096

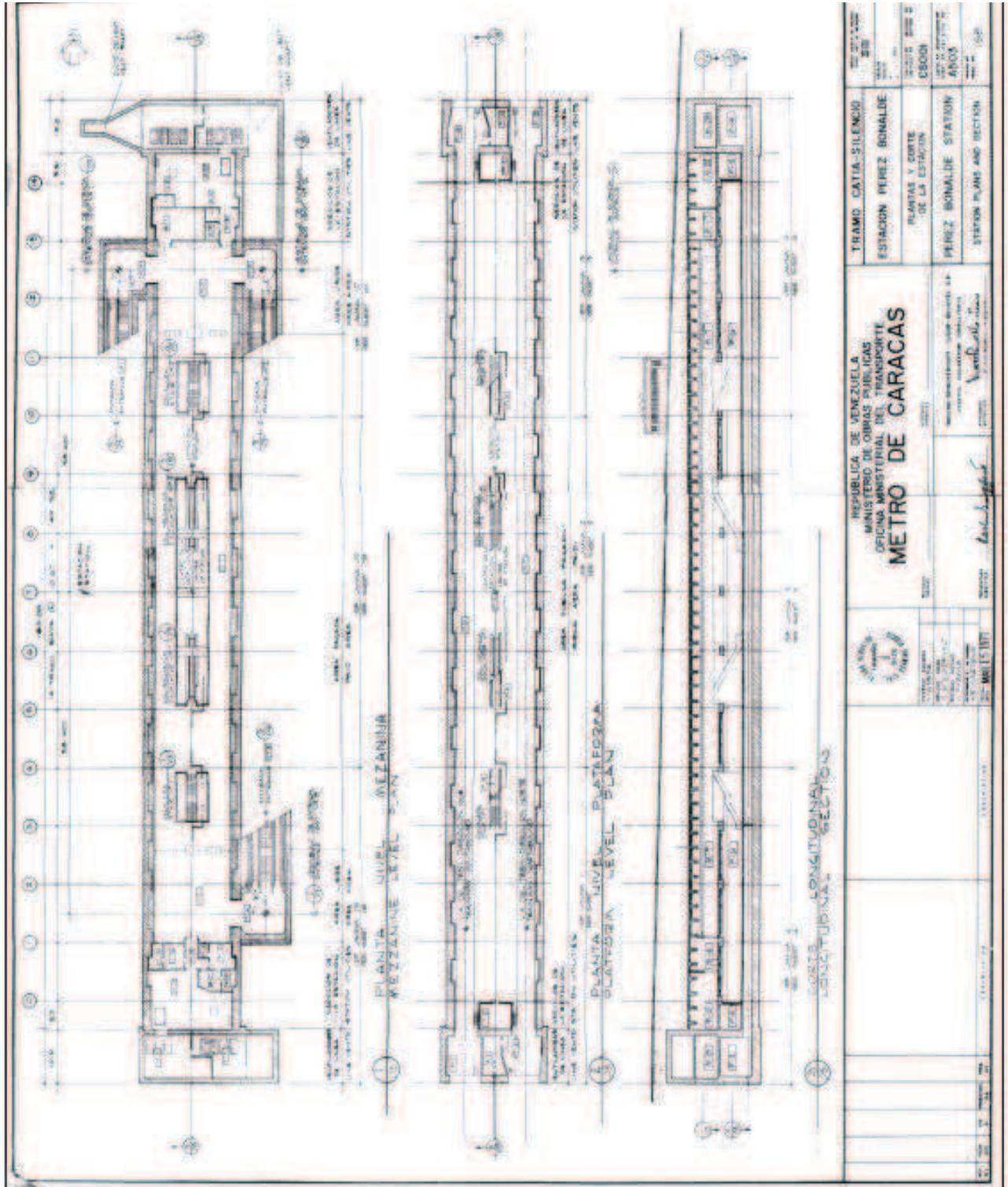
Esta tarifa es exclusiva para clientes en alta tensión (69 kV) y es aplicable a cualquier usuario cuya demanda asignada contratada supere los 10.000 kVA.

### Alumbrado Público

T08	
Energía Bs/kWh	
134,5269	

Es exclusiva para el servicio de alumbrado público de las calles, autopistas, avenidas, carreteras, etc. No es aplicable a servicios de alumbrado en áreas comunes de los edificios públicos o privados. Tampoco es aplicable en jardines, canchas deportivas, etc.

## Anexo E. Plano de la Estación Pérez Bonalde



	REPUBLICA DE VENEZUELA MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS OFICINA MINISTERIAL DEL TRANSPORTE <b>METRO DE CARACAS</b>	TRAMO CATA-SILENCIO ESTACION PEREZ BONALDE
15/10/2011 15/10/2011	AREA AREA SERVIDOR ELECTRICO SERVIDOR DE AGUA	PLANTAS Y CORTE DE LA ESTACION PEREZ BONALDE STATION STATION PLANS AND SECTION
15/10/2011 15/10/2011	AREA AREA SERVIDOR ELECTRICO SERVIDOR DE AGUA	AREA AREA SERVIDOR ELECTRICO SERVIDOR DE AGUA

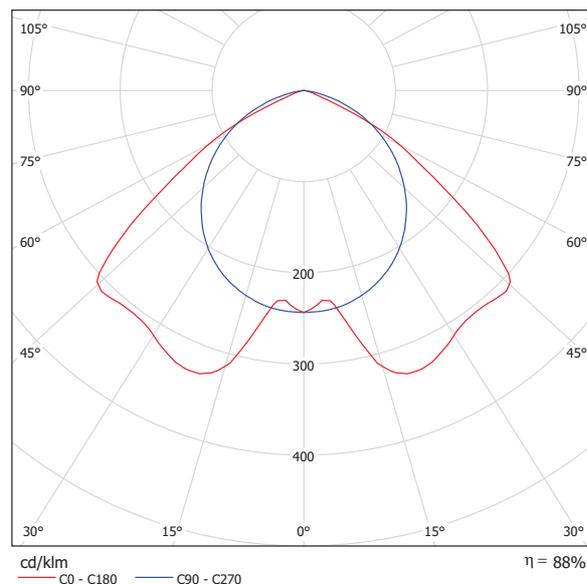
## **Anexo F. Resumen Técnico de Dialux**

Proyecto elaborado por  
Teléfono  
Fax  
e-Mail

## FLR 5375873 Feldberg T5 1 Imp. LAB185 R150 / Hoja de datos de luminarias

### Emisión de luz 1:

Dispone de una imagen de la luminaria en nuestro catálogo de luminarias.



Clasificación luminarias según CIE: 100  
Código CIE Flux: 48 86 99 100 88

### Emisión de luz 1:

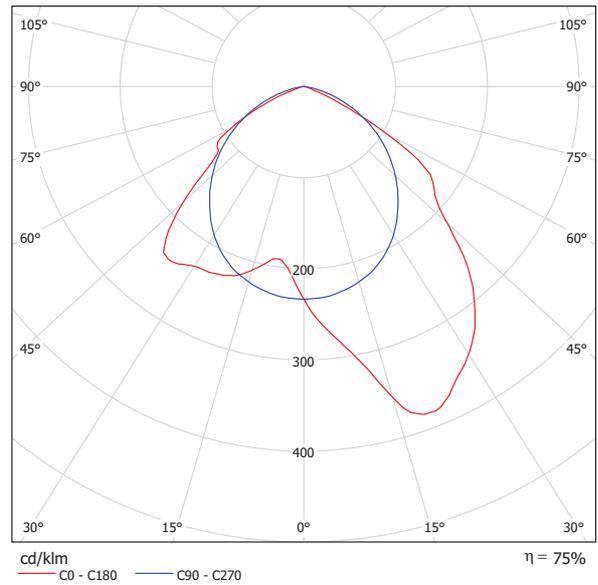
Valoración de deslumbramiento según UGR												
	70	70	50	50	30	70	70	50	50	30	30	
ρ Techo	70	70	50	50	30	70	70	50	50	30	30	
ρ Paredes	50	30	50	30	30	50	30	50	30	30	20	
ρ Suelo	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
Tamaño del local X Y	Mirado en perpendicular al eje de lámpara					Mirado longitudinalmente al eje de lámpara						
2H	2H	20.7	22.0	21.0	22.3	22.5	19.7	21.0	20.0	21.2	21.5	
	3H	20.8	22.0	21.1	22.2	22.5	20.9	22.1	21.2	22.3	22.6	
	4H	20.8	21.8	21.1	22.1	22.4	21.2	22.3	21.6	22.6	22.9	
	6H	20.7	21.7	21.1	22.0	22.3	21.4	22.4	21.7	22.7	23.0	
	8H	20.7	21.6	21.0	21.9	22.3	21.4	22.3	21.7	22.6	23.0	
12H	20.6	21.5	21.0	21.9	22.2	21.3	22.3	21.7	22.6	22.9		
4H	2H	21.2	22.3	21.6	22.6	22.9	20.6	21.7	20.9	22.0	22.2	
	3H	21.4	22.3	21.8	22.6	23.0	21.9	22.9	22.3	23.2	23.5	
	4H	21.4	22.2	21.8	22.5	22.9	22.4	23.2	22.8	23.5	23.9	
	6H	21.3	22.0	21.7	22.4	22.8	22.6	23.3	23.0	23.6	24.0	
	8H	21.3	21.9	21.7	22.3	22.7	22.6	23.2	23.0	23.6	24.0	
12H	21.3	21.8	21.7	22.2	22.7	22.6	23.1	23.0	23.6	24.0		
8H	4H	21.4	22.1	21.9	22.5	22.9	22.4	23.0	22.8	23.4	23.8	
	6H	21.4	21.9	21.9	22.3	22.8	22.6	23.1	23.0	23.5	24.0	
	8H	21.4	21.8	21.8	22.3	22.7	22.6	23.1	23.1	23.5	24.0	
	12H	21.3	21.7	21.8	22.2	22.7	22.6	23.0	23.1	23.5	24.0	
	12H	21.4	22.0	21.9	22.4	22.8	22.3	22.9	22.8	23.3	23.7	
12H	6H	21.4	21.8	21.9	22.3	22.8	22.6	23.0	23.0	23.4	23.9	
	8H	21.4	21.7	21.8	22.2	22.7	22.6	23.0	23.1	23.5	24.0	
Variación de la posición del espectador para separaciones S entre luminarias												
S = 1.0H	+0.9 / -0.7					+0.1 / -0.2						
S = 1.5H	+1.7 / -1.9					+0.8 / -1.2						
S = 2.0H	+2.8 / -5.9					+1.6 / -2.5						
Tabla estándar	BK01					BK04						
Sumando de corrección	2.9					4.8						
Índice de deslumbramiento corregido en relación a 4450lm Flujo luminoso total												

Proyecto elaborado por  
Teléfono  
Fax  
e-Mail

### 330230 Allgäu T8 1 Imp. LAS185 / Hoja de datos de luminarias

Emisión de luz 1:

Dispone de una imagen de la luminaria en nuestro catálogo de luminarias.

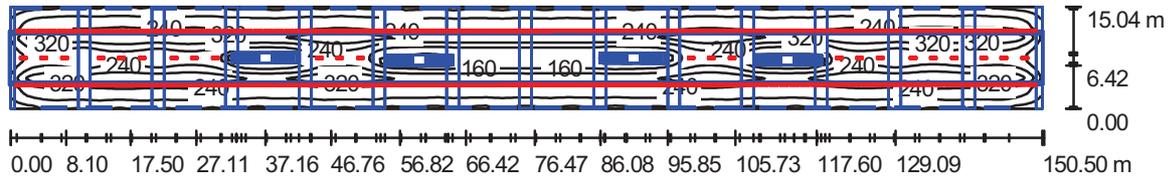


Clasificación luminarias según CIE: 100  
Código CIE Flux: 52 87 99 100 75

Para esta luminaria no puede presentarse ninguna tabla UGR porque carece de atributos de simetría.

Proyecto elaborado por  
Teléfono  
Fax  
e-Mail

### Nivel Anden / Escena de luz 1 full ilum / Resumen



Altura del local: 6.030 m

Valores en Lux, Escala 1:1076

Superficie	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Plano útil	/	213	21	394	0.096
Suelo	10	54	0.32	140	0.006
Techo	50	18	9.16	31	0.503
Paredes (4)	30	38	3.68	183	/

#### Plano útil:

Altura: 2.100 m  
Trama: 128 x 128 Puntos  
Zona marginal: 0.000 m

Proporción de intensidad lumínica (según LG7): Paredes / Plano útil: 0.090, Techo / Plano útil: 0.086.

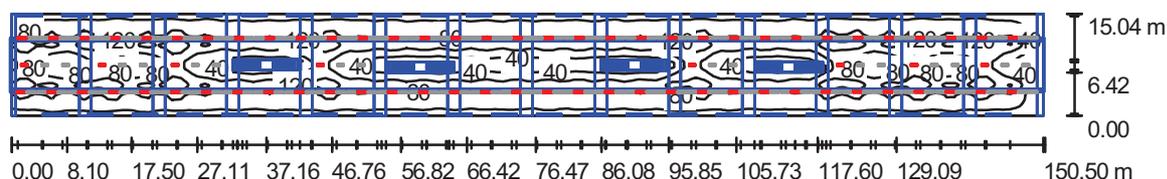
#### Lista de piezas - Luminarias

N°	Pieza	Designación (Factor de corrección)	$\Phi$ [lm]	P [W]
1	198	330230 Allgäu T8 1 Imp. LAS185 (1.000)	3350	41.0
2	24	FLR 5375873 Feldberg T5 1 Imp. LAB185 R150 (1.000)	4450	54.0
Total:			770100	9414.0

Valor de eficiencia energética:  $4.16 \text{ W/m}^2 = 1.95 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Base:  $2263.52 \text{ m}^2$ )

Proyecto elaborado por  
Teléfono  
Fax  
e-Mail

### Nivel Anden / Escena de luz 2 solo un circuito / Resumen



Altura del local: 6.030 m

Valores en Lux, Escala 1:1076

Superficie	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Plano útil	/	71	7.23	163	0.102
Suelo	10	18	0.10	48	0.006
Techo	50	6.07	2.80	11	0.462
Paredes (4)	30	13	1.10	155	/

**Plano útil:**

Altura: 2.100 m  
Trama: 128 x 128 Puntos  
Zona marginal: 0.000 m

Proporción de intensidad lumínica (según LG7): Paredes / Plano útil: 0.093, Techo / Plano útil: 0.086.

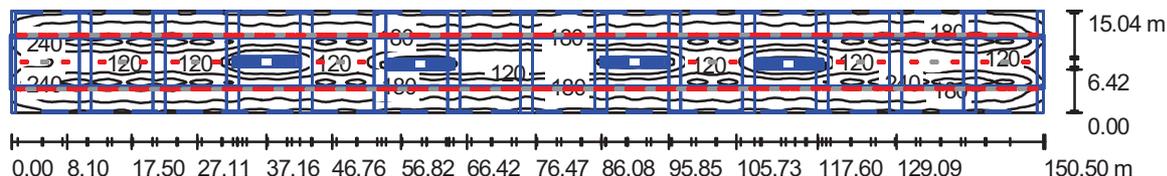
**Lista de piezas - Luminarias**

N°	Pieza	Designación (Factor de corrección)	$\Phi$ [lm]	P [W]
1	66	330230 Allgäu T8 1 Imp. LAS185 (1.000)	3350	41.0
2	8	FLR 5375873 Feldberg T5 1 Imp. LAB185 R150 (1.000)	4450	54.0
Total:			256700	3138.0

Valor de eficiencia energética:  $1.39 \text{ W/m}^2 = 1.95 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Base: 2263.52 m<sup>2</sup>)

Proyecto elaborado por  
Teléfono  
Fax  
e-Mail

### Nivel Anden / Escena de luz 3 dos circuitos / Resumen



Altura del local: 6.030 m

Valores en Lux, Escala 1:1076

Superficie	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Plano útil	/	142	15	284	0.107
Suelo	10	36	0.16	93	0.005
Techo	50	12	6.11	20	0.504
Paredes (4)	30	25	2.38	159	/

**Plano útil:**

Altura: 2.100 m  
Trama: 128 x 128 Puntos  
Zona marginal: 0.000 m

Proporción de intensidad lumínica (según LG7): Paredes / Plano útil: 0.093, Techo / Plano útil: 0.086.

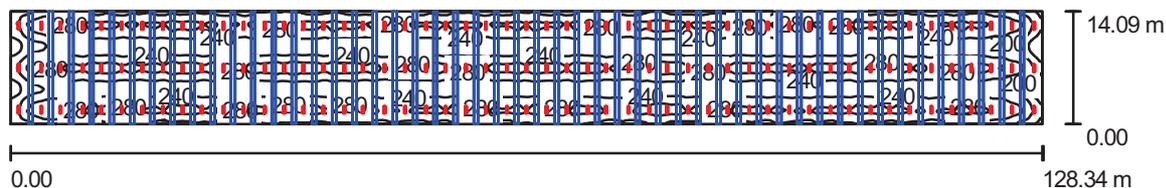
**Lista de piezas - Luminarias**

N°	Pieza	Designación (Factor de corrección)	$\Phi$ [lm]	P [W]
1	132	330230 Allgäu T8 1 Imp. LAS185 (1.000)	3350	41.0
2	16	FLR 5375873 Feldberg T5 1 Imp. LAB185 R150 (1.000)	4450	54.0
Total:			513400	6276.0

Valor de eficiencia energética:  $2.77 \text{ W/m}^2 = 1.95 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Base: 2263.52 m<sup>2</sup>)

Proyecto elaborado por  
Teléfono  
Fax  
e-Mail

### Nivel Mezanina / Escena de luz 1. Full Iluminación / Resumen



Altura del local: 5.540 m, Altura de montaje: 4.030 m, Factor mantenimiento: 0.80 Valores en Lux, Escala 1:918

Superficie	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Plano útil	/	249	130	321	0.523
Suelo	20	243	139	286	0.569
Techo	50	23	14	33	0.624
Paredes (4)	78	101	20	426	/

**Plano útil:**

Altura: 0.760 m  
Trama: 128 x 128 Puntos  
Zona marginal: 0.000 m

Proporción de intensidad luminica (según LG7): Paredes / Plano útil: 0.395, Techo / Plano útil: 0.091.

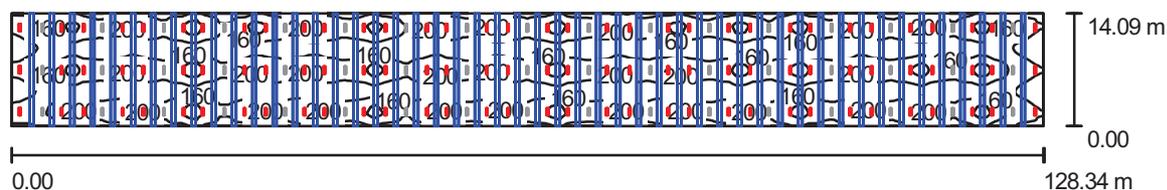
**Lista de piezas - Luminarias**

N°	Pieza	Designación (Factor de corrección)	$\Phi$ [lm]	P [W]
1	153	FLR 5375873 Feldberg T5 1 Imp. LAB185 R150 (1.000)	4450	54.0
Total:			680850	8262.0

Valor de eficiencia energética:  $4.57 \text{ W/m}^2 = 1.83 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Base:  $1808.34 \text{ m}^2$ )

Proyecto elaborado por  
Teléfono  
Fax  
e-Mail

### Nivel Mezanina / Escena de luz 2. Dos circuitos / Resumen



Altura del local: 5.540 m, Altura de montaje: 4.030 m, Factor mantenimiento: 0.80 Valores en Lux, Escala 1:918

Superficie	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Plano útil	/	166	80	244	0.482
Suelo	20	162	84	199	0.519
Techo	50	15	9.29	23	0.611
Paredes (4)	78	68	14	414	/

**Plano útil:**

Altura: 0.760 m  
Trama: 128 x 128 Puntos  
Zona marginal: 0.000 m

Proporción de intensidad luminica (según LG7): Paredes / Plano útil: 0.402, Techo / Plano útil: 0.092.

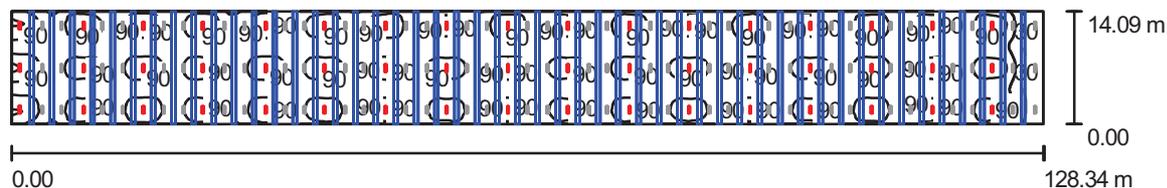
**Lista de piezas - Luminarias**

N°	Pieza	Designación (Factor de corrección)	$\Phi$ [lm]	P [W]
1	102	FLR 5375873 Feldberg T5 1 Imp. LAB185 R150 (1.000)	4450	54.0
Total:			453900	5508.0

Valor de eficiencia energética:  $3.05 \text{ W/m}^2 = 1.84 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Base:  $1808.34 \text{ m}^2$ )

Proyecto elaborado por  
Teléfono  
Fax  
e-Mail

### Nivel Mezanina / Escena de luz 3. Un circuito / Resumen



Altura del local: 5.540 m, Altura de montaje: 4.030 m, Factor mantenimiento: 0.80 Valores en Lux, Escala 1:918

Superficie	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Plano útil	/	83	12	126	0.139
Suelo	20	81	18	101	0.219
Techo	50	7.64	3.20	18	0.419
Paredes (4)	78	34	5.61	405	/

**Plano útil:**

Altura: 0.760 m  
Trama: 128 x 128 Puntos  
Zona marginal: 0.000 m

Proporción de intensidad luminica (según LG7): Paredes / Plano útil: 0.404, Techo / Plano útil: 0.092.

**Lista de piezas - Luminarias**

N°	Pieza	Designación (Factor de corrección)	$\Phi$ [lm]	P [W]
1	51	FLR 5375873 Feldberg T5 1 Imp. LAB185 R150 (1.000)	4450	54.0
Total:			226950	2754.0

Valor de eficiencia energética:  $1.52 \text{ W/m}^2 = 1.84 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Base:  $1808.34 \text{ m}^2$ )