

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA  
GUTIÉRREZ**



# **RESIDENCIA PROFESIONAL**

**“DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE  
ILUMINACIÓN MEDIANTE EL USO DE ENERGÍA  
ALTERNATIVA DE LA SALA 3 DEL MUSEO CHIAPAS DE  
CIENCIA Y TECNOLOGIA”**

**Ing. Electrónica**

**Integrantes:**

<b>Aguilar Chon Noel de Jesús</b>	<b>05270245</b>
<b>Coello Moreno Gerardo</b>	<b>05270253</b>

**Asesor:**

**Ing. Vicente León Orozco**

Sistema Nacional de Educación Superior Tecnológica



Dirección General de Educación Superior Tecnológica

**Tuxtla Gutiérrez, Chiapas a 07 de enero de 2010**

# Índice

## Capítulo 1:

1.1	Introducción	1
1.2	Nombre del Proyecto	3
1.3	Objetivo General	3
1.4	Problema a resolver	4
1.5	Justificación	4
1.6	Alcances y Limitaciones	5
1.7	Caracterización del Área en que se participo	6

## Capítulo 2: Fundamento Teórico

2.1	Lámparas Halógenas	7
2.1.1	Estructura de la lámpara de halógeno	7
2.2	Lámparas fluorescentes	8
2.2.1	Partes de una lámpara fluorescentes	9
2.3	Lámparas ahorradoras CFL	13
2.3.1	Partes de una lámpara CFL	13
2.3.2	Funcionamiento de una lámpara CFL	15
2.4	LEDs	17
2.4.1	Evolución de los LEDs	17
2.5	La Iluminación	23
2.5.1	Conceptos Básicos	23
2.5.2	Puntos clave a tener en cuenta para una buena iluminación	25
2.5.3	Tipos de iluminación para interiores	25
2.5.4	Diseño de alumbrado	26
2.5.5	Pasos a seguir en el diseño de alumbrado	27
2.6	Componentes de un Sistema Fotovoltaico	28
2.6.1	Panel Fotovoltaico	28
2.6.2	Reguladores de Carga	30

2.6.3	Baterías	30
2.6.4	Inversor o Convertidor	33

**Capítulo 3: Eficiencia Energética en Sistemas de Alumbrado en Edificios No Residenciales.**

3.1	Definiciones	38
3.2	Norma NOM-007-ENER-2004	38
3.2.1	Objetivo	39
3.2.2	Campo de Aplicación	39
3.2.3	Excepciones	40
3.2.4	Especificaciones	41
3.2.5	Método de Calculo	42

**Capítulo 4: Procedimiento y Descripción de las Actividades Realizadas**

4.1	Medición de Parámetros Actuales	45
4.2	Diagramas	48
4.2.1	Posicionamiento de las lámparas dicroicas	48
4.2.2	Cantidad de Luz, Luxes	49
4.2.3	Temperatura, Celsius	50
4.3	Lámparas Actuales	51
4.4	Tipo de Carga	53
4.5	Diseño de Iluminación	55
4.5.1	Lámparas Propuestas	55
4.5.2	Las Luminarias	57
4.5.3	Ley de la Inversa de los Cuadrados	58
4.5.4	Ley del Coseno	58
4.5.5	Punto por Punto	59
4.5.6	Calcular el Angulo	60
4.5.7	Calcular el Circulo	61
4.5.8	Calcular la Distancia	62
4.5.9	Formulas Trigonómicas	63

4.6	Mamparas Iluminadas	64
-----	---------------------	----

**Capítulo 5: Resultado, Planos, Graficas, Prototipos y Programas**

5.1	Costos Facturables	71
5.2	Diseño de un sistema fotovoltaico	74
5.2.1	Irradiación Solar	74
5.2.2	Ubicación, Orientación e Inclinación del panel solar	75
5.2.3	Calculo para el Sistema Fotovoltaico	77
5.3	Propuesta de Inversión	79
5.3.1	Bufete Industrial para el Ahorro de Energía S. A. de C. V.	79
5.3.2	AGELECTRÓNICA S.A. DE C.V.	80
5.3.3	Energía-Solar	81
5.4	Costos Proyectados	82
5.5	Justificación de la Inversión	84
5.5.1	AGELECTRÓNICA	84
5.5.2	Bufete Industrial para el Ahorro de Energía (BIAE)	89
5.5.3	Sistema Fotovoltaico	94

**Capítulo 6: Conclusiones y Recomendaciones** 95

**Capítulo 7: Referencia Bibliográficas y Virtuales** 97

**Capítulo 8: ANEXOS**

8.1	Selección del Calibre Económico como una Alternativa para el Ahorro de Energía	98
-----	--	----

# Índice de Figuras, Graficas y Tablas

## Figuras

Fig. 1	Punto Geográfico	6
Fig. 2	Estructura de una lámpara de halógeno	7
Fig. 3	Estructura de una lámpara fluorescente	9
Fig. 4	Disposición de los elementos internos de un cebador	10
Fig. 5	Partes de una Lámpara CFL	13
Fig. 6	Filamentos colocados dentro de los tubos de una lámpara CFL	14
Fig. 7	Elementos que componen el balasto electrónico	14
Fig. 8	Funcionamiento de la Lámpara CFL	16
Fig. 9	Diagrama de cromaticidad	22
Fig.10	Representación de la diferencia de potencial, o voltaje de corriente con respecto al tiempo en corriente continúa	29
Fig. 11	Estructura de una Batería	31
Fig. 12	La forma de onda de los inversores: onda cuadrada, onda cuadrada modificada (también llamada onda cuasi-senosoidal), onda senosoidal pura	34
Fig. 13	Diagrama de una instalación solar fotovoltaica con inversor	37
Fig. 14	Posicionamiento de las lámparas dicroicas	47
Fig. 15	Cantidad de Luz, Luxes	48
Fig. 16	Temperatura, Celsius	49
Fig. 17	Ejemplo de Lámparas Dicroicas	50
Fig. 18	Ejemplo de Torres y Partes Inferiores de las mamparas	51
Fig. 19	Ejemplo de las Partes Circulares	51
Fig. 20	Ejemplo de las Mamparas con letras	52
Fig. 21	La distribución luminosa	56
Fig. 22	Inversa de los Cuadrados	57
Fig. 23	Ley de Cosenos	57
Fig. 24	Punto por Punto	58
Fig. 25	Calculo del Angulo	60

Fig. 26	Calcular el Círculo	61
Fig. 27	Distancia	62
Fig. 28	Trigonómicas	62
Fig. 29	Descripción de la mampara	63
Fig. 30	Mampara inferior	64
Fig. 31	Mampara 1	66
Fig. 32	Mampara maquinas	66
Fig. 33	Mampara satélites	67
Fig. 34	Mampara en pared	67
Fig. 35	Mamparas dimensión 3D	68
Fig. 36	Mampara maíz	69
Fig. 37	Mampara satélite	69
Fig. 38	Calculo de Irradiación Solar	73
Fig. 39	Irradiación Solar en Tuxtla	74
Fig. 40	Posición del panel	75
Fig. 41	Cable de baja tensión	98
Fig. 42	Cable de Energía	98

## **Tablas**

Tabla 1	Código de Identificación de los Tubos Fluorescentes de acuerdo con su Diámetro	12
Tabla 2	Diferentes tipos de lámparas fluorescentes, de acuerdo con las tonalidades	12
Tabla 3	Otras características de las lámparas CFL	16
Tabla 4	Materiales y frecuencias de emisión típicas de un LED	21
Tabla 5	Módulos más utilizados en las baterías	31
Tabla 6	Densidades de Potencia Eléctrica para Alumbrado (DPEA)	41
Tabla 7	Medición de Cargas	44
Tabla 8	Medición de Luxes y Temperaturas	45
Tabla 9	Costos de Octubre 2009	70

Tabla 10	Propuesta MR16 Dicroicas BIAE	78
Tabla 11	Propuesta T8 Lineales BIAE	78
Tabla 12	Propuesta MR16 Dicroicas AG	79
Tabla 13	Propuesta T8 Lineales AG	79
Tabla 14	Propuesta Sistema Fotovoltaico	80
Tabla 15	Justificación MR16 - AGELECTRÓNICA	83
Tabla 16	Justificación Lineales T8 - AGELECTRÓNICA	84
Tabla 17	Justificación MR16 – BIAE	88
Tabla 18	Justificación Lineales T8 - BIAE	89
Tabla 19	Tabla 19 Justificación del sistema Fotovoltaico	93

### **Graficas**

Grafica 1	Costos de Facturación	72
Grafica 2	Justificación costo-beneficio Lineales AG	85
Grafica 3	Justificación inversión-vida Lineales LEDs AG	86
Grafica 4	Justificación costo-beneficio MR16 AG	86
Grafica 5	Justificación inversión-vida MR16 LEDs AG	87
Grafica 6	Justificación costo-beneficio Lineales BIAE	90
Grafica 7	Justificación inversión-vida Lineales LEDs BIAE	91
Grafica 8	Justificación costo-beneficio MR16 BIAE	91
Grafica 9	Justificación inversión-vida MR16 LEDs BIAE	92
Grafica 10	Costo-beneficio inversión sistema fotovoltaico	93

## 1.1 INTRODUCCIÓN

El documento presente es un reporte realizado en el Museo de Ciencia y Tecnología de Chiapas perteneciente al Consejo de Ciencia y Tecnología de Chiapas (COCyTECH). El proyecto consiste en el Diseño e Implementación de un Sistema de Iluminación basado en Energía Alternativa para la sala 3 “Comunicaciones y Herramientas.

Desde hace mucho tiempo la energía eléctrica ha representado un punto de vital importancia en las actividades cotidianas, operando como un factor determinante para el desarrollo económico, comercial e industrial de un país. En la época moderna, con toda la base de industrialización con que se cuenta, la gran cantidad de demanda de energéticos es una prioridad que día con día sufre los embates de la escasez de recursos naturales, las pocas fuentes combustibles, los altos niveles de desperdicios contaminantes, el crecimiento acelerado de la población y la insuficiente infraestructura de generación para abastecer las necesidades propias. Consientes de la necesidad de lograr la competitividad exigida por la globalización mundial, de la economía en general y considerando la importancia de implementar programas para la optimización del uso de la energía eléctrica, y mejorar las condiciones ambientales del entorno, se ha visto en la necesidad de recurrir a nuevas fuentes de energías renovables.

La Comisión Nacional de Ahorro de Energía (CONAE) es la encargada de las actividades en eficiencia energética. CONAE es un órgano descentralizado de la Secretaría de Energía, actúa como un cuerpo técnico de consulta para los sectores público y privado de México, y brinda apoyo en las áreas de ahorro de energía, normas de eficiencia energética y el uso de energías renovables. El Programa de Ahorro de Energía del Sector Eléctrico (PAESE) se enfoca al comportamiento de la industria eléctrica en relación con la conservación de energía y el uso responsable de la misma; al igual que el Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE), tiene como objetivo el promover la conservación y la eficiencia desde la perspectiva del uso final de la energía eléctrica. Las mejoras en eficiencia energética en México en los últimos 15 años se han desarrollado principalmente a través de los organismos institucionales, como la CONAE y el FIDE.

El sistema de iluminación adoptado en el interior de museos así como los parámetros de diseño propios de una instalación interior, adecuados en este caso a las peculiares características de la actividad desarrollada (observación por parte del público de las obras) se deben añadir los factores de adecuación ambiental al resultado final (principio de mínima distorsión).

El sistema de iluminación elegido debe permitir una correcta observación, parámetros de calidad de cualquier instalación interior y principio de mínima distorsión y a su vez, en claro proceso de retroalimentación, según su naturaleza y concepción, marcan las características que debe reunir el sistema a instalar. En este contexto, es donde surge la iluminación mediante LEDs, como nuevo paradigma que va a permitir dar respuesta a todas las necesidades anteriormente expuestas.

Por tratarse de una instalación de iluminación interior distinguiremos, en primer lugar, el alumbrado natural del artificial. Si pensamos que el continente (edificio) en el cual se encuentra recogida la exposición de obras representa en sí mismo otra expresión artística, ya existente, es decir que no se trata de una construcción en fase de diseño, debemos tener en cuenta que la aportación natural difícilmente se puede modificar sin violar el principio de mínima distorsión (en este caso del edificio). La actuación a llevar a cabo será la evaluación de esta aportación recurriendo a factores indirectos tales como: el factor de luz diurna, índice de acristalamiento y factor de uniformidad sobre la planta elegida. Ahora bien, diferenciando las propias salas de exposición, en las que se presentan las obras, de las diferentes zonas comunes, cuya misiones principales suelen ser la intercomunicación de salas, contemplación de las características arquitectónicas, miradores, salidas a patios de luz, indicamos que en el primero de los casos se debe evitar por todos los medios a nuestro alcance la penetración de luz solar directa sobre los objetos expuestos. Caso que las entradas de luz natural representen en sí un valor artístico de relevancia, y el uso de pantallas protectoras, persianas, cortinas, etc., distorsionen su importancia, entraría en juego la correcta distribución en planta del material expuesto. En el segundo caso, las exigencias ambientales serán, lógicamente, menos estrictas. La presencia de estas

superficies acristaladas supone, en determinadas épocas y horarios del año, elevadas luminosidades dentro del campo visual, reduciéndose la visibilidad en aquellas zonas más oscuras, y posibilitándose en cierta medida la existencia de deslumbramientos tanto directo como reflejado. El primer aspecto se logra mitigar proporcionando un suplemento artificial con niveles altos en las zonas más oscuras, y, el segundo, empleando protecciones adecuadas (siempre que sea posible como se indicó anteriormente) y evitando la existencia en esas zonas críticas de superficies especulares. En otro sentido, como el color de la luz (expresado a través de la temperatura de color) de una amplia gama de lámparas eléctricas es notablemente más cálido que el de la luz diurna, debe tratar de evitarse, en la medida de lo razonable, fuertes contrastes entre ellas. La observación directa en un ambiente de la luz diurna, con TC relativamente alta, y luz artificial, con TC en numerosas ocasiones menor, proporcionan al espacio una cierta sensación de artificialidad que no contribuye a la integración de la iluminación en dicho ambiente. Además, y como dificultad añadida, las direcciones de la radiación natural y artificial deben estar convenientemente conjugadas para crear el óptimo ambiente perseguido. Por su parte, la instalación de alumbrado artificial debe satisfacer por sí misma todas las necesidades visuales del recinto a iluminar, sin contar con el apoyo de la luz natural. Esta afirmación lleva a deducir que los diversos sistemas de control de la instalación deben prever estos cambios temporales en aquellos recintos en los que existan superficies acristaladas importantes, para adecuar los parámetros de iluminación en cada caso.

## **1.2 NOMBRE DEL PROYECTO**

“Diseño e Implementación de un sistema de Iluminación mediante el uso de Energía Alternativa de la sala 3 del museo Chiapas de Ciencia y Tecnología”

## **1.3 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar un sistema de iluminación con tecnología LED en el cual estará alimentado por una fuente de energía renovable que será aplicada en la sala de Comunicaciones y Herramientas del Museo de Ciencia y Tecnología de Chiapas.

## **1.4 PROBLEMA A RESOLVER**

El museo de Ciencia y Tecnología de Chiapas cuenta con tres salas; la sala de Comunicaciones y Herramientas está abierta al público 9 hrs. al día durante 6 días a la semana, la iluminación está compuesta principalmente por 2 tipos de lámparas: dicroicas de halógeno de 50W con transformadores a 12V de AC y lámparas lineales fluorescentes en su mayoría de 32W con balastos a 127V de AC que están alimentadas por Comisión Federal de Electricidad (CFE) y que tienen un gasto aproximado diario de 12 KW/h.

## **1.5 JUSTIFICACIÓN**

El desarrollo del proyecto viene a beneficiar al Museo de Ciencia y Tecnología de Chiapas en el ámbito económico ya que el sistema de iluminación con LEDs trae consigo 3 grandes beneficios:

- Ahorro de energía.
- Durabilidad.
- Flexibilidad y creatividad en el diseño de la iluminación.

El ahorro de energía se produce de dos formas. Directo y derivado. El directo es que el consumo de energía para la misma cantidad de luz, se estima al día de hoy que se sitúa entre cinco y ocho veces inferior al de otros. El ahorro de energía derivado parte del hecho de que la cantidad de calor y otras radiaciones no deseadas generadas por una lámpara LED comparada con las lámparas de incandescencia, es despreciable. La durabilidad de este sistema es de 100,000 horas, que está muy por encima de los otros sistemas de iluminación, como es el caso de las lámparas de halógeno que son alrededor de 2,000 horas, y para las lámparas fluorescentes son aproximadamente de 50,000 horas. Además debemos considerar que el sistema de iluminación basado en LEDs son de estado sólido, no tiene partes móviles, son mucho más ligeros y por lo tanto resistentes a los golpes y vibraciones.

La energía renovable en este caso es la de energía del sol, Los paneles solares son inofensivos al medio ambiente, no generan polución y entregan energía limpia. Además, la energía solar ayuda a disminuir los gastos y a incrementar la independencia de los suministros tradicionales. Por otra parte, estas placas son capaces de producir energía con tan solo un 5 ó 6% de radiación solar, por lo que el suministro se extiende desde el amanecer hasta el anochecer, aprovechando toda la potencia útil posible que suministra el sol. Es decir, se trata de una fuente de energía limpia, ecológica y económica, ya que después de la inversión inicial que supone instalar el equipo, sólo hay que aprovechar la energía que nos suministra el sol de forma natural y que en nuestro país es tan abundante, puesto que el mantenimiento de estos equipos consiste simplemente en la limpieza de los paneles. Lo que ocurre con este tipo de energía es que, siendo una alternativa viable, todavía no permite el uso indiscriminado de la electricidad al que estamos acostumbrados

## **1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO**

### a) Alcances

El presente proyecto solo tomara en cuenta utilizar la fuente de energía renovable para el sistema de iluminación con tecnología LED para la sala de comunicaciones y herramientas.

La implementación del proyecto solo se realizo mediante pruebas realizadas en el área de trabajo y en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.

.

### b) Limitaciones

La principal limitante para la realización de este proyecto consiste en no se pudo implementar el proyecto por falta de recursos económicos, debidos que estábamos a finales de año y el dinero que tenían ya estaba designado para otras actividades.



## 2 FUNDAMENTO TEÓRICO

### 2.1 Lámparas Halógenas

Desde su invención en el año 1878, la lámpara incandescente común ha sido prácticamente la fuente de luz artificial más masivamente utilizada, aunque desde el año 1939 compite también con los tubos de lámparas fluorescentes, mucho más eficientes y económicos.

Sin embargo, en la década de los años 50 del siglo pasado la necesidad de dotar a los aviones supersónicos de una fuente de luz intensa para la navegación nocturna, que se pudiera ubicar en las puntas de las alas, llevó a los ingenieros estadounidenses a desarrollar una lámpara tipo incandescente, pero conceptual y estructuralmente diferente a las conocidas hasta esos momentos.

#### 2.1.1 Estructura de la Lámpara Halógena

La estructura de una lámpara halógena es extremadamente sencilla, pues consta prácticamente de los mismos elementos que las incandescentes comunes. Sus diferentes partes se pueden resumir en: (A) un bulbo o, en su defecto, un tubo de cristal de cuarzo, relleno con gas halógeno; (B) el filamento de tungsteno, con su correspondiente soporte y (C) las conexiones exteriores. Estas lámparas se pueden encontrar con diferentes formas, tamaños, versiones y potencia en watt. Normalmente se fabrican algunos modelos para trabajar con 110 ó 220 volt de tensión y otros con 12 volt, utilizando un transformador reductor de tensión o voltaje.



Fig. 2 Estructura de una lámpara de halógeno

## 2.2 Las Lámparas Fluorescentes

El fenómeno de la fluorescencia se conocía incluso mucho antes de existir las bombillas incandescentes. En 1675 Jean Picard y posteriormente Johann Bernoulli allá por el año 1700, observaron que al agitar el mercurio se producía luz. En 1850 Heinrich Geissler, físico alemán, creó el “tubo Geissler”, capaz de emitir luz cuando se hacía pasar una descarga eléctrica a través de dicho tubo relleno con un gas noble.

En 1891 el norteamericano Daniel McFarlan Moore comenzó a realizar experimentos con tubos de descarga eléctrica. En 1904, empleando un tubo Geissler relleno con gas nitrógeno, logró obtener luz amarilla y si el mismo tubo lo llenaba con bióxido de carbono, obtenía entonces una luz rosácea, con un espectro muy similar al de la luz solar. Ese mismo año se instalaron las primeras “lámparas Moore” en unos almacenes situados en la ciudad de Newark, New Jersey, Estados Unidos de Norteamérica.

En 1927 Friedirch Meyer, Hans Spanner y Edmund Germer patentaron la lámpara fluorescente, pero hasta 1934 no se comenzaron a desarrollar de forma industrial. Las conocidas lámparas de tubos blancos rectos y encendidos por precalentamiento, se mostraron por primera vez al público en la Feria Mundial de New York, en el año 1939.

En la actualidad las lámparas fluorescentes se han convertido en el medio de iluminación de uso más generalizado en comercios, oficinas, sitios públicos, viviendas, etc. Sin embargo, no todas las personas conocen cómo funcionan, cómo emiten luz sin generar apenas calor, ni cómo pueden desarrollar más lúmenes por watt (lm/W) con menor consumo de energía eléctrica, comparadas con las lámparas incandescentes en igualdad de condiciones de iluminación.

## 2.2.1 Partes principales que componen las lámparas fluorescentes más elementales:

### Tubo de descarga

El cuerpo o tubo de descarga de las lámparas fluorescentes se fabrica de vidrio, con diferentes longitudes y diámetros. La longitud depende, fundamentalmente, de la potencia en watt (W) que desarrolle la lámpara. El diámetro, por su parte, se ha estandarizado a 25,4 mm (equivalente a una pulgada) en la mayoría de los tubos. Los más comunes y de uso más generalizado tienen forma recta, aunque también se pueden encontrar con forma circular.

La pared interior del tubo se encuentra recubierta con una capa de sustancia fosforescente o fluorescente, cuya misión es convertir los rayos de luz ultravioleta (que se generan dentro y que no son visibles para el ojo humano), en radiaciones de luz visible. Para que eso ocurra, su interior se encuentra relleno con un gas inerte, generalmente argón (Ar) y una pequeña cantidad de mercurio (Hg) líquido. El gas argón se encarga de facilitar el surgimiento del arco eléctrico que posibilita el encendido de la lámpara, así como de controlar también la intensidad del flujo de electrones que atraviesa el tubo.

### Casquillos

La mayoría de los tubos fluorescentes rectos poseen en cada uno de sus extremos un casquillo con dos patillas o pines de contactos eléctricos externos, conectadas interiormente con los filamentos de caldeo o de precalentamiento. Estos filamentos están fabricados con metal de tungsteno, conocido también por el nombre químico de wolframio (W), recubiertos de calcio (Ca) y magnesio (Mg) y su función principal en los tubos de las lámparas fluorescente es calentar previamente el gas argón que contienen en su interior para que se puedan encender.

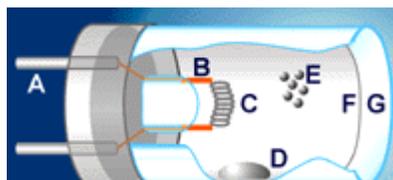


Fig. 3 Estructura de una lámpara fluorescente

A. Patillas o pines de contacto. B. Electrodo. C. Filamento de tungsteno. D. Mercurio (Hg) líquido. E. Átomos de gas argón (Ar). F. Capa o recubrimiento fluorescente de fósforo (P). G. Tubo de descarga.de cristal.

El recubrimiento de calcio y magnesio que poseen los filamentos facilita la aparición del flujo de electrones necesario para que se efectúe el encendido de la lámpara. En medio de ese proceso los filamentos se apagan y se convierten en dos electrodos, a través de los cuales se establece ese flujo de corriente o de electrones.

Cebador:

Las lámparas fluorescentes por precalentamiento utilizan un pequeño dispositivo durante el proceso inicial de encendido llamado cebador o encendedor térmico (starter). Este dispositivo se compone de una lámina bimetalica encerrada en una cápsula de cristal rellena de gas neón (Ne). Esta lámina tiene la propiedad de curvarse al recibir el calor del gas neón cuando se encuentra encendido con el objetivo de cerrar un contacto que permite el paso de la corriente eléctrica a través del circuito en derivación donde se encuentra conectado el cebador.

Conectado en paralelo con la lámina bimetalica, se encuentra un capacitor antiparasitario, encargado de evitar que durante el proceso de encendido se produzcan interferencias audibles a través del altavoz de un receptor de radio o ruidos visibles en la pantalla de algún televisor que se encuentre funcionando próximo a la lámpara.

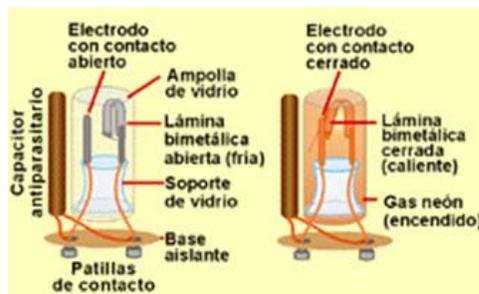


Fig. 4 Disposición de los elementos internos de un cebador.

Otra variante de lámpara fluorescente es la de encendido rápido, que no requiere cebador, pues los electrodos situados en los extremos del tubo se mantienen siempre calientes.

Otras lámparas poseen encendido instantáneo y tampoco utilizan cebador. Este tipo de lámpara carece de filamentos y se enciende cuando se le aplica directamente a los electrodos una tensión o voltaje mucho más elevado que el empleado para el resto de las lámparas fluorescentes. Por otra parte, en la actualidad la mayoría de las lámparas fluorescentes de tecnología más moderna sustituyen el antiguo cebador por un dispositivo de encendido rápido, mucho más eficiente que todos los demás sistemas desarrollados anteriormente, conocidos como balasto electrónico.

#### Balasto electromagnético

El balasto electromagnético fue el primer tipo de inductancia que se utilizó en las lámparas fluorescentes. Consta de un transformador de corriente o reactancia inductiva, compuesto por un enrollado único de alambre de cobre. Los balastos de este tipo constan de las siguientes partes:

**Núcleo:** Parte fundamental del balasto. Lo compone un conjunto de chapas metálicas que forman el cuerpo o parte principal del transformador, donde va colocado el enrollado de alambre de cobre.

**Carcasa:** Envoltura metálica protectora del balasto. Del enrollado de los balastos magnéticos comunes salen dos o tres cables (en dependencia de la potencia de la lámpara), que se conectan al circuito externo, mientras que de los balastos electrónicos salen cuatro.

**Sellador:** Es un compuesto de poliéster que se deposita entre la carcasa y el núcleo del balasto. Su función es actuar como aislante entre el enrollado, las chapas metálicas del núcleo y la carcasa.

**Capacitor o filtro:** Se utiliza para mejorar el factor de potencia de la lámpara, facilitando que pueda funcionar más eficientemente.

Desde el punto de vista de la operación de la lámpara fluorescente, la función del balasto es generar el arco eléctrico que requiere el tubo durante el proceso de encendido y mantenerlo posteriormente, limitando también la intensidad de corriente que fluye por el circuito del tubo.

De acuerdo con la forma de encendido de cada lámpara, así será el tipo de balasto que utilice. Las formas de encendido más generalizadas en los tubos de lámparas fluorescentes más comunes son los siguientes:

- Por precalentamiento (El sistema más antiguo)
- Rápido
- Instantáneo
- Electrónico (El sistema más moderno)

Tabla 1 Código de Identificación de los Tubos Fluorescentes de acuerdo con su Diámetro.

T-12	1,5 pulgadas	38,1 mm
T-8	1 pulgada	25,4 mm
T-5	5/8 pulgada	15,87 mm
T-2	2/8 pulgada	6,3 mm

(La cifra a continuación de la letra “T” representa el diámetro del tubo expresado en octavos de pulgada). En la actualidad la mayoría de los tubos de lámparas fluorescentes que se fabrican corresponden al tipo T-8, de 1 pulgada de diámetro (25,4 mm).

A continuación se muestra una tabla donde aparecen reflejados los diferentes tipos de lámparas fluorescentes, de acuerdo con las tonalidades de luz blanca que emiten y su correspondiente temperatura de color en grados Kelvin (°K).

Tabla 2 Diferentes tipos de lámparas fluorescentes, de acuerdo con las tonalidades

Tonalidades de color	Temp. de color (°K)
Blanco cálido (WW) (Warm White)	3000
Blanco (W) (White)	3500
Natural (N) (Natural)	3400

Blanco Frío (CW) (Cool White)	4100
Blanco Frío Deluxe (CWX) (Cool White Deluxe)	4200
Luz del Día (D) (Daylight)	650

## 2.3 LÁMPARAS AHORRADORAS CFL

Las lámparas ahorradoras de energía denominadas CFL (Compact Fluorescent Lamp – Lámpara Fluorescente Compacta) son una variante mejorada de las lámparas de tubos rectos fluorescentes, que fueron presentadas por primera vez al público en la Feria Mundial de New York efectuada en el año 1939.

### 2.3.1 Partes de una Lámpara CFL

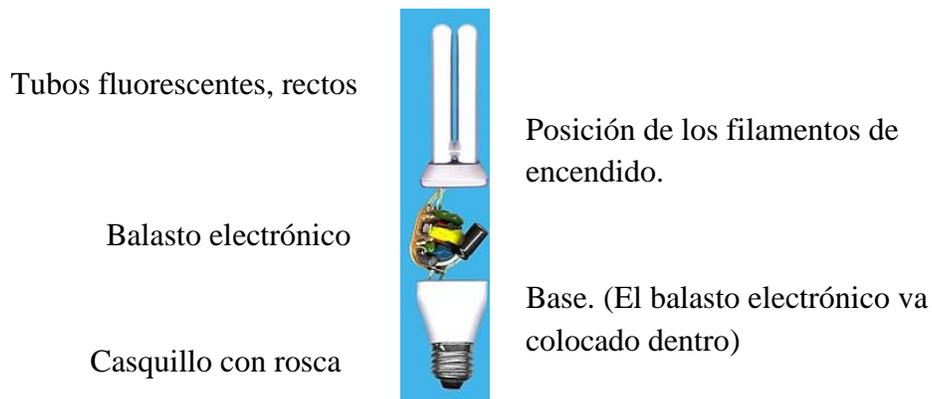


Fig. 5 Partes de una Lámpara CFL

Las lámparas fluorescentes CFL constan de las siguientes partes:

#### Tubo fluorescente

Se componen de un tubo de unos 6 mm de diámetro aproximadamente, doblados en forma de “U” invertida, cuya longitud depende de la potencia en watt que tenga la lámpara. En todas las lámparas CFL existen siempre dos filamentos de tungsteno o wolframio (W) alojados en los extremos libres del tubo con el propósito de calentar los gases inertes, como el neón (Ne), el kriptón (Kr) o el argón (Ar), que se encuentran alojados en su interior. Junto con los gases inertes, el tubo también contiene vapor de mercurio (Hg). Las paredes del tubo se encuentran recubiertas por dentro con una fina capa de fósforo.



Fig. 6 Filamentos colocados dentro de los tubos de una lámpara CFL.

### Balasto electrónico

Las lámparas CFL son de encendido rápido, por tanto no requieren cebador (encendedor, starter) para encender el filamento, sino que emplean un balasto electrónico en miniatura, encerrado en la base que separa la rosca del tubo de la lámpara. Ese balasto suministra la tensión o voltaje necesario para encender el tubo de la lámpara y regular, posteriormente, la intensidad de corriente que circula por dentro del propio tubo después de encendido. El balasto electrónico se compone, fundamentalmente, de un circuito rectificador diodo de onda completa y un oscilador, encargado de elevar la frecuencia de la corriente de trabajo de la lámpara entre 20 000 y 60 000 hertz aproximadamente, en lugar de los 50 ó 60 hertz con los que operan los balastos electromagnéticos e híbridos que emplean los tubos rectos y circulares de las lámparas fluorescentes comunes antiguas.



Fig. 7 Elementos que componen el balasto electrónico.

### Base

La base de la lámpara ahorradora CFL se compone de un receptáculo de material plástico, en cuyo interior hueco se aloja el balasto electrónico. Unido a la base se encuentra un casquillo con rosca normal E-27 (conocida también como rosca Edison), la misma que

utilizan la mayoría de las bombillas o lámparas incandescentes. Se pueden encontrar también lámparas CFL con rosca E-14 de menor diámetro (conocida como rosca candelabro). No obstante, existen variantes con otros tipos de conectores, de presión o bayoneta, en lugar de casquillos con rosca, que funcionan con un balasto electrónico externo, que no forma parte del cuerpo la lámpara.

### 2.3.2 Funcionamiento de la Lámpara CFL

El funcionamiento de una lámpara fluorescente ahorradora de energía CFL es el mismo que el de un tubo fluorescente común, excepto que es mucho más pequeña y manuable. Cuando enroscamos la lámpara CFL en un portalámparas (igual al que utilizan la mayoría de las lámparas incandescentes) y accionamos el interruptor de encendido, la corriente eléctrica alterna fluye hacia el balasto electrónico, donde un rectificador diodo de onda completa se encarga de convertirla en corriente directa y mejorar, a su vez, el factor de potencia de la lámpara. A continuación un circuito oscilador, compuesto fundamentalmente por un circuito transistorizado en función de amplificador de corriente, un enrollado o transformador (reactancia inductiva) y un capacitor o condensador (reactancia capacitiva), se encarga de originar una corriente alterna con una frecuencia, que llega a alcanzar entre 20 mil y 60 mil ciclos o hertz por segundo.

La función de esa frecuencia tan elevada es disminuir el parpadeo que provoca el arco eléctrico que se crea dentro de las lámparas fluorescentes cuando se encuentran encendidas. De esa forma se anula el efecto estroboscópico que normalmente se crea en las antiguas lámparas fluorescentes de tubo recto que funcionan con balastos electromagnéticos (no electrónicos). En las lámparas fluorescentes antiguas el arco que se origina posee una frecuencia de sólo 50 ó 60 hertz, la misma que le proporciona la red eléctrica doméstica a la que están conectadas.

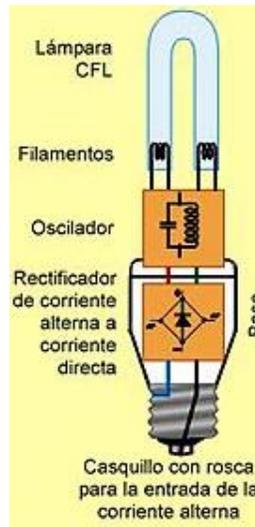


Fig. 8 Funcionamiento de la Lámpara CFL

Tabla 3 Otras características de las lámparas CFL

Tonalidades	Temperatura del color en grados Kelvin (°K)
Blanco extra cálido	2 700 (Igual que una incandescente)
Blanco cálido	3 500
Blanco	3 500
Blanco frío	4 000 (Predominio del color azul)

Las CFL son producidas también en otros colores menos comunes, como: rojo, verde, naranja, azul y rosa, principalmente para usos decorativos. Amarilla, para iluminación exterior, porque repele a los insectos. "Luz oscura" o "Luz negra", para efectos especiales.

Las CFL con fósforo generador de UVA (rayos ultravioleta A), son una fuente eficiente de luz ultravioleta de onda larga (luz oscura), mucho más que las lámparas incandescentes de "luz oscura", ya que la cantidad de luz ultravioleta que produce el filamento de estas últimas es acorde a la radiación del llamado cuerpo negro y la radiación ultravioleta es solo una fracción del espectro luminoso generado.

Al ser una lámpara de descarga gaseosa, la CFL no genera todas las frecuencias de luz visible; el índice actual de producción (renderizado) de color es un compromiso de

diseño. Con menos que un perfecto renderizado del color, las CFL pueden ser insatisfactorias para iluminación de interiores, pero los diseños modernos, de alta calidad, han demostrado ser aceptables para uso en el hogar. Esto comienza a subsanarse con las lámparas Trifosforo o RGB, que generan igual cantidad de ondas Rojo, Verde y Azul, permitiendo la reproducción real de los colores.

## 2.4 LEDs

Casi todos estamos familiarizados con los LEDs, los conocemos de verlos en el frente de muchos equipos de uso cotidianos, como radios, televisores, teléfonos celulares y display de relojes digitales, sin embargo la falta de una amplia gama de colores y una baja potencia lumínica han limitado su uso considerablemente. No obstante eso está cambiando gradualmente con la introducción de nuevos materiales que han permitido crear LEDs de prácticamente todo el espectro visible de colores y ofreciendo al mismo tiempo una eficiencia lumínica que supera a la de las lámparas incandescentes. Estos brillantes, eficientes y coloridos nuevos LEDs están expandiendo su dominio a un amplio rango de aplicaciones de iluminación desplazando a su anterior campo de dominio que era el de la mera indicación. Si consideramos su particularidad de bajo consumo energético y su prácticamente imbatible ventaja para su uso en señalamiento exterior (carteles de mensaje variables y señales de tránsito) tendremos que el futuro de estos pequeños dispositivos semiconductores es realmente muy promisorio tal como lo indican los números actuales de crecimiento de mercado a nivel mundial.

### 2.4.1 Evolución De Los LEDs

El primer LED comercialmente utilizable fue desarrollado en el año 1962, combinando Galio, Arsénico y Fósforo (GaAsP) con lo cual se consiguió un LED rojo con una frecuencia de emisión de unos 650 nm con una intensidad relativamente baja, aproximadamente 10mcd a 20mA, (mcd = milicandela,. El siguiente desarrollo se basó en el uso del Galio en combinación con el Fósforo (GaP) con lo cual se consiguió una frecuencia de emisión del orden de los 700nm. A pesar de que se conseguía una eficiencia de

conversión electrón- fotón o corriente-luz más elevada que con el GaAsP, esta se producía a relativamente baja corrientes, un incremento en la corriente no generaba un aumento lineal en la luz emitida, sumado a esto se tenía que la frecuencia de emisión estaba muy cerca del infrarrojo una zona en la cual el ojo no es muy sensible por lo que el LED parecía tener bajo brillo a pesar de su superior desempeño de conversión.

Los siguientes desarrollos, ya entrada la década del 70, introdujeron nuevos colores al espectro. Distinta proporción de materiales produjo distintos colores. Así se consiguieron colores verde y rojo utilizando GaP y ámbar, naranja y rojo de 630nm (el cual es muy visible) utilizando GaAsP. También se desarrollaron LEDs infrarrojos, los cuales se hicieron rápidamente populares en los controles remotos de los televisores y otros artefactos del hogar. En la década del 80 un nuevo material entró en escena el GaAlAs Galio, Aluminio y Arsénico. Con la introducción de este material el mercado de los LEDs empezó a despegar ya que proveía una mayor performance sobre los LEDs desarrollados previamente. Su brillo era aproximadamente 10 veces superior y además se podía utilizar a elevadas corrientes lo que permitía utilizarlas en circuitos multiplexados con lo que se los podía utilizar en display y letreros de mensaje variable. Sin embargo este material se caracteriza por tener un par de limitaciones, la primera y más evidente es que se conseguían solamente frecuencias del orden de los 660nm (rojo) y segundo que se degradan más rápidamente en el tiempo que los otros materiales, efecto que se hace más notorio ante elevadas temperaturas y humedades.

Hay que hacer notar que la calidad del encapsulado es un factor fundamental en la ecuación temporal. Los primeros desarrollos de resinas epoxi para el encapsulado poseían una no muy buena impermeabilidad ante la humedad, además los primeros LEDs se fabricaban manualmente, el posicionamiento del sustrato y vertido de la resina era realizado por operarios y no por maquinas automáticas como hoy en día, por lo que la calidad del led era bastante variable y la vida útil mucho menor que la esperada. Hoy en día esos problemas fueron superados y cada vez son más las fábricas que certifican la norma ISO 9000 de calidad de proceso. Además últimamente es más común que las resinas posean

inhibidores de rayos UVA y UVB, especialmente en aquellos LEDs destinado al uso en el exterior.

En los 90 se apareció en el mercado tal vez el más exitoso material para producir LEDs hasta la fecha el AlInGaP Aluminio, Indio, Galio y Fósforo. Las principales virtudes de este tetar compuesto son que se puede conseguir una gama de colores desde el rojo al amarillo cambiando la proporción de los materiales que lo componen y segundo, su vida útil es sensiblemente mayor, a la de sus predecesores, mientras que los primeros LEDs tenía una vida promedio efectiva de 40.000 horas los LEDs de AlInGaP podían más de 100.000 horas aun en ambientes de elevada temperatura y humedad.

Es de notar que muy difícilmente un led se queme, si puede ocurrir que se ponga en cortocircuito o que se abra como un fusible e incluso que explote si se le hace circular una elevada corriente, pero en condiciones normales de uso un led se degrada o sea que pierde luminosidad a una tasa del 5 % anual. Cuando el LED ha perdido el 50% de su brillo inicial, se dice que ha llegado al fin de su vida útil y eso es lo que queremos decir cuando hablamos de vida de un LED. Un rápido cálculo nos da que en un año hay 8760 horas por lo que podemos considerar que un LED de AlInGaP tiene una vida útil de más de 10 años. Como dijimos uno de factores fundamentales que atentan contra este número es la temperatura, tanto la temperatura ambiente como la interna generada en el chip, por lo tanto luego nos referiremos a técnicas de diseño de circuito impreso para bajar la temperatura.

Explicaremos un detalle de mucha importancia respecto a los LEDs y su construcción. Cuando se fabrica el LED, se lo hace depositando por capas a modo de vapores, los distintos materiales que componen el LED, estos materiales se depositan sobre una base o sustrato que influye en la dispersión de la luz. Los primeros LEDs de AlInGaP se depositaban sobre sustratos de GaAs el cual absorbe la luz innecesariamente. Un adelanto en este campo fue reemplazar en un segundo paso el sustrato de GaAs por uno de GaP el cual es transparente, ayudando de esta forma a que más luz sea emitida fuera del encapsulado. Por lo tanto este nuevo proceso dio origen al TS AlInGaP (Transparent Substrate) y los AlInGaP originales pasaron a denominarse AS AlInGaP (Absorbent Substrate). Luego este mismo proceso se utilizó para los LED de GaAlAs dando origen al TS GaAlAs y al AS GaAlAs. En ambos casos la Eficiencia luminosa se incrementaba

típicamente en un factor de 2 pudiendo llegar en algunos casos a incrementarse en un factor de 10. Como efecto secundario de reemplazar el As por el TS se nota un pequeño viro al rojo en la frecuencia de emisión, generalmente menor a los 10nm.

A final de los 90 se cerró el círculo sobre los colores del arco iris, cuando gracias a las tareas de investigación del Shuji Nakamura, investigador de Nichia, una pequeña empresa fabricante de LEDs de origen japonés, llegó al desarrollo del LED azul, este LED siempre había sido difícil de conseguir debido a su elevada energía de funcionamiento y relativamente baja sensibilidad del ojo a esa frecuencia (del orden de los 460 nm). Hoy en día coexisten varias técnicas diferentes para producir luz azul, una basada en el SiC Silicio – Carbono otra basada en el GaN Galio – Nitrógeno, otra basada en InGaN Indio-Galio-Nitrógeno sobre sustrato de Zafiro y otra GaN sobre sustrato SiC. El compuesto GaN, inventado por Nakamura, es actualmente el más utilizado. Otras técnicas como la de ZnSe Zinc – Selenio ha sido dejadas de lado y al parecer el SiC seguirá el mismo camino debido a su bajo rendimiento de conversión y elevada degradación con la temperatura. Dado que el azul es un color primario, junto con el verde y el rojo, tenemos hoy en día la posibilidad de formar el blanco con la combinación de los tres y toda la gama de colores del espectro, esto permite que los display gigantes y carteles de mensajes variables full color se hagan cada día más habituales en nuestra vida cotidiana.

Otros colores también son posibles de conseguir como por ejemplo el púrpura, violeta o ultravioleta. Este último es muy importante para la creación de una forma más eficiente de producir luz blanca que la mera combinación de los colores primarios, ya que añadiendo fósforo blanco dentro del encapsulado, este absorbe la radiación ultravioleta y emite frecuencia dentro de todo el espectro visible, logrando luz blanca en un proceso similar al que se produce en el interior de los tubos fluorescentes. A veces el fósforo posee una leve tonalidad amarillenta para contrarrestar el tono azulado de la luz del semiconductor. Luego de tantos materiales y frecuencias de ondas sería bueno resumir todo esto en una forma más clara, es por ello en la tabla 5 se detallan los distintos frecuencias de emisión típica de los LEDs comercialmente disponibles y sus materiales correspondientes. Los datos técnicos fueron obtenidos de distintos fabricantes. Es de notar que la resolución del ojo es del orden de los 3 a 5 nm según el color de que se trate.

Tabla 4. Materiales y frecuencias de emisión típicas de un LED

Frecuencia	Color	Material
940	Infrarrojo	GaAs
890	Infrarrojo	GaAlAs
700	Rojo profundo	GaP
660	Rojo profundo	GaAlAs
640	Rojo	AlInGaP
630	Rojo	GaAsP/GaP
626	Rojo	AlInGaP
615	Rojo – Naranja	AlInGaP
610	Naranja	GaAsP/GaP
590	Amarillo	GaAsP/GaP
590	Amarillo	AlInGaP
565	Verde	GaP
555	Verde	GaP
525	Verde	InGaN
525	Verde	GaN
505	Verde turquesa	InGaN/Zafiro
498	Verde turquesa	InGaN/Zafiro
480	Azul	SiC
450	Azul	InGaN/Zafiro
430	Azul	GaN
425	Azul	InGaN/Zafiro
370	Ultravioleta	GaN

Para tener una idea aproximada de la relación entre la frecuencia expresada en nanómetros y su correspondencia con un color determinado es que a continuación se presenta un grafico simplificado del triangulo de Maxwell o Diagrama de Cromaticidad CIE (Fig. 8). Cada color se puede expresar por sus coordenadas X e Y. Lo colores puros o saturados se encuentran en el exterior del triangulo y a medida que nos acercamos a su centro el color tiende al blanco. El centro de la zona blanca es el blanco puro y suele expresarse por medio de la temperatura de color, en grados Kelvin, de un cuerpo negro. Simplificando podemos decir que un cuerpo negro al calentarse empieza a emitir ondas

infrarrojas, al subir la temperatura empieza a tomar un color rojizo, esto es en los 770 nm, al seguir elevándose la temperatura, el color se torna anaranjado, amarillento y finalmente blanco, describiendo una parábola desde el extremo inferior derecho hacia el centro del triángulo. Por lo tanto cada color por donde pasa dicha parábola puede ser representado por una temperatura equivalente. El centro del triángulo (blanco puro) se corresponde con una temperatura de 6500 K. El tono de los LEDs blanco viene expresado precisamente en grados kelvin. Una temperatura superior significa un color de emisión blanco – azulado.

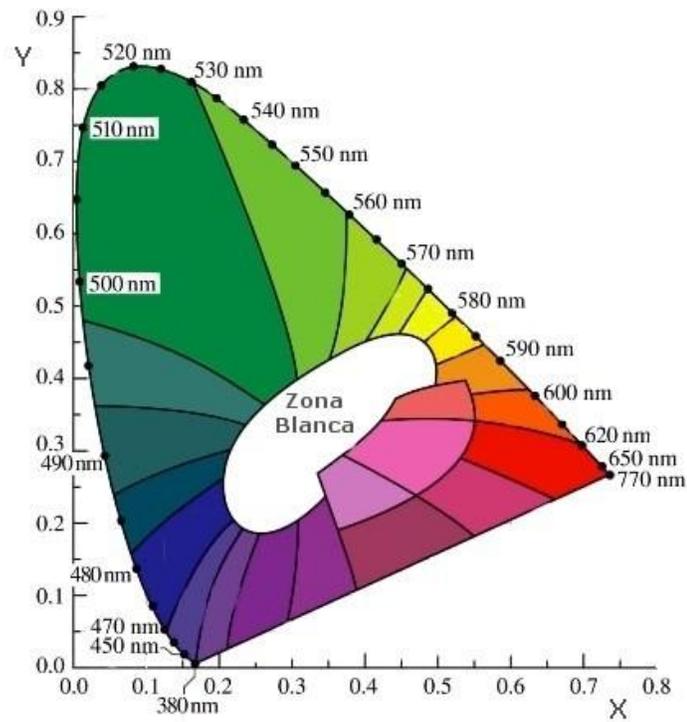


Fig. 9 Diagrama de cromaticidad

## 2.5 LA ILUMINACION

Es un hecho incontrovertible la importancia creciente que tiene una adecuada visión dentro del mundo en su conjunto (laboral, de investigación, de descanso, de recuperación de la salud, etc.). Como justificación de este hecho puede darse, por una parte, el que la automatización industrial supone la sustitución de muchos esfuerzos musculares por trabajos especializados, en que la visual es fundamental. A esta razón hay que añadir el hecho de que los procesos a realizar (industriales, de investigación, de requerimientos de cirugía y otros) suponen tareas visuales cada vez más difíciles y exigentes. Desde los primeros años del siglo XX se han realizado estudios e investigaciones para conocer la iluminación que debe proporcionarse en cada caso para satisfacer las exigencias de la tarea visual que en ella se realiza.

### 2.5.1 CONCEPTOS BASICOS

- a) Intensidad Luminosa : Un manantial de luz que irradia con determinada claridad, un flujo luminoso al incidir sobre una superficie produce en ésta una cierta iluminación, a la que se conoce como intensidad de iluminación, y se mide en candela (cd).
- b) Flujo Luminoso: Es la cantidad de luz emitida por una fuente luminosa. Su unidad es el lumen (lm).
- c) La Iluminación o Luminancia (E): Es la medida de la cantidad de luz incidente en un área dada. Su unidad en el Sistema Internacional es el Lumen/m<sup>2</sup> = Lux En unidades americanas se tiene el Lumen/pie<sup>2</sup>=pie bujía la equivalencia es: 1 pie bujía = 10.76 Lux.
- d) La Iluminancia (Brillantez Fotométrica): Es la intensidad luminosa de cualquier superficie en una dirección dada por unidad de área proyectada de la superficie vista desde esa dirección. Su unidad en el Sistema SI es cd/m<sup>2</sup>.

- e) La Brillantez subjetiva: Es el atributo subjetivo de cualquier sensación luminosa que da lugar a la escala completa de cualidades de ser reluciente, iluminado, brillante, empañado u oscuro.
  
- f) Absorción, reflexión y transmisión: Son los procesos generales por los cuales un flujo luminoso incidente interacciona con un medio. La Absorción es el proceso por medio del cual el flujo incidente se disipa. La Reflexión es proceso por el cual el flujo incidente deja una superficie o medio por el mismo lado de incidencia. La reflexión puede ocurrir como en un espejo (reflexión especular), reflejarse en ángulos distintos al del flujo incidente con el plano de incidencia (reflexión difusa), ó puede ser una combinación de los dos tipos de reflexión.

La Transmisión es el proceso por el cual el flujo incidente abandona una superficie o medio por un lado distinto al incidente. Si el rayo de luz se reduce solo en intensidad, la transmisión se llama regular.

Si el rayo emerge en todas direcciones, la transmisión se llama difusa. Ambos modos pueden existir combinados.

Flujo incidente = Flujo Absorbido + Flujo Reflejado + Flujo Transmitido

- g) Medidores de Luz: Son instrumentos de medición que sirven para medir la luminancia en Luxes.
  
- h) Fuentes Luminosas: La original y mayor fuente de luz es el Sol. En seguida está el fuego de velas, aceite y lámparas de gas. Con el descubrimiento de la electricidad vinieron los diferentes tipos de lámparas que existen hoy en el mercado, a estas le llamaremos en adelante fuentes de luz artificial.

## 2.5.2 PUNTOS CLAVE A TENER EN CUENTA PARA UNA BUENA ILUMINACION

- Luz suficiente: Tener niveles adecuados de luz, según la naturaleza de la tarea visual.
- Iluminación Uniforme: Una iluminación general con un alto grado de uniformidad, garantiza total libertad a la hora de situar la maquinaria y los bancos de trabajo.(en cualquier punto 200 Lux)
- Buena Iluminación vertical: En ciertos trabajos la tarea visual está localizada en el plano vertical. Se puede recurrir a las empotradas en el techo que ofrecen una distribución asimétrica de la luz.
- Fuentes de luz bien apantalladas: En alturas de montaje bajas es fundamental el uso de pantallas con rejillas que proporcionen el apantallamiento en la dirección crítica, y evitar el deslumbramiento.
- Debe de obtenerse el mejor rendimiento y la máxima economía en toda instalación de iluminación.
- No debe olvidarse el efecto decorativo y funcional de una buena iluminación.

## 2.5.3 TIPOS DE ILUMINACION PARA INTERIORES

Son las diversas formas en que se deben ubicar las fuentes luminosas (aparatos lumínicos) para solucionar problemas visuales, los cuales deben estar en forma proporcional para satisfacer una adecuada operatividad visual a realizarse en determinado ambiente constructivo.

**Iluminación directa:** Es aquella en la cual la fuente luminosa está dirigida directamente hacia el área de trabajo o el área a iluminarse.

**Iluminación Semi-directa:** Es la que la proyección del flujo luminoso que sale al área de trabajo proviene de la combinación de la luz directa de la fuente de luz y una parte del flujo luminosos que se refleja en las paredes techos y mobiliario.

**Iluminación Indirecta:** Es en la que la fuente luminosa es dirigida a una pared, techo o a un mobiliario la cual o las cuales reflejan al flujo luminoso a la zona a iluminarse.

**Iluminación Semi-indirecta.-** es aquella en la cual el manantial emite flujos luminosos, unos inciden en el techo o en otro tipo de superficie que los refleja hacia la zona de trabajo, otras traspasan directamente superficies opacas y se distribuyen en todas las direcciones y uniformemente en la zona de trabajo.

**Iluminación Difusa.-** Es aquella en la que la fuente luminosa emite rayos, los cuales son dirigidos directamente a una superficie opaca y al traspasarlas se reparten uniformemente en todas las direcciones del área de trabajo.

#### 2.5.4 DISEÑO DE ALUMBRADO

El objeto de un diseño de alumbrado es proporcionar iluminación suficiente para una tarea visual dada, sin producir malestar, **Y AL MÍNIMO COSTO POSIBLE**. No es difícil obtener suficiente luz con las modernas fuentes luminosas, pero si se colocan y controlan en forma inadecuada, se obtendrán luz molesta y deslumbrante.

Al realizar los análisis de iluminación es necesario aclarar que no es conveniente una iluminación escasa ni tampoco una iluminación intensa, porque en el primer caso se realizará mayor esfuerzo al órgano de la visión, y el segundo caso produce deslumbramiento en los objetos iluminados afectando también al órgano de la visión.

En la iluminación de interiores, se debe tener en cuenta: la reflexión que producirán las fuentes luminosas, las dimensiones que tendrá el ambiente o local a iluminar, los niveles y formas de iluminar a los objetos del local.

La reflexión es uno de los factores determinados por un principio de la física que determina que en un rayo incidente es igual al rayo reflejado. Sin embargo en la iluminación de interiores, la reflexión es influenciada por el color y la rugosidad de la superficie en la cual incidirán los rayos luminosos. Por ejemplo, el papel o cartón negro granulado reflejará solamente el 55% de la luz incidente; el papel blanco liso, reflejará el 85 %.

Al iniciarse todo análisis en iluminación de interiores se deben tener en cuenta los siguientes puntos fundamentales:

- Formas o tipos de iluminación y número y ubicación de las lámparas a usar.
- Potencia y número de lámpara a usar.
- Ubicación y altura de suspensión de las lámparas.

#### 2.5.5 PASOS A SEGUIR EN EL DISEÑO DE ALUMBRADO

1. Determinar el nivel requerido de iluminación; (luxes) se selecciona de tabla para diferentes ambientes iluminar.
2. Se selecciona el tipo de iluminación y el tipo de lámpara.
3. Se determina el coeficiente de utilización (CU); que tiene en cuenta el hecho de que de la salida total en Lumens, sólo una pequeña porción llega al plano de trabajo. Este factor se ve afectado por características tales como forma y dimensiones del cuarto, color de paredes y techo, tipo de unidad y reflector.

## 2.6 Componentes de un Sistema Fotovoltaico

### 2.6.1 El Panel Fotovoltaico

Los módulos fotovoltaicos o colectores solares fotovoltaicos (llamados a veces paneles solares, aunque esta denominación abarca otros dispositivos) están formados por un conjunto de celdas (células fotovoltaicas) que producen electricidad a partir de la luz que incide sobre ellos. El parámetro estandarizado para clasificar su potencia se denomina potencia pico, y se corresponde con la potencia máxima que el módulo puede entregar bajo unas condiciones estandarizadas, que son:

- Radiación de 1000 W/m<sup>2</sup>
- Temperatura de célula de 25°C (no temperatura ambiente).

Las placas fotovoltaicas se dividen en:

- Cristalinas

Monocristalinas: se componen de secciones de un único cristal de silicio (reconocibles por su forma circular u octogonal, donde los 4 lados cortos, si se observa, se aprecia que son curvos, debido a que es una célula circular recortada).

Policristalinas: cuando están formadas por pequeñas partículas cristalizadas.

- Amorfas: cuando el silicio no se ha cristalizado.

Su efectividad es mayor cuanto mayor son los cristales, pero también su peso, grosor y coste. El rendimiento de las primeras puede alcanzar el 20% mientras que el de las últimas puede no llegar al 10%, sin embargo su coste y peso es muy inferior.

## Principios Teóricos de Funcionamiento

Algunos de los fotones, que provienen de la radiación solar, impactan sobre la primera superficie del panel, penetrando en este y siendo absorbidos por materiales semiconductores, tales como el silicio o el arseniuro de galio. Los electrones, subpartículas atómicas que forman parte del exterior de los átomos, y que se alojan en orbitales de energía cuantizada, son golpeados por los fotones (interaccionan) liberándose de los átomos a los que estaban originalmente confinados. Esto les permite, posteriormente, circular a través del material y producir electricidad. Las cargas positivas complementarias que se crean en los átomos que pierden los electrones, (parecidas a burbujas de carga positiva) se denominan huecos y fluyen en el sentido opuesto al de los electrones, en el panel solar.

Se ha de comentar que, así como el flujo de electrones corresponde a cargas reales, es decir, cargas que están asociadas a desplazamiento real de masa, los huecos, en realidad, son cargas que se pueden considerar virtuales puesto que no implican desplazamiento de masa real.

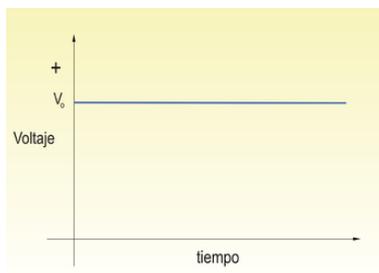


Fig. 10 Representación de la diferencia de potencial, o voltaje de corriente con respecto al tiempo en corriente continua

Un conjunto de paneles solares transforman la energía solar (energía en forma de radiación y que depende de la frecuencia de los fotones) en una determinada cantidad de corriente continua, también denominada DC (acrónimo del inglés Direct Current y que corresponde a un tipo de corriente eléctrica que se describe como un movimiento de cargas en una dirección y un sólo sentido, a través de un circuito. Los electrones se mueven de los potenciales más bajos a los más altos).

## 2.6.2 Regulador de carga.

### Funciones del regulador de carga

- Evita sobrecargas en las baterías que puedan producir daños.
- Impide la descarga de la batería en periodos de luz solar escasa (ver diodos de bloqueo al final del curso).
- Asegura el funcionamiento del sistema en el punto de máxima eficacia.

Es quizá la pieza clave del sistema, asegura una tensión constante en sus salidas, asegurando el buen funcionamiento de todos los receptores que se conecten al sistema.

### Características eléctricas

- Tensión de funcionamiento: es la tensión a la que debe estar conectado el sistema generador (paneles), normalmente 12 o 24V.
- Intensidad de carga: se corresponde con la máxima intensidad que puede entregar el sistema generador en servicio permanente.
- Intensidad de descarga; es la máxima intensidad que puede entregar el regulador de manera permanente, debe corresponderse con la del sistema de acumulación, de esta manera se evitarán sobrecargas en las mismas.

## 2.6.3 Baterías

### Estructura

Las baterías están compuestas esencialmente por la unión de dos materiales (generalmente plomo-ácido). Están constituidas en módulos llamados vasos, en los cuales se encuentran los dos electrodos, el positivo y el negativo. Cada uno de estos vasos es capaz de entregar un máximo de 2V, con lo cual que para obtener un valor nominal de 12V, se deberían disponer de 6 vasos conectados en serie. La cantidad de energía que puede acumular una batería depende de su capacidad, que se mide en A/h (una batería de 100 A/h,

puede suministrar 1A durante 100h, siempre que de un rendimiento del 100%). El ánodo (-), estará formado por láminas de bióxido de plomo, mientras que el cátodo (+), estará formado por plomo.

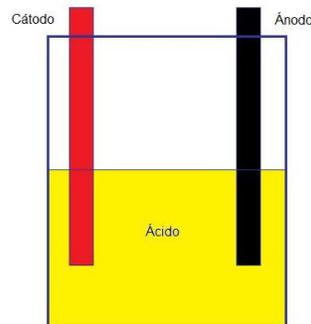


Fig. 11 Estructura de una Batería

### Principio de funcionamiento

En la carga, la batería recibe una tensión del generador (panel), ésta al cerrar el circuito, fuerza el paso de una corriente a través de ella. En la descarga, las reacciones químicas suministran electrones al polo negativo y los consume en el positivo, para así mantener la diferencia de potencial (tensión) entre sus extremos. Debemos tener en cuenta que para que la vida útil de una batería sea lo más larga posible, se ha de tener en cuenta el modo de trabajar con ellas. Una última precaución que debemos considerar, es el punto de congelación, los acumuladores suelen estar fabricados para funcionar a unas temperaturas que van desde los 0° hasta los 300°. Las características de las baterías también dependerán del material del que estén formadas, a continuación se indican los dos módulos más utilizados:

Tabla 5 Módulos más utilizados en las baterías

Tipo	Rendimiento
Plomo-calcio	90%
Níquel-cadmio	80%

## Resistencia interna

Es la resistencia óhmica de sus componentes, así como una resistencia virtual variable en función de la carga que se conecte. Ésta resistencia aumenta con las bajas temperaturas, el envejecimiento y la descarga.

## Rendimiento

Es la relación de la energía suministrada durante la descarga y la necesaria para cargar la batería completamente. Este valor se suele expresar en tanto por ciento, y las pérdidas vienen producidas por el calor que se produce en los procesos de carga y descarga.

## Velocidad de carga y descarga

Las corrientes de carga y descarga se especifican con unos términos que indican la descarga completa en un período continuo de 1h. Estos términos son C y sus múltiplos y submúltiplos nos indican diferentes velocidades de carga y descarga.

## Vida útil

No se mide en años, si no por la cantidad de ciclos de carga y descarga que es capaz de realizar. Otro factor que también puede influir en la vida útil, es la temperatura de trabajo de la batería, cuanto mayor sea ésta menor será la vida útil, pero tampoco conviene que esta sea demasiado baja ya que se nos puede congelar el electrolito (ácido). En cualquier caso lo mejor es mantener la batería en un nivel de carga alto, pues la concentración del electrolito será mayor, y por lo tanto, el punto de congelación bajará.

## Capacidad

Es la cantidad de energía eléctrica que es capaz de entregar cuando se descarga, antes de que su tensión disminuya por debajo del nivel mínimo. Su símbolo es C, y se expresa en A/h. Esta capacidad varía según el régimen de descarga: aumenta a medida que la descarga es más lenta, y disminuye cuanto más rápida es ésta; por lo cual el valor de C debe venir referenciado por el tiempo de descarga.

## Autodescarga

Consiste en la pérdida de energía por reacción entre los materiales que forman los elementos de la batería en condiciones de circuito abierto (sin carga), depende del tipo de batería, y muy directamente con la temperatura, siendo directamente proporcional a ésta.

### 2.6.4 Inversor o Convertidor

Transforma la DC en corriente alterna (AC). La función de los inversores de los sistemas fotovoltaicos es convertir el bajo voltaje de las baterías en el voltaje que es convencionalmente suministrado por la red eléctrica y que es el requerido por muchos tipos de cargas.

Los inversores utilizan dispositivos de conmutación para convertir la corriente directa (DC) en corriente alterna (CA), al mismo tiempo suben desde 12,24, o 48 VCD hasta 110 ó 120 VCA, 50 ó 60 Hz.

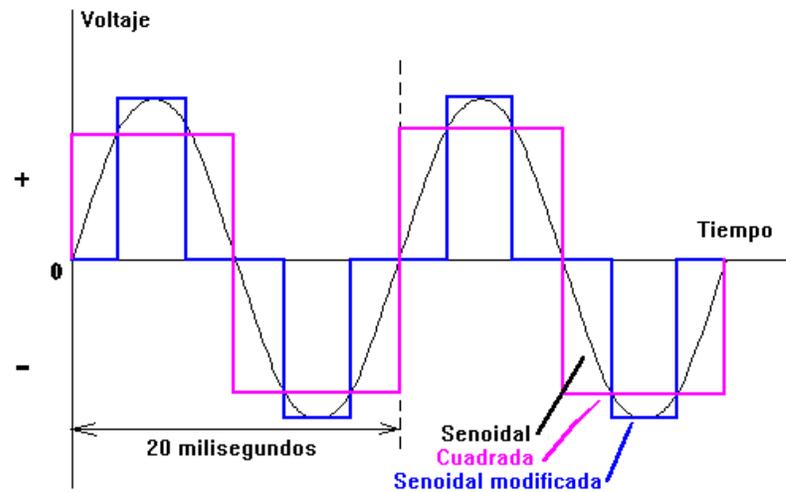


Fig. 12 La forma de onda de los inversores: onda cuadrada, onda cuadrada modificada (también llamada onda cuasi-senosoidal), onda senoidal pura.

## Tipos de inversores

### Inversores de onda cuadrada

La mayoría de los inversores funcionan haciendo pasar la corriente continua a través de un transformador, primero en una dirección y luego en otra. El dispositivo de conmutación que cambia la dirección de la corriente debe actuar con rapidez. A medida que la corriente pasa a través de la cara primaria del transformador, la polaridad cambia 100 veces cada segundo. Como consecuencia, la corriente que sale del secundario del transformador va alternándose, en una frecuencia de 50 ciclos completos por segundo. La dirección del flujo de corriente a través de la cara primaria del transformador se cambia muy bruscamente, de manera que la forma de onda del secundario es "cuadrada", representada en la figura mediante color morado.

Los inversores de onda cuadrada son más baratos, pero normalmente son también los menos eficientes. Producen armónicos que generan interferencias (ruidos). No son aptos para motores de inducción. Si se desea corriente alterna únicamente para alimentar un televisor, un ordenador o un aparato eléctrico pequeño, se puede utilizar este tipo de inversor.

## Inversores de Onda Senoidal Modificada

Son más sofisticados y caros, y utilizan técnicas de modulación de ancho de impulso. El ancho de la onda es modificada para acercarla lo más posible a una onda senoidal. La salida no es todavía una auténtica onda senoidal, pero está bastante próxima. El contenido de armónicos es menor que en la onda cuadrada. En el gráfico se representa en color azul. Son los que mejor relación calidad/precio ofrecen para la conexión de iluminación, televisión o variadores de frecuencia.

## Inversores de onda senoidal

Con una electrónica más elaborada se puede conseguir una onda senoidal pura. Hasta hace poco tiempo estos inversores eran grandes y caros, además de ser poco eficientes (a veces sólo un 40% de eficiencia). Últimamente se han desarrollado nuevos inversores senoidales con una eficiencia del 90% o más, dependiendo de la potencia, como por ejemplo el S-1200. La incorporación de microprocesadores de última generación permite aumentar las prestaciones de los inversores con servicios de valor añadido como telecontrol, contaje de energía consumida, selección de batería. Sin embargo, su costo es mayor que el de los inversores menos sofisticados. Puesto que sólo los motores de inducción y los más sofisticados aparatos o cargas requieren una forma de onda senoidal pura, normalmente es preferible utilizar inversores menos caros y más eficientes. Dentro de poco tiempo el costo de los inversores senoidales se acercará al de los otros, popularizándose su instalación.

## Dimensiona un Inversor

Los inversores deben dimensionarse de dos formas. La primera es considerando los Watios de potencia eléctrica que el inversor puede suministrar durante su funcionamiento normal de forma continua. Los inversores son menos eficientes cuando se utilizan a un porcentaje bajo de su capacidad. Por esta razón no es conveniente sobredimensionarlos, deben ser elegidos con una potencia lo más cercana posible a la de la carga de consumo.

La segunda forma de dimensionar el inversor es mediante la potencia de arranque. Algunos inversores pueden suministrar más de su capacidad nominal durante períodos cortos de tiempo. Esta capacidad es importante cuando se utilizan motores u otras cargas que requieren de 2 a 7 veces más potencia para arrancar que para permanecer en marcha una vez que han arrancado (motores de inducción, lámparas de gran potencia).

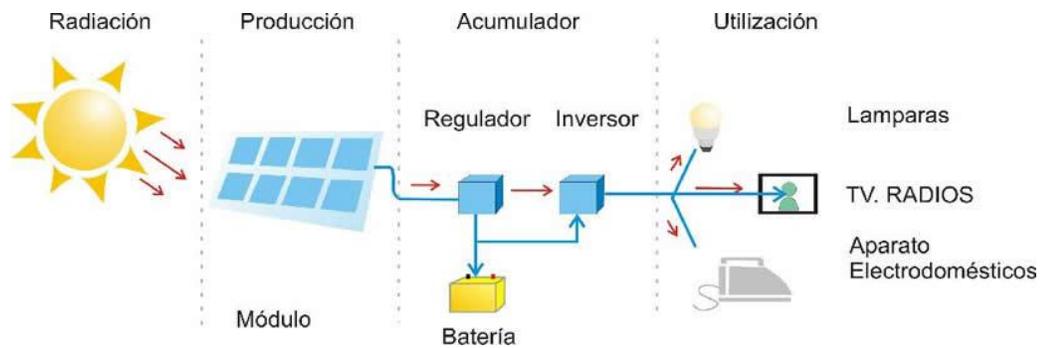


Fig.13 Diagrama de una instalación solar fotovoltaica con inversor

### **3 Eficiencia Energética en Sistemas de Alumbrado en Edificios No Residenciales.**

#### 3.1 Definiciones

Eficiencia energética: Para fines de esta Norma Oficial Mexicana, Es la que persigue obtener el máximo rendimiento de la energía consumida, a través del establecimiento de valores límite de la DPEA sin menoscabo del confort psicofisiológico de sus ocupantes.

Densidad de potencia eléctrica para alumbrado (DPEA): Índice de la carga conectada para alumbrado por superficie de construcción; se expresa en W/m<sup>2</sup>.

Carga total conectada para alumbrado: Es la suma de la potencia en watts, de todos los luminarios y sistemas de iluminación permanentemente instalados dentro de un edificio, para iluminación general, de acento, localizada, decorativa, etc., incluyendo la potencia del balastro.

Luminario: Equipo de iluminación que distribuye, filtra o controla la luz emitida por una lámpara o lámparas y el cual incluye todos los accesorios necesarios para fijar, proteger y operar estas lámparas y los necesarios para conectarlas al circuito de utilización eléctrica.

Sistema de alumbrado: Conjunto de equipos, aparatos y accesorios que ordenadamente relacionados entre sí, contribuyen a suministrar iluminación a una superficie o un espacio.

#### 3.2 Norma NOM-007-ENER-2004

Fue publicado en el Diario Oficial de la Federación el 15 de Abril del 2005 y entro en operación el 15 de Agosto de 2005.

### 3.2.1 Objetivo

Esta Norma Oficial Mexicana tiene por objeto:

- a) Establecer niveles de eficiencia energética en términos de Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado (DPEA) que deben cumplir los sistemas de alumbrado de edificios no residenciales nuevos, ampliaciones y modificaciones de los ya existentes, con el propósito de que sean proyectados y construidos haciendo un uso eficiente de la energía eléctrica, mediante la optimización de diseños y la utilización de equipos y tecnologías que incrementen la eficiencia energética sin menoscabo de los niveles de iluminancia requeridos.
- b) Establecer el método de cálculo para la determinación de la Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado (DPEA) de los sistemas de alumbrado de edificios nuevos no residenciales, ampliaciones y modificaciones de los ya existentes con el fin de verificar el cumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana.

### 3.2.2 Campo de Aplicación

El campo de aplicación de esta Norma Oficial Mexicana comprende los sistemas de alumbrado interior y exterior de los edificios no residenciales nuevos con carga total conectada para alumbrado mayor o igual a 3 kW; así como a las ampliaciones y modificaciones de los sistemas de alumbrado interior y exterior con carga conectada de alumbrado mayor o igual a 3 kW de los edificios existentes. En particular, los edificios cubiertos por la presente Norma Oficial Mexicana son aquellos cuyos usos autorizados en función de las principales actividades y tareas específicas que en ellos se desarrollen, queden comprendidos dentro de los siguientes tipos:

- a) Oficinas.
- b) Escuelas y demás centros docentes.
- c) Establecimientos comerciales.
- d) Hospitales.

- e) Hoteles.
- f) Restaurantes.
- g) Bodegas.
- h) Recreación y cultura.
- i) Talleres de servicio.
- j) Centrales de pasajeros.

Para ampliaciones o modificaciones de edificios no residenciales ya existentes, la aplicación de esta Norma queda restringida exclusivamente a los sistemas de alumbrado de dicha ampliación o modificación y no a las áreas construidas con anterioridad.

### 3.2.3 Excepciones

No se consideran dentro del campo de aplicación de esta Norma Oficial Mexicana a los sistemas de alumbrado que se instalen en los siguientes lugares:

- Centros de baile, discotecas y centros de recreación con efectos especiales de alumbrado.
- Áreas que se acondicionan temporalmente donde se adicionan equipos de alumbrado para exhibiciones, exposiciones, convenciones o se montan espectáculos.
- Tiendas y áreas de tiendas destinadas a la venta de equipos de alumbrado.
- Instalaciones destinadas a la demostración de principios luminotécnicos.
- Áreas de atención especializada en hospitales y clínicas.
- Edificaciones nuevas, ampliaciones y modificaciones que se localicen en zonas de patrimonio artístico y cultural, de acuerdo a la Ley Federal sobre Monumentos y Zonas Arqueológicas, Artísticas e Históricas o edificios catalogados y clasificados como patrimonio histórico según el INAH y el INBA.
- Sistemas de alumbrado de emergencia independientes.
- Equipos de alumbrado para señales de emergencia y evacuación.
- Equipos de alumbrado que formen parte integral de otros equipos, los cuales estén conectados a circuitos de fuerza o contactos.

- Equipos de alumbrado empleados para el calentamiento o preparación de alimentos.
- Anuncios luminosos y logos.
- Alumbrado de obstrucción para fines de navegación aérea.
- No se consideran en el alcance de esta Norma Oficial Mexicana otros tipos de edificios de uso diferente a los mencionados en el campo de aplicación de esta Norma Oficial Mexicana, tales como: salas de espera de centrales de pasajeros, edificios destinados a seguridad pública y nacional, naves industriales (área de proceso).
- Iluminación teatral (área de escenario).
- Iluminación destinada al crecimiento de plantas o animales para alimentación o investigación.

### 3.2.4 Especificaciones

Los valores de Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado (DPEA) que deben cumplir los sistemas de alumbrado interior de los edificios indicados en el campo de aplicación de la presente Norma Oficial Mexicana, no deben exceder los valores indicados en la Tabla 6.

Tabla 6 Densidades de Potencia Eléctrica para Alumbrado (DPEA)

<b>Tipo de Edificio</b>	<b>DPEA (W/m<sup>2</sup>)</b>
<b>Oficinas</b>	
Oficinas	14
<b>Escuelas y demás centros docentes</b>	
Escuelas o instituciones educativas	16
Bibliotecas	16
<b>Establecimientos Comerciales</b>	
Tiendas autoservicio, departamentales y de especialidades	20
<b>Hospitales</b>	
Hospitales, sanatorios y clínicas	17
<b>Hoteles</b>	
Hoteles	18
Moteles	22
<b>Restaurantes</b>	
Bares	16

Cafeterías y venta de comida rápida	19
Restaurantes	20
<b>Bodegas</b>	
Bodegas o áreas de almacenamiento	13
<b>Recreación y Cultura</b>	
Salas de Cine	17
Teatros	16
Centro de Convenciones	15
Gimnasio y centros deportivos	16
Museos	17
Templos	24
<b>Talleres de Servicio</b>	
Talleres de Servicio para automóviles	16
Talleres	27
<b>Carga y Pasaje</b>	
Centrales y terminales de transporte de carga	13
Centrales y terminales de transporte de pasajeros, aéreas y terrestres	

### 3.2.5 Método de Cálculo

#### Consideraciones generales

La determinación de las DPEA del sistema de alumbrado de un edificio no residencial nuevo, ampliación o modificación de alguno ya existente, de los tipos cubiertos por la presente Norma Oficial Mexicana, deben ser calculados a partir de la carga total conectada de alumbrado y el área total por iluminar de acuerdo a la metodología indicada a continuación. La expresión genérica para el cálculo de la Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado (DPEA) es:

$$DPEA = \frac{\text{Carga total conectada para alumbrado}}{\text{Área total iluminada}}$$

Donde la Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado (DPEA) está expresada en W/m<sup>2</sup>, la carga total conectada para alumbrado está expresada en watts y el área total iluminada está expresada en metro cuadrado.

Se considerará que la instalación cumple con lo establecido por esta Norma Oficial Mexicana sí la eficacia de la fuente de iluminación es igual o mayor a lo indicado en tabla anterior y las DPEA calculadas son iguales o menores que los valores límites establecidos para cada uso del edificio analizado.

#### CALCULO DE DPEA PARA LA SALA 3 DEL MUSEO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE CHIAPAS

$$DPEA = \frac{\text{Carga total conectada para alumbrado}}{\text{Área total iluminada}}$$

$$DPEA = \frac{12 \text{ KW}}{1123.14 \text{ m}^2} = 10.68 \text{ W/m}^2$$

Por lo tanto si esta dentro de la norma indicada en la tabla 6

## 4 PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCION DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS

### 4.1 Medición de Parámetros Actuales

Para fines de cálculos del sistema como del consumo real de las lámparas, se midió las cargas de la sala en un día normal de visita, Obteniendo los siguientes datos:

Tabla 7 Medición de Cargas

<b>Cargas Generales</b>		<b>Ampéres</b>	<b>Volts</b>	<b>Watts</b>
1	Barras de dicroicos lado sur-poniente	11.51	125	1438.75
2	Barras de dicroicos lado norte-orientado	10.39	125	1298.75
3	Dicroicos en muro (maíz)	3.75	125	468.75
4	Lámparas de servicio	0	0	0
5	Proyector laser, maquinaria (lado Norte)	0.4	125	50
6	Lámparas de servicio	0	0	0
7	Alumbrado sótano	0	0	0
8	Alumbrado sótano	0	0	0
9	Mamparas inteligentes, pantalla pozol, el mundo se comunica	11.67	125	1458.75
10	Mamparas comunicaciones y herramientas, ¿Por qué vemos en 3 dimensiones? Dicroicos	5.1	125	637.5
11	Mamparas ciudad espacial, el equilibrio ideal, proyector bicicleta, CPU	13.84	125	1730
12	Mamparas los satélites, silla giratoria, el átomo, aplicaciones de la nanotecnología	14.1	125	1762.5
13	Botonera de estaciones, proyector lado poniente	0.5	125	62.5
14	Alumbrado sótano	0	0	0
15	Del gruñido a la información	2.1	125	262.5
16	Mamparas (de la rueda a las sondas espaciales y del hacha a la nanotecnología)	7.1	125	887.5
17	Bases satelitales	2.2	125	275
18	Antenas parabólicas, 1 pantalla de nanotecnología	3.7	125	462.5
19	Células en acción, mamparas pantalla	7.3	125	912.5
20	Sala de 3d	4.86	125	607.5
Totales		98.52	Amperes	12.32 KW/h
	<b>Línea</b>	<b>Ampéres</b>	<b>Volts</b>	<b>Watt</b>
	1	33.9	125	4237.5
	2	35.4	125	4425
	3	29.7	125	3712.5
			Total	12.38 KW/h

Se hace presente una diferencia de la medición por cargas independientes con la medición a la salida del regulador principal de las líneas hacia las cargas dado a los posibles errores de paralaje ya que es una red de media tensión y se calculo la corriente con un multímetro de gancho por medio del efecto hall. Se propusieron 40 puntos estratégicos a distancia mínima de 1 metro<sup>2</sup> para obtener la temperatura con respecto a la iluminación y el impacto que esta provoca.

Tabla 8 Medición de Luxes y Temperatura

Muestra N.	Cant. De luz (lux)	Temp. (°C)
1	18.4	23
2	26.8	23
3	32.9	23
4	64.8	24
5	18	25
6	41	25
7	43	25
8	26	25
9	257	26
10	100	26
11	184	26
12	150	26
13	83	27
14	89	27
15	146	27
16	236	28
17	256	27
18	484	28
19	337	28
20	90	30
21	95	30
22	87	30
23	71	30
24	27	30
25	25	30
26	39	30
27	32	30
28	64	30
29	62	30
30	96	28

Temp. Promedio en la sala	
27.73	°C

Iluminación promedio	
102.47	Lux

31	120	27
32	85	30
33	54	31
34	48	31
35	69	30
36	136	28
37	166	28
38	47	28
39	29	28
40	64	31



#### 4.2.2 Cantidad de Luz, Luxes

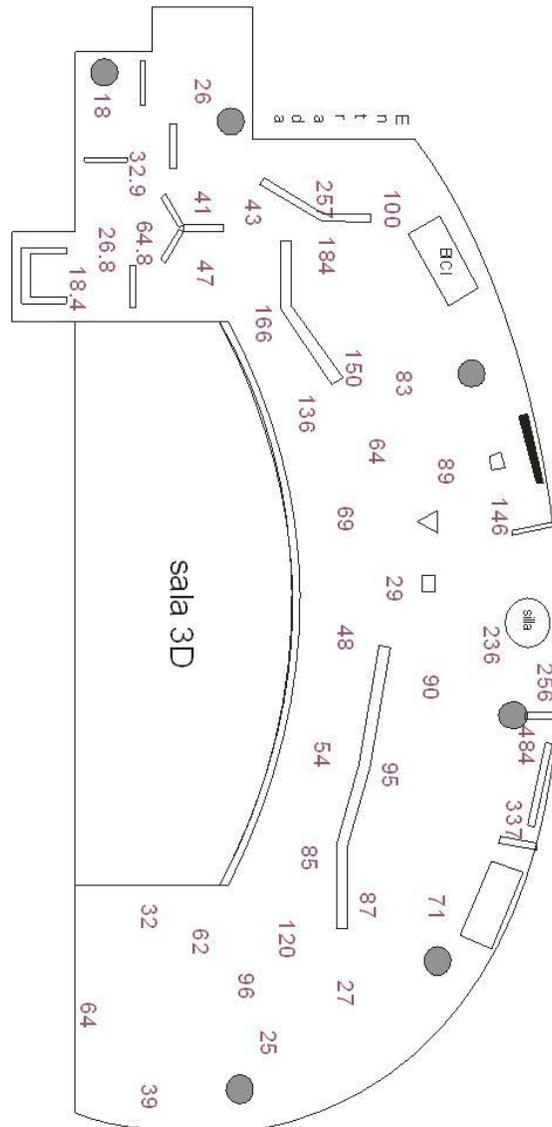


Fig. 15 Cantidad de Luz, Luxes



### 4.3 Lámparas Actuales

4.3.1 Las lámparas utilizadas en el museo son las siguientes:

Lámparas tipo Dicroicas:

78 lámparas MR16, 12 V de AC, 38°



Fig. 17 Ejemplo de Lámparas Dicroicas

Lámparas Fluorescentes:

Se cuenta con 15 torres en los cuales se cuenta con 6 lámparas lineales de 1.2 mts. de 32W con balastos a 127V de AC.

15 torres x 6 lámparas lineales = 90 lámparas lineales.

**Total de 90 lámparas lineales con sus respectivos balastos 2x32 para cada torre.**

Se cuenta con 15 partes inferiores de las mamparas con 6 lámparas en U de 32W con balastos a 127V de AC

15 partes inferiores x 6 lámparas en U = 90 lámparas en U.

**Total de 90 lámparas en U con sus respectivos balastos 2x32 para todas las partes inferiores.**



Fig. 18 Ejemplo de Torres y Partes Inferiores de las mamparas

### Partes Circulares

8 lámparas grandes de 1.2 mts de 32W.

12 lámparas medianas de 0.90 mts de 25W.

4 lámparas chicas de 0.60 mts de 20W.

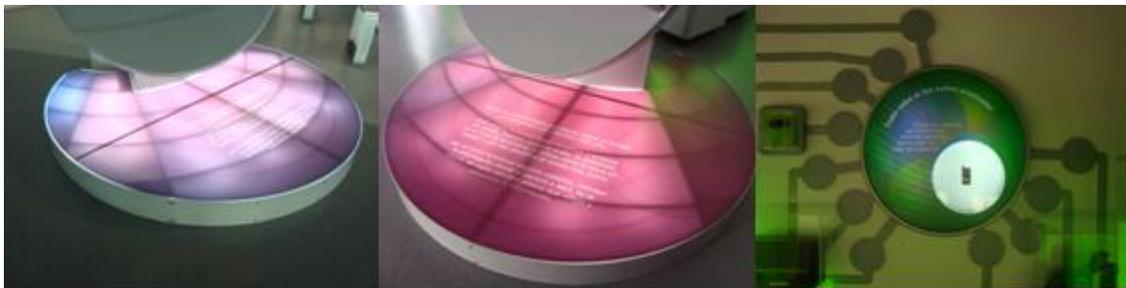


Fig. 19 Ejemplo de las Partes Circulares

### Mamparas con letras

6 letreros x 3 secciones de 4 lámparas en U de 32W con balastos a 127V de AC = 18 partes.

18 partes x 4 lámparas = 72 lámparas en U.

**Total de 72 lámparas en U con sus respectivos balastos 2x32 para todas las partes iluminadas con letras.**



Fig. 20 Ejemplo de las Mamparas con letras

#### 4.4 Tipos de Carga Actuales

El horario de servicio al público en general es de las 9 hrs a las 17hrs sienta 8 horas diarias de martes de domingo.

La carga general de la sala incluye CPU, pantallas, proyectores, lámparas, reproductores de DVD

Carga General	
12.32	KW/h
98.52	KW/día
3054.12	KW/Mensual

La carga de las lámparas es:

Carga de Dicroicas	
3.84	KW/h
0.75	KW/día

953.25 | KW/Mensual

Carga de Fluorescentes

7.29	KW/h
58.31	KW/día
1807.61	KW/Mensual

Y como misceláneos:

Carga de Misceláneos

1.18	KW/h
9.46	KW/día
293.26	KW/Mensual

Ahora sabemos que más del 80% de la carga general está basada en la iluminación

## 4.5 Diseño de Iluminación

### 4.5.1 Lámparas Propuestas

Dicroica de LEDs

Características Físicas

Dimensiones	Ø50*H51mm
Base	GU5.3
Cubierta	Aluminio
Uso	Interior
Tiempo de Vida	50,000 horas

Características Ópticas

Intensidad Luminosa	70lm por LED
Lúmenes Pieza	170 lm / 210 lm
Eficiencia	45 lm/w
Temperatura de Color	3500 K / 6500 K
Angulo de Apertura	40 Grados

Características Eléctricas

Fuentes de Iluminación	LEDs SMD
Cantidad de LEDs	3
Voltaje de Operación	12 VCA
Frecuencia	50 – 60 Hz
Corriente de Operación	33 mA
Consumo de Energía	3 W
Temperatura de Funcionamiento	Max. 50 °C
Temperatura de Operación	-25 °C a 40 °C

## Lámpara Lineal

### Características Físicas

Dimensiones	Ø30*L1200mm
Base	G13 (T8)
Cubierta	PVC
Uso	Interior
Tiempo de Vida	100,000 horas

### Características Ópticas

Intensidad Luminosa	6000 mcd por LED
Lúmenes Pieza	1160 lm / 1260 lm
Eficiencia	85 lm/w
Temperatura de Color	3500 K / 6500 K
Angulo de Apertura	120 Grados

### Características Eléctricas

Fuentes de Iluminación	LEDs de Alta Intensidad
Cantidad de LEDs	276
Voltaje de Operación	127 VCA
Frecuencia	50 – 60 Hz
Corriente de Operación	23 mA
Consumo de Energía	14.5 W
Temperatura de Funcionamiento	Max. 20 °C
Temperatura de Operación	-25 °C a 40 °C

## 4.5.2 Las luminarias

### La distribución luminosa

La más importante de las funciones que cumple una luminaria es la de “modificar” la distribución del flujo luminoso que emana de la fuente a la cual contiene. Así podrá convertirse en un proyector, haciendo que la emisión sea fuertemente concentrada, o en difusora, y apantallar las lámparas ocultándolas del ángulo de visión para evitar el deslumbramiento. Por la forma en que las luminarias distribuyen el flujo luminoso, se clasifican básicamente en seis grupos:

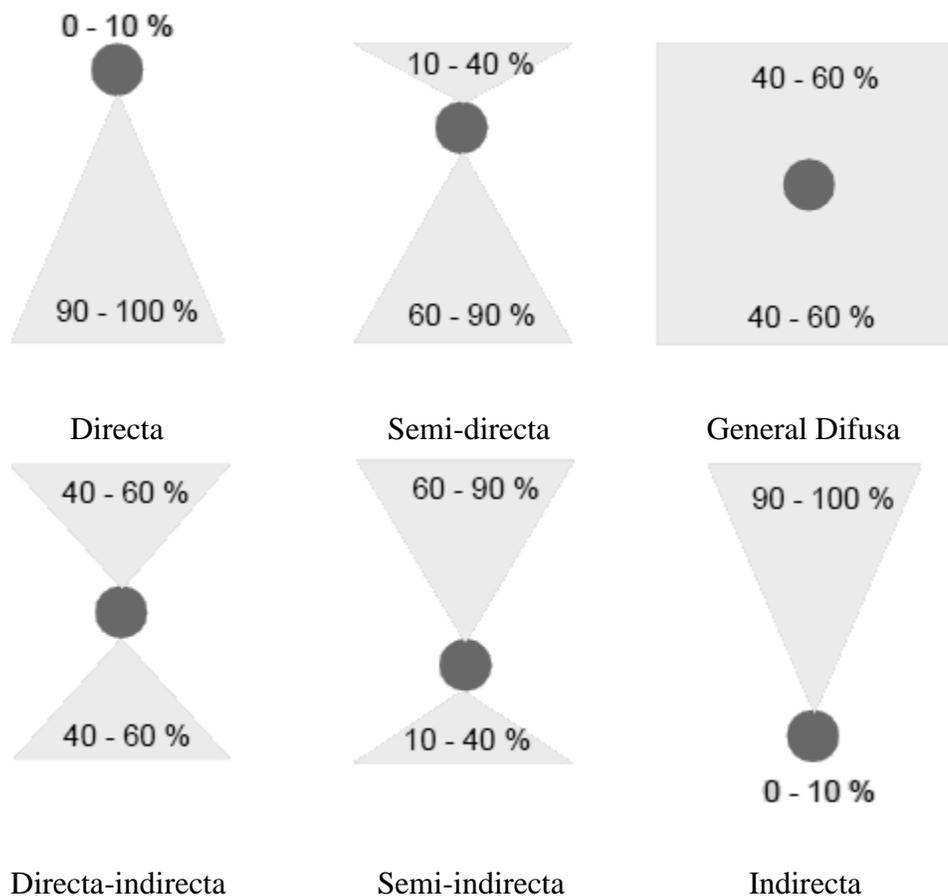


Fig. 21 La distribución luminosa

#### 4.5.3 Ley de la inversa de los cuadrados

“La iluminación es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia existente entre la fuente de luz y la superficie iluminada”.

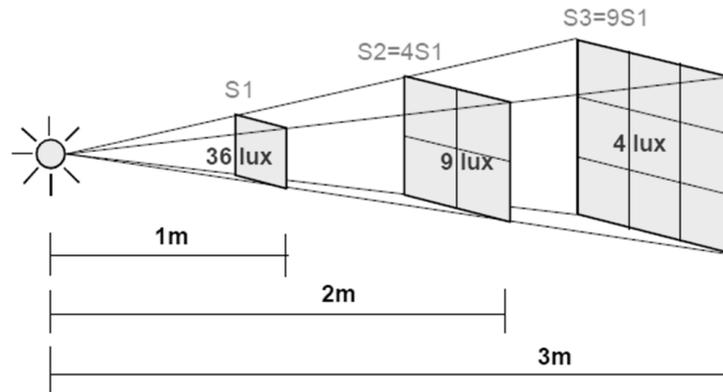


Fig. 22 Inversa de los Cuadrados

$$E = \frac{1}{D^2}$$

#### 4.5.4 Ley del coseno

“La iluminación es proporcional al coseno del ángulo de incidencia” (este ángulo es el formado por la dirección del rayo incidente y la normal a la superficie en el punto de incidencia P).

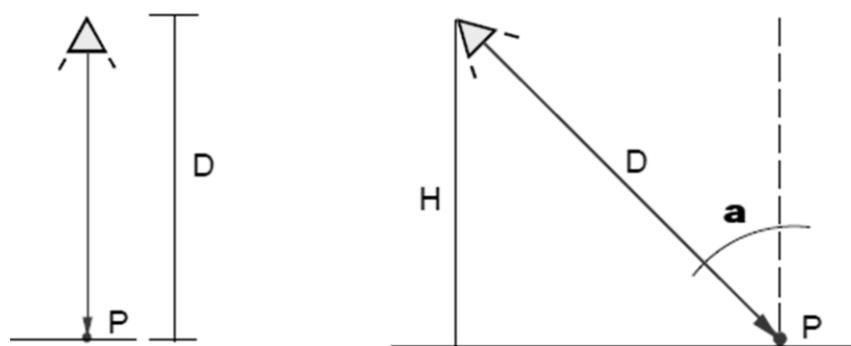


Fig. 23 Ley de cosenos

$$E = \frac{1}{D^2} \times \cos a$$

Esta fórmula también puede expresarse de la siguiente manera:

$$E = \frac{1}{H^2} \times \cos^3 a$$

Para superficies verticales será:

$$E = \frac{1}{D^2} \times \text{sen } a \quad \text{ó} \quad E = \frac{1}{H^2} \times \cos^2 a \times \text{sen } a$$

#### 4.5.5 Punto por Punto

Para aplicar este método, se deberá conocer la forma en que la luminaria distribuye el flujo luminoso que emite la fuente de luz (“Curva de distribución luminosa”) y verificar que se cumpla la “Ley de la inversa de los cuadrados”.

Las fórmulas para el cálculo del nivel de iluminación en un punto de una superficie horizontal ó vertical, son básicamente las que se han visto al tratar la “Ley del coseno”.

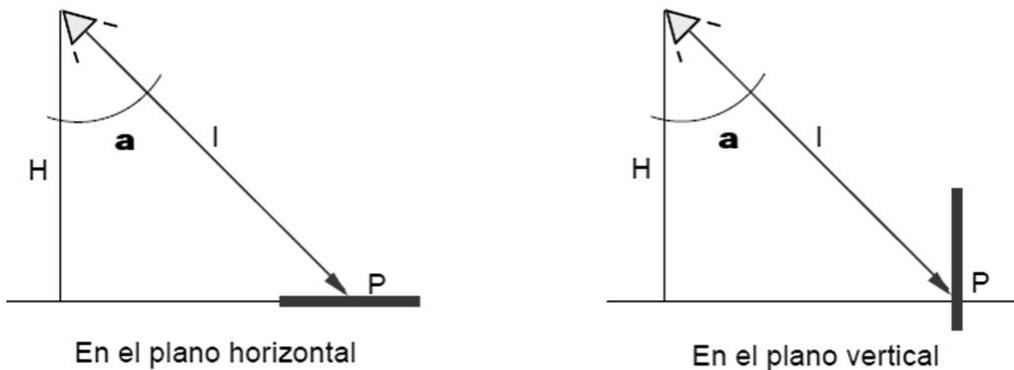


Fig. 24 Punto por Punto

$$E_{ph} = \frac{1}{H^2} \times \cos^3 a$$

$$E_{pv} = \frac{1}{H^2} \times \cos^2 a \times \text{sen } a$$

Donde:

$E_{ph}$  = Nivel de iluminación en un punto de una superficie horizontal (en Lux)

$E_{pv}$  = Nivel de iluminación en un punto de una superficie vertical (en lux)

$I$  = Intensidad luminosa en una dirección dada (en candelas)

$H$  = Altura de montaje de la luminaria normal al plano horizontal que contiene al punto

$a$  = Angulo formado por el rayo de luz y la vertical que pasa por la luminaria

#### 4.5.6 Calcular el ángulo

Calcular que ángulo de apertura de haz deberá tener una fuente de luz puntual de simetría rotacional para iluminar un objeto determinado conociendo el diámetro del círculo que se desea obtener y la distancia de la fuente a dicho objeto.

En todo triángulo rectángulo, la tangente de un ángulo es igual al cateto opuesto dividido el cateto adyacente, es decir

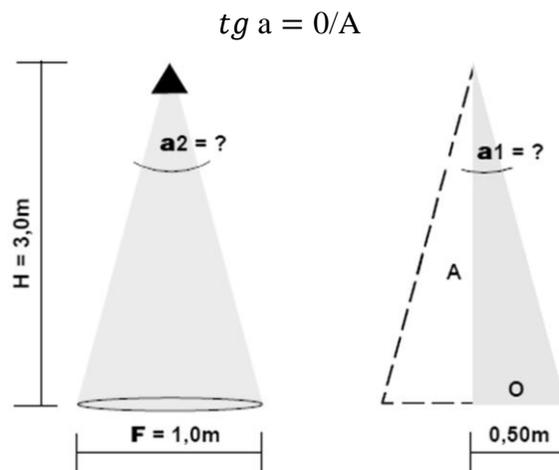


Fig. 25 Calculo del Angulo

$$tg a_1 = 0.5/3 = 0.166$$

Consultando la tabla de valores de las funciones trigonométricas se encontrará que la  $tg = 0.166$  corresponde a un ángulo de aproximadamente  $9,5^\circ$ . Multiplicando por 2, se tendrá que el ángulo de la fuente de luz deberá ser de  $a_2 = 19^\circ$

#### 4.5.7 Calcular el círculo

Calcular el diámetro del círculo que describirá el haz de una fuente de luz puntual de simetría rotacional sobre un objeto determinado conociendo el ángulo del haz de dicha fuente y la distancia al objeto.

En todo triángulo rectángulo, el cateto opuesto es igual a la tangente del ángulo por el cateto adyacente, es decir

$$O = \text{tg } \alpha \times A$$

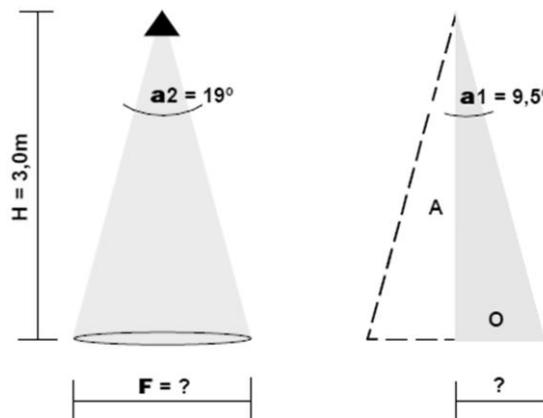


Fig. 26 Calcular el Círculo

Consultando la tabla de valores de las funciones trigonométricas se encontrará que la tg de  $9,5^\circ$  es aproximadamente 0.166, por lo tanto

$$O = 0.166 \times 3.0\text{m} = 0.498\text{m}$$

Multiplicando por 2

Se tendrá que el diámetro del círculo del haz será de  $0.498 \times 2 = \mathbf{0.996\text{m}}$

#### 4.5.8 Calcular la distancia

Calcular a qué distancia se deberá colocar una fuente de luz puntual de simetría rotacional para iluminar un objeto determinado, conociendo el ángulo de apertura del haz de dicha fuente y el diámetro del círculo que se desea obtener. En todo triángulo rectángulo, el cateto adyacente es igual al cateto opuesto dividido la tangente del ángulo

$$A = \frac{O}{\operatorname{tg} a_1}$$

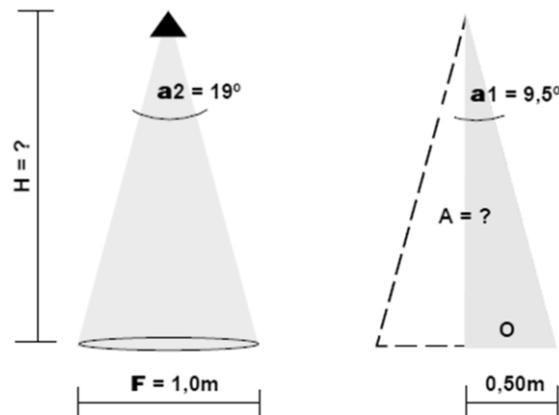


Fig. 27 Distancia

Consultando la tabla de valores de las funciones trigonométricas se encontrará que la  $\operatorname{tg}$  de  $9,5^\circ$  es aproximadamente 0.166, por lo tanto  $A = \frac{0.5}{0.166} = 3 \text{ m}$

La distancia al objeto deberá ser de 3,0m

#### 4.5.9 Fórmulas Trigonómicas

$$\text{Seno } \mathbf{a} = \frac{\mathbf{O}}{\mathbf{R}}$$

$$\text{Coseno } \mathbf{a} = \frac{\mathbf{A}}{\mathbf{R}}$$

$$\text{Tangente } \mathbf{a} = \frac{\mathbf{O}}{\mathbf{A}}$$

$$\text{Cotangente } \mathbf{a} = \frac{\mathbf{A}}{\mathbf{O}}$$

$$\text{Secante } \mathbf{a} = \frac{\mathbf{R}}{\mathbf{A}}$$

$$\text{Cosecante } \mathbf{a} = \frac{\mathbf{R}}{\mathbf{O}}$$

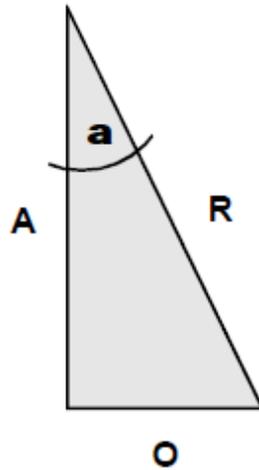


Fig. 28 Trigonómicas

## 4.6 Mamparas Iluminadas

Torres

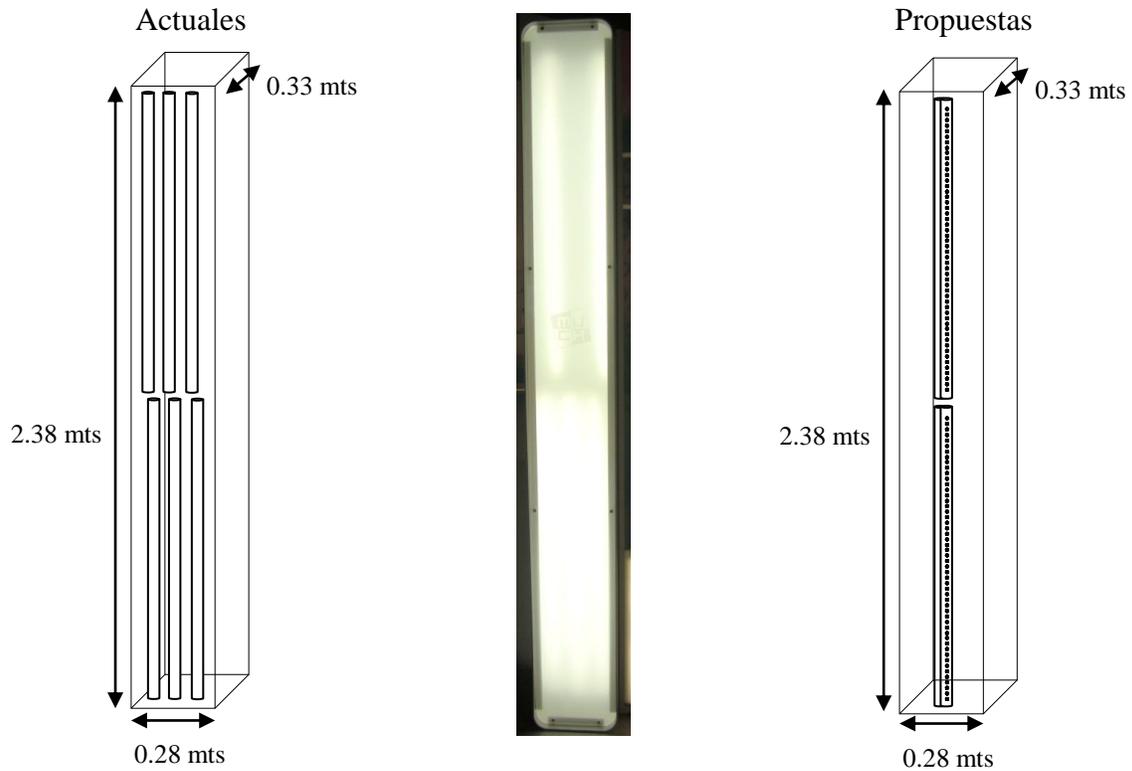


Figura 29. Descripción de la mampara

En estos diagramas se muestra como pretendemos diseñar la sustitución de lámparas actualmente cada torre cuenta con 6 lámparas fluorescentes ya que el haz de luz es de 360° e iluminan ambos lados a diferencia de las lámparas LEDs que están tiene un haz de luz de 120° grados, por lo tanto se utilizarían 4 lámparas, 2 de cada lado, es importante aclarar que no todas las torres necesitan iluminarse de ambos lados.

Parte de abajo de las mamparas

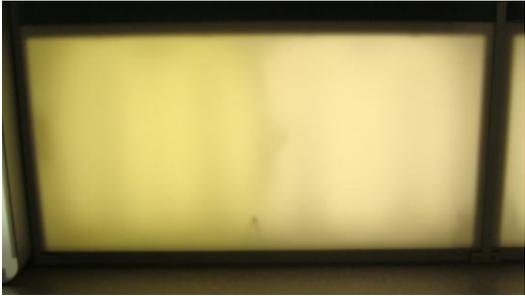
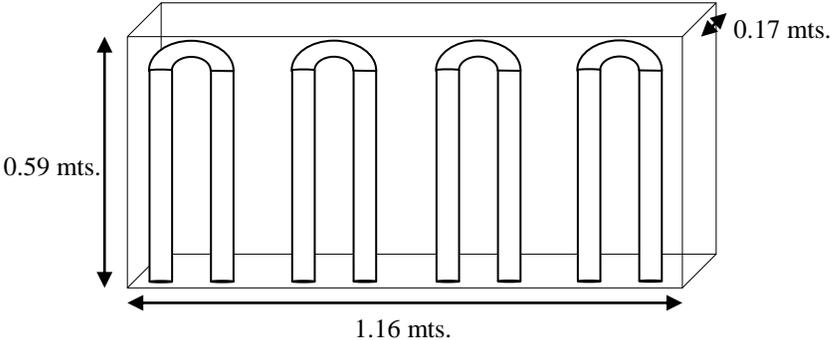
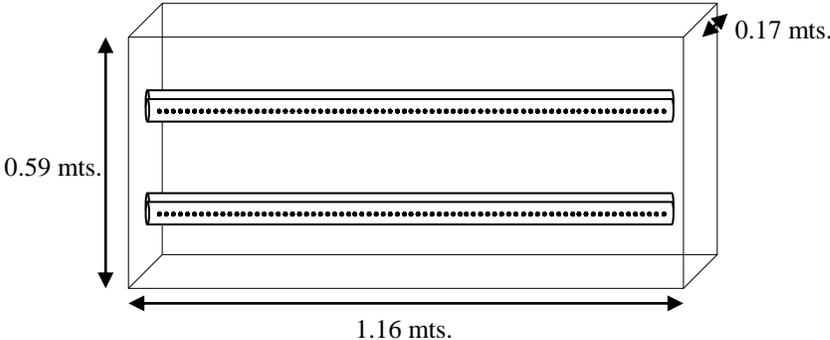


Figura 30. Mampara inferior

Actuales



Propuesta



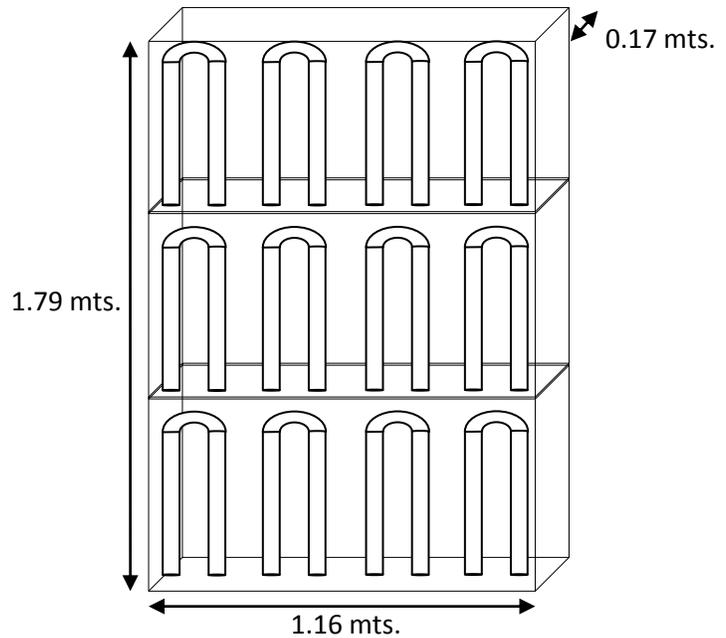
De igual forma en estos diagramas se muestra como pretendemos diseñar la sustitución de lámparas actualmente esta parte inferior de las mamparas cuenta con 4 lámparas fluorescentes en U y el haz de luz es de  $360^\circ$  e ilumina de ambos lados a diferencia de las lámparas LEDs que están tiene un haz de luz de  $120^\circ$  grados, por lo tanto se utilizarían 4 lámparas, 2 de cada lado, es importante aclarar que no todas las partes inferiores necesitan iluminarse de ambos lados.

## Mampara con letras

### Actuales



Figura 31. Mampara 1



### Propuestas

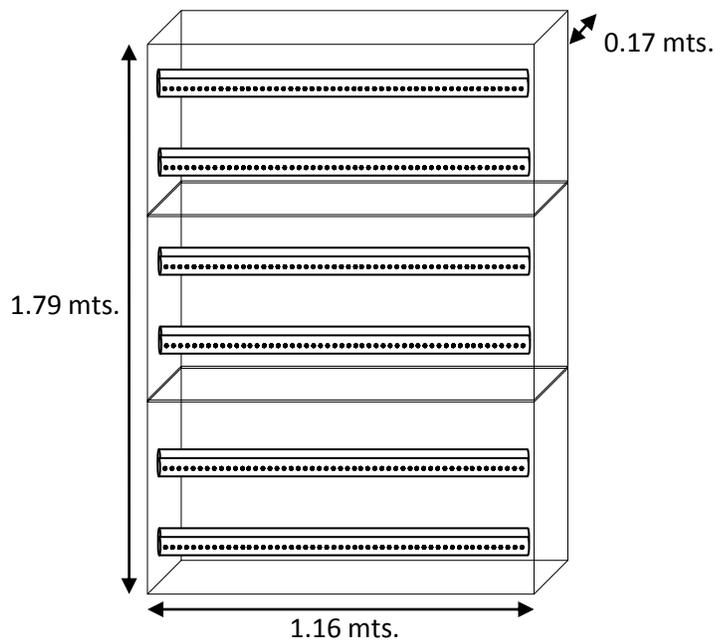


Figura 32. Mampara "maquinas"

Este es el mismo diseño que el de las partes inferiores

En los siguientes diagramas el diseño será el mismo, lámpara por lámpara será la sustitución.

### Antenas

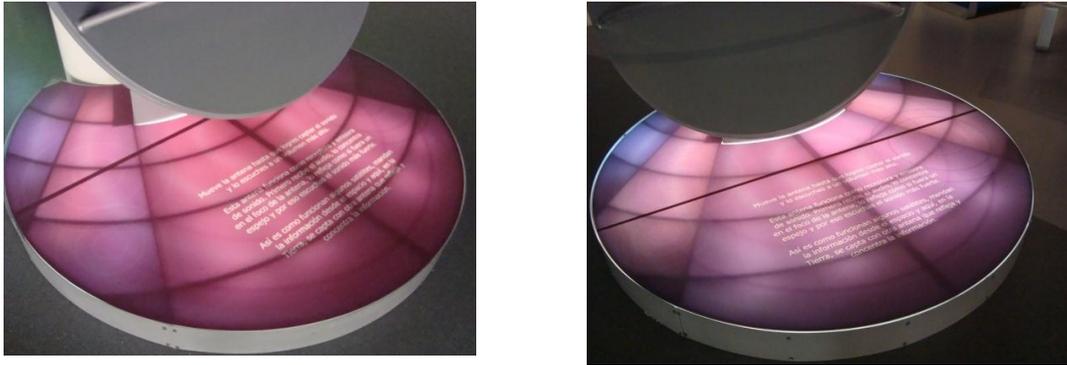


Figura 33. Mampara “satélites”

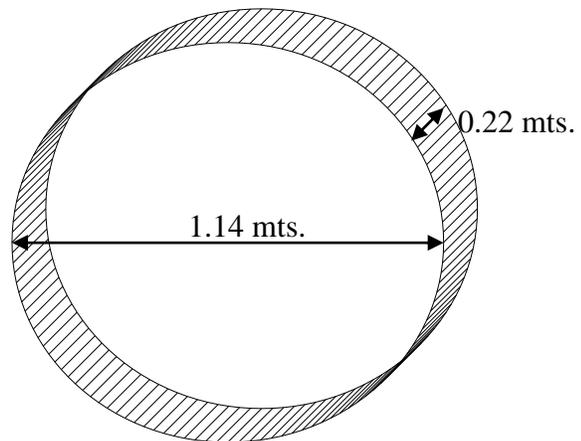
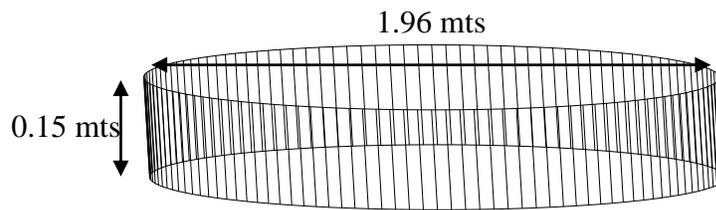


Figura 34. Mampara en pared



Figura 35. Mamparas dimensión 3d

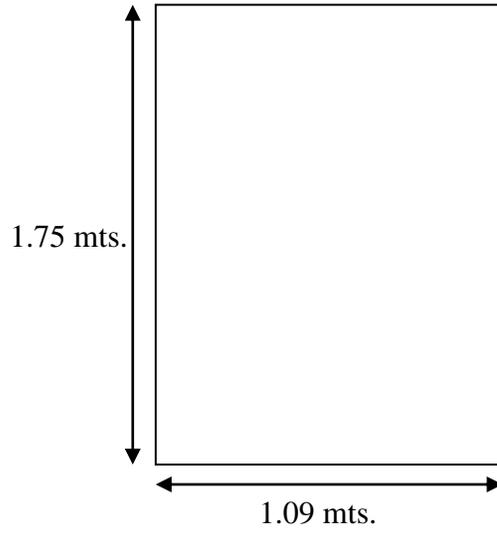




Figura 36 mampara maíz

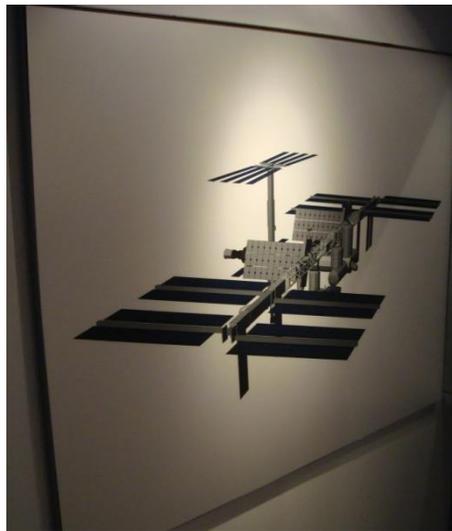
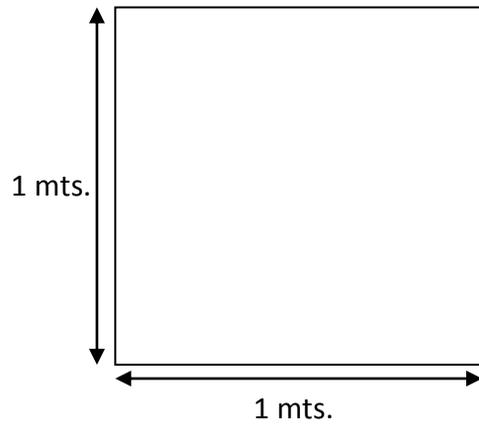
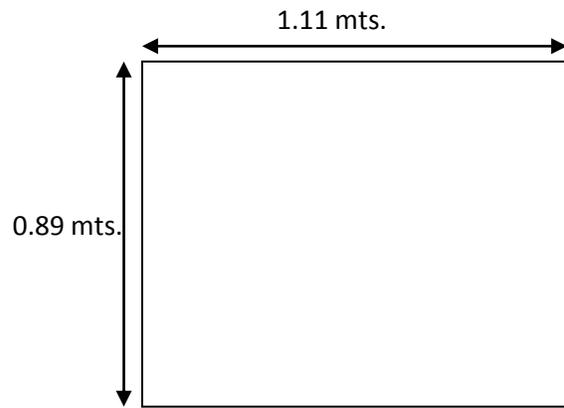


Figura 37 mampara "satélite"



## 5 RESULTADO, PLANOS, GRAFICAS, PROTOTIPOS Y PROGRAMAS

### 5.1 COSTOS FACTURABLES

El cargo de facturación incluye las tres salas del museo, mantenimiento, talleres y el área administrativa, y se tiene una Tarifa H-M.

Tabla 9 Costos de Octubre 2009

	Precio			
	Total	unitario	Cargo por energía	
Base KW	10,154	\$0.66880	Demanda facturable	\$42,756.91
Intermedia KW	42,814	\$0.80390	Cargo fact de potencia	\$21,981.96
Punta KW	997	\$1.55240	Subtotal	\$4,334.80
Demanda facturable	143	\$153.72000	IVA 15%	\$69,073.67
			Total	\$10,361.05
				\$79,434.72

Calculando el cargo promedio obtenemos que es de \$1.2792 por Kw/Hora y respetando los datos de facturación obtenemos un concentrado de costos.

Horas de Servicio		Días de Servicio		
8	hrs/día	Días Facturados	Inhábiles	Laborales
48	hrs/semana	31	5	26

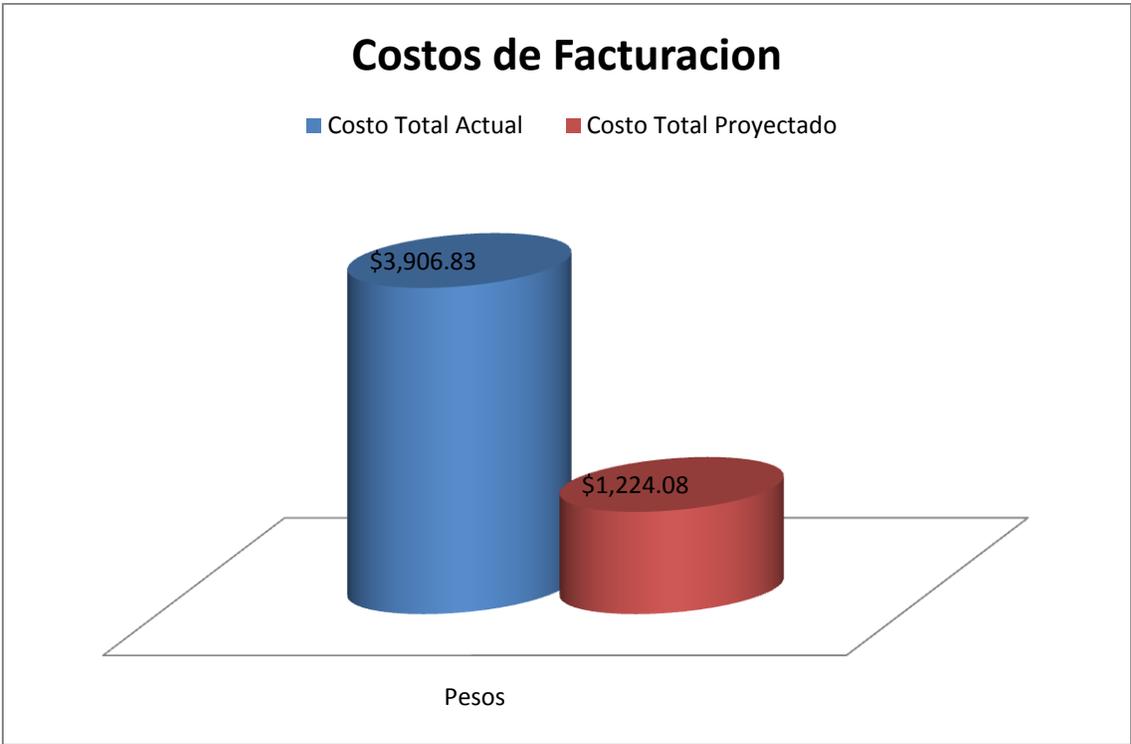
Carga General		
12.32	KW/h	Costo Total Mensual
98.52	KW/día	\$3,906.83 pesos
3054.12	KW/Mensual	

Carga de Dicroicas		Costo Dicroicas Mensual
3.84	KW/h	\$1,219.40 pesos
30.75	KW/día	a la carga total
953.25	KW/Mensual	31.21% de costo

Carga de Fluorescentes		Costo Fluorescentes Mensual
7.29	KW/h	\$2,312.29 pesos
58.31	KW/día	a la carga total
1807.61	KW/Mensual	59.19% de costo

Carga de Misceláneos		Costo Misceláneos Mensual
1.18	KW/h	\$375.14 pesos
9.46	KW/día	a la carga total
293.26	KW/Mensual	9.60% de costo

Como se observa, la mayoría de las cargas está basada en la iluminación, obteniéndose que más del 80% de costo total de la sala es por iluminación. el tipo de lámparas afecta directamente al aumento de la temperatura interior de la sala en ciertas partes en donde están conglomeradas dando trabajo extra al sistema de aire acondicionado.



Grafica 1. Costos de Facturación

## 5.2 Diseño del Sistema Fotovoltaico

### 5.2.1 Irradiación Solar

El Panel al estar fijo recibe los Rayos del Sol inclinados al amanecer, aumentando el ángulo durante la mañana para recibirlos perpendicularmente al mediodía para luego ir disminuyendo durante el atardecer. Durante todo el día el panel recibe una Insolación Variable que va aumentando y disminuyendo progresivamente. Esa Insolación varía desde los 0 Watts hasta llegar a los 1000 w al mediodía para luego ir decreciendo a 0 W. El día Solar tiene generalmente unas 12 horas, pero de esas horas aproximadamente la mitad tienen Máxima Insolación o Luminosidad. (IM) generalmente entre las 10.00 a 16.00 Hs. Cada Área Geográfica de la Tierra tiene un valor medido en Horas de Máxima Insolación a 1000 Watts por m<sup>2</sup>. Una forma de obtener el promedio de la irradiación solar nos lo proporciona la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía en el cual proyecta esos datos en el programa CONAEFV2.0T.

#### Irradiación global media

Datos en kWh/m<sup>2</sup>-día

Estado	Ciudad	Ene	Feb	Mar	Ab r	May	Ju n	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Min	Max	Med
Chiapas	Tuxtla Gutiérrez	3.8	4.4	4.6	4.8	5.3	5.1	5.4	5.3	4.9	4.4	4.1	3.7	3.7	5.4	4.7

Datos generales		Radiación horizontal (MJ/m <sup>2</sup> -día)		Radiación proyectada (MJ/m <sup>2</sup> -día)		Horas de sol máximo (h)		Producción diaria (Ah-día)																	
Ciudad:	Tuxtla Gutiérrez	Enero	13.7	Febrero	15.3	Marzo	16.6	Abril	17.3	Mayo	18.9	Junio	18.2	Julio	19.6	Agosto	19.2	Septiembre	17.7	Octubre	16	Noviembre	14.8	Diciembre	13.2
Latitud (grados):	16.7																								
Inclinación del arreglo (+ al sur):	16.70																								
Arreglo actualizado																									
Módulo:	Uni-Solar US-05																								
Horas de sol máximo (h):	4.49																								
Módulos por serie:	1																								
Número de series:	0																								
Potencia total instalada (W):	0																								
Voltaje nominal del arreglo (V):	12																								
Corriente del arreglo (A):	0																								
Precio aproximado (USD)	0																								

Fig. 38 Calculo de Irradiación

En el servidor de HELIOGIS, una página en pro de proyectos para el aprovechamiento de las energías renovables se puede encontrar estos datos, HELIOGIS es una página que engloba la información de diferentes servidores como en de la NASA, pudiendo escoger de diferentes datos, se busca la ubicación y se obtiene la irradiación.

Datos en Wh/m<sup>2</sup>-día

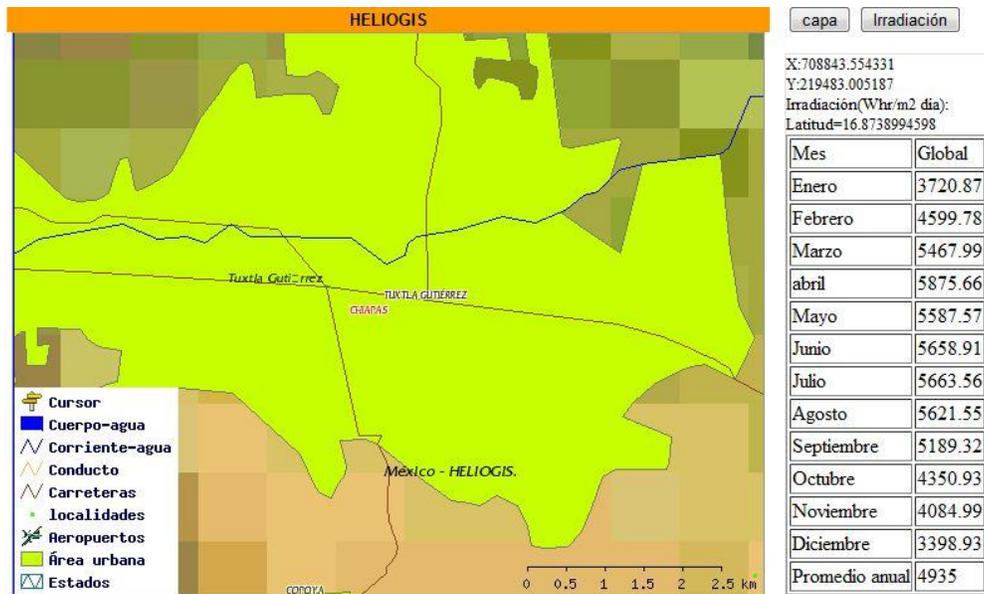


Fig. 39 Irradiación Tuxtla

### 5.2.2 Ubicación, Orientación e Inclinación del panel solar

**UBICACIÓN.** Para obtener el mejor Rendimiento colocarlos en lugares donde no haya obstáculos que produzcan sombras en el horario de luminosidad pico.

**ORIENTACIÓN.** Enfrentar el panel hacia el Norte. En áreas con obstáculos montañosos, buscar la media entre la salida del sol y su puesta.

**INCLINACIÓN.** El sol está bajo en los meses de (1) Otoño e Invierno y, alto en (2) Primavera y Verano. Por ello conviene cambiar la inclinación siempre agregándole 10 Grados a la latitud del lugar. Puede ser efectuado 4 veces al año. Optimizando estos 3 parámetros, se obtendrá el mejor rendimiento energético.

Los paneles solares siempre que sea posible deben orientarse hacia el sur, en el caso de México y su inclinación debe ser aproximadamente igual a la latitud del lugar y esta se incrementara en 15° grados para maximizar la energía captada en épocas invernales, en las que el consumo es normalmente mayor y las horas de radiación y la altura solar es menor.

En el caso de nuestro, el museo tiene una latitud de 13,43° con lo que los datos serían los siguientes:

-Orientación: sur, al poder ser 0° grados.

-Inclinación:  $\text{latitud} + 15^\circ = 13,43^\circ + 15^\circ = 28,43^\circ$  grados.

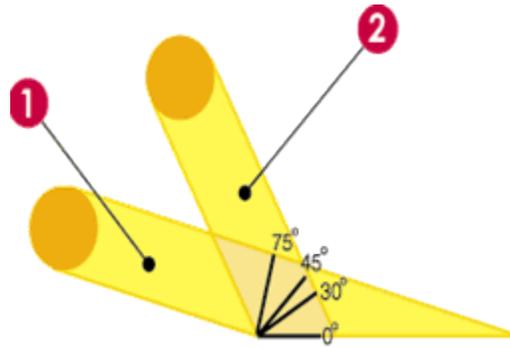


Fig. 40 Posición del panel

### 5.2.3 Cálculo para el sistema fotovoltaico

#### Cálculo de la corriente requerida

	W	Hrs de uso	total
carga	2676	8	21408 Watts-Hora/Día

#### Carga total diaria

21408 Watts-Hora/Día

#### Tensión del sistema

12 Volts

#### Carga diaria

##### corriente

1784.00 Amperes/Hora

#### Factor de seguridad 20% (perdidas de batería y componentes)

1.2

#### Carga diaria corriente

##### corregida

2140.8 Amperes/Hora

#### Promedio de horas de sol por día

5 Horas

#### Amperaje que el sistema tendrá que producir

**428.16 Amperes**

#### Cálculo de número de paneles

##### Amperaje Max. Del Modulo (según fabricante)

11.66 Amperes

##### Numero de módulos necesarios

36.72041166 Módulos

**37 Módulos**

#### Cálculo de número de baterías

##### Carga total diaria

2140.8 Amperes/Hora

##### Días de reserva

1 Días

Capacidad nominal del banco de baterías

2140.8 Amperes/Hora

Factor de profundidad de descarga ( 20% reserva de baterías)

0.8

Capacidad corregida del banco de baterías

2676 Amperes/Hora

Capacidad Nominal de batería (según fabricante)

357 Amperes/Hora

Numero de baterías

7.495798319 baterías

**8 baterías**

### 5.3 Propuestas de Inversión

#### 5.3.1 Bufete Industrial para el Ahorro de Energía S. A. de C. V.

Mar de la tranquilidad N. 8, Fraccionamiento Los olivos. Del. Coyoacán

04890, México, D.F. R.F.C.: MAI-861127-UU3

Tel: (55)5678-58954

Tabla 10 Propuesta MR16 Dicroicas BIAE

Descripción	Piezas	Precio Uni MXN	Total
Lámpara LED Tipo Dicroica High Power MR16, 3 LEDs, Color Blanco Frio, 12VAC, 3 Watts. Número de parte <b>MR16-HP3x1-2</b>	84	337.4	\$28,341.60
		Subtotal	\$28,341.60
		IVA	\$4,251.24
		<b>Total</b>	<b>\$32,592.84</b>

Tabla 11 Propuesta T8 Lineales BIAE

Descripción	Piezas	Precio Uni USD	Total
Tubo de 144 LEDs blanco 60cm Numero de parte <b>T8-60-144</b>	6	\$66.30	5,199.25
Tubo de 330 LEDs blanco 120cm Numero de parte <b>T8-120-330</b>	160	\$118.80	248,434.56
		Subtotal	\$253,633.81
		IVA	\$38,045.07
		<b>Total</b>	<b>\$291,678.88</b>

Inversión **MR16** en tecnología LED

**\$32,592.84**

Inversión **T8** en tecnología LED)

**\$291,678.88**

Inversión Total (T8 y MR16 en tecnología  
LED)

**\$324,271.72**

La garantía por escrito es de 3 años por defectos de fabricación.

### 5.3.2 AGELECTRÓNICA S.A. DE C.V.

Division Iluminación "Hard to Find"

Republica del Salvador N. 14 Local 2

06000 México, D.F. R.F.C.: AEL-920315-L68

Tel: (55)5518-5769

Tabla 12 Propuesta MR16 Dicroicas AG

Descripción	Piezas	Precio Uni MXN	Total
Lámpara LED Tipo Dicroica High Power MR16, 3 LEDs, Blanco Frio, 12VAC, 3 Watts. Número de parte <b>FS-HP/MR16-CW/3X1W-1A</b>	84	226.993	\$19,067.41
		Subtotal	\$19,067.41
		IVA	\$2,860.11
		<b>Total</b>	<b>\$21,927.52</b>

Tabla 13 Propuesta T8 Lineales AG

Descripción	Piezas	Precio Uni MXN	Total
Tubo de 144 LEDs blanco 60cm Numero de parte <b>FS-T8/60-CW/144-3P</b>	6	\$321.22	1,927.31
Tubo de 300 LEDs blanco 120cm Numero de parte <b>FS-T8/120-CW/300-3PR</b>	160	\$564.09	90,253.76
		Subtotal	\$92,181.07
		IVA	\$13,827.16
		<b>Total</b>	<b>\$106,008.23</b>

Inversión **MR16** en tecnología LED

**\$21,927.52**

Inversión **T8** en tecnología LED)

**\$106,008.23**

Inversión Total (T8 y MR16 en tecnología LED)

**\$127,935.75**

La garantía es de 1 mes por defectos de fabricación

### 5.3.3 Sistema Fotovoltaico

Energía-Solar.com.mx

Pico de Orizaba 11 Col. Lomas de Occipaco 53247 Naucalpan, EdoMex

Tel. (01-55)5363-2096 (01-55)5236-3721

Tabla 14 Propuesta Sistema Fotovoltaico

Descripción	Piezas	Precio Uni	
		MXN	Total
Panel Solar 140w 12V	37	5,709.57	211,253.91
BATERIA S460 6V/460AH@100h,441AH@72h,350AH@20h	8	3,240.00	25,920.00
Controlador Morningstar TS-60	10	3,356.52	33,565.22
Inversor de onda senoidal modificada SI-A1- VR3000, de 3000 Watt	1	5,835.65	5,835.65
cables y conexiones	1	1,739.13	1,739.13
		Subtotal	\$278,313.91
		IVA	\$41,747.09
		<b>Total</b>	<b>\$320,061.00</b>

## 5.4 Costo Proyectado

Asumiendo los valores de las lámparas podemos hacer una proyección a futuro con los costos actuales de energía eléctrica otorgada por la CFE.

Implementando las MR16

cant.	78	Pzas.
tipo	MR16 LED	
potencia	3	Watt
total	234	Watt

Carga de Dicroicas		Costo Dicroicas Mensual	
0.23	KW/h	\$74.23	pesos
1.87	KW/día	a la carga total	
58.03	KW/Men	6.06%	de costo

El ahorro proyectado comparado con el actual sería:

Actual	Proyectado	Ahorro
\$1,219.40	\$74.23	\$1,145.16

93.91% de ahorro comparativo

Implementando las lineales:

cant.	166	Pzas.
tipo	T8 1.2 Y T8 .6	
potencia	7 y 15	Watt
total	2.442	Watt

Carga de Fluorescentes		Costo Fluorescentes Mensual	
2.44	KW/h	\$774.70	pesos
19.54	KW/día	a la carga total	
605.62	KW/Men	63.29%	de costo

El ahorro proyectado comparado con el actual sería:

Actual	Proyectado	Ahorro
\$2,312.29	\$774.70	\$1,537.59

66.50% de ahorro comparativo

La carga general queda proyectada así:

3.86	KW/h	Costo Total Mensual
30.87	KW/día	\$1,224.08 pesos
956.91	KW/Mes	

Actual	Proyectado	Ahorro
\$3,906.83	\$1,224.08	\$2,682.75

68.67% de ahorro Total

## 5.5 Justificación de Inversión

### 5.5.1 AGELECTRÓNICA S.A. DE C.V.

Tabla 15 Justificación MR16 - AGELECTRÓNICA

Lámpara tipo	Tecnología	Consumo (Watts)	Ahorro en Watts	Ahorro en %	Cantidad	Carga Instalada (KW) consumo por cantidad	Cargo por demanda máxima (\$)
MR16	Halógeno	50	----	----	84	4.2	\$645.62
MR16	LEDs	3	47	94	84	0.252	\$38.74

Horario punta 18:00 a 22:00hrs (hrs/día)	Intermedio 6:00 a 18:00hrs 22:00 a 24:00hrs (hrs/día)	Tiempo de uso horario base 00:00 a 6:00 hrs (hrs/día)	Consumo de energía en punta KWh/mes (30días)	Consumo de energía en intermedio KWh/mes (30días)	Consumo de Energía en base KW/h mes (30Días)
0	8	0	0	1008	0
0	8	0	0	60.48	0

cargo por consumo de energía en punta	cargo por consumo de energía intermedio	cargo por consumo de energía base	facturación mensual IVA incluido	ahorro mensual	facturación anual	ahorro anual	Ahorro durante vida útil	Inversión en pesos MXN IVA incluido	Retorno sobre la inversión
0	\$810.33	0	\$1,674.35	----	\$20,092.18	\$0.00	----		1.16
0	\$48.62	0	\$100.46	\$1,573.89	\$1,205.53	\$18,886.65	\$107,800.52	\$21,927.52	años

Estimación de Vida Útil	vida útil en horas	horas de uso al día	horas de uso al año	años de vida útil
	50,000	24	8760	5.71

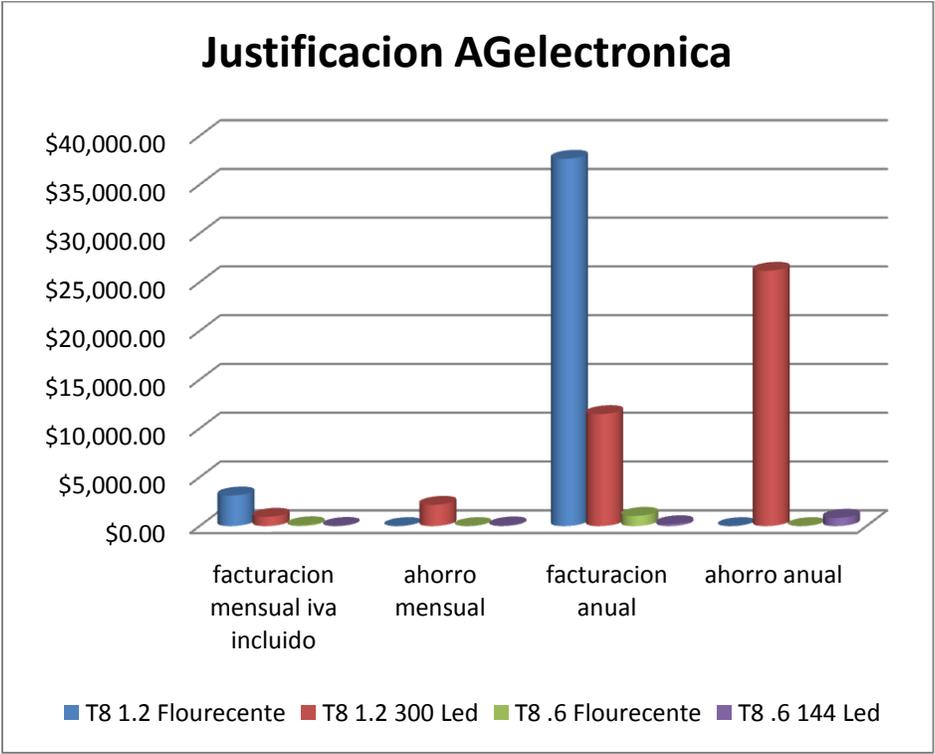
Tabla 16 Justificación Lineales T8 - AGELECTRÓNICA

Lámpara tipo	Tecnología	Consumo (Watts)	Ahorro en Watts	Ahorro en %	Cantidad	Carga Instalada (KW) consumo por cantidad	Cargo por demanda máxima (\$)
T8	Fluorescente	32	----	----	246	7.872	\$1,210.08
T8 1.2 mts.	300 LEDs	15	17	53	160	2.4	\$368.93
T8	Fluorescente	22	----	----	10	0.22	\$33.82
T8 0.60 mts.	144 LEDs	7	15	68	6	0.042	\$6.46

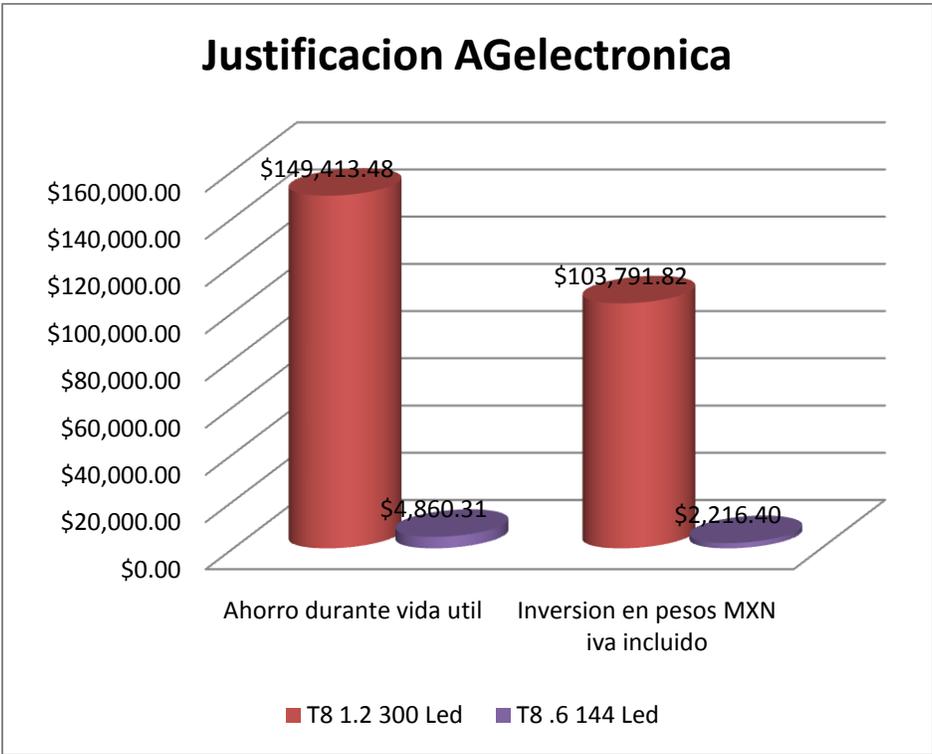
Horario punta 18:00 a 22:00hrs (hrs/día)	Intermedio 6:00 a 18:00hrs 22:00 a 24:00hrs (hrs/día)	Tiempo de uso horario base 00:00 a 6:00 hrs (hrs/día)	Consumo de energía en punta KWh/mes (30días)	Consumo de energía en intermedio KWh/mes (30días)	Consumo de Energía en base KW/h mes (30Días)
0	8	0	0	1889.28	0
0	8	0	0	576.00	0
0	8	0	0	52.80	0
0	8	0	0	10.08	0

cargo por consumo de energía en punta	cargo por consumo de energía intermedio	cargo por consumo de energía base	facturación mensual IVA incluido	ahorro mensual	facturación anual	ahorro anual	Ahorro durante vida útil	Inversión en pesos MXN IVA incluido	Retorno sobre la inversión
0	\$1,518.79	0	\$3,138.21	----	\$37,658.49	\$0.00	----		3.92
0	\$463.05	0	\$956.77	\$2,181.44	\$11,481.25	\$26,177.24	\$149,413.48	\$103,791.82	
0	\$42.45	0	\$87.70	----	\$1,052.45	\$0.00	----		años
0	\$8.10	0	\$16.74	\$70.96	\$200.92	\$851.53	\$4,860.31	\$2,216.40	

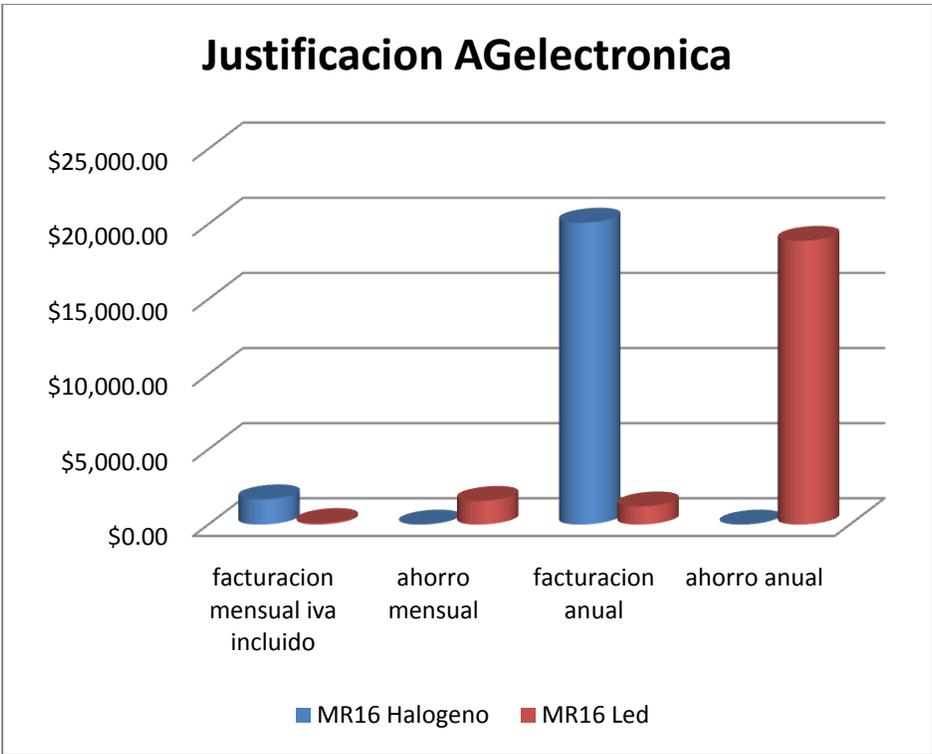
Estimación de Vida Útil	vida útil en horas	horas de uso al día	horas de uso al año	años de vida útil
	50,000	24	8760	5.71



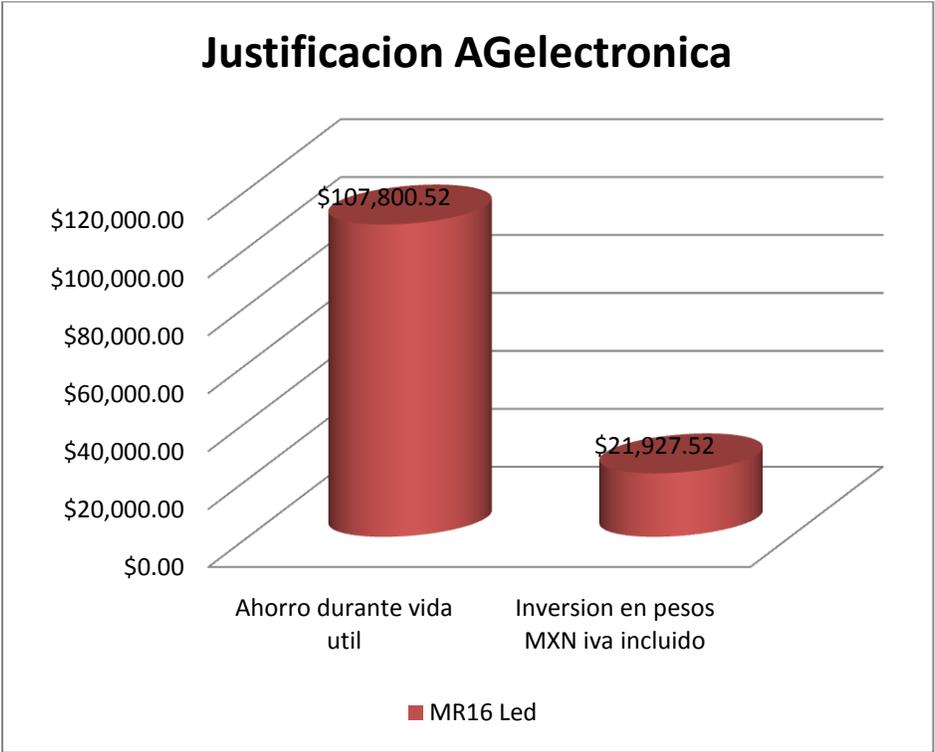
Grafica 2. Justificación costo-beneficio Lineales AG



Grafica 3. Justificación inversión-vida Lineales LEDs AG



Grafica 4. Justificación costo-beneficio MR16 AG



Grafica 5. Justificación inversión-vida MR16 LEDs AG

5.5.2 Bufete Industrial para el Ahorro de Energía S. A. de C. V.

Tabla 17 Justificación MR16 – BIAE

Lámpara tipo	Tecnología	Consumo (Watts)	Ahorro en Watts	Ahorro en %	Cantidad	Carga Instalada (KW) consumo por cantidad	Cargo por demanda máxima (\$)
MR16	Halógeno	50	----	----	84	4.2	\$645.62
MR16	LEDs	3	47	94	84	0.252	\$38.74

Horario punta 18:00 a 22:00hrs (hrs/día)	Intermedio 6:00 a 18:00hrs 22:00 a 24:00hrs (hrs/día)	Tiempo de uso horario base 00:00 a 6:00 hrs (hrs/día)	Consumo de energía en punta KWh/mes (30días)	Consumo de energía en intermedio KWh/mes (30días)	Consumo de Energía en base KW/h mes (30Días)
0	8	0	0	1008	0
0	8	0	0	60.48	0

cargo por consumo de energía en punta	cargo por consumo de energía intermedio	cargo por consumo de energía base	facturación mensual IVA incluido	ahorro mensual	facturación anual	ahorro anual	Ahorro durante vida útil	Inversión en pesos MXN IVA incluido	Retorno sobre la inversión
0	\$810.33	0	\$1,674.35	----	\$20,092.18	\$0.00	----		1.73
0	\$48.62	0	\$100.46	\$1,573.89	\$1,205.53	\$18,886.65	\$107,800.52	\$32,592.84	años

Estimación De Vida Útil	vida útil en horas	horas de uso al día	horas de uso al año	años de vida útil
	50,000	24	8760	5.71

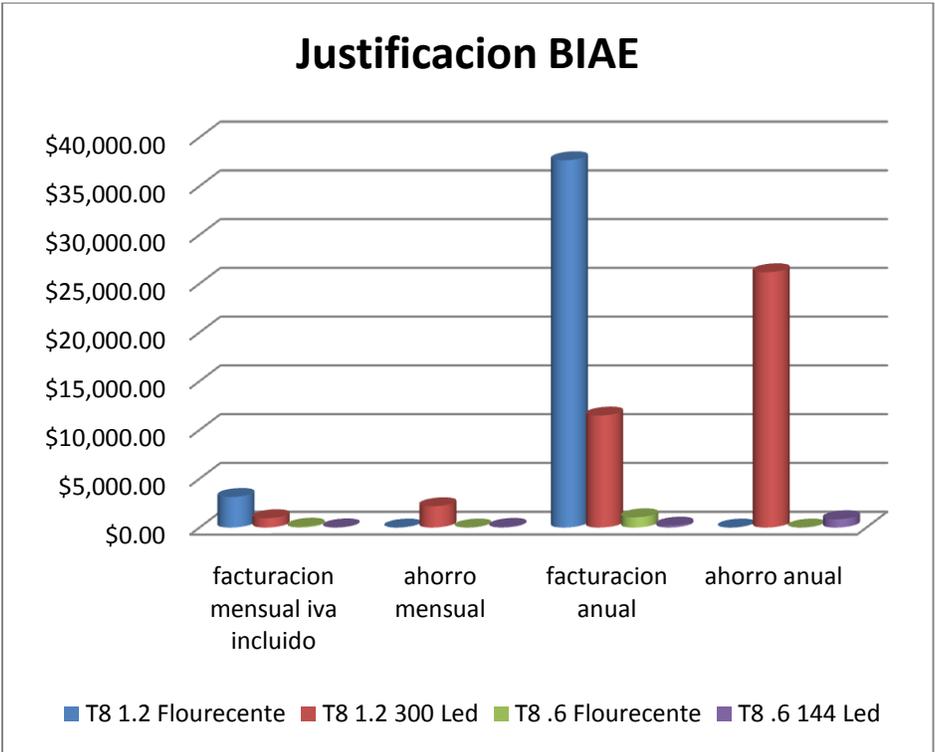
Tabla 18 Justificación Lineales T8 - BIAE

Lámpara tipo	Tecnología	Consumo (Watts)	Ahorro en Watts	Ahorro en %	Cantidad	Carga Instalada (KW) consumo por cantidad	Cargo por demanda máxima (\$)
T8	Fluorescente	32	----	----	246	7.872	\$1,210.08
T8 1.2 mts.	300 LEDs	15	17	53	160	2.4	\$368.93
T5	Fluorescente	22	----	----	10	0.22	\$33.82
T8 0.6 mts.	144 LEDs	7	15	68	6	0.042	\$6.46

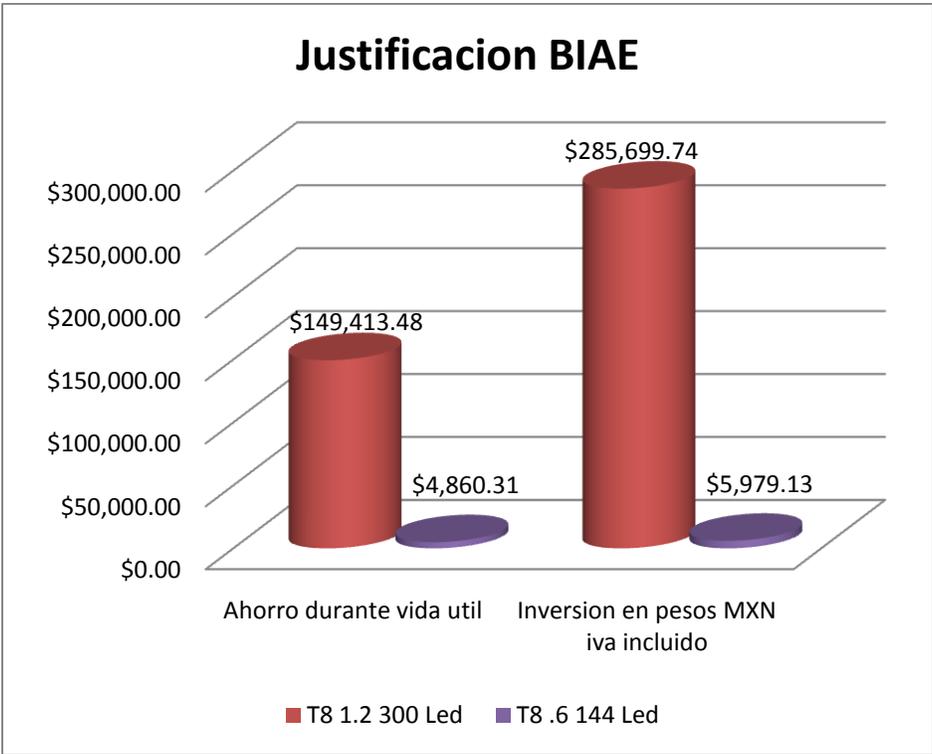
Horario punta 18:00 a 22:00hrs (hrs/día)	Intermedio 6:00 a 18:00hrs 22:00 a 24:00hrs (hrs/día)	Tiempo de uso horario base 00:00 a 6:00 hrs (hrs/día)	Consumo de energía en punta KWh/mes (30días)	Consumo de energía en intermedio KWh/mes (30días)	Consumo de Energía en base KW/h mes (30Días)
0	8	0	0	1889.28	0
0	8	0	0	576.00	0
0	8	0	0	52.80	0
0	8	0	0	10.08	0

cargo por consumo de energía en punta	cargo por consumo de energía intermedio	cargo por consumo de energía base	facturación mensual IVA incluido	ahorro mensual	facturación anual	ahorro anual	Ahorro durante vida útil	Inversión en pesos MXN IVA incluido	Retorno sobre la inversión
0	\$1,518.79	0	\$3,138.21	----	\$37,658.49	\$0.00	----		10.79 años
0	\$463.05	0	\$956.77	\$2,181.44	\$11,481.25	\$26,177.24	\$149,413.48	\$285,699.74	
0	\$42.45	0	\$87.70	----	\$1,052.45	\$0.00	----		
0	\$8.10	0	\$16.74	\$70.96	\$200.92	\$851.53	\$4,860.31	\$5,979.13	

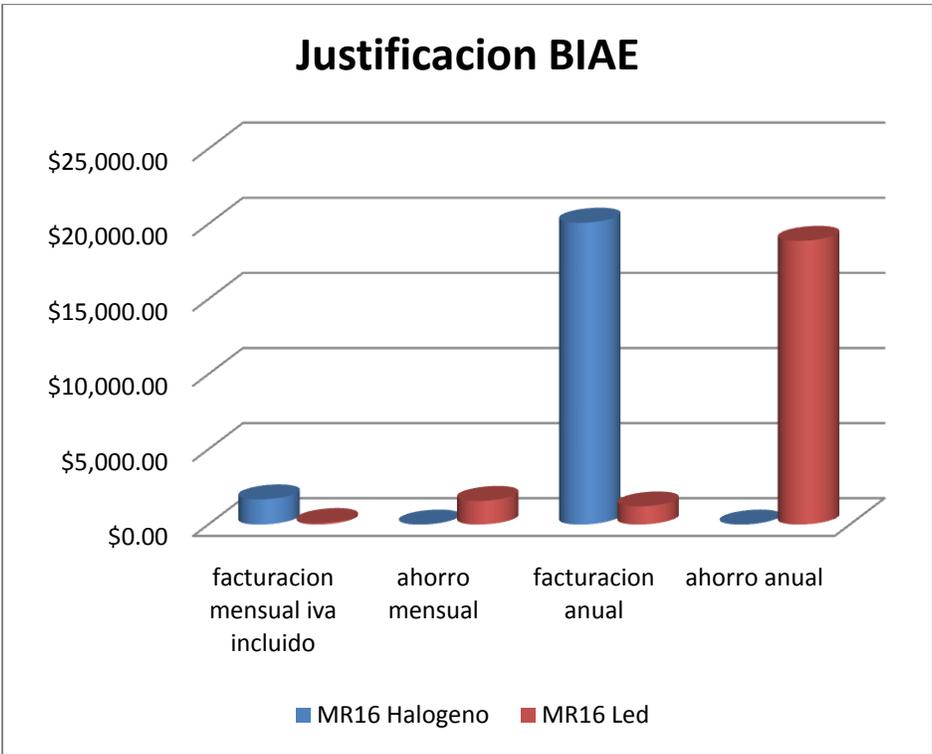
estimación de vida útil	vida útil en horas	horas de uso al día	horas de uso al año	años de vida útil
	50,000	24	8760	5.71



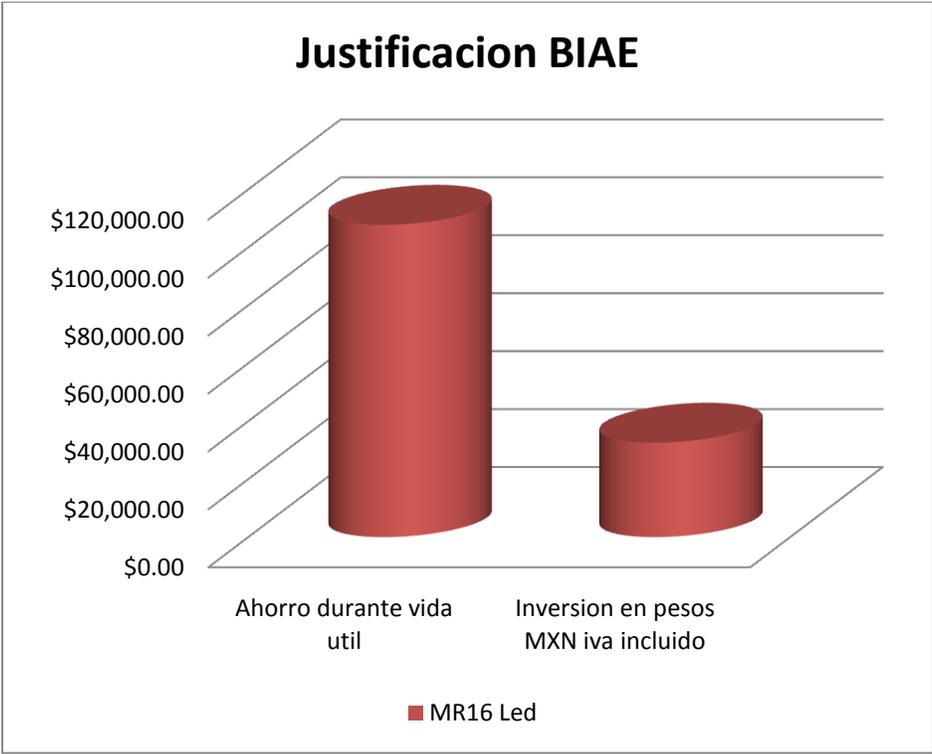
Grafica 6. Justificación costo-beneficio Lineales BIAE



Grafica 7. Justificación inversión-vida Lineales LEDs BIAE



Grafica 8. Justificación costo-beneficio MR16 BIAE



Grafica 9. Justificación inversión-vida MR16 LEDs BIAE

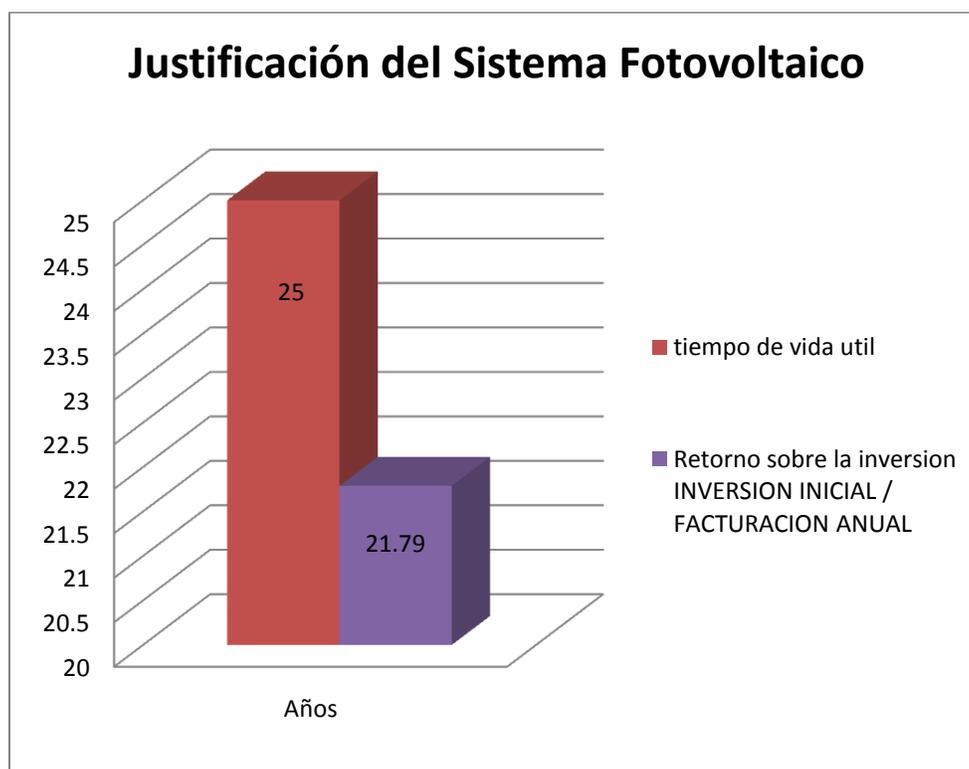
### 5.5.3 Sistema Fotovoltaico

Tabla 19 Justificación del sistema Fotovoltaico

Inversión del Sistema Fotovoltaico	Tiempo de Vida Útil	Costos de Mantenimiento Anual	Inversión Total Proyectada
\$320,061.00	25 años	\$80,015.25	\$400,076.25

Carga Total del Sistema	Costo Total Mensual	Facturación Anual
956.91 KW/Mes	\$1,224.08	\$14,688.92

Retorno sobre la inversión	
21.79	Años



Grafica 10. Costo-beneficio inversión sistema fotovoltaico

## 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Investigamos sobre el sustituto a las lámparas fluorescentes y las MR16, en primera instancia no encontramos un distribuidor directo en el estado de Chiapas, tuvimos que empezar a contactar empresas del interior de la república encontrado para el tipo MR16 dos marcas, una nacional y una importada, para el modelo T12, T8 del tipo lineal fluorescente solo una marca importada, ambas son el sustituto técnico en las especificaciones.

Se adquirieron 4 lámparas MR16, 7 lámparas T8, módulos pequeños de LEDs de alta potencia para pruebas, ya que por ser un proyecto grande y porque además se está introduciendo todavía este tipo de tecnología para la aplicación de la iluminación, se necesitaba hacer pruebas reales sobre su rendimiento y funcionalidad.

Se desechó la opción de utilizar la marca MAGG en su línea LED en el tipo MR16 por que no cumplió con las especificaciones técnicas para la sustitución, aunque prometía técnicamente ser el sustituto perfecto para la dicroica MR16.

Únicamente quedó la opción de las lámparas importadas, encontrando en la ciudad de México dos importadores directos de la marca, así que en ambos se hizo una visita para conocer la seriedad de la empresa así como sus propuestas.

En este reporte le presentamos la cotización de las lámparas dicroicas y lineales T8 con tecnología LED de 2 empresas diferentes AGElectrónica y BIAE (Bufete Industrial para el Ahorro de Energía), lo que difiere una de la otra son: la garantía y los precios, en cada caso se ofrece un descuento por mayoreo, en el caso de BIAE, nos ofreció un descuento que va desde el 5% a 20% dependiendo la cantidad a confirmar, ya que inicialmente se cotizó 200 piezas para las tres salas del museo y nos ofrecieron el 20% de descuento, ambas empresas son del Distrito Federal.

La sala 3 del Museo de Ciencia y Tecnología de Chiapas “Comunicaciones y Herramientas” es la sala ideal para la muestra y aplicación de Tecnología LED, ya que está acorde a la temática de la tecnología actual, y que esta tecnología es el futuro de la iluminación esencialmente en el ahorro de energía y al impacto ambiental que esta genera.

Es muy importante tomar en cuenta que al sustituir las lámparas dicróicas de halógeno de 50W a 3W ahorra un 96% de energía y no produce tanto calor ya que esto es importante para el ahorro de energía en los climas y para las lámparas lineales en las pruebas nos muestra buen color de iluminación y poco calor, pero debido a la dispersión de luz de los LEDs hace que en las mamparas se vea notorio y para que se vea disperso la iluminación es importante tener una segunda capa de acrílico difusor para dispersar bien la iluminación.

En las pruebas realizadas en la sala 3 del museo, se pudo observar que la intensidad luminosa que tienen las lámparas de LEDs lineales es muy diferente a las de lineal fluorescente ya que se logran ver los puntos LEDs y como las lámparas están colocadas de manera vertical con respecto al suelo su uso es más decorativo que lumínico. El tono es frío, sin olvidar que no se calienta como las convencionales de halógenos.

En la primera etapa de cambio de lámparas, para nosotros es más conveniente cambiar las lámparas LEDs dicróicas ya estas ahorran un 94% de ahorro con una inversión a 2 años, en la segunda etapa que son las lámparas lineales no es tan conveniente por ser de alto costo ya que apenas se está introduciendo esta tecnología, en el tema de los paneles solares no se ve conveniente por la inversión a más de 15 años.

## 7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y VIRTUALES

Sitios web:

<http://www.heliogis.com/sis/>

[WWW.CONAE.GOB.MX](http://WWW.CONAE.GOB.MX)

<http://firstlook.3tier.com/>

<http://www.cfe.gob.mx/es/InformacionAlCliente/conocetutarifa/>

<http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/7058/1/irradiacion211009.pdf>

<http://eosweb.larc.nasa.gov/>

<http://www.3tier.com/firstlook/>

<http://www.researchsolar.com/>

<http://www.fide.org.mx>

## 8 ANEXOS

### 8.1 Selección del Calibre Económico como una Alternativa para el Ahorro de Energía

Ing. Jesús M. Ricárdez Barberá Asesor Técnico Comercial del Sector  
Cables de Grupo Condumex

Los conductores eléctricos forman parte de todas esas etapas. Los fabricantes de conductores eléctricos decimos que éstos son a la vida de una sociedad moderna, lo que los vasos sanguíneos son a la vida de un individuo. Sin ellos la civilización actual no podría existir. La variedad de los conductores eléctricos que se emplean, es enorme. Podemos clasificar a los conductores eléctricos por su función primordial, en:

Cables de energía.

Cables para las comunicaciones.

Cables para señalización y control.

Alambre magneto.

Los estudios de ahorro de energía en los conductores eléctricos se realizan en los campos de aplicación de éstos, es decir:

Cables para la transmisión y subtransmisión de la energía eléctrica.

Cables para distribución de la energía eléctrica.

Cables para la construcción.

Cables para uso industrial en baja tensión.

Conductores para aparatos y equipos domésticos e industriales.

Cables para aplicaciones industriales.

Las oportunidades para el ahorro de la energía eléctrica están presentes en todas las etapas del sistema eléctrico, esto es: en la generación, transmisión, subtransmisión, distribución y consumo.

## Pérdidas de Energía

Para poder seleccionar el calibre económico es necesario evaluar primero las pérdidas de energía que se dan en la operación de los conductores eléctricos. Las pérdidas aquí consideradas son las que se deben a la conversión de energía eléctrica a energía calorífica. Para determinar las pérdidas en los conductores eléctricos los agruparemos en:

Cables para baja tensión

Cables de energía

Cables para Baja Tensión

Los elementos básicos que forman un cable de la baja tensión y que generan pérdidas de energía son: el conductor y su aislamiento.



Fig. 31 Cable de baja tensión

Cables de Energía

Además de las pérdidas en los elementos anteriores, un cable de energía genera pérdidas en la pantalla metálica, en la armadura y cubierta metálica, si cuenta con estos elementos, y siempre y cuando estén conectados en 2 o más puntos.

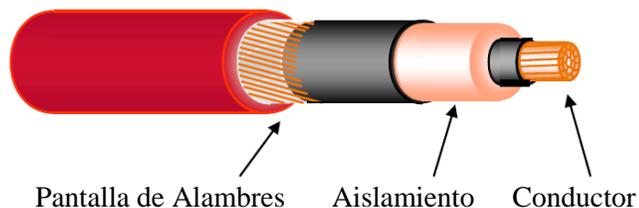


Fig. 32 Cable de Energía

## Pérdidas en el Conductor

Las pérdidas por el calor generado en el conductor son debidas al efecto Joule y son función del cuadrado de la corriente que circula por él y de la resistencia que éste ofrece al paso de la corriente. Esta resistencia debe ser calculada a la temperatura de operación del conductor.

En términos de potencia podemos escribir lo anterior de la siguiente manera:

$$W_c = I^2 \times R_{ca} \times 10^{-3} \quad \text{kW/km} \quad (1)$$

donde:

I = corriente en amperes.

$R_{ca}$  = resistencia a la corriente alterna en ohm/km.

A fin de efectuar evaluaciones totales en un cierto, periodo, se acostumbra ponderar las pérdidas en unidades de energía:

$$W_c = w_c \times L \times N \times H \times F_p \quad \text{kWh/año} \quad (2)$$

donde:

$w_c$  = pérdidas evaluadas en la ecuación (1).

L = longitud del circuito en km.

N = número de cables del sistema.

H = Horas efectivas de operación del sistema.

$F_p$  = factor de pérdidas.

$$F_p = 0.3 (F_c) + 0.7 (F_c)^2 \quad (3)$$

donde:

$F_c$  = factor de carga por unidad.

Horas efectivas en que se presentan las pérdidas de energía, de acuerdo con la operación eléctrica de una instalación en particular

Tipo de operación	Horas efectivas
Equipo que trabaja ocasionalmente	0 - 500
Carga irregular durante un turno	500 - 1500
Carga irregular en varios turnos	1500 - 3500
Carga uniforme en varios turnos	3500 - 7000
Carga plena ocasionalmente conectada	7000 - 8000
Carga plena conectada permanentemente	8760

#### Pérdidas en el Aislamiento

No existe aislamiento perfecto, esto es, todo material conocido sujeto a una diferencia de potencial permite una circulación de corriente entre dos puntos de diferente potencial. Podemos establecer que esa corriente también producirá calor.

Las pérdidas en el aislamiento de un cable dependerán fundamentalmente de las características del material, como la permitividad del dieléctrico y el factor de potencia, las cuales se han relacionado con expresiones matemáticas que permiten cuantificar tales pérdidas.

La expresión para el cálculo de las pérdidas en el dieléctrico en un cable es:

$$w_d = 2 \times \pi \times f \times C \times E_o^2 \times \tan\delta \times 10^{-3} \quad \text{kW/km} \quad (4)$$

donde:

f = frecuencia en Hz

E<sub>o</sub> = tensión al neutro en volts

tanδ = factor de pérdidas del aislamiento a la frecuencia y temperatura de operación.

$$C = (0.0241 \times \text{SIC} \times 10^{-6}) / \log (d_a/d_c) \quad \text{F/km} \quad (5)$$

donde:

SIC = constante inductiva específica del aislamiento.

$d_a$  = diámetro sobre aislamiento.

$d_c$  = diámetro bajo aislamiento.

En unidades de energía las pérdidas se expresan como:

$$W_d = w_d \times L \times N \times H \quad \text{kWh/año} \quad (6)$$

donde:

$w_d$  = pérdidas calculadas con la ecuación (4).

$L$  = longitud del circuito en km.

$N$  = número de cables del sistema.

$H$  = Horas efectivas de operación del sistema.

Es importante hacer notar que, mientras las pérdidas en el conductor y las pantallas están ligadas a las variaciones de corriente, las pérdidas en el aislamiento son constantes y basta con energizar el cable aun sin la carga, para que se presenten los valores máximos calculados de acuerdo a la ecuación 4.

Valores de la  $\tan \delta$  y de la SIC para diferentes aislamientos de cables

Aislamiento	$\tan \delta$	SIC
EP	0.015	2.6
XLP	0.001	2.1
THHW-LS	0.110	8.0

Pérdidas en las pantallas o cubiertas metálicas

La corriente que circula por el conductor inducirá a su vez una corriente por las pantallas o cubiertas metálicas, cuando éstas se encuentren conectadas a tierra en sus extremos. De manera similar al conductor, las pérdidas en la pantalla o cubierta se deben al efecto Joule, es decir, son consecuencia del paso de la corriente inducida por el elemento metálico, que ofrece una resistencia, lo cual se expresa como:

$$w_p = I_p^2 \times R_p \times 10^{-3} \quad \text{kW/km} \quad (7)$$

donde:

$w_p$  = pérdidas en la pantalla de un cable del sistema kW/km.

$I_p$  = corriente que circula por la pantalla en amperes.

$R_p$  = resistencia de la pantalla, ohms/km.

Mientras que la resistencia de la pantalla o cubierta es constante y solo debe ser corregida para la temperatura de operación (10 °C por debajo de la temperatura del conductor), la corriente  $I_p$  depende de la corriente en el conductor, la construcción del cable y la disposición y espaciado de los cables del sistema. En función de la corriente en el conductor, la corriente  $I_p$  que circula por las pantallas, para cables monopolares en sistema monofásico o trifásico con los cables dispuestos en configuración equilátera equidistante, se calcula con la siguiente expresión:

$$I_p^2 = (I^2 \times X_m^2) / (X_m^2 + R_p^2) \quad \text{amperes} \quad (8)$$

donde:

$I$  = corriente del conductor en amperes.

$X_m$  = reactancia mutua entre conductor y pantalla o cubierta metálica.

$$X_m = 0.0754 \ln (S/r_o) \quad \text{ohm/km} \quad (9)$$

$S$  = espaciado entre centros de cables.

$r_o$  = radio medio de la pantalla.

$R_p$  = resistencia eléctrica de la pantalla a su temperatura de operación normal.

$$W_p = w_p \times L \times N \times H \times F_p \quad \text{kWh/año} \quad (10)$$

donde:

$w_p$  = pérdidas calculadas con la ecuación (7).

L = longitud del circuito en km.

N = número de cables del sistema.

H = Horas efectivas de operación del sistema.

F<sub>p</sub> = Factor de pérdidas.

Por simplificación para el cálculo se han proporcionado estas ecuaciones. Los efectos inductivos en otros cables del sistema no se han considerado.

#### Pérdidas Totales

Para totalizar las pérdidas del cable o de los cables del sistema eléctrico bastará con sumar las pérdidas obtenidas:

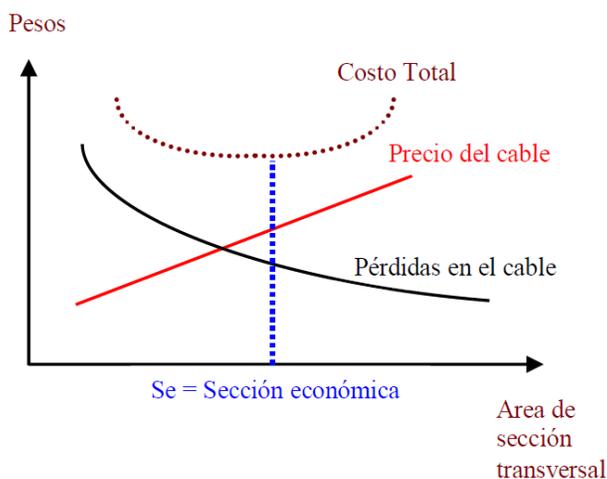
$$W_T = W_c + W_d + W_p \quad \text{kWh/año} \quad (11)$$

En términos económicos, bastará con multiplicar el precio del kWh por el producto obtenido en la ecuación (11) para saber el costo de las pérdidas del sistema.

#### Selección Del Calibre Económico

Las pérdidas calculadas anteriormente, evaluadas en términos económicos y sumados a los costos por mantenimiento, representan los costos totales de operación del sistema de cables. Para una carga determinada existe una sección o calibre mínimo aceptable. Secciones mayores a este mínimo producirán menos pérdidas y, en consecuencia, menores costos de operación. Por otra parte, el calibre mínimo representa los

menores costos iniciales y secciones mayores del conductor darán lugar a un incremento en tales costos. La siguiente gráfica nos permitirá comprender mejor lo anterior:



Existe una relación inversa entre las pérdidas en el conductor y la sección del mismo. El incremento de la sección conduce a pérdidas menores, debido a que presenta una menor resistencia eléctrica, tanto por el aumento del área conductora como por la menor temperatura de operación. Los precios de los cables siguen una relación lineal conforme aumenta la sección. La curva de los costos totales es la suma de la curva del precio de los cables y la curva de las pérdidas en los mismos. La sección económica se obtiene en el valor mínimo de la curva de los costos totales haciendo la derivada igual a cero.

La selección del calibre económico, solo se logra mediante la comparación de los costos iniciales, pérdidas, etc., de distintas secciones; comparación que resulta sencilla con el uso de la computadora. La siguiente ecuación nos permite calcular la sección económica de los cables. Considera que la mayor parte de las pérdidas se producen en el conductor. No se consideran las pérdidas en las pantallas ni las del aislamiento. No considera tampoco el efecto de la inflación:

$$Se = I \sqrt{\frac{\rho \times N \times H \times P \times Fp \times A \times 10^{-3}}{G}} \text{ mm}^2 \quad (12)$$

donde:

I = corriente que circula en el conductor en amp.

$\rho$  = resistividad del metal del conductor a la temperatura de operación del cable ohm-mm<sup>2</sup>/km.

N = número de cables activos en el sistema.

H = número de horas de operación al año.

P = Costo de la energía en \$/kWh.

Fp = factor de pérdidas.

A = Factor para convertir a valor presente los costos de las pérdidas de energía ocurridos durante “N” años a una tasa de interés “i”.

Es importante mencionar que los costos de operación se dan en forma continua durante la vida útil del cable, por lo que el análisis económico se debe realizar considerando que los egresos se realizan en tiempos diferentes. Acorde con la fórmula anterior podemos decir que los costos de las pérdidas de los cables crean “anualidades”, que son una serie de pagos realizados durante un periodo.

Las técnicas de análisis “valor presente” nos permiten comparar los egresos que se realizan a través del tiempo respecto a una base común, que es el tiempo presente. De aquí tenemos:

$$A = \frac{(1+i)^n - 1}{(1+i)^n \times i} \quad (13)$$

donde:

i = tasa de interés admisible. Puede ser el valor del CETE a 28 días.

n = vida útil del cable o periodo de amortización requerido.

G = pendiente de la recta; precios vs área de los cables.

$$G = (P2 - P1)/(S2 - S1) \quad (14)$$

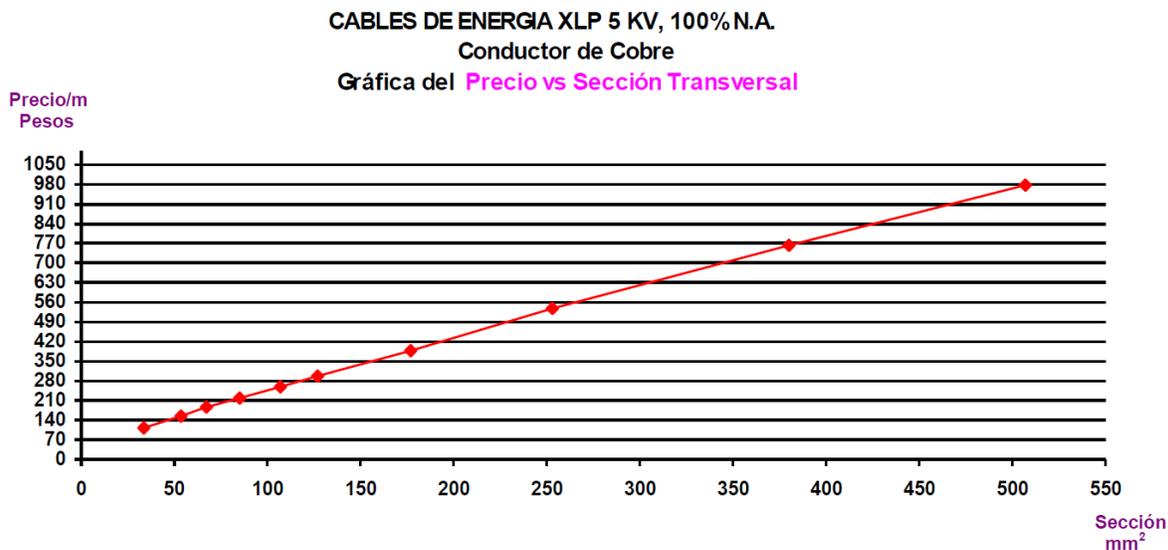
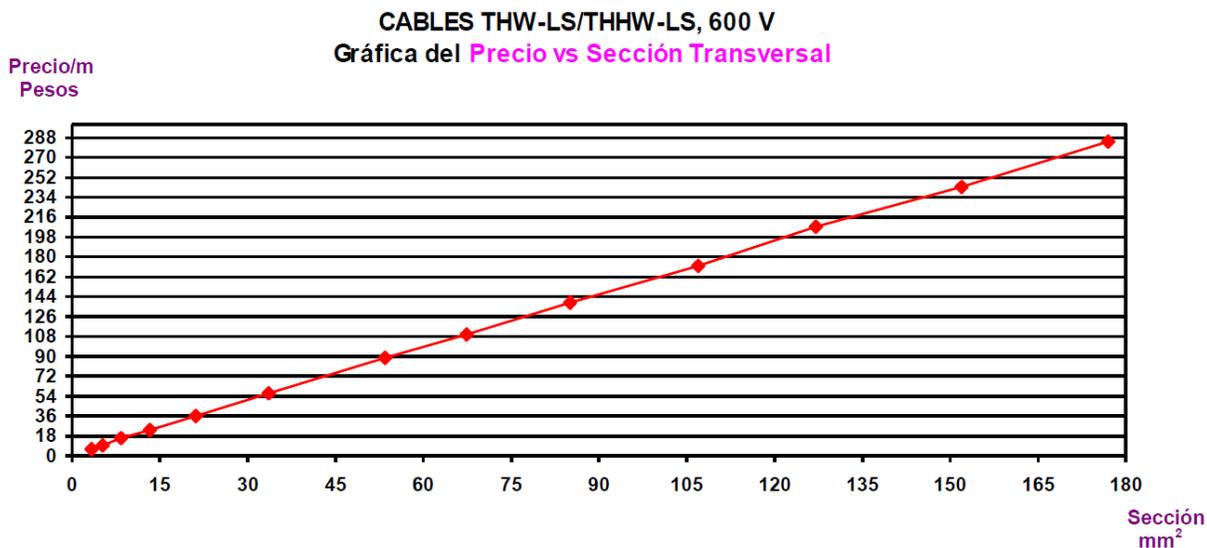
donde:

$P_1$  = precio del cable inicial.

$P_2$  = precio del cable comparativo.

$S_1$  = sección transversal del cable inicial.

$S_2$  = sección transversal del cable comparativo.



## Conceptos Básicos sobre Evaluación de Proyectos de Inversión

Con el objeto de aclarar la fórmula para la selección del calibre económico a continuación veremos los fundamentos económicos que están incluidos en ella. La

viabilidad financiera precede al análisis de la conveniencia financiera, es decir, primero se debe establecer si la inversión se puede hacer y luego si se debe hacer.

## Interés

En la fórmula del calibre económico aparece el concepto de interés. Este aparece relacionado con la preferencia que expresan las personas por recibir dinero ahora en lugar de obtenerlo más tarde. Esta preferencia caracteriza al sistema económico capitalista, según el cual, los recursos financieros tienen la capacidad de generar riqueza con el transcurso del tiempo.

Para que un inversionista acepte recibir una suma de dinero dentro de un periodo (un mes, un semestre, un año), en lugar de recibirla ahora, es preciso entregarle al final de tal periodo una suma superior a la actual. La cantidad adicional que es necesario reconocerle refleja la capacidad que el dinero tiene de crecer en sus manos, que expresada como un porcentaje de la suma inicial, se llama *tasa de interés por periodo*.

## Concepto de equivalencia

Cuando un inversionista es indiferente entre recibir \$  $P$  hoy o recibir  $\$(P + C)$  dentro de un periodo, decimos que para tal individuo \$  $P$  de hoy, son equivalentes a  $\$(P+C)$  dentro de un periodo y su tasa de interés de oportunidad es:  $C/P \times 100\%$ .

Equivalencia entre una cantidad actual  $P$  y una cantidad futura  $S$ .

La primera relación de equivalencia fundamental es la que existe entre una cantidad actual de dinero  $P$  y una cantidad futura  $S$ . Si  $i$  es la tasa de interés de oportunidad por periodo, expresada como una fracción, para que  $S$  pesos recibidos dentro de un periodo sean equivalentes a  $P$  pesos recibidos hoy, la cantidad futura debe ser igual a:

$$P + iP = P(1 + i)$$

Cuando tenemos varios periodos la fórmula anterior cambia a :

$$S = P(1 + i)^n$$

con ella podremos conocer la cantidad futura de dinero, invirtiendo una cantidad hoy por un periodo definido. El inverso de esta fórmula, es decir, que el dinero de hoy, tenga el mismo valor dentro de un periodo futuro definido es:

$$P = S \left( \frac{1}{1 + i} \right)^n$$

El interés simple

La modalidad del interés simple se caracteriza porque los intereses ganados en un periodo y no retirados de la suma inicial, no ganan interés al final de los siguientes periodos.

El interés compuesto

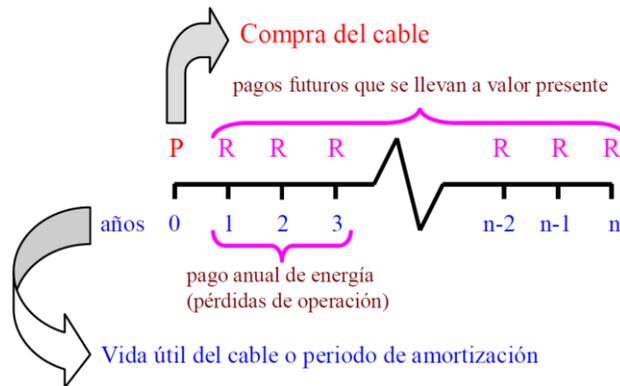
Esta modalidad se caracteriza porque los intereses ganados y no retirados de la suma inicial, entran a ganar intereses periodo a periodo.

La equivalencia entre una suma presente  $P$  y una serie de sumas uniformes  $R$ .

Si continuáramos con los análisis de equivalencia, llegaremos a esta relación de equivalencia fundamental que es la incluida en la fórmula para calcular el calibre económico:

$$P = R \left[ \frac{(1 + i)^n - 1}{i (1 + i)^n} \right]$$

En el siguiente gráfico se muestra en detalle como aplica la ecuación anterior:



### Ejemplo del Cálculo de un Calibre Económico

Se requiere alimentar los motores del molino de crudo de una planta cementera. Calcular el calibre técnico y económico con los datos siguientes:

$T = 4\ 160$  volts

$L = 100$  metros

$P = 1\ 620$  kW

F.P.= 0.8

Amortización = 10 años

Tasa de interés = CETE 19.15 %

Costo de la energía = \$ 0.4031/kWh

Factor de carga = 100 %

Horas en servicio = 8 760

Temperatura ambiente = 40 °C

Instalación en charolas, arreglos de cables en trébol.

Solución

a) Calibre técnico

Capacidad de Corriente

La corriente demandada por la carga es de:

$$I = 1\ 620 / (1.732 \times 4.16 \times 0.8) = 281.05 \text{ amperes}$$

De acuerdo al tipo de instalación, y basados en la norma NOM-001, los posibles calibres son:

3/0 AWG                    290 amperes (Se escoge).

4/0 AWG                    335 amperes.

### Caída de Tensión

$$\Delta V = 1.732 \times I \times L \times Z \quad \text{volts}$$

$$\Delta V = 1.732 \times 281.05 \times 0.1 \times 0.2919 = 14.20 \text{ V}$$

$$4\ 160 \text{ V} \quad 100\%$$

$$14.20 \text{ V} \quad X \%$$

X = 0.34 %, cumple la norma

Con el objeto de simplificar el ejemplo, solo incluiremos estos cálculos y para las pérdidas solo las del conductor central.

### Pérdidas

$$W_c = I^2 \times R_{CA} \times 10^{-3} \times L \times N \times H \times F_p \quad \text{kWh/año}$$

$$W_c = (281.05)^2 \times 0.264 \times 10^{-3} \times 0.1 \times 3 \times 8760 \times 1$$

$$W_c = 54\ 988.83 \text{ kWh/año}$$

### Pérdidas en pesos

$$\text{\$ } W_c = W_c \times P \quad \text{\$/año}$$

$$\text{\$ } W_c = 54988.83 \times 0.4031 = 22\ 166 \text{ \$/año}$$

### Conclusión

El calibre técnico 3/0 AWG cumple con lo requerido.

Con la finalidad de comparar las bondades de usar un calibre mayor al requerido, a continuación resumimos los valores del calibre 4/0 AWG:

Caída de tensión: 0.28 %

Pérdidas:  $W_c = 41\,724.25$  kWh/año

Pérdidas en pesos: 16 819 \$/año

b) Calibre económico

$$S_e = I \times \left( \frac{\rho \times N \times H \times P \times A \times 10^{-3}}{G} \right)^{1/2}$$

$$\rho = 0.017241 / 0.784 = 0.02199 \text{ ohm-mm}^2/\text{km}$$

$$G = (P_2 - P_1 / S_2 - S_1)$$

Si usamos como base el calibre técnico y empezamos nuestro análisis económico con el calibre 250 kCM, veamos lo que tenemos:

$$G = (214.6 - 158.5) / (127 - 85.1)$$

$$G = 1.3389 \text{ \$/m/mm}^2$$

$$A = \frac{((1 + i)^n - 1)}{((1 + i)^n \times i)}$$

$$A = \frac{((1 + 0.1915)^{10} - 1)}{((1 + 0.1915)^{10} \times 0.1915)} =$$

$$A = 4.7668 / 1.1043 = 4.3163$$

$$S_e = 281.05 \times \left( \frac{0.02199 \times 1 \times 8760 \times 0.4031 \times}{4.3163 \times 10^{-3}} \right)^{1/2}$$

$$S_e = 281.05 \times 0.5003 = 140.6 \text{ mm}^2$$

El calibre comercial para esta sección es él:

$$140.6 \text{ mm}^2 = 300 \text{ kCM (152 mm}^2)$$

Pérdidas

$$W_c = I^2 \times R_{CA} \times 10^{-3} \times L \times N \times H \times F_p \quad \text{kWh/año}$$

$$W_c = (281.05)^2 \times 0.1497 \times 10^{-3} \times 0.1 \times 3 \times 8760 \times 1$$

$$W_c = 31\,075.22 \text{ kWh/año}$$

Pérdidas en pesos

$$\$ W_c = W_c \times P \quad \$/\text{año}$$

$$\$ W_c = 31075.22 \times 0.4031 = 12\,526 \text{ \$/año}$$

Resumen

Comparando el calibre técnico seleccionado 3/0 AWG , el calibre 4/0 AWG comparativo y el económico 300 kCM tenemos:

Costo total del cable en \$:

Técnico = 47 550

Técnico comparativo = 58 600

Económico = 74 310

Pérdidas de energía en kWh/año:

Técnico = 54 988

Técnico comparativo = 41 724

Económico = 31 075

Costo de las pérdidas en \$ / año:

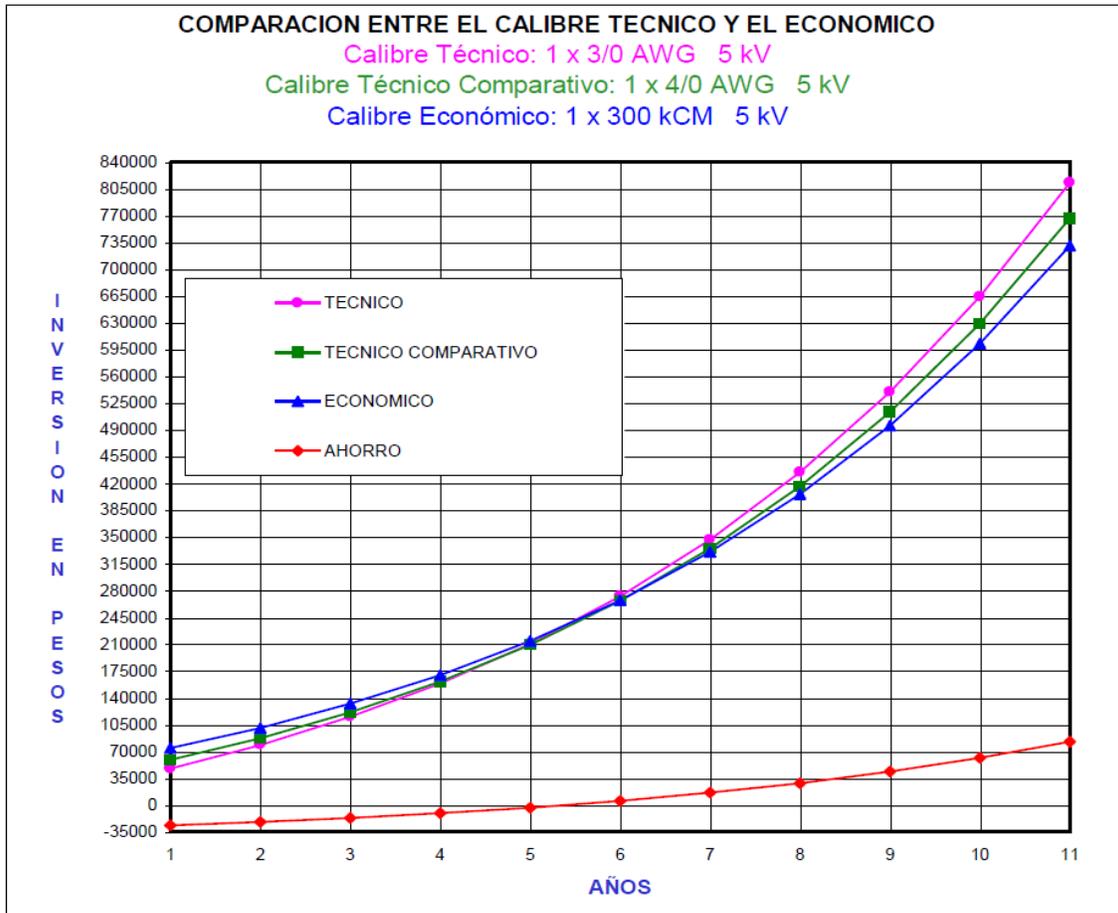
Técnico = 22 166

Técnico comparativo = 16 819

Económico = 12 526

(Se incluyen los 3 cables del sistema, fases A, B y C)

El siguiente gráfico nos permitirá comprender mejor las ventajas de la selección del calibre económico respecto al calibre técnico para el ahorro de energía en este ejemplo.



### Conclusión

La selección del calibre económico nos permitirá ahorrar energía eléctrica y por lo tanto dinero, debido a que el sistema de cables generará menores pérdidas. En el gráfico podemos observar que si aumentamos la sección del conductor por arriba del requerimiento técnico (4/0 en lugar del 3/0 AWG), con el tiempo el ahorro de energía se convierte en ahorro monetario. El máximo ahorro lo encontramos al seleccionar el calibre económico (300 kcmil) ya que el ahorro de energía es dinero y su cálculo está ligado a evaluaciones financieras.

Los costos de generar, transmitir y distribuir energía eléctrica se incrementan día a día. Lo anterior lo vemos reflejado en las tarifas eléctricas y consecuentemente en nuestro recibo correspondiente. Cuando aplicamos los fundamentos de la ingeniería de proyectos de inversión y lo relacionamos con el cálculo de las pérdidas de energía de los conductores eléctricos, tenemos una visión técnica-financiera sobre la selección de los mismos sin caer en errores apreciables. Si deseamos, podemos hacer el estudio de la selección del calibre económico más complejo, incorporándole fórmulas que incluyan otros conceptos económicos-financieros, entre ellos la inflación. Lo analizado en este artículo proporciona los fundamentos y es lo bastante claro para mostrar las bondades técnico-económicas del estudio de la selección del calibre económico.