



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL  
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA  
UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS”  
ZACATENCO**

**“PROPUESTA DE ACTUALIZACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN  
ACOPLADO A UN SISTEMA FOTOVOLTAICO DENTRO DE UNA PLANTA DE  
MANUFACTURA DE PRODUCTOS CERÁMICOS EN LA CIUDAD DE MÉXICO”**

**S E M I N A R I O**

Qué para obtener el título de:  
**Ingeniero Electricista**

Presentan:  
**SANTIAGO PATIÑO CASTILLO  
ALEJANDRO VEGA MAGAÑA**

Asesores:  
**ING. RAYMUNDO JAVIER VÁZQUEZ DELGADO  
ING. JOSÉ LUIS DELGADO MENDOZA**



Ciudad de México

Febrero 2018

**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA**  
**UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS”**

**REPORTE TÉCNICO**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
POR LA OPCIÓN DE TITULACIÓN

INGENIERO ELECTRICISTA  
SEMINARIO DE TITULACIÓN DES/ESIME-ZAC/08.2016-  
08.2018/015/03/18

DEBERÁ (N) DESARROLLAR

C. PATIÑO CASTILLO SANTIAGO  
C. VEGA MAGAÑA ALEJANDRO

**PROPUESTA DE ACTUALIZACIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN ACOPLADO A UN SISTEMA FOTOVOLTAICO DENTRO DE UNA PLANTA DE MANUFACTURA DE PRODUCTOS CERÁMICOS EN LA CIUDAD DE MÉXICO.**

**OBJETIVO GENERAL**

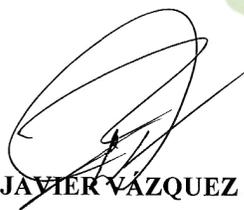
Actualizar el sistema de iluminación, en función de los niveles de iluminancia indicados en la NORMA Oficial mexicana NOM-025-STPS-2008, en una industria de autopartes, aplicando tecnología LED en luminarias y suministrando la demanda de energía con un sistema de generación fotovoltaica.

**CAPÍTULOS DE LA TESINA**

- INTRODUCCIÓN
- CAPÍTULO 1 MARCO TEÓRICO
- CAPÍTULO 2 ESTUDIO TÉCNICO
- CAPÍTULO 3 ESTUDIO ECONÓMICO
- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CIUDAD DE MÉXICO A 21 DE FEBRERO DE 2019

**ASESORES**

  
ING. RAYMUNDO JAVIER VÁZQUEZ DELGADO

  
ING. JOSÉ LUIS DELGADO MENDOZA

  
ING. JUAN DE JESÚS NERI ESCUTIA  
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE  
INGENIERÍA ELÉCTRICA



Instituto Politécnico Nacional  
Presente

Bajo protesta de decir verdad los que suscriben **Alejandro Vega Magaña** y **Santiago Patiño Castillo**, manifestamos se autores y titulares de los derechos morales y patrimoniales de la obra titulada "**Propuesta de actualización de un sistema de iluminación acoplado a un sistema fotovoltaico dentro de una planta de manufactura de productos cerámicos en la Ciudad de México**", en adelante "**La Tesis**" y de la cual se adjunta copia, dos cd's, por lo que por medio del presente y con fundamento en el artículo 27, fracción II, inciso b) de la Ley Federal del Derecho de Autor, otorgamos al **Instituto Politécnico Nacional**, en adelante **El IPN**, autorización no exclusiva para comunicar y exhibir públicamente total o parcialmente en medios digitales o en cualquier otro medio; para consulta y apoyar otros futuros trabajos relacionados con el tema, o referencia, por un periodo de 1 año, contado a partir de la fecha de la presente autorización, dicho periodo se renovara automáticamente en caso de no dar aviso expreso a **El IPN** de su terminación.

En virtud de lo anterior, **El IPN** deberá reconocer en todo momento nuestra calidad de autores de "**La Tesis**".

Adicionalmente, y nuestra calidad de autores y titulares de los derechos morales y patrimoniales de "**La Tesis**", manifestamos que la misma es original y que la presente autorización no contraviene ninguna otorgada por el suscrito respecto de "**La Tesis**", por lo que deslindamos de toda responsabilidad a **El IPN** en caso de que el contenido de "**La Tesis**" o la autorización, concedida afecte o viole derechos autorales, industriales, convenios o contratos de confidencialidad o en general cualquier derecho de propiedad intelectual de terceros y asumimos las consecuencias legales y económicas de cualquier demanda o reclamación que puedan derivarse del caso.

Ciudad de México a 11 de marzo de 2019

Atentamente



Alejandro Vega Magaña



Santiago Patiño Castillo

## **AGRADECIMIENTOS**

Dedico este trabajo a mi familia, por permitirme llegar hasta este momento de mi formación profesional. A mi madre por ser el motor y eje de nuestro hogar y siempre alentarme a continuar luchando, dándome siempre un ejemplo de amor y paciencia. A mi padre, por acompañarme sin reclamar mis errores y fracasos y ser el más grande ejemplo de lucha y entrega. A mi hermano, que siempre me ha apoyado sin importar la circunstancia y por siempre estar dispuesto a escucharme en cualquier momento.

A mis amigos, Gerardo, Fernando y Alberto, por acompañarme a lo largo de todos estos años aprendiendo y creciendo juntos, por los interminables momentos que hemos compartido, a Fabiola, que me ha visto en mis mejores y peores momentos desde hace 18 años, por estar en mis más grandes logros y mis más grandes fracasos, a Isaac por compartir y apoyarme en mis necesidades más grandes, a Jesús y Edwind, por haber compartido el nivel superior conmigo y permanecer en los momentos más complicados de estos años.

A Marco Antonio Parra.

Y a todos los que no me es posible mencionar pero que formaron parte de mi camino y siguen siendo parte de mi vida y han aportado algo para que sea un mejor hijo, hermano, amigo, estudiante y ahora profesionalista.

Dedico este trabajo a mi familia por apoyarme en el camino de mi desarrollo y formación profesional. A mis padres por estar conmigo en la adversidad y especialmente a mi madre por creer en mi como persona y estudiante, siendo ella mi motivación para seguir adelante.

A mis amigos y personas con las que conviví esta etapa de mi vida y estuvieron conmigo de forma incondicional. Y a todos aquellos que no es posible mencionar, muchas gracias.

# ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

JUSTIFICACIÓN

OBJETIVO GENERAL

OBJETIVOS ESPECÍFICOS O PARTICULARES

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

CAPÍTULO 1: GENERALIDADES DE LOS SISTEMAS DE GENERACIÓN E ILUMINACIÓN.....	1
1.1 Aspectos Ecológicos y Sociales.....	1
1.1.1 Protocolo de Kioto.....	1
1.1.2 México dentro del protocolo.....	2
1.1.3 Efecto invernadero.....	3
1.2. Principios de la ingeniería verde.....	4
1.2.1 La sustentabilidad y la sostenibilidad.....	4
1.3. Naturaleza y propagación de la luz.....	6
1.3.1 Espectro electromagnético.....	7
1.4 Propiedades de la Luz.....	8
1.4.1 Flujo luminoso.....	8
1.4.2 Temperatura del Color.....	14
1.5. Sistemas de iluminación.....	16
1.6 La energía solar.....	20
1.6.1 Irradiación e insolación.....	23
1.6.2 Factores que afectan el recurso solar.....	24
1.6.3 La posición.....	25
1.7 Celdas solares.....	26
1.7.1 Parámetros de funcionamiento de una celda solar.....	28
1.7.2 Tensión de circuito abierto y corriente de oscuridad.....	31
1.7.3 Factor de forma, resistencia serie paralelo.....	32
1.8 Tipos de sistemas fotovoltaicos.....	33
1.9 La temperatura en el panel fotovoltaico.....	36

1.10 Pérdidas del sistema fotovoltaico .....	37
1.11 Elementos del sistema fotovoltaico aislado.....	39
1.12. Normatividad aplicable .....	42
CAPÍTULO 2. ANÁLISIS TÉCNICO .....	44
2.1 Localización del Proyecto .....	44
2.2 Situación Actual.....	44
2.3 Recolección de datos.....	46
2.4 Elaboración documental del estado actual.....	48
2.5 Estudios Técnicos .....	50
2.6 Propuestas de solución .....	66
Capítulo 3 Análisis económico.....	100
3.1 Determinación de los costos .....	100
3.2 Costos hundidos .....	100
3.3 Gastos Futuros o inversión.....	101
3.5 Cronograma de Actividades .....	108
CONCLUSIONES .....	109
GLOSARIO .....	110
FUENTES CONSULTADAS .....	113
Anexo A. FACTORES DE EMISIÓN .....	117
Anexo B. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL MÓDULO FOTOVOLTAICO.....	118
Anexo C. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL CONTROLADOR DE CARGA.....	119
Anexo D. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL CONTROLADOR DEL INVERSOR.....	120
Anexo E. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA BATERIA .....	121
Anexo F. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL INTERRUPTOR DE TRANSFERENCIA .....	122

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Espectro de la luz visible.....	6
Figura 2. Efecto de propagación de la luz. ....	8
Figura 3. Sólido Fotométrico y corte axial de la curva fotométrica. ....	10
Figura 4. Luminancia representada de forma gráfica. ....	11
Figura 5. Representación gráfica de la eficiencia luminosa ....	12
Figura 6. Depreciación del flujo luminoso.....	13
Figura 7. Ley de la Inversa de los cuadrados.....	14
Figura 8. Partes de una lampara incandescente. ....	16
Figura 9. Regeneración del filamento de una lampara halógena. ....	17
Figura 10. Operación de una lampara de descarga.....	18
Figura 11. Conexión eléctrica de una lampara fluorescente.....	19
Figura 12. Principio de funcionamiento de una lampara fluorescente.....	19
Figura 13. Movimiento rotacional del planeta Tierra. ....	21
Figura 14. Movimiento traslacional de la Tierra. ....	21
Figura 15 Representación gráfica del movimiento de Nutación y de Precesión.....	22
Figura 16. Incidencia de los rayos solares. ....	22
Figura 17. Mapas de irradiación Solar en la República Mexicana Primavera y Verano (de izquierda a derecha respectivamente) .....	23
Figura 18. Mapas de irradiación Solar en la República Mexicana Otoño e Invierno (de izquierda a derecha respectivamente) .....	23
Figura 19. Factores que afectan el recurso solar. ....	25
Figura 20. Posición de incidencia solar.....	26
Figura 21. Materiales de fabricación de celdas fotovoltaicas .....	27
Figura 22. Estructuras del silicio Amorfo, Multicristalino y Policristalino (de izquierda a derecha respectivamente) .....	28
Figura 23- Curva de los parámetros eléctricos de la celda solar.....	29
Figura 24. Rendimiento de las celdas acorde a la tecnología empleada. ....	30
Figura 25- Perdidas dentro de la celda.....	30
Figura 26. Circuito eléctrico equivalente de la celda junto a sus parámetros eléctricos.....	33
Figura 27. Componentes básicos de un sistema fotovoltaico aislado. ....	35
Figura 28. Conexión típica de un sistema fotovoltaico interconectado a la red.....	36
Figura 29. Conexiones eléctricas de la batería.....	40
Figura 30. Elementos que componen una batería. ....	41
Figura 31. Circuito del inversor y tipos de onda de salida.....	42
Figura 32. Ubicación de la zona donde se llevará a cabo el proyecto.....	44
Figura 33. Muestra de la iluminación en diferentes áreas de la nave. ....	45
Figura 34. Croquis de la planta con sus diferentes secciones. ....	48
Figura 35.. Diagrama unifilar de la sección de cerámicos (actual). ....	49
Figura 36. Metodología propuesta a seguir. ....	50
Figura 37. División de las áreas para el cálculo por el método de Watt por metro cuadrado. ....	52
Figura 38. Conexión de las lámparas T8 acorde al manual de fabricante.....	64
Figura 39. Conexión de las lámparas T12 acorde al manual de fabricante.....	65
Figura 40. Extracto del catálogo del fabricante.....	68

Figura 41. Diagrama unifilar de la corrección del circuito de iluminación.....	73
Figura 42. Distribución de las luminarias y extracto de las distancias (las distancias están dadas en metros).....	74
Figura 43. Zona propuesta para instalar el sistema fotovoltaico (resaltada en amarillo). ....	85
Figura 44. Diagrama Unifilar del sistema fotovoltaico. ....	94
Figura 45. Facturación eléctrica de la compañía.....	101
Figura 46. Gráfica del gasto de energía.....	106
Figura 47. Punto de equilibrio.....	107

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Contribución porcentual del sector de generación de electricidad al total de emisiones nacionales.....	3
Tabla 2. Espectros de radiación electromagnética. ....	7
Tabla 3. Efectos anímicos de acuerdo con la iluminancia. ....	11
Tabla 4. Temperaturas de color en grados Kelvin.....	15
Tabla 5. Tabla de irradiación promedio anual en la Ciudad de México.....	24
Tabla 6. Iluminación instalada en la sección de cerámicos.....	46
Tabla 7. Levantamiento de datos. ....	47
Tabla 8. Síntesis comparativa de los datos calculados y el levantamiento de campo.....	62
Tabla 9. Síntesis de lámparas de luminarios por diámetro.....	66
Tabla 10. Tabla comparativa de lámparas para remplazo. ....	68
Tabla 11. Remplazo de las lámparas.....	70
Tabla 12. Corriente demanda por luminarias acorde al área.....	70
Tabla 13. Reducción de emisiones de CO2 asociadas al consumo eléctrico.....	76
Tabla 14. Equipo a considera dentro del proyecto. ....	77
Tabla 15. Irradiación solar en la locación 19.508049, -99.172752.....	81
Tabla 16. Tabla comparativa de módulos fotovoltaicos. ....	95
Tabla 17. Tabla comparativa de Inversores.....	96
Tabla 18. Tabla comparativa de controladores de carga.....	97
Tabla 19. Comparativa de baterías.....	98
Tabla 20. Materiales del proyecto.....	102
Tabla 21. Material Fotovoltaico. ....	103
Tabla 22. Cuadrillas. ....	103
Tabla 23. Herramientas.....	104
Tabla 24. Gatos totales.....	105
Tabla 25. Gasto anual relacionado al consumo de energía eléctrica.....	105
Tabla 26. Cronograma de actividades.....	108

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El presente proyecto toma en cuenta los sistemas actuales de iluminación instalados en una planta de producción de cerámicos. Dentro del área que concierne se toma en consideración para el análisis todo aquello presente como la variedad de actividades laborales tales como el transporte de materiales hacia zonas de cocción o bien la preparación de los moldes mediante la presurización del polvo cerámico dentro del correspondiente molde por medio de maquinaria para ser posteriormente trasladados al área en donde son horneados, lo anterior representa un riesgo si el personal que lleva esta actividad a cabo no tiene una correcta visión de los elementos que hay en su entorno, aquellos que manipula y la maquinaria con la que tiene interacción le puede resultar difícil identificar los potenciales riesgos

El estado actual de los sistemas de iluminación presentes dentro de las diversas áreas de trabajo no garantiza la seguridad de los trabajadores dentro de las zonas laborales, debido a la pobre e inadecuada iluminación en las zonas de trabajo. Lo cual se traduce en un alto riesgo al operar maquinaria o en el tránsito de estos dentro de las diferentes zonas.

Afectando el capital humano y la productividad por los escasos niveles de iluminación dentro de la empresa, además de producir daños a la salud de los empleados al exponerse constantemente a zonas de riesgo donde pudieran sufrir algún daño.

Por otra parte, los sistemas de generación de energía eléctrica convencionales tienen asociada una alta emisión de gases contaminantes asociados, por lo cual un alto consumo eléctrico como el que se presenta tiene a su vez una huella de carbono asociada muy grande. Ya que no se aprovechan fuentes de energía alternativas que hoy en día están al alcance con la tecnología actual.

## JUSTIFICACIÓN

El correcto acondicionamiento del sistema de iluminación reduce los riesgos de empleados al realizar actividades en zonas de trabajo ya que una correcta visión del entorno ayuda a un mejor desempeño e identificación de posibles riesgos disminuyendo así el número de accidentes laborales. Esto favorece a los empleados, brindándoles una mayor seguridad en el desempeño de sus actividades por una mejor percepción de su entorno, gracias a una correcta iluminación.

Al mismo tiempo, el cambio de tecnología ayuda a la reducción de consumos eléctricos, dando a la empresa una menor facturación en el consumo de energía eléctrica por parte de iluminación y en consecuencia las emisiones de carbono asociadas a la generación de energía eléctrica por medios tradicionales como la combustión de combustibles fósiles tienen una reducción asociada por la menor demanda de energía a la compañía suministradora, favoreciendo al medio ambiente.

Aunado a la actualización del sistema de iluminación se propone un sistema alternativo de generación que contribuya al suministro de energía destinada para el proyecto. Aprovechando el recurso solar para alimentar al mismo mediante módulos fotovoltaicos, siendo una energía limpia lo cual contribuye a una reducción de emisiones de gases contaminantes, beneficiando al ambiente y a la sociedad.

## **OBJETIVO GENERAL**

Actualizar del sistema de iluminación en función de los niveles óptimos en una industria de autopartes, aplicando tecnología LED en luminarias suministrando la demanda de energía con un sistema de generación fotovoltaica.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS O PARTICULARES**

- Maximizar la utilización de material combinando la propuesta con la infraestructura existente.
- Cumplir con los estándares mínimos necesarios para satisfacer los requerimientos de las normas aplicables dentro del tema de iluminación en zonas de trabajo.
- Corroborar el correcto funcionamiento y cumplimiento normativo del sistema de iluminación actual.
- Actualizar el sistema con una tecnología de iluminación más eficiente y de generación verde que ayude a reducir la emisión de  $CO_2$  asociada al consumo de energía eléctrica.

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se lleva a cabo para realizar un diagnóstico y una posterior propuesta de actualización de un sistema de iluminación dentro de una planta de cocción de materiales cerámicos. Así como el diseño y adaptación de un sistema de generación fotovoltaico para la alimentación del sistema de iluminación mencionado.

El desempeño laboral se ve afectado por diversos factores, entre los cuales se encuentran aquellos relacionados con la calidad de percepción visual. La deficiente iluminación del ambiente en el cual se desarrollan las actividades trae como consecuencias conjuntas una percepción de un mal ambiente laboral, al cual se unen otras consecuencias como el incremento en el riesgo de la seguridad del personal, así como posibles afecciones a la integridad de las personas, como se expone en trabajos como “Análisis de los riesgos físicos (ruido e iluminación) y su influencia en el desempeño laboral de los trabajadores del área de ingeniería del Grupo Azul” (Montenegro , 2012) y “Impacto Del Factor Iluminación Y Psicosocial En El Desempeño Laboral Del Personal De Apoyo Y Asistencia A La Educación”. (Obregón & Francisco, 2018). El sentido de la vista es uno de los principales sentidos que se tiene para poder interactuar con el entorno y advertir posibles riesgos en el mismo, así mismo tiene un efecto en los estados de ánimo de las personas y una inherente relación a las actividades que se desempeña en áreas concretas.

La evolución de los sistemas de iluminación artificial permite mejorar estas calidades en cuanto a la percepción que generan a las personas dentro del ambiente en el cual desenvuelven ciertas actividades, es un punto a consideración para la modificación y actualización de dichos sistemas de iluminación artificial.

De lo que se menciona surge la oportunidad del proyecto para realizar un estudio pertinente que se transforme en una propuesta de actualización para garantizar un ambiente óptimo y seguro para el personal dentro de la planta de cocción. Reduciendo la posibilidad de accidentes y problemas asociados a una mala iluminación. Y teniendo como ganancias aunadas la reducción de la potencia eléctrica, así como las emisiones asociadas de  $CO_2$ .

Estos sistemas artificiales son dependientes de una fuente de energía para poder operar, en este caso la fuente es la energía eléctrica, si bien la electricidad es actualmente una de las principales energías con la que puede operar la sociedad como la conocemos actualmente los medios por los que se produce dicha energía aún siguen teniendo bases de operación que se han mantenido durante años y que recurren a la conversión de energía de fuentes fósiles en electricidad. Esta conversión tiene como derivados varios tipos de elementos que son perjudiciales área el medio ambiente, a partir de esto surge la necesidad de voltear a nuevas tecnologías, disponibles en la actualidad, que aprovechan fuentes más limpias como el sol, el viento, el calor, entre otros. Y que los derivados perjudiciales asociados son menores o prácticamente nulos.

En el Capítulo 1 se muestran las características que sustentan al proyecto, dando fundamento al apartado técnico y al contexto ecológico que se aborda. Partiendo de los principios de sustentabilidad y el contexto que da forma a los pilares; social, económico y ambiental sobre los cuales esta erigido. Y en la parte técnica las bases de los elementos técnicos que son utilizados.

El Capítulo 2 aborda el análisis técnico del proyecto, en el cual se encuentran los levantamientos y estudios previos necesarios para dar una noción de las principales carencias y elementos de atención dentro de la zona del proyecto. Al igual se describe la metodología empleada para el cálculo y la generación de una propuesta de solución y la determinación de los elementos pertinentes para dar pie a dicha solución.

En el Capítulo 3 se realiza un análisis económico en el que se tienen que estimar los costos necesarios para la implementación de la propuesta, si la misma resulta en una ganancia y de ser así estudiar el tiempo, como punto de partida se toma el recibo de facturación eléctrica pues es de sumo interés saber cuánto es que se factura para poder generar un ahorro en dicha cantidad, posteriormente se realiza una estimación de los recursos económicos necesarios para desarrollar nuestra propuesta, identificar todos los criterios que representan un gasto, y todos aquellos que resultaran en un retorno de inversión.

## ANTECEDENTES

La generación de energía con fuentes renovables o energías verdes han cobrado una notoriedad sustancial en años recientes, debido a la búsqueda de nuevos métodos de abastecimiento que suplan a las fuentes convencionales (combustibles fósiles). Esto porque las actividades económicas y actividades relacionadas están ligadas a fuentes energéticas para su desarrollo.

Acorde con la OCDE en su proyección para el año 2050 se espera que la población mundial incremente de 7 mil millones a 9 nueve mil millones aunado a un aumento en la economía de casi 4 veces y 80% más demanda energética en su mayoría con fuentes que propician los gases de efecto invernadero (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, 2012). En nuestro país la problemática relacionada a emisiones contaminantes ligadas a actividades económicas es algo que se ha ido arrastrando “La contaminación generada por el sector industrial se elevó 32.9% en entre 1980-1982 y mediados de los noventa Las mayores tasas de crecimiento de la contaminación las experimentaron Brasil, México, Chile y Colombia” (Schatan, 1999).

Ante estas situaciones nuestro país a tomado medidas para la mitigación de gases contaminantes y la transición de generación energética a fuentes más limpias. Como indica Gonzalo De La Torre Rodríguez en su nota “(Perspectivas del sector de energías renovables en México 2018” (De La Torre, 2018) los factores que han impulsado el crecimiento de fuentes de energías verdes ha sido la implementación de certificados de energías limpias y la apertura del mercado eléctrico con las subastas eléctricas.

Nuestro país es rico en fuentes de energías verdes por lo cual su aplicación puede ser variada, la que más se ajusta por nuestra posición geográfica son las fuentes de generación fotovoltaica. En su artículo “Prospectiva de las energías eólica y solar fotovoltaica en la producción de energía eléctrica” (Beltran, Morera, López, & Villela, 2017) afirman que el territorio nacional es propicio para sistemas fotovoltaicos y que este sistema de generación es suficientemente competitivo para su implementación.

De igual manera podemos observar la viabilidad de los sistemas fotovoltaicos en menor escala, su trabajo “Standalone PV systems for rural areas in Sabah, Malaysia” (Alwaeli & Mahdi , 2017) demuestra la viabilidad de sistemas fotovoltaicos aislados, de esta manera la generación energía puede ser distribuida, sin ser necesario un campo solar extenso. Como se menciona, nuestro país es uno de los mayores países de Latinoamérica con irradiación solar en todo su territorio por lo cual y como se expone en “(Review and design of a standalone PV system performance” (Al-Waeli, Kazem, & Chaichan, 2016) los lugares ubicados en una latitud entre los 20° y 30° tienen una ubicación óptima para la conversión de energía fotovoltaica.

Otro factor en consideración el trabajo conjunto con la red de suministro eléctrico y de esta forma la reducción en la facturación eléctrica. Como se expone en “Dimensionamiento de un sistema de energía solar fotovoltaica para una vivienda en la ciudad de Cordova” (Roitman, Mestrallet, Aramburu, & Rossi, 2015) donde se puede

concluir que este tipo de sistemas son viables para su utilización conjunta a la red convencional y la reducción en facturación eléctrica.

Ante esto el trabajar con sistemas fotovoltaicos es una opción viable para diferentes propósitos ya que son ajustables a la demanda necesaria.

# **CAPÍTULO 1: GENERALIDADES DE LOS SISTEMAS DE GENERACIÓN E ILUMINACIÓN**

## **1.1 Aspectos Ecológicos y Sociales**

### **1.1.1 Protocolo de Kioto**

El protocolo de Kioto es un protocolo que se firmó entre diversas naciones con el objetivo de reducir las emisiones de los gases causantes del así llamado efecto invernadero al que se le atribuye el calentamiento global. Los seis principales gases que producen este efecto son:

Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)

Metano (CH<sub>4</sub>)

Óxido nitroso (N<sub>2</sub>O)

Hidrofluorocarbonos (HFC)

Perfluorocarbonos (HFC)

Hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>)

Si bien el protocolo fue firmado en el año de 1997, fue hasta el año de 2005 que entró en vigor, y aunque son más de 187 los estados que han firmado este protocolo, lo cierto es que se tiene hasta el momento pruebas de que se esté frenando el cambio climático o que se haya mejorado en alguna manera las condiciones atmosféricas de la tierra.

Por el contrario, las emisiones de los gases arriba mencionados no solo no han disminuido, sino que han aumentado, la contaminación de ecosistemas ha ido también al alza y nos pone en estado de alerta para los próximos años.

En su artículo "The Wrong Solution at the Right Time: The Failure of the Kyoto Protocol on Climate Change" Amanda Rosen, para la revista "Politics and Policy", expone que el acuerdo tenía objetivos claros y acertados, sin embargo, sus alcances no fueron los suficientes.

Menciona casos en los que la colaboración internacional ha logrado sus objetivos, como la reducción en la producción de armas nucleares o el combate de enfermedades como el polio, como en este caso no fue así, el enfoque era el adecuado pero la ejecución falló en diferentes niveles.

La eficacia y la eficiencia de este, se analiza por qué se falló si se tuvo la previsión aparentemente necesaria, se señala al diseño del protocolo, en el que en primera

instancia se critica el tiempo ya que tuvo un tiempo de 5 años para observar las contribuciones y parece excesivo tanto que debió ser inmediato.

Para lograr de limitar a 2°C el incremento de temperatura de la tierra respecto de la era pre-industrial, los países desarrollados deberían reducir sus emisiones para el 2020 ente un 10 y un 40 % por debajo de los niveles de 1990 y para 2050 el entre el 40 y el 95%. (traducido y extraído del reporte de IPCC,2007 Cambio climático 2007, Informe de síntesis, publicado por el Grupo Intergubernamental de expertos sobre cambio climático,2007, página 64)

Lo que como se menciona en el artículo resulta contrastante comparado con el 8 por ciento solicitado las naciones que firmaron el protocolo. Por otro lado, es importante mencionar cuales fueron los aciertos del protocolo:

Se logró que los estados participantes crearan leyes y organismos que regularan las emisiones de los gases y así intentar cumplir con los objetivos. Que la industria privada considere dentro de sus nuevos proyectos el impacto ambiental. Fomentar la creación de un mercado del carbono, que a la postre logre reducir las emisiones a menor costo.

### **1.1.2 México dentro del protocolo**

México está entre los primeros lugares entre los países que generan las mayores cantidades de Gases de efecto invernadero, durante el gobierno de Felipe Calderón se aprobó el Programa Especial de Cambio Climático, en el que el país se compromete a reducir las emisiones de Gases de Efecto invernadero hasta en un 20 por ciento para 2020 y 50% en 2050 (Ramos, 2011).

México se ha responsabilizado y es el primer país en américa latina en contar con organismos que regulen a sus empresas y presione para que se comprometan a regular sus emisiones de gases de efecto invernadero, México cuenta con una amplia variedad de empresas dentro de su territorio, tanto nacionales como internacionales que buscan en su mayoría contar con diferentes tipos de certificaciones, dentro de las más importantes destacan las certificaciones ISO en sus diferentes rubros por ejemplo, contar con las certificaciones ISO 14064 e ISO 14065 sobre las especificaciones para la validación y verificación de las declaraciones sobre los gases de efecto invernadero, representa a la postre ostentar el título de Empresa Socialmente Responsable (ESR).

Es tan solo el primer paso para lograr un cambio en favor del planeta, ya que ahora que existen las instituciones que van a regular el cumplimiento de las normas internacionales, hay que presionar a la industria para que lo cumplan.

Guste o no las reformas estructurales que vive el presente del país representan un área de oportunidad para que la generación de energía eléctrica reduzca el porcentaje de generación a base de la quema de combustibles fósiles, lo que pudiese ser un circulo virtuoso, está en manos de una buena ejecución por parte del gobierno y de los empresarios, ya que con la reforma energética la generación de energía paso a ser un negocio en manos no solo del gobierno federal, sino que ahora la participación de la

industria privada proyecta sus inversiones hacia las distintas maneras de generar energía.

Es un camino largo el que el país tiene por recorrer, sin embargo, ya se han sentado las bases para lograr cumplir con los objetivos que se han planteado tanto para el 2020 como para el 2050.

### 1.1.3 Efecto invernadero

El efecto invernadero se refiere a al calentamiento que se produce dentro de la atmósfera terrestre cuando algunos gases dejan pasar la luz pero retienen el calor que rebota en la superficie terrestre, principalmente los que se mencionan en el apartado anterior, este efecto invernadero ha acontecido siempre y es lo que ayuda a mantener la temperatura de la tierra como la conocemos, ya que sin este efecto la tierra tendría una temperatura media de  $-18^{\circ}\text{C}$  (Gobierno de Aragon, 2018).

Por lo que, en términos generales esto no es completamente malo, sin embargo, a causa de las grandes cantidades emitidas por los diversos procesos industriales ha tenido como consecuencia el así llamado calentamiento global.

Este efecto ha sido estudiado desde 1824, cuando Joseph Fourier propuso que la atmosfera de la tierra interfiere para elevar la temperatura de la tierra.

En el año de 1862 John Tyndall describió la clave para comenzar el estudio de lo que hoy conocemos como cambio climático, cuando en uno de sus estudios describe “Como una represa construida a través de un río causa una profundización local de la corriente, nuestra atmósfera, lanzada como una barrera a través de los rayos terrestres, produce un aumento local de la temperatura en la superficie de la Tierra” (Kaper, s.f.).

Tabla 1: Contribución porcentual del sector de generación de electricidad al total de emisiones nacionales. Recuperado de: <http://www3.cec.org/islandora/es/item/2165-north-american-power-plant-air-emissions-es.pdf>

Contaminante	Canadá <sup>b</sup>	México <sup>c</sup>	Estados Unidos <sup>d</sup>
Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	20%	55%	69%
Óxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> )	11%	27%	22%
Mercurio (Hg)	25%	3%	40%
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	22%	30%	39%

## **1.2. Principios de la ingeniería verde**

Los principios de la ingeniería verde o 12 principios para la sostenibilidad hacen referencia a los aspectos que deben considerarse para la implementación de la ingeniería consciente, buscan generar una buena práctica entre los nuevos diseñadores de proyectos generando bases para crear una nueva era, en la que se busca el equilibrio ya mencionado entre la satisfacción de las necesidades y la conservación del entorno. Fue propuesto por Paul Anastas and John Warner en 1998.

1. Los diseñadores deben esforzarse por asegurar que todas las entradas y salidas de materia y energía sean tan inherentemente inocuas como sea posible.
2. Es mejor prevenir la contaminación que tratar o limpiar el residuo ya producido.
3. Las operaciones de separación y purificación deberán diseñarse para minimizar el consumo de energía y el uso de materiales.
4. Los productos, procesos y sistemas deberán diseñarse para la maximización de la eficiencia en el uso de materia, energía y espacio.
5. Los productos, procesos y sistemas deberán estar orientados hacia la “producción bajo demanda” (output pulled) más que hacia el “agotamiento de la alimentación” (“input pushed”).
6. La entropía y la complejidad inherentes deben ser consideradas como una inversión al elegir entre reutilizar, reciclar o rechazar como residuo final.
7. Diseñar para la durabilidad, no para la inmortalidad.
8. Satisfacer la necesidad, minimizar el exceso.
9. Minimizar la diversidad de materiales.
10. Cerrar los ciclos de materia y energía del proceso tanto como sea posible.
11. Diseñar para la reutilización de componentes tras el final de la vida útil del producto.
12. Las entradas de materia y energía deberán ser renovables.

### **1.2.1 La sustentabilidad y la sostenibilidad**

La sustentabilidad es un concepto que se refiere al equilibrio entre la producción del hombre en su entorno, de las diferentes definiciones que existen la que se considera más acertada es la que en 1987 se describe en el libro Nuestro futuro común “la capacidad de satisfacer necesidades de la generación humana actual sin que esto suponga la anulación de las generaciones futuras de satisfacer las propias” (Nuestro futuro común,

1987, ONU). Supone entonces que en todos los procesos del desarrollo humano hay equilibrio de los recursos que dispone para la satisfacción de sus necesidades.

Por otro lado, la sostenibilidad a diferencia de la sustentabilidad toma en cuenta las condiciones sociales, políticas y económicas del conjunto social al que se refiere, buscando en todo momento cumplir con estas características.

### 1.3. Naturaleza y propagación de la luz

La luz es una onda electromagnética que se desplaza a 300000 km/s, similar a las ondas de radio y televisión, pero con una longitud de onda entre 380 y 780 nm comprendidas en frecuencias de  $0.79 \times 10^{15}$  y  $0.38 \times 10^{15}$  Hz respectivamente. El espectro luminoso se muestra en la Figura 1.

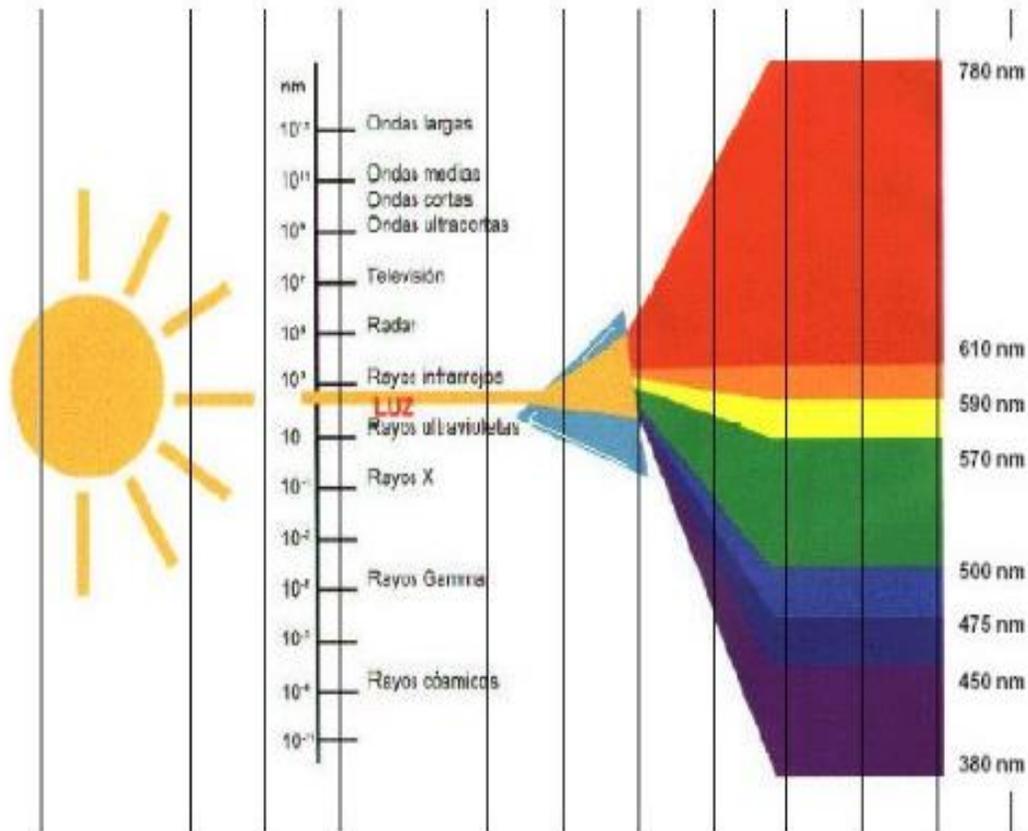


Figura 1. Espectro de la luz visible. Recuperado de: <https://recuerdosdepondora.com/curiosidades/el-arcoiris-no-tiene-siete-colores/>

La luz solar blanca es la resultante del conjunto de los colores que componen su espectro. Este espectro se puede hacer visible mediante el llamado prisma óptico. Las longitudes de onda superiores a las 780 nm son las radiaciones infrarrojas en forma de calor y las inferiores a 400 nm son los llamados rayos ultravioleta. La luz es el producto de la interacción de la energía y la materia,

Como se menciona es una onda electromagnética y esta tiene su existencia como la consecuencia de dos efectos; un campo magnético variable el cual a su vez genera un campo eléctrico y un campo eléctrico variable que produce uno magnético. Por lo tanto,

las ondas mencionadas consisten en campos eléctricos y magnéticos oscilatorios que son perpendiculares entre sí y a su vez perpendiculares a la dirección de propagación de la onda.

### 1.3.1 Espectro electromagnético.

El flujo de energía saliente, de una fuente cualquiera, en forma de ondas electromagnéticas se le denomina radiación electromagnética y bien puede considerarse natural o artificial. Este espectro electromagnético, mostrado en la Tabla 2, es el conjunto de todas las frecuencias posibles a las que se puede producir la radiación electromagnética

Tabla 2. Espectros de radiación electromagnética.

	Frecuencia [Hz]	Nomenclatura	Efectos a Personas
Ondas de naturaleza electromagnética	$10^{22}$	Radiación Cósmica	Se produce acumulación de los niveles de radiación en el organismo. Daño proporcional a los niveles acumulados
	$10^{(20,22)}$	Rayos $\gamma$	
	$10^{(17,20)}$	Rayos X	
	$10^{(15,17)}$	Radiación ultravioleta	
	$10^{15}$	Luz visible	Sensible a la retina
Ondas de naturaleza electromagnética	$10^{(13,15)}$	Radiación Infrarroja	Transformación de calor dentro del cuerpo.
	$10^{(9,13)}$	SHF microondas	
	$10^{(8,9)}$	UHF Ultra alta frecuencia	
	$10^{(7,8)}$	VHF (FM frecuencia modulada)	
Ondas de naturaleza electromagnética	$10^{(6,7)}$	HF Onda corta	Atraviesa el organismo sin efectos adversos
	$10^5$	MF Onda media	
	$10^5$	LF Onda larga	
Ondas acústicas y N. ondulatorias	$10^4$	Ultrasonidos > 20Hz	Imperceptible para el ser humano
	$10^3$	Sonidos medios y agudos	Frecuencias audibles y vibración al tacto
	$10^2$	Sonidos Graves	
	50 - 60	Frecuencia de la C. A	

Una de las características más importantes de la radiación luminosa es que se propaga en línea recta, ejemplificado en la Figura 2. A consecuencia de lo anterior el tipo de sombra que un objeto produzca dependerá del tipo de fuente de luz elegida. Una fuente puntal producirá sombras duras mientras que una no puntal añadirá una zona intermedia llamada de penumbra.

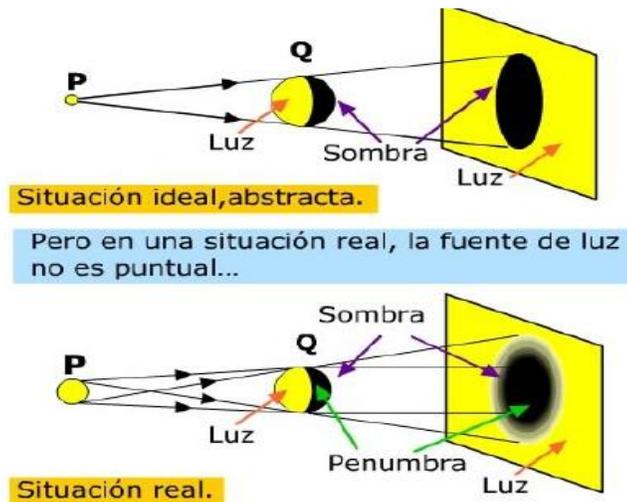


Figura 2. Efecto de propagación de la luz. Recuperado de: <https://www.fisic.ch/contenidos/ondas-y-la-luz/color-y-luz/>

## 1.4 Propiedades de la Luz

### 1.4.1 Flujo luminoso

Se define como el caudal de radiación de una fuente luminosa en la unidad de tiempo. Su unidad se llama lumen [lm]. Su formulación  $\Phi$  que es el flujo luminoso, Q la cantidad de luz o radiación visible y t el tiempo que se mantiene dicha radiación. Lo anterior se ve reflejado en la ecuación 1.

$$\Phi = \frac{Q}{t}$$

Ecuación 1

Dónde:

$\Phi$  es el flujo luminoso [lm]

Q es la cantidad de luz o radiación visible [C]

t es el tiempo [s]

### **Cantidad de luz y energía luminosa**

Partiendo de la formulación del flujo luminoso la cantidad de luz Q definida como el flujo luminoso por el tiempo que permanece su acción como expresa la ecuación 2.

$$Q = \Phi * t$$

*Ecuación 2*

Dónde:

$\Phi$  es el flujo luminoso [lm]

Q es la cantidad de luz o radiación visible [C]

t es el tiempo [s]

### **Intensidad luminosa**

Se define como la relación entre el flujo emitido por una fuente luminosa y el ángulo sólido en el que se emite, representado en la ecuación 3.

$$I = \frac{\Phi}{\omega}$$

*Ecuación 3*

Dónde:

I es la intensidad luminosa [cd]

$\Phi$  es el flujo luminoso [lm]

$\omega$  ángulo solido [str]

Siendo I la intensidad luminosa,  $\Phi$  el flujo luminoso en lúmenes y  $\omega$  el ángulo sólido en estereorradianes (str). La unidad se llama candela [cd] o [lm/str].

### **Diagrama Polar de una fuente luminosa**

También llamada Diagrama de distribución de la Intensidad Luminosa o Curva Fotométrica de una luminaria, es la representación en forma gráfica de forma polar de los vectores de intensidad de una sección determinada.

El sólido fotométrico, ilustrado en la Figura 3, es el cuerpo volumétrico que se genera al representar la Intensidad Luminosa de forma vectorial y que se distribuye en todas las direcciones del espacio. Suele tener dos simetrías axiales, por lo que se recurre a una o dos curvas fotométricas representativas para su representación

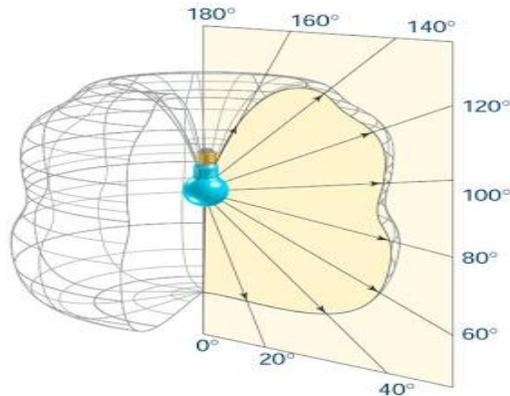


Figura 3. Sólido Fotométrico y corte axial de la curva fotométrica. Recuperado de: <http://iluminaciondeinteriores.blogspot.com/2009/04/curva-de-distribucion-luminosa.html>

### **Iluminancia o nivel de iluminación**

Se puede definir como la relación o cociente entre el flujo luminoso emitido por una fuente y la superficie sobre la cual incide, lo anterior se expresa en la ecuación 4.

$$E = \frac{\Phi}{S} \quad \text{Ecuación 4}$$

Dónde:

$\Phi$  Es el flujo luminoso en Lúmenes

S El área de la superficie a iluminar en  $m^2$

E la Iluminancia total.

Su unidad es el lux o  $[lm/m^2]$  y se puede medir con un aparato electrónico llamado luxómetro, que consiste en un sensor o celda fotoeléctrica cuya variación de resistencia es consecuencia del nivel de iluminación recibido.

Tabla 3. Efectos anímicos de acuerdo con la iluminancia.

Iluminancia en Lux	Apariencia del color de la luz		
	Cálida	Intermedia	Fría
$E \leq 500$	Agradable	Neutra	Fría
$500 < E < 3000$	Estimulante	Agradable	Neutra
$E \geq 3000$	Antinatural	Estimulante	Agradable

## luminancia

Se define como la relación que hay entre la intensidad luminosa emitida desde una superficie, en una dirección que forma un ángulo  $\alpha$  sobre la ortogonal de dicha superficie y su proyección con un ángulo idéntico, expresado en la ecuación 5 e ilustrado en la Figura 4.

$$L = \frac{I_{\alpha}}{S * \cos(\alpha)} \quad \text{Ecuación 5}$$

Dónde:

L es la luminancia total.

$I_{\alpha}$  es la intensidad luminosa en la dirección dada, expresada en candelas [cd]

S la superficie que recibe la intensidad luminosa, expresada en  $m^2$

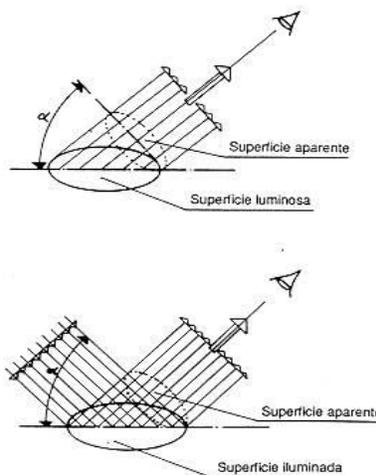


Figura 4. Luminancia representada de forma gráfica. Recuperado de: <http://luznatural-iana.blogspot.com/2012/12/luminancia.html>

## Eficiencia Luminosa

El flujo luminoso que se puede obtener de una lámpara es producto de la conversión de energía eléctrica, la cual indudablemente trae consigo una pérdida en dicha transformación de energía. La eficiencia luminosa engloba el rendimiento del sistema y se define, en la ecuación 6, como la relación del flujo luminoso y la potencia eléctrica o también puede verse como la relación entre la luz y el caudal energético necesario para producir dicha luz, representado gráficamente en la Figura 5.

$$e = \frac{\Phi}{W}$$

Ecuación 6

Dónde:

E es la eficiencia expresada en  $\frac{\text{lm}}{\text{w}}$

$\Phi$  es el flujo luminoso expresado en lúmenes

W la potencia eléctrica necesaria, expresada en watts

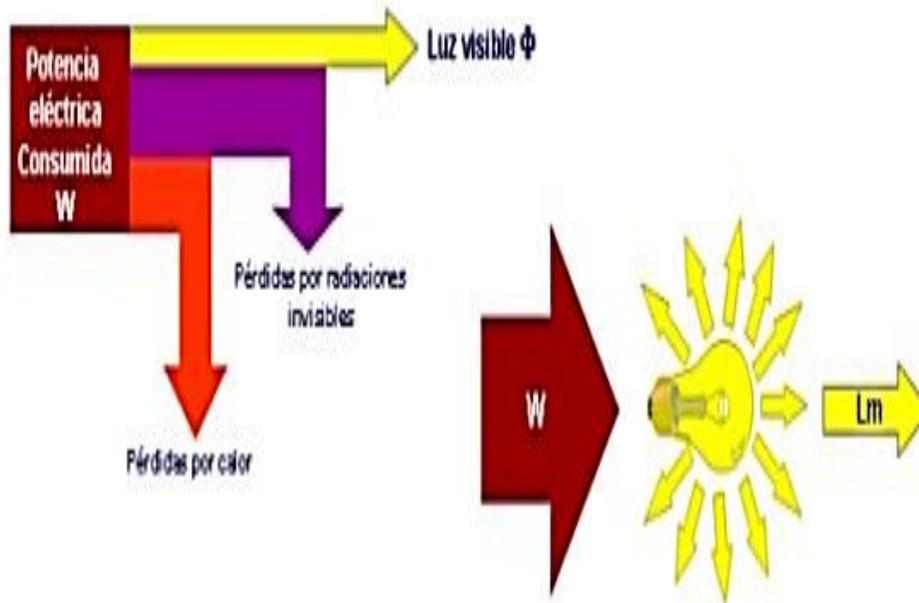


Figura 5. Representación gráfica de la eficiencia luminosa. Recuperado de: <https://image.slidesharecdn.com/1luminotecnia-120314063100-phpapp01/95/1-luminotecnia-5-728.jpg?cb=1331707581>

## Vida media y vida útil de una fuente luminosa

Acorde con el departamento de energía de los estados unidos la vida útil de una lampara es “un estimado estadístico de cuánto tiempo un producto desempeña sus funciones específicas bajo un conjunto de condiciones específicas” (United States Department of Energy, 2013, pág. 3). Por otro se tiene que la vida media, que es un dato con el que mayormente dan como referencia en hojas de datos los fabricantes es la vida media, la cual se define como “el número de horas de funcionamiento a las cuales la mortalidad de un lote representativo de fuentes de luz del mismo tipo alcanza el 50 % en condiciones estandarizadas” (Virginia Alba & Victoria Asili, 2014, pág. 28)

Si bien está basada en ensayos de laboratorio no representa el comportamiento de la lampara a lo largo de su vida y el comportamiento del flujo durante este, depreciación del flujo luminoso debido al fallo después de cierto tiempo como indica la Figura 6.

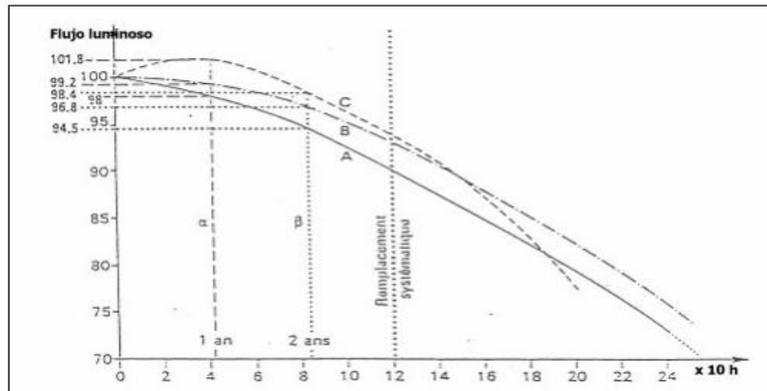


Figura 6. Depreciación del flujo luminoso. Recuperado de: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/4429/anexo%201.pdf?sequence=2&isAllowed=y>, pág. 27

## Ley de la inversa de los cuadrados.

Existe una serie de leyes físicas fotométricas que tienen como objetivo sentar las bases del cálculo de los sistemas de iluminación. La ley de la inversa de los cuadrados se define como “La iluminancia o nivel de iluminación es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre la fuente emisora de luz y la superficie que se iluminará”.

Lo anterior puede expresarse matemáticamente, en la ecuación 7, como:

$$\frac{E_1}{d_1} = \frac{E_2}{d_2} = \frac{E_3}{d_3} = \dots$$

Ecuación 7

En donde  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_3$  y así sucesivamente la iluminancia obtenida para una distancia característica de  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$ , etc. de la fuente luminosa, Figura 7, que las produce. Se considera exacta para fuentes luz puntuales y uniformes

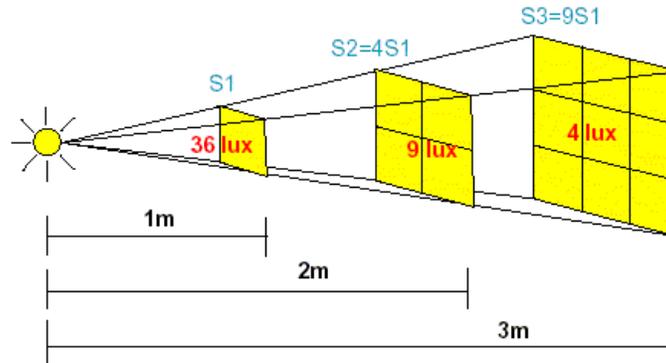


Figura 7. Ley de la Inversa de los cuadrados. Recuperado de: <http://labosigloxxi.blogspot.com/2010/10/ley-inversa-del-cuadrado-de-la.html>

## 1.4.2 Temperatura del Color

### Cuerpo negro.

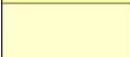
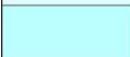
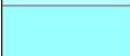
El método de describir el color de un iluminante en términos de la Temperatura a la que un cuerpo negro tendrá el mismo color. aparentemente utilizado por primera vez por Hyde en 1911. Desde entonces, este El método de asignación de "temperaturas de color" a cuerpos incandescentes ha llegado a ser de uso general. Proporciona una descripción mucho más sencilla de la Cromaticidad que una tabla que da valores de energía espectral. La temperatura del color de una fuente de luz es la temperatura a la cual un radiador Planckiano emitiría energía radiante competente para evocar un color de la misma calidad como la que evoca la energía radiante de la fuente. Esta definición rara vez es estrictamente aplicable porque probablemente ninguno de los iluminantes comunes evoca una combinación de colores. exactamente de los evocados por el radiador planckiano; por lo tanto, bajo esta definición los iluminantes artificiales y naturales no pueden estrictamente ser iguales y se les asignarán temperaturas de color. En tales casos la especificación tiene como objetivo para fijar en esa temperatura planckiana que proporciona la mínima diferencia de color; es decir, que se especifica la temperatura de color que más casi coincide con la fuente dada. Para una especificación satisfactoria La

diferencia de color involucrada debe evaluarse fácilmente. Términos apreciables. La definición anterior La temperatura del color se puede ampliar de la siguiente manera: el ideal de temperatura de color correlacionada de una fuente de luz es la temperatura absoluta en el que el radiador Planckian emite energía radiante para evocar un color que, de todos los colores de Planck, más estrechamente se aproxima al color evocado por la fuente en cuestión. Estrictamente hablando, las temperaturas de color correlacionadas ideales no se pueden calcular porque en la actualidad ningún método computacional puede ser exitoso.

Defendido por razones teóricas. Temperaturas de color correlacionadas ideales puede ser aproximado por observación directa bajo ciertas condiciones específicas; Es decir, los valores pueden diferir de los ideales. Temperatura de color correlacionada por la incertidumbre observacional. En consecuencia, Llamaremos a todos los valores de temperatura de color que representan colores no planckianos "temperaturas de color correlacionadas" independientemente de El método por el cual se obtuvieron siempre que estén destinados. Para aproximar la temperatura de color correlacionada ideal.

(Raymond , págs. 663-664)

Tabla 4. Temperaturas de color en grados Kelvin

	Temperatura	Fuentes típicas
	1000K	Velas, lámparas de aceite
	2000K	Amanecer muy temprano, lámparas de tungsteno de bajo efecto
	2500K	Bombillas caseras
	3000K	Luz de estudio (continua), "photo floods"
	4000K	Lámparas de magnesio claras (hoy en día obsoletas)
	5000K	Luz día normal, flash electrónico
	5500K	El sol de mediodía
	6000K	Día muy soleado con cielo despejado
	7000K	Cielo ligeramente nublado
	8000K	Cielo brumoso
	9000K	Sombra amplia en un día despejado
	10,000K	Cielo muy brumoso
	11,000K	Cielos azules sin sol
	20,000+K	Sombra amplia en montañas o en un día muy despejado

## 1.5. Sistemas de iluminación

### Lámparas incandescentes

Las lámparas incandescentes en su principio de funcionamiento constan de un filamento, simple o doble, por el cual se hace circular una corriente eléctrica. Llevando dicho filamento al punto de incandescencia, de ahí el nombre. Para evitar un desgaste excesivo o que llegue a quemarse el filamento, este es encapsulado en una ampolla o bulbo generalmente fabricado de vidrio el cual puede estar al vacío o introducir en él algún tipo de gas inerte como el argón, criptón, entre otros. Tienen una vida estimada de 1000 horas, siempre que se trabajen en condiciones óptimas de tensión. (Enríquez Harper, El ABC del alumbrado y las instalaciones eléctricas en baja tensión, 1999, pág. 100)

Una desventaja de este tipo de lámparas es que son de baja eficiencia, esto debido que la mayor cantidad de energía se pierde en forma de calor en el filamento. Pueden verse en la Figura 8.

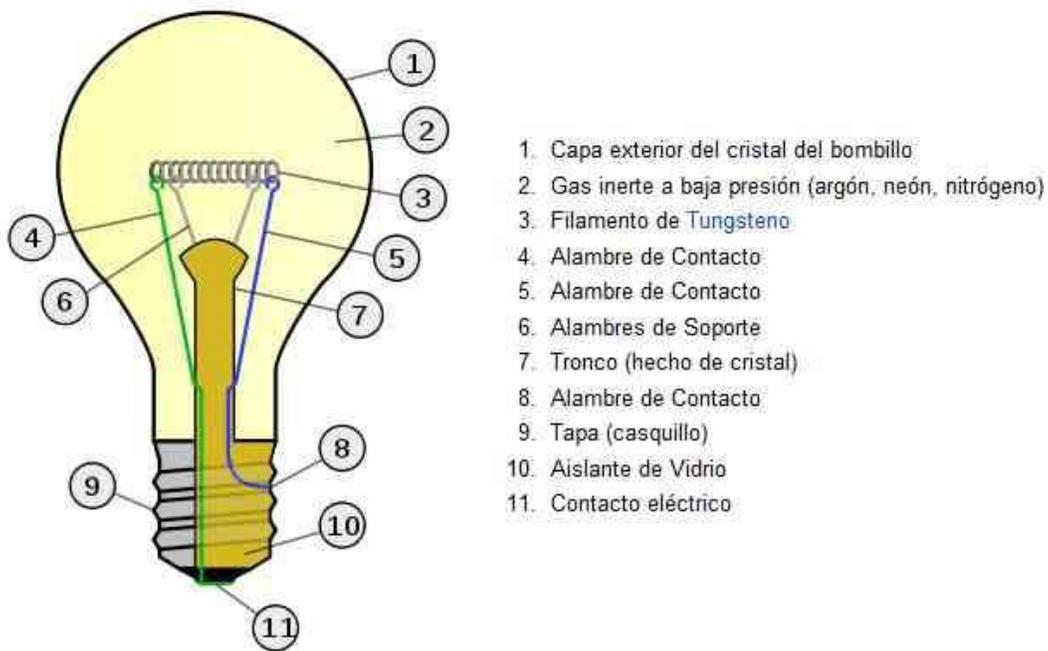


Figura 8. Partes de una lámpara incandescente. Recuperado de: [https://www.partesdel.com/partes\\_de\\_una\\_lampara.html](https://www.partesdel.com/partes_de_una_lampara.html)

### Lámparas halógenas

Las lámparas halógenas son una variante de lámparas incandescentes porque como su nombre indica en ellas se introduce una pequeña cantidad de un halógeno. En esta variante su cuerpo está constituido de una ampolla de cuarzo, ya que el material debe soportar altas temperaturas. Siendo un tipo de lámpara incandescente lleva un filamento

de tungsteno solo que en este caso la ampolla que lo contiene se encuentra rellena con gas argón y pequeñas partículas de yodo. (Martínez Domínguez, 1999, pág. 38)

Las lámparas halógenas como la de la Figura 9 en su funcionamiento gran parte de la energía utilizada se transforma en calor en el filamento de tungsteno lo cual produce un desgaste haciendo que se volatilicen partículas de este, estas partículas hacen reacción con el yodo gasificado haciendo que las partículas de tungsteno se depositen nuevamente en el filamento. El tiempo de vida de estas lámparas puede superar las 2000 horas.

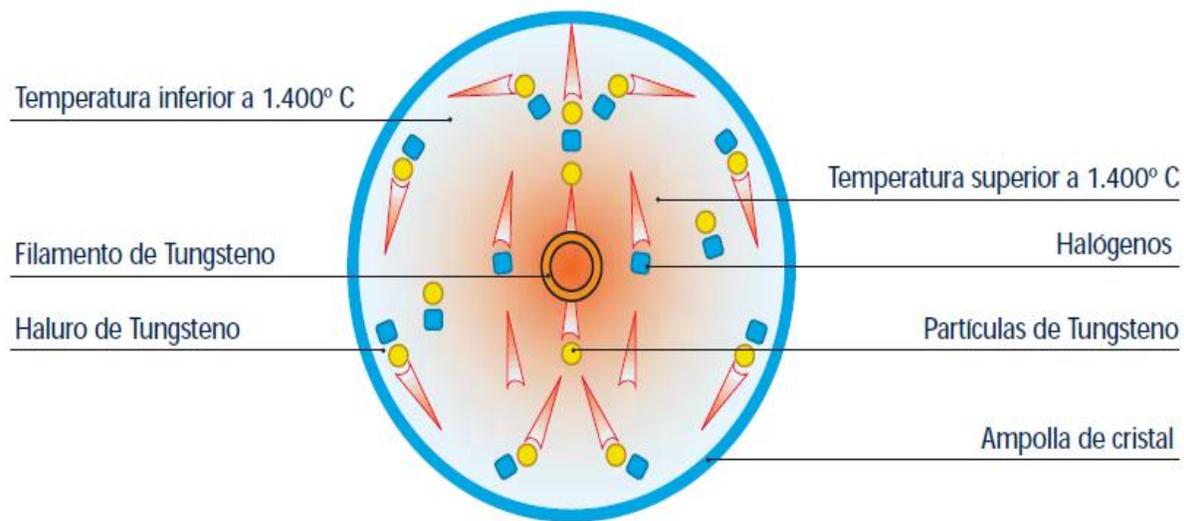


Figura 9. Regeneración del filamento de una lámpara halógena. Recuperado de: <https://grlum.dpe.upc.edu/manual/sistemasIluminacion-fuentesDeLuz-LámparasIncandescentes.php>

## Lámparas de descarga

“Se denomina lámpara de descarga a una serie de lámparas cuyo flujo luminoso es producido por el paso de la corriente eléctrica a través de un gas o vapor” (Martínez Domínguez, 1999, pág. 46). Las lámparas de descarga se dividen en tres como enuncia Goldwasser & Klipstein (2006) los tipos más representativos:

- De alta presión de vapor, estas contienen un tubo hecho de cuarzo encerrado dentro de otro cristal envolvente. En su interior hay una pequeña cantidad de mercurio (líquido) y un gas inerte, como el argón. Tiene una vida aproximada de 10000 a 24000 horas.
- Las lámparas de halogenuros metálicos tienen una constitución similar a la de vapor de mercurio. Solo que aparte de elementos como el gas argón y el mercurio se añaden elementos como sodio y yoduro de escandio.

- c) Las lámparas de alto vapor de sodio tienen un tubo interno de cerámica traslúcida, esto debido a que otros materiales empleados en lámparas anteriores no pueden mantener su resistencia estructural a altas temperaturas. En su interior se encuentra sodio, mercurio y gas argón.

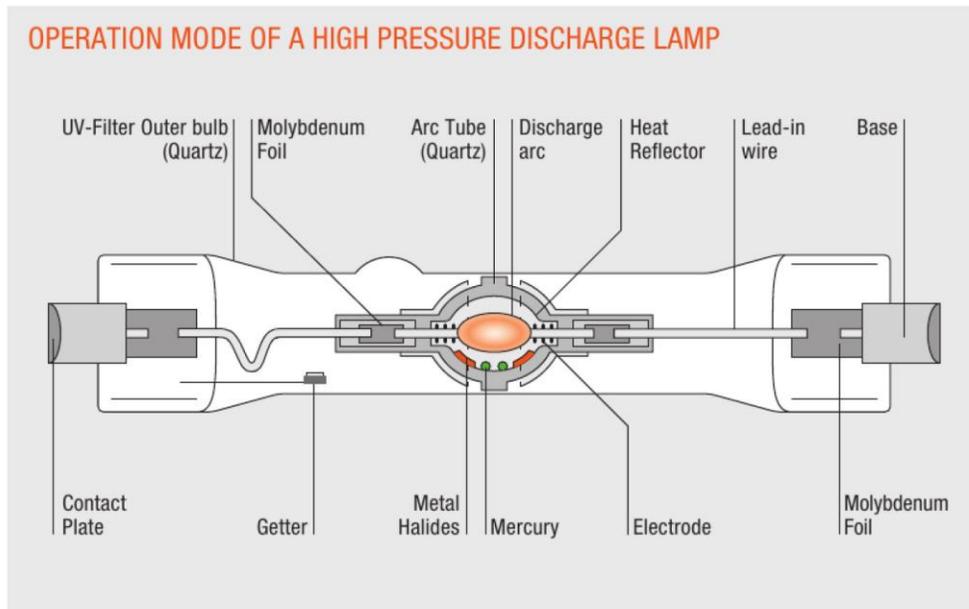


Figura 10. Operación de una lámpara de descarga. Recuperado de: <https://www.ledvance.es/productos/conocimiento-del-producto/lamparas-de-descarga-de-alta-presion/conocimiento-profesional/principio-de-funcionamiento-de-la-descarga-de-alta-presion/index.jsp>

## Lámparas fluorescentes

Las lámparas fluorescentes son un tipo de lámpara de descarga de baja presión que se basan en la radiación energética de electrones que se mueven a través del gas que se encuentra dentro de ellas, generalmente vapor de mercurio. Sus componentes principales son: el tubo de vidrio que constituye el cuerpo de la lámpara y se encuentra recubierto por una película de un material fluorescente, los electrodos situados en ambos extremos del tubo y hechos de tungsteno recubierto de óxidos de calcio, estroncio y bario. El interior del tubo se rellena generalmente de gas argón y una porción menor de mercurio. (Martínez Domínguez, 1999, pág. 37)

Para el correcto funcionamiento de este tipo de lámparas es necesario de un equipo auxiliar, lo cual se ilustra en la Figura 11:

- Balastro
- Cebador

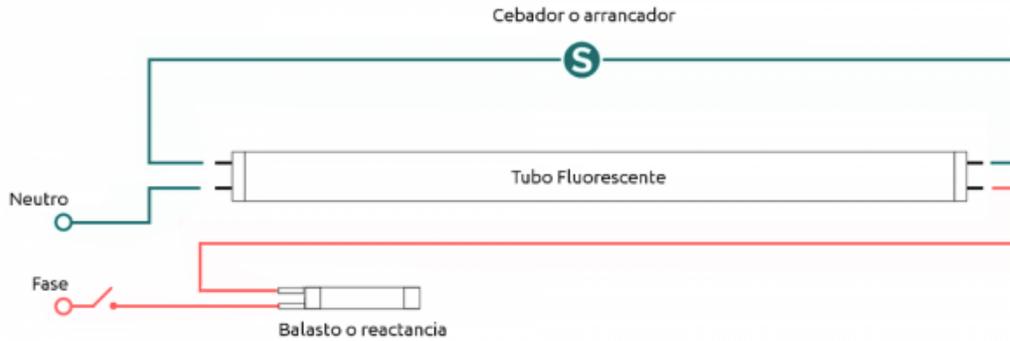


Figura 11. Conexión eléctrica de una lámpara fluorescente. Recuperado de: <http://saberyhacer.com/como-instalar-un-tubo-fluorescente>

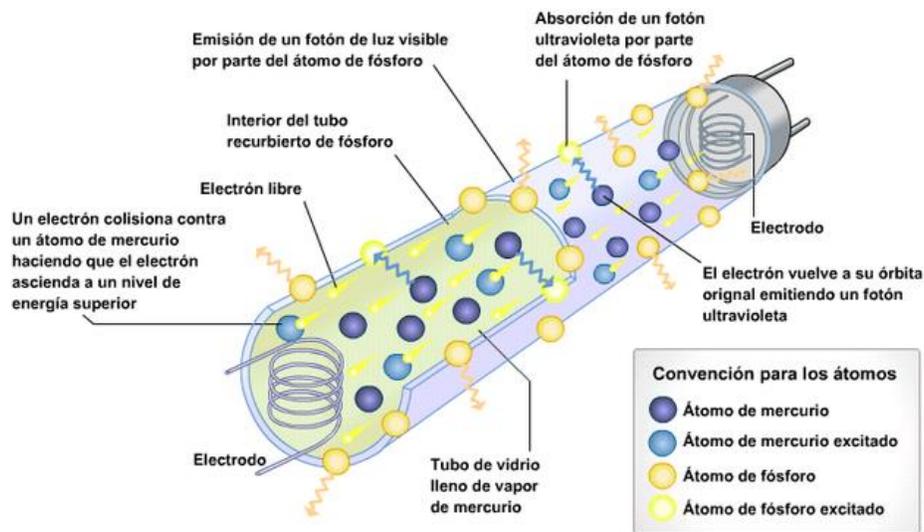


Figura 12. Principio de funcionamiento de una lámpara fluorescente. Recuperado de: [https://es.wikipedia.org/wiki/Luminaria\\_fluorescente](https://es.wikipedia.org/wiki/Luminaria_fluorescente)

## Lámparas LED

“El diodo emisor de luz, generalmente llamado LED, es un diodo semiconductor que emite un espectro de luz estrecho e incoherente cuando se desvía eléctricamente en la dirección hacia adelante de la unión p-n, como en el circuito de LED común. Este efecto

es una forma de electroluminiscencia. Un LED es generalmente una fuente de luz de área pequeña, a menudo con ópticas agregadas al chip para dar forma a su patrón de radiación y ayudar a la reflexión” (Singh, 2002)

Los mejores productos LED pueden cumplir o exceder la eficiencia de los compactos. Lámparas fluorescentes (CFLs). Sin embargo, muchos LED actualmente disponibles en los productos de consumo son solo ligeramente más eficientes que las lámparas incandescentes. Los mejores LED blancos cálidos disponibles en la actualidad pueden producir alrededor de 45-50 lúmenes por Watt (lm / W). En comparación, las lámparas incandescentes generalmente producen 12-15 lm / W; CFLs Producir al menos 50 lm / W. El rendimiento de los LED blancos sigue mejorando rápidamente. Sin embargo, la eficacia del dispositivo LED no cuenta toda la historia. El diseño de la luminaria es imprescindible para los accesorios de iluminación LED de bajo consumo. Por ejemplo, un nuevo downlight empotrable de LED combina LED de alta eficiencia multicolor, excelente Gestión térmica y sofisticado diseño óptico para producir más de 700 lúmenes. utilizando solo 12 Watts, para una eficacia de luminaria de 60 lm / W. Por el contrario, mal diseñado Las luminarias que utilizan incluso los mejores LED pueden no ser más eficientes que la iluminación incandescente (United States Deparmet of Energy, 2008)

## 1.6 La energía solar

La radiación solar es heterogénea, se constituye de ondas electromagnéticas o partículas subatómicas con distintas propiedades físicas que producen resultados distintos de acuerdo a sea su estructura. Como expresiones de lo que se conoce como radiación, se tiene la luz y el calor. La caracterización de la radiación solar incidente en la Tierra tiene características complejas, tales como:

- La propagación de la energía es aleatoria
- El movimiento relativo Sol-Tierra está regido por ecuaciones muy complejas que permiten determinar en todo momento la posición relativa del sol con respecto a cualquier punto de la superficie de la tierra.

La tierra órbita alrededor del sol con cuatro movimientos diferentes y simultáneos:

Movimiento de rotación: el cual realiza alrededor de su eje el cual es una concepción imaginaria, gráficamente representada en la Figura13, que atraviesa los polos, realizando una vuelta por día.

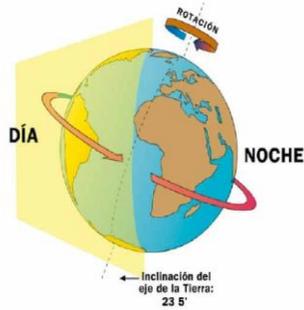


Figura 13. Movimiento rotacional del planeta Tierra. Recuperado de: <http://esperanza.magnaplus.org/de/articulo/-/articulo/AD3558/rotacion-terrestre>

Movimiento de traslación: este movimiento describe una órbita elíptica como en la Figura 14, en la cual el Sol ocupa uno de los focos. El plano que contiene esta órbita se llama “Plano de la elíptica” tardando un año en recorrer esta trayectoria.



Figura 14. Movimiento traslacional de la Tierra. Recuperado de: <http://app-prod-icarito.s3-us-west-1.amazonaws.com/wp-content/uploads/2012/11/01221630/1657977.jpg>

Movimiento de nutación: es la oscilación periódica del eje de rotación de la Tierra alrededor de su posición media que posee, el movimiento es causado por la atracción gravitatoria entre el Sol y la Luna con la Tierra.

Movimiento de Precesión: Es el momento de fuerza ejercido por el sistema Tierra-Sol en función de la inclinación del eje de rotación terrestre con respecto al Sol, lo que causa un cambio lento y gradual en la orientación del eje de rotación de la Tierra.

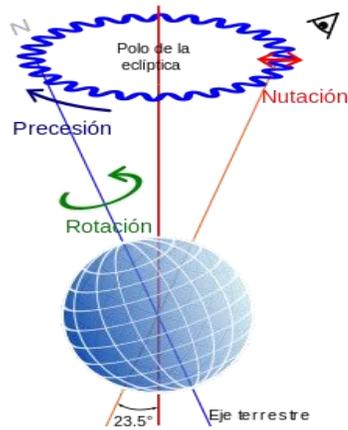


Figura 15 Representación gráfica del movimiento de Nutación y de Precesión. Recuperado de: "Precession, Rotation, Nutation, Platonic year, Earth's axial" Cavalier, 2010.

El eje de rotación sobre el cual gira la Tierra mantiene una dirección aproximadamente constante formando un ángulo de  $23.45^\circ$  con el plano de la elíptica. La oblicuidad de la elíptica, como aparece en la Figura 16, permite explicar dos cosas, el distinto calentamiento de la tierra en función de su posición en la órbita y también la duración del día y la noche (Enríquez Harper, 2010).

La declinación solar se anula en los equinoccios de primavera y de otoño. En estos días el sol se encuentra en el ecuador y la duración del día es igual a la de la noche. En el solsticio de verano la declinación es de  $+23.45^\circ$  y el sol se encuentra en el trópico de cáncer. Siendo el día más largo y las noches más cortas en el hemisferio norte. En el solsticio de invierno la declinación es de  $-23.45^\circ$  y el sol se encuentra en el trópico de capricornio (Enríquez Harper, 2010).

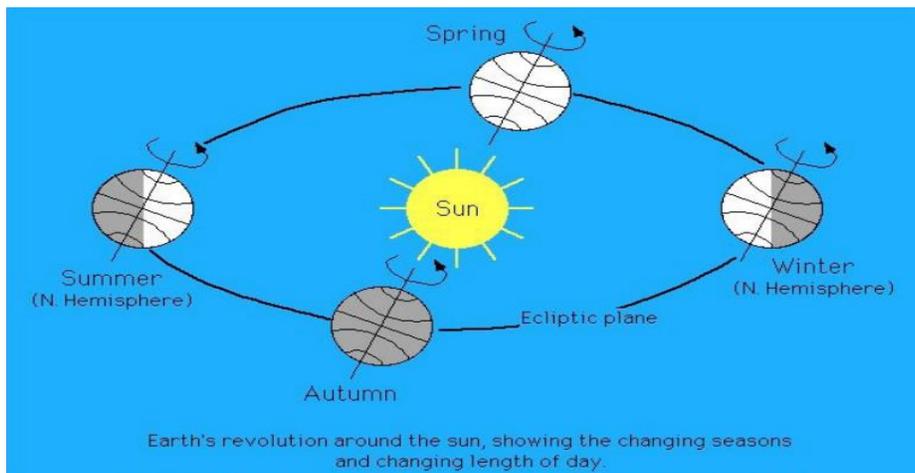


Figura 16. Incidencia de los rayos solares. Recuperado de: *The Global Water Cycle*. Englewood Cliffs. Prentice-Hall, inc. 1987.

## 1.6.1 Irradiación e insolación.

El recurso solar de un sitio en particular se puede caracterizar en términos de la irradiación y la insolación. La irradiancia es la intensidad de luz solar incidente en una zona, debido a la existencia de factores que afectan este recurso hay una variación en la magnitud de como este se distribuye en diversos lugares de la superficie terrestre, cómo nos dicen Morales & Kuyper (2014, pág. 213) la variación no quiere decir que el recurso sea despreciable, esta se divide en radiación difusa, radiación directa y radiación reflejada. Siendo la conjunción de los tipos anteriores la radiación global, la cual es útil para conformar el mapa solar de una región específica y de esta forma conocer valores medios del recurso solar.

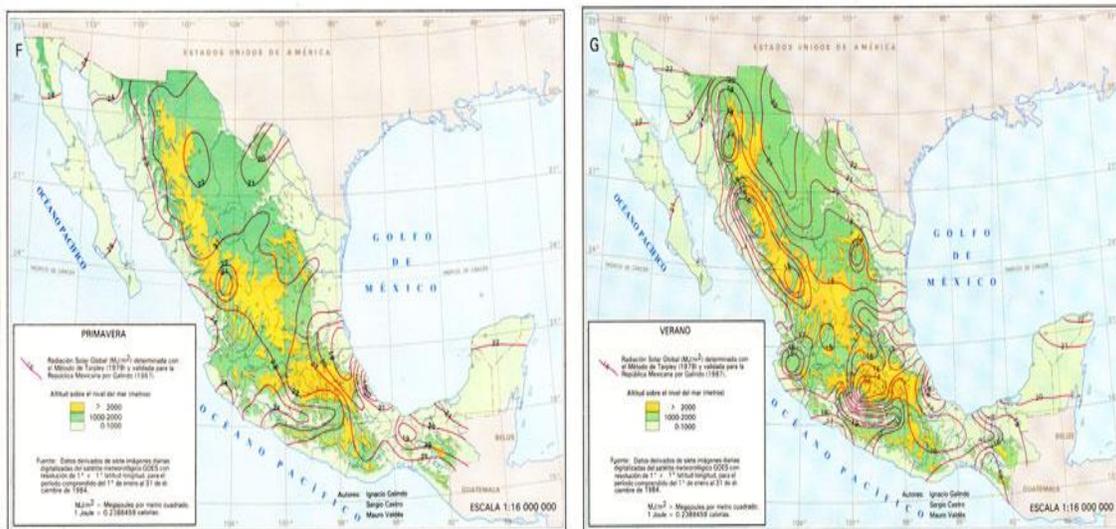


Figura 17. Mapas de irradiación Solar en la República Mexicana Primavera y Verano (de izquierda a derecha respectivamente). Recuperado de: [http://www.geofisica.unam.mx/radiacion\\_solar/irradiacion.php](http://www.geofisica.unam.mx/radiacion_solar/irradiacion.php)

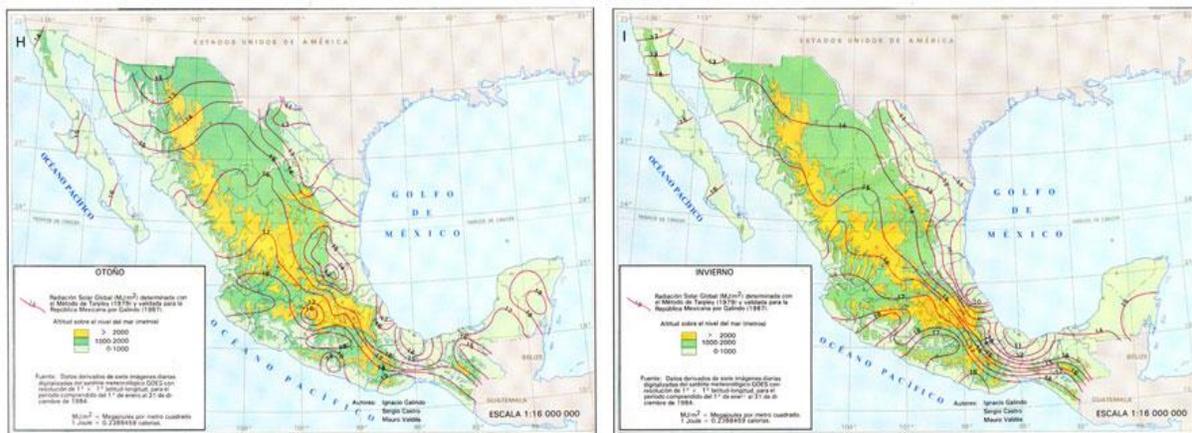


Figura 18. Mapas de irradiación Solar en la República Mexicana Otoño e Invierno (de izquierda a derecha respectivamente). Recuperado de: [http://www.geofisica.unam.mx/radiacion\\_solar/irradiacion.php](http://www.geofisica.unam.mx/radiacion_solar/irradiacion.php)

“La insolación es la cantidad de energía solar recibida durante un intervalo de tiempo, sus unidades son kilowatts hora/m<sup>2</sup> (kWh/m<sup>2</sup>), para dimensionar un sistema fotovoltaico, es necesario conocer la insolación diaria promedio” (Enríquez Harper, EL ABC DE LAS INSTALACIONES ELECTRICAS EN SISTEMAS EOLICOS Y FOTOVOLTAICOS, 2010, pág. 97), mostrada en la Figura 17 y 18. El valor de la insolación diaria promedio se expresa por lo general en horas solares pico (HSP), la Tabla 5 refiere esto para la Ciudad de México, lo cual es la energía recibida durante una hora a una irradiancia promedio de 1 kWh/m<sup>2</sup>, es como se indica en la ecuación 8:

$$1 \frac{kWh}{m^2} = 1 HSP$$

Ecuación 8

Tabla 5. Tabla de irradiación promedio anual en la Ciudad de México. Recuperado de: EL ABC DE LAS INSTALACIONES ELECTRICAS EN SISTEMAS EOLICOS Y FOTOVOLTAICOS pág. 103

CDMX	Localización 19.3°N, 99. 2° O 2268 METROS SOBRE EL NIVEL DEL MAR												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM ANUAL
INCLINACION DE LA LATITUD -1.5°													
ARREGLO FIJO	4.32	6.24	7.71	6.22	5.93	4.96	4.92	5.43	5.00	4.45	4.50	4.51	5.36
ARREGLO AJUSTABLE	5.06	7.39	9.51	8.07	7.84	6.66	6.64	7.19	6.51	5.67	5.29	5.54	6.78
INCLINACION DE LA LATITUD 0°													
ARREGLO FIJO	4.90	6.86	7.99	6.07	5.57	4.58	4.60	5.22	5.04	4.82	5.06	5.23	5.50
ARREGLO AJUSTABLE	5.85	8.17	9.96	8.02	7.45	6.20	6.24	7.02	6.69	6.15	6.04	6.49	7.04
INCLINACION DE LA LATITUD +15°													
ARREGLO FIJO	5.23	7.11	7.86	5.64	4.97	4.06	4.10	4.78	4.84	4.87	5.36	5.68	5.38
ARREGLO AJUSTABLE	6.23	8.40	9.74	7.41	6.56	5.32	5.42	6.37	6.41	6.22	6.38	6.99	6.79
AJUSTABLE EN 2 EJES	6.27	8.41	9.99	8.13	7.86	6.72	6.67	7.20	6.70	6.26	6.40	7.07	7.31

### 1.6.2 Factores que afectan el recurso solar.

La insolación y la irradiación están afectadas principalmente afectadas por factores atmosféricos, la altitud del sitio, la estación o época del año y la inclinación de la superficie captadora hacia el panel fotovoltaico, esto puede observarse en la Figura 19.

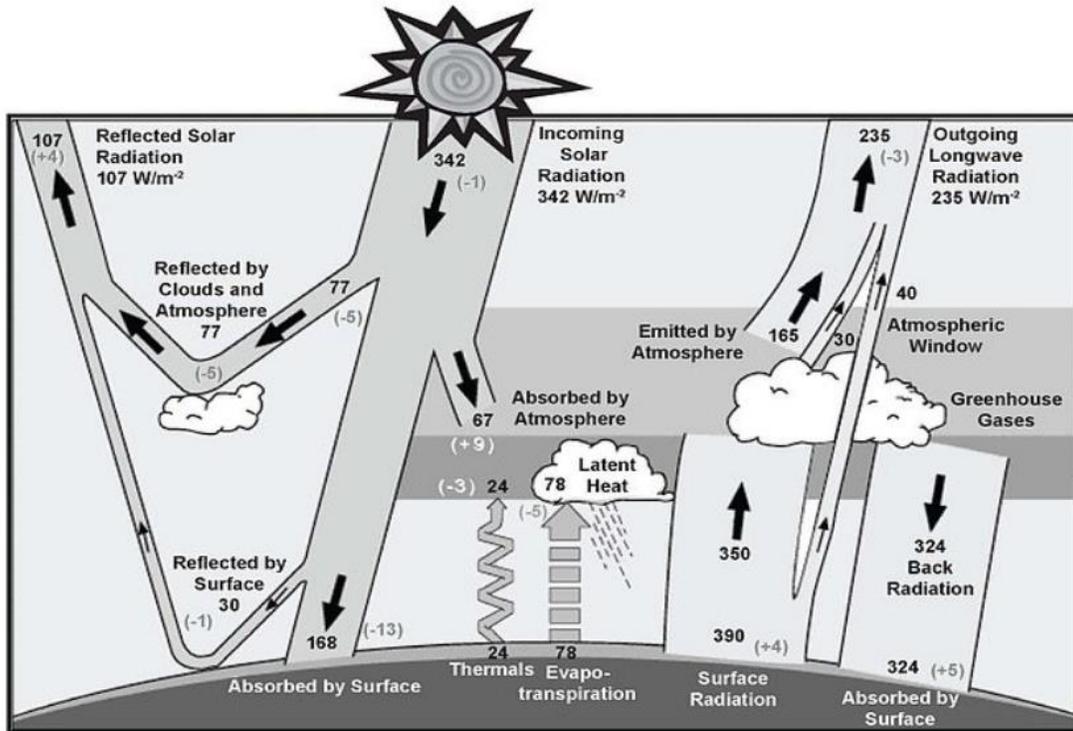


Figura 19. Factores que afectan el recurso solar. Recuperado de: Keihl and Trenberth (1997) SunClimateSystem.JPG. NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION, The Earth Observer. November-December 2006. Volumen 18, Issue 6. Page 38.

### 1.6.3 La posición.

Un factor a considerar es la posición, la radiación solar que llega a un punto de la tierra se ve afectada por factores meteorológicos o bien por la misma locación de la zona en la superficie terrestre. Para contrarrestar estos efectos en la mayor medida posible, se debe utilizar el tipo de sistema fotovoltaico que sea más eficiente en cada caso. Los tipos se dividen en sistemas fijos y seguidores. Los primeros siendo posicionados con una orientación fija y los segundos cuentan con un sistema de ajuste de orientación automática.

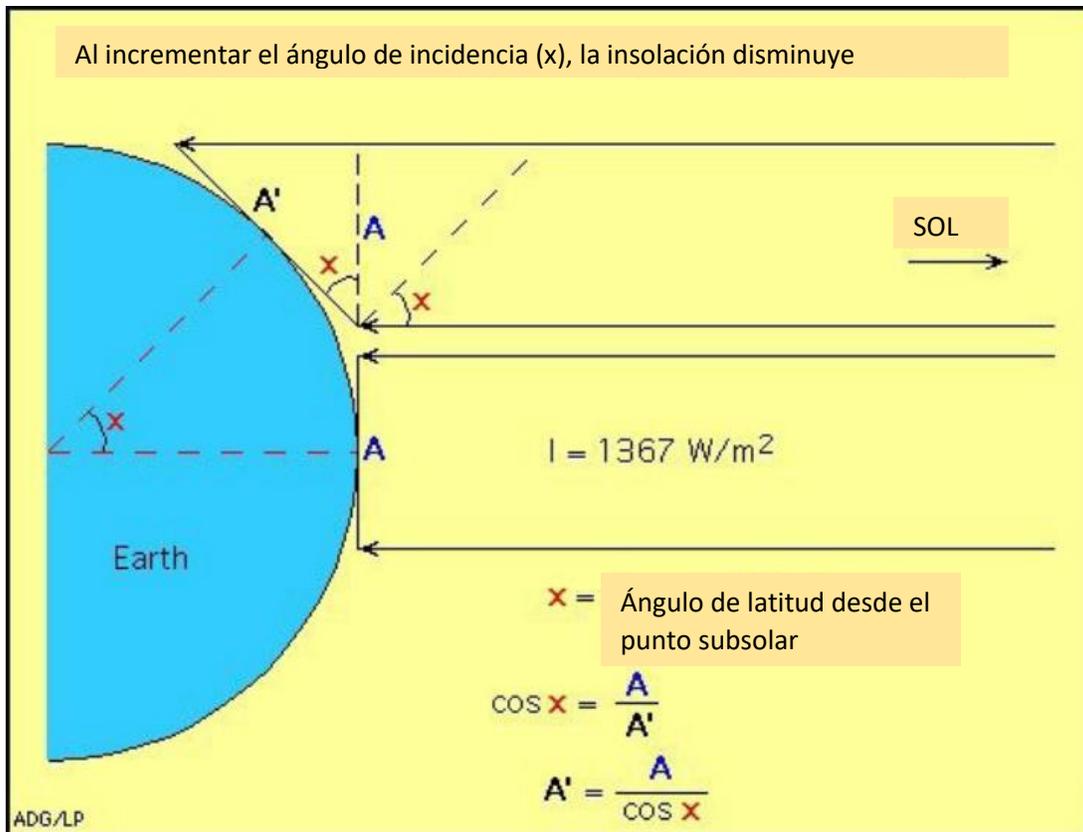


Figura 20. Posición de incidencia solar. Recuperado de: "Is the temperature rising? The uncertain science of global warming." G. Philander

En un arreglo fijo para obtener la mayor insolación anual, como se observa en la Figura 20, sobre un arreglo fotovoltaico, la inclinación en grados debe ser igual a la latitud del lugar y la mayor orientación se debe hacer hacia el sur verdadero.

De acuerdo con (Enríquez Harper, EL ABC DE LAS INSTALACIONES ELECTRICAS EN SISTEMAS EOLICOS Y FOTOVOLTAICOS, 2010, pág. 108) "En ciertos casos es recomendable seleccionar una inclinación distinta a la latitud para que la insolación sobre el arreglo coincida mejor con el patrón de demanda de energía del proyecto. Con el objetivo de evitar acumulaciones de polvo, el ángulo de inclinación no debe ser menor a 10 grados y para fines de orientación se puede usar el sur magnético que indica la brújula; puede haber una pequeña diferencia entre el sur magnético".

## 1.7 Celdas solares

Una celda solar es un dispositivo eléctrico que convierte la energía de la luz en energía eléctrica mediante el llamado efecto fotoeléctrico, que es un efecto físico químico. De igual manera la celda tiene características eléctricas relacionadas; tales como una resistencia, una tensión eléctrica y una corriente eléctrica que surgen en el momento de la conversión energética.

En la actualidad y generalmente la mayoría de las celdas solares están hechas de materiales semiconductores, como lo es el silicio. Las variaciones se dan en la construcción ya que la celda puede estar constituida de una única laminación de dicho material o bien de la unión de varias capas de estas laminaciones (Mohammad Bagher, Abadi Vahid, & Mohsen, 2015, pág. 96).

Para el funcionamiento de las celdas es necesario por lo menos estos tres elementos: a) Un material absorbente, que absorba los fotones y traslade su energía. Por lo general es el silicio. b) Una membrana que prevenga un efecto inverso, esto se logra median las uniones p-n de las celdas. c) Contactos que permitan la unión entre elementos (Glunz, Preu, & Biro, 2012).

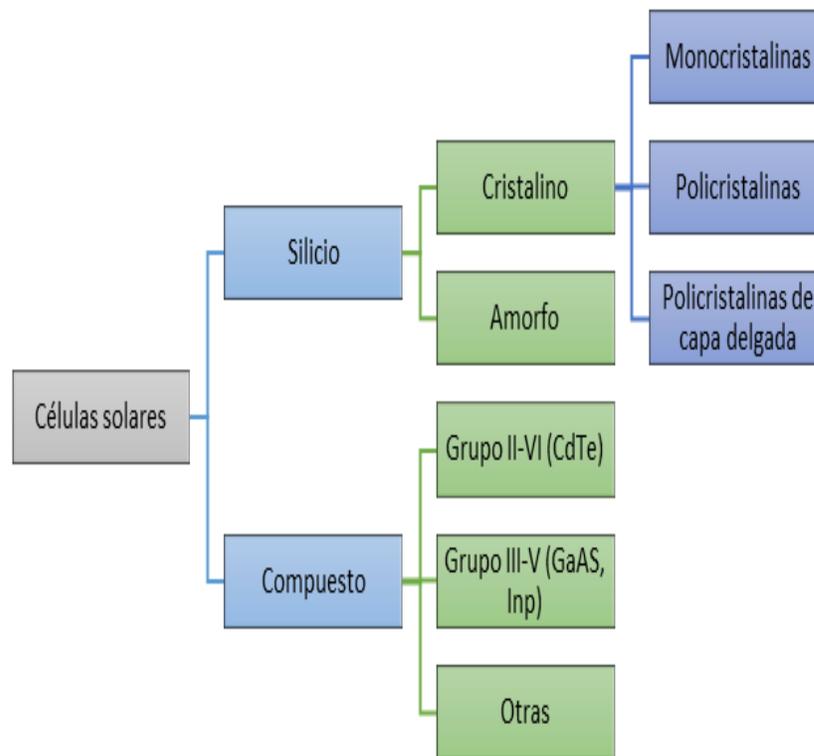


Figura 21. Materiales de fabricación de celdas fotovoltaicas

El silicio cristalizado es uno de los materiales más utilizados en la manufactura de celdas fotovoltaicas, de acuerdo con Madrid Antonio (2009) las estructuras principales son:

- Monocrystalinos: Para su fabricación el silicio se purifica y se funde. El resultante se compacta en lingotes que posteriormente se cortan en laminaciones para conformar las celdas. Es uno de los mejores, pero esto lo convierte en uno de los más caros.

- Multicristalinos: Difiere del silicio monocristalino porque la cristalización es aleatoria y no sigue un patrón uniforme con el anterior, es mas barato que el anterior, pero por ello sacrifica rendimiento.
- Amorfo: Es mucho más barato, pero tiene un rendimiento mucho menor, la capa de silicio se deposita sobre un sustrato (acero, vidrio, plástico). Tiene una alta capacidad de absorción, pero la intensidad lumínica produce una degradación progresiva en el material lo cual reduce su eficiencia.

En la Figura 21 y 22 se muestran las estructuras mencionadas, así como el rendimiento de estas en la Figura 24.

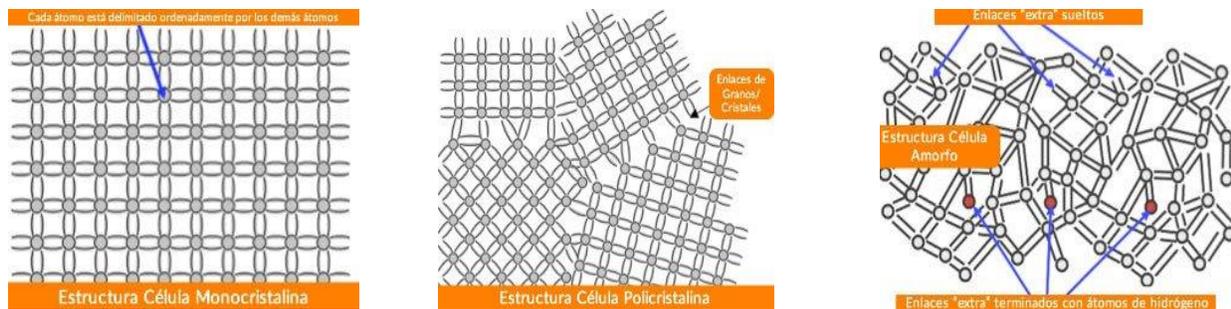


Figura 22. Estructuras del silicio Amorfo, Multicristalino y Policristalino (de izquierda a derecha respectivamente). Recuperado de: <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/celula-fotovoltaica-tipos-y-estructura/>

### 1.7.1 Parámetros de funcionamiento de una celda solar.

Como indica (Talib Hashim & Qasim Khazaa, 2017) los principales parámetros de los módulos fotovoltaicos son los siguientes:

Corriente de corto circuito [ $I_{SC}$ ]: Es la mayor corriente que se puede obtener de la celda, con una tensión de 0 volts y cortocircuitando los bornes de esta.

Tensión a circuito abierto [ $V_{OC}$ ]: Corresponde a la máxima tensión que se puede extraer de los bornes

Potencia máxima [ $P_{max}$ ]: Es el producto de la corriente por la tensión máximas desarrolladas por la celda, indicado en la ecuación 9 y mostrado gráficamente en la Figura 23.

$$P_{max} = I_{max} * V_{max}$$

Ecuación 9

Dónde:

$P_{max}$  es la potencia máxima [W]

$I_{max}$  es la corriente eléctrica máxima [A]

$V_{max}$  la tensión máxima [V]

Factor de forma [ $F_F$ ]: Se relaciona a la potencia máxima

Eficiencia [ $\eta$ ]: Se expresa en porcentaje, hace referencia al funcionamiento de la celda solar. Representa la relación entre la potencia que se obtiene por la celda y la potencia que se incide sobre ella, lo anterior se ve expresado en la ecuación 10.

$$\eta = \frac{I_{SC} V_{OC} F_F}{P_{sol}} * 100$$

Ecuación 10

Dónde:

$\eta$  es la eficiencia

$I_{SC}$  es la corriente de corto circuito [A]

$V_{OC}$  el voltaje a circuito abierto [V]

$P_{sol}$  potencia solar pico [W]

$F_F$  el factor de forma

Donde  $P_{sol}$  es la potencia luminosa por unidad de área que se recibe del sol en forma de fotones (en condiciones estándar, 1 KW/m<sup>2</sup>).

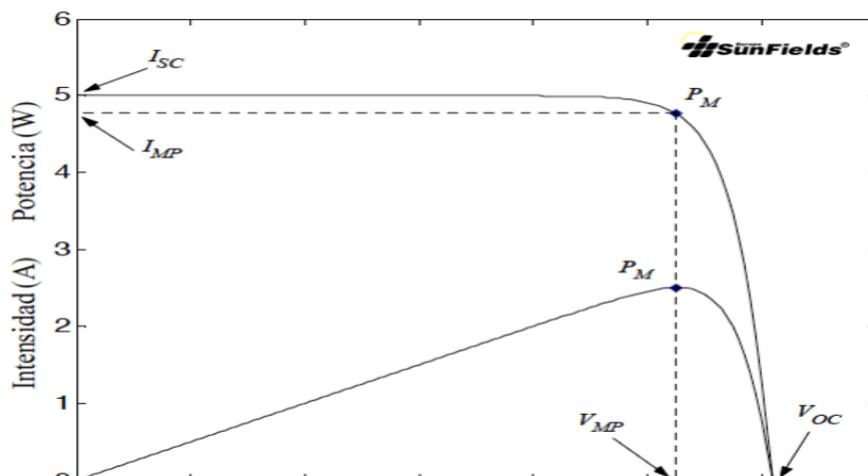


Figura 23- Curva de los parámetros eléctricos de la celda solar. Recuperado de: SunFields Europe; [www.sfe-solar-com](http://www.sfe-solar-com)

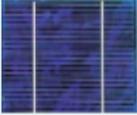
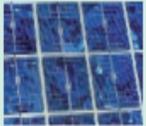
Células	Silicio	Rendimiento laboratorio	Rendimiento directo	Características	Fabricación
	Monocrystalino	24 %	15 - 18 %	Son típicos los azules homogéneos y la conexión de las células individuales entre sí (Czochralski).	Se obtiene de silicio puro fundido y dopado con boro.
	Policristalino	19 - 20 %	12 - 14 %	La superficie está estructurada en cristales y contiene distintos tonos azules.	Igual que el del monocrystalino, pero se disminuye el número de fases de cristalización.
	Amorfo	16 %	< 10 %	Tiene un color homogéneo (marrón), pero no existe conexión visible entre las células.	Tiene la ventaja de depositarse en forma de lámina delgada y sobre un sustrato como vidrio o plástico.

Figura 24. Rendimiento de las celdas acorde a la tecnología empleada. Recuperado de: <https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf>

### Corriente de corto circuito y eficiencia.

Para obtener la máxima eficiencia de una celda se debe maximizar su corriente de corto circuito, siempre y cuando no afecte otros parámetros de funcionamiento, los principales mecanismos de pérdida como nos indica (Carta Gonzalez, Calero Pérez, Colmenar Santos, Castro Gil, & Collardo Fernández, 2013) Ilustrado en la Figura 25, en esta corriente son:

- Los fotones cuya energía es menor a la del gap del semiconductor.
- Fotones que no son absorbidos en el volumen de la celda, pérdidas por transmisión.
- Fotones que son reflejados en la superficie de la celda.
- Fotones que inciden sobre el metal de la malla de metalización.

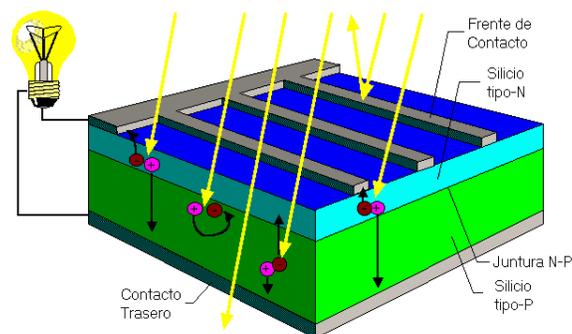


Figura 25- Pérdidas dentro de la celda. Recuperado de: <https://users.dcc.uchile.cl/~roseguel/celdasolar.html>

La corriente de corto circuito se utiliza como una herramienta de caracterización.

### 1.7.2 Tensión de circuito abierto y corriente de oscuridad

La estructura de una celda es muy parecida a la de un diodo, por lo tanto, su característica medida en oscuridad corresponde a la ecuación 4, que es muy similar a la de un diodo, como indica la ecuación 11:

$$I \approx I_0(T) \left( \exp \frac{eV}{mkT} - 1 \right) \quad \text{Ecuación 11}$$

Dónde:

$I$  es la corriente eléctrica de la celda [A]

$e$  es la carga del electrón [C]

$k$  es la constante de Boltzmann

$T$  es la temperatura de la unión [K]

$m$  es un factor de idealidad del diodo

$V$  es la tensión inducida [V]

Donde  $m$  es el factor de idealidad del diodo, valor comprendido entre 1 y 2. El signo negativo corresponde a que la corriente va del p del dispositivo hacia el lado n. La caracterización de la curva de oscuridad a través del valor del parámetro  $I_0(T)$  también proporciona información sobre el grado de recombinación en la celda.

Las celdas obedecen al principio de superposición. Quiere decir que si se quiere obtener la corriente que pasa por una celda iluminada y sometida a una tensión [V] por efecto de una carga se puede hacer sumando la corriente que pasa por la celda si estuviese iluminada, pero  $V=0$  y la corriente que pasa si no estuviese iluminada, pero estuviese sometida a la tensión  $V$ , por lo cual la corriente total es como se muestra en la ecuación 12:

$$I = I_L - I_0(T) \left( \exp \frac{eV}{mkT} - 1 \right) \quad \text{Ecuación 12}$$

De esta forma se puede comprobar que las características de una celda a tensiones bajas  $I \approx I_L = I_{SC}$ . Siendo la tensión a circuito abierto la ecuación 13:

$$V_{OC} \approx \frac{mkT}{e} \ln\left(\frac{I_L}{I_0(T)}\right) \quad \text{Ecuación 13}$$

(Carta Gonzalez, Calero Pérez, Colmenar Santos, Castro Gil, & Collardo Fernández, 2013, pág. 290)

### 1.7.3 Factor de forma, resistencia serie paralelo.

El factor de forma [FF] puede calcularse de manera aproximada de la siguiente manera:

$$FF = FF_0 = \frac{v_{OC} - \ln(v_{OC} + 0.72)}{v_{OC} + 1} \quad \text{Ecuación 14}$$

Donde:

$$v_{OC} = \frac{V_{OC}}{mkT/e} \quad \text{Ecuación 15}$$

La resistencia serie y la resistencia paralela de la celda afectan el factor de forma y a través de la eficiencia de la celda.

La resistencia en serie ( $R_S$ ) es una resistencia interna y se debe a la malla de metalización, a la resistencia de los contactos y a la resistencia del propio semiconductor con el que se ha fabricado.

La resistencia en paralelo ( $R_P$ ) tiene si origen en imperfecciones en la calidad de la unión p-n que constituye a la celda y es causante de las posibles fugas de corriente.

La ecuación característica de la celda considerando los factores anteriores quedaría como:

$$I = I_L - I_0(T) \left( \exp\left(\frac{e(V + R_S I)}{mkT}\right) - 1 \right) - \frac{V + R_S I}{R_P} \quad \text{Ecuación 16}$$

(Carta Gonzalez, Calero Pérez, Colmenar Santos, Castro Gil, & Collardo Fernández, 2013)

Obteniendo un circuito resultante igual al de la Figura 26:

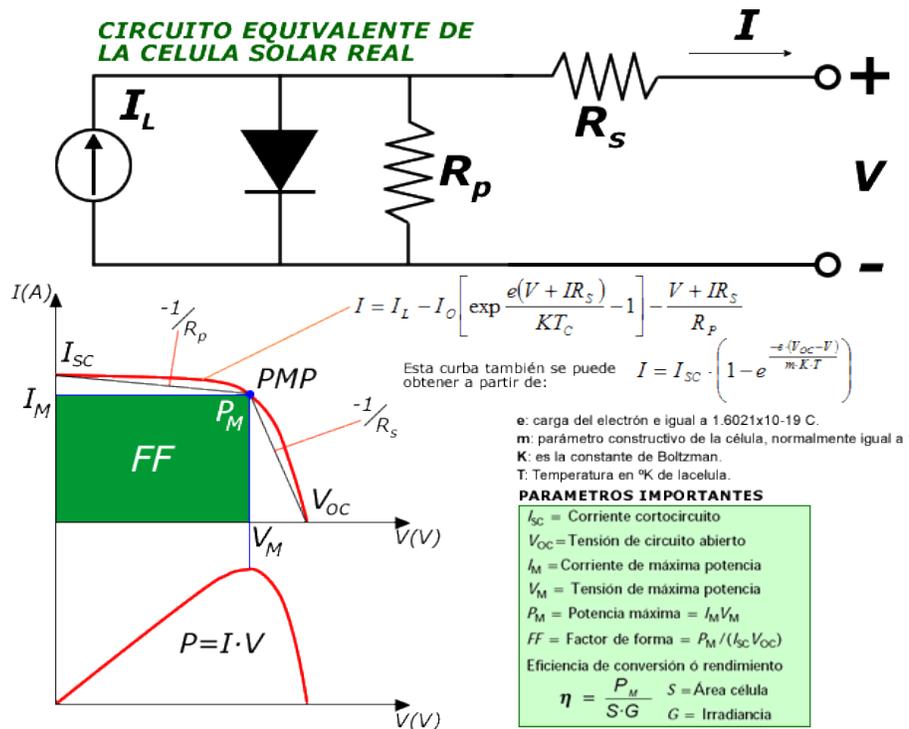


Figura 26. Circuito eléctrico equivalente de la celda junto a sus parámetros eléctricos. Recuperado de: [https://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home\\_main\\_frame/03\\_celula/01\\_basico/3\\_celula\\_04.html](https://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/03_celula/01_basico/3_celula_04.html)

## 1.8 Tipos de sistemas fotovoltaicos

### Generalidades

Los sistemas fotovoltaicos son el conjunto de elementos mecánicos, eléctricos y electrónicos que trabajan en conjunto para la conversión de la energía solar en energía eléctrica útil.

Los sistemas pueden agruparse en dos grupos, esto de acuerdo con la necesidad de almacenar o no la energía generada:

- Aislados
- Conectados a la red

La estructura física de un sistema fotovoltaico (aislado o conectado a la red) puede ser muy diferente pero solamente se pueden distinguir tres elementos fundamentales: el campo fotovoltaico, sistema de acondicionamiento de la potencia, sistema de adquisición de datos. (Salgado, Tecnología de las Energías Renovables, 2009, pág. 108)

### Sistemas aislados

Los sistemas aislados están diseñados para operar de forma independiente a la red eléctrica, esto mediante el almacenamiento de la energía producida por los módulos fotovoltaicos. Su implementación puede darse porque la carga se encuentre fuera del alcance de la red eléctrica de la compañía suministradora o bien para dar autonomía a ciertas cargas por periodos de tiempo no muy largos.

Los sistemas aislados, como el de la Figura 27, como indica su nombre se encuentran separados de la red eléctrica convencional, por lo cual deben de equipar un medio de almacenamiento de energía. Siendo su fuente de alimentación el recurso solar, su tiempo de generación y acumulación es durante algunas horas del día.

Los principales elementos de este tipo de sistemas son:

- Módulos fotovoltaicos.
- Inversor de corriente.
- Controlador de carga.
- Banco de baterías.

La determinación de estos componentes se encuentra dentro de la metodología necesaria para dimensionarlo, en la cual se debe considerar la carga a alimentar y el tiempo de utilización de dicha carga.

El controlador de carga tiene la función de regular la carga (por la alimentación del sistema fotovoltaico) y descarga del banco de baterías o sistema de acumulación, se ocupa de censar y limitar la descarga de las baterías hasta niveles que no generen un daño en las mismas. Así como evitar una sobrecarga de estas (Franklin, 2017).

El banco de baterías o sistema de acumulación sirve como medio de almacenamiento de la energía que producen los módulos fotovoltaicos durante el periodo generación. Se compone del conjunto de baterías en arreglos serie y paralelo, dependiendo de la demanda energética que se tenga que suplir. Algunas de las características que tienen que cumplir es que sean capaces de tolerar una profundidad de descarga mayor y que la vida útil de estas sea alta.

El inversor se encarga de convertir la corriente directa del sistema de generación o del sistema de almacenamiento en una señal de corriente alterna para su uso. El dimensionamiento de este equipo debe considerar las pérdidas propias de este, así como posibles pérdidas externas.

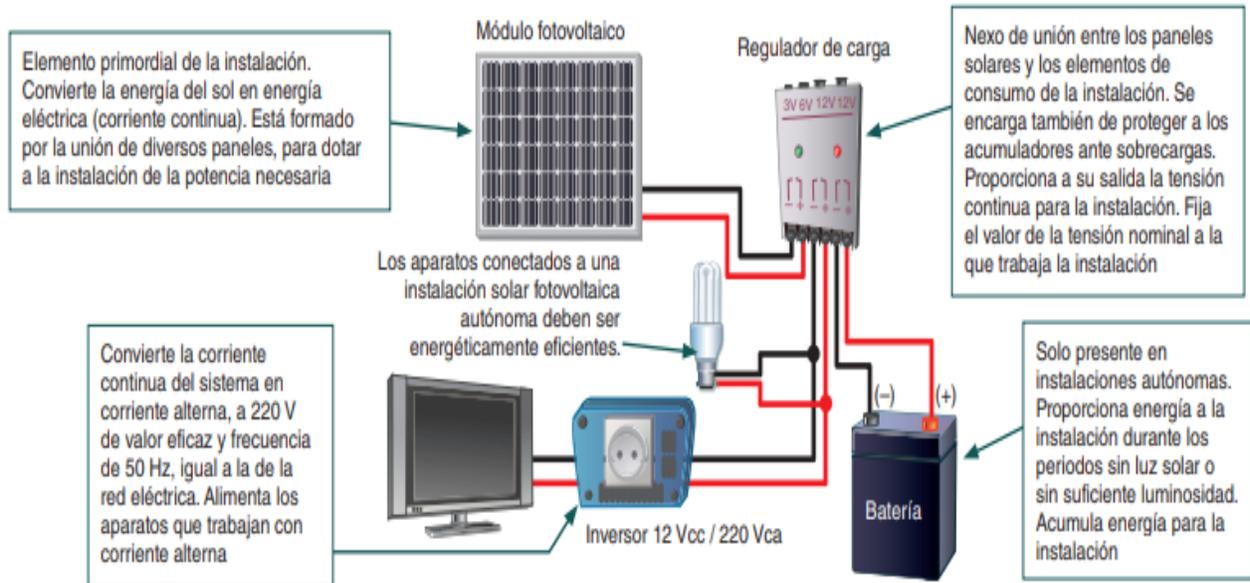


Figura 27. Componentes básicos de un sistema fotovoltaico aislado. Recuperado de: <https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf>

## Sistemas fotovoltaicos conectados a la red

Los sistemas conectados a la red como el de la Figura 28, “en estos casos la instalación está cerca de una red por lo cual la energía puede ser vendida a la red” (Madrid Antonio , 2009, pág. 59). Este tipo de sistemas no necesita de un medio de almacenamiento de energía ya que durante las horas de generación la energía producida es inyectada a la red.

Los elementos que constituyen a este tipo de sistemas son:

- Módulos fotovoltaicos.
- Inversor de corriente.
- Sistema de medición bidireccional.

En los sistemas interconectados a la red la energía que es inyectada pasa por un sistema de medición bidireccional que contabiliza la energía suministrada y consumida por el usuario para hacer el balance en su facturación por parte de la compañía suministradora. Generalmente los inversores dedicados para sistemas interconectados cumplen con la función de adaptación de señales para la interconexión.

En este tipo de sistemas se debe tener principal atención en contar con los medios necesarios para “la conexión y la desconexión eléctrica del sistema fotovoltaico de la red; y para proporcionar la adecuada protección al equipo y a las personas contra condiciones de operación no deseadas. Para tales efectos, se siguen las normas y recomendaciones de carácter general; y las establecidas en particular para este tipo de aplicaciones, como es la norma IEEE Std 1547 (IEEE, Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems). (González, Jiménez, & Lagunas, 2003).

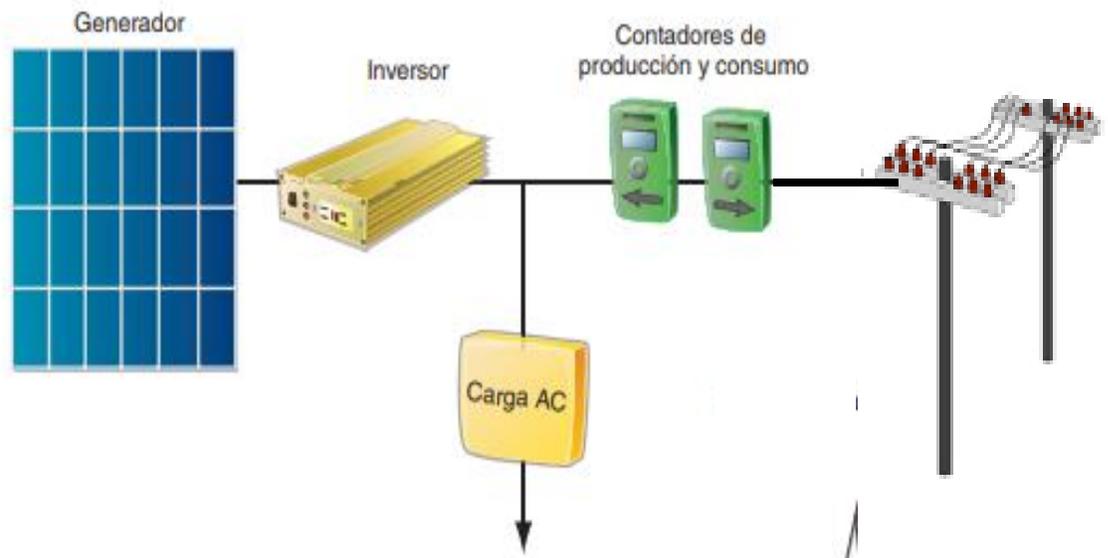


Figura 28. Conexión típica de un sistema fotovoltaico interconectado a la red. Recuperado de: <https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf>

## 1.9 La temperatura en el panel fotovoltaico

Por la constitución de los paneles “el aumento de la temperatura en las celdas supone un incremento en la corriente, pero al mismo tiempo una disminución mucho mayor, en proporción, de la tensión. Esto implica que tanto la corriente de cortocircuito como el voltaje a circuito abierto se ven afectados por la temperatura de trabajo, aunque el tipo de variación, así como su magnitud porcentual son distintos para estos parámetros” (Salgado, Compendio de Energía Solar Fotovoltaica, Termica y Termoelectrica., 2010, pág. 292)

La temperatura de trabajo que alcanza un panel fotovoltaico obedece una relación lineal dada por la expresión

$$T_t = T_a + k * R$$

Ecuación 17

Dónde:

$T_t$  = es la temperatura de trabajo del panel

$T_a$  = es la temperatura máxima del ambiente

$R$  = el valor de la radiación solar en  $W/m^2$

$k$  = es un cociente que varia entre 0.02 y 0.04  $^{\circ}Cm^2/W$ , dependiendo de la velocidad promedio del viento.

Cuando ésta es muy baja o inexistente el enfriamiento del panel es pobre o nulo, y  $k$  toma valores cercanos o iguales al máximo (0.04). Si la velocidad promedio del viento produce un enfriamiento efectivo del panel, el valor de  $k$  es el mínimo (0.02).

El valor de  $R$  varía entre 800 y 1.000  $W/m^2$

Para locaciones con alto valor de insolación diaria se usa el valor máximo. Si existen nubes pasajeras que reducen el valor de irradiación, el valor de  $R$  se reduce a 800  $W/m^2$

El producto de  $kR$  representa el incremento de temperatura que sufre el panel sobre la máxima temperatura ambiente.

El primer paso en el cálculo de la potencia de salida de un panel fotovoltaico trabajando a una temperatura mayor que los  $25^{\circ}C$ , es determinar los valores de radiación solar y ambiental para la zona en que este es usado.

(Salgado, Compendio de Energía Solar Fotovoltaica, Termica y Termoelectrica., 2010, págs. 292-293)

## 1.10 Pérdidas del sistema fotovoltaico

Perdidas por temperatura.

Como se indica dentro de textos especializados “el panel fotovoltaico tiene pérdidas en un orden del 4 a 5% por cada  $10^{\circ}C$  de aumento de su temperatura de operación” (Salgado, Tecnología de las Energías Renovables, 2009, pág. 150) (esto depende de la tecnología empleada por cada fabricante). Otro factor en consideración es la temperatura de los módulos, la cual depende de factores ambientales (irradiación, temperatura, velocidad del viento, etc.) como de aquellos relativos a su ubicación (Ramírez Morales & Vega de Kuyper, 2014, pág. 288).

Para minimizar estas pérdidas hay que tomar en cuenta lo siguiente:

- Emplear equipos con una alta eficacia.
- Realizar la instalación en zonas donde la refrigeración del equipo sea óptima.

Pérdidas por rendimiento del inversor.

Una de las principales características que muestran los inversores es la curva eficiencia proporcionada por el fabricante, que es la caracterización de la potencia de salida del inversor en función de parámetros de entrada de este.

El rendimiento del inversor es el parámetro más representativo de los inversores, además de las características propias de construcción del inversor, viene ligado a la selección o no en el equipo de un transformador de aislamiento galvánico. Dependiendo del diseño del inversor y del tipo de puente que empleen tendrán un rendimiento entre un 95% y 95% (Sharma, 2014)

Pérdidas en el cableado.

En la conversión de energía del sistema fotovoltaico consta, de forma simplificada, de la parte de generación en corriente continua por parte de los módulos fotovoltaicos hacia el banco de baterías e inversor. Y en segunda instancia los elementos mencionados a la carga que en su mayoría trabaja con corriente alterna. Estas uniones están dadas por cables de conexión que tienen parámetros de pérdidas asociados.

Zona de corriente continua

La resistencia eléctrica de un cable de conexión viene dada por la ecuación:

$$r = \frac{\rho * L}{A}$$

*Ecuación 18*

Dónde:

$\rho$  es el valor de la resistividad lineal ( $\Omega \cdot m$ )

L es la longitud del cable en metros

A es el área de sección transversal en  $m^2$

Y la pérdida en cada uno de los cables puede expresarse como se expresa en la ecuación 19 y 20:

$$V * I = r * I^2 = \frac{\rho * L}{A} * I^2$$

Ecuación 19

Dónde:

$\rho$  es el valor de la resistividad lineal ( $\Omega * m$ )

L es la longitud del cable en metros

A es el área de sección transversal en  $m^2$

I es la corriente eléctrica [A]

V es la tensión [V]

Lo anterior queda como:

$$P_{ohmDC} = \sum_{i=1}^n \frac{\rho * L_i}{A_i} * I_i^2$$

Ecuación 20

Pérdidas en la zona de AC

De forma similar que en la zona de corriente directa se puede expresar las pérdidas como indica la ecuación 21:

$$P_{ohmAC} = \sum_{i=1}^n \frac{\rho * L_i}{A_i} * I_i^2$$

Ecuación 21

## 1.11 Elementos del sistema fotovoltaico aislado

### El regulador de carga

El regulador de carga es el dispositivo encargado de proteger la batería frente a sobrecargas. En la noche la tensión generada por los paneles es nula, y en días con alta nubosidad la irradiación incidente en los paneles es muy poca por lo cual podrían comportarse con una carga para el banco de baterías. Por lo cual el controlador realiza la función de aislar el banco de acumulación del bloque de generación, evitando la descarga de las baterías. Cuando las condiciones de irradiación se normalizan el proceso de carga se reanuda

### Las Baterías

En los sistemas fotovoltaicos las baterías o acumuladores se utilizan como un sistema de almacenamiento de energía, esto a consecuencia del desplazamiento temporal que puede existir entre los periodos de generación y los periodos de consumo. La gran mayoría de las baterías en el mercado son de Plomo ácido (Pb-a), normalmente se suelen utilizar dos tipos de baterías para aplicaciones fotovoltaicas: Plomo - ácido y Níquel – Cadmio.

Las baterías suelen estar formadas por elementos de dos voltios conectados en serie que proporcionan tensiones de trabajo de 12V, 24V, 48V, etc. La capacidad de las baterías esta expresada en Amper hora (Ah), la capacidad de las baterías en un sistema fotovoltaico se calcula en función de los consumos y al número de días de autonomía. De igual forma las baterías pueden interconectarse como muestra la Figura 29.

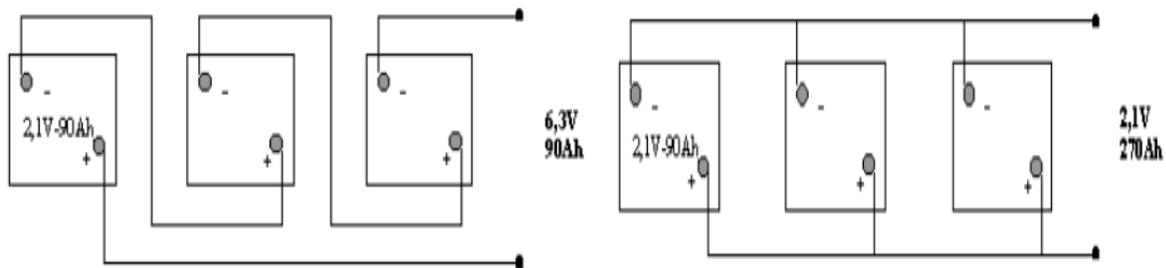


Figura 29. Conexiones eléctricas de la batería. Recuperado de: [http://api.eoi.es/api\\_v1\\_dev.php/fedora/asset/eoi:45337/componente45335.pdf](http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45337/componente45335.pdf)

Los elementos constructivos más importantes de una batería, mostrados en la Figura 30, son:

**La Celda.** Es el elemento básico electroquímico de una batería, consiste en un conjunto de placas positivas y negativas separadas por separadores aislantes, inmersas en una solución de electrolito, todo lo anterior dentro de un contenedor. Comúnmente una batería de plomo ácido tiene un voltaje en torno a los 2V por celda.

**Material activo.** Son materiales que forman las placas positivas y negativas, que son los reactivos de la celda, la cantidad de material es proporcional a la capacidad de la batería (Ah).

**Electrolito.** Es un medio conductor que permite el flujo de corriente mediante la transferencia iónica, o la transferencia de electrones entre placas de la batería.

**Rejilla.** Sirve como soporte de la materia activa y en las baterías de plomo - ácido está constituida por una aleación de plomo.

**Placas.** Consisten en una rejilla con material activo, también denominado electrodo. Generalmente en cada celda hay un número de placas conectadas en paralelo a un bus situado en la parte superior de las placas, tanto en las positivas como en las negativas. La profundidad del ciclado de la batería depende del grosor de las placas.

**Separadores.** Es un material poroso y aislante que separa las placas positiva y negativa evitando el cortocircuito de las mismas y permitiendo el flujo del electrolito y los iones entre ellas.

**Bornes.** Son las conexiones eléctricas externas.

**Carcasa o contenedor.** Hechos comúnmente de goma dura o plástico es el elemento que contiene todos los componentes de la batería.

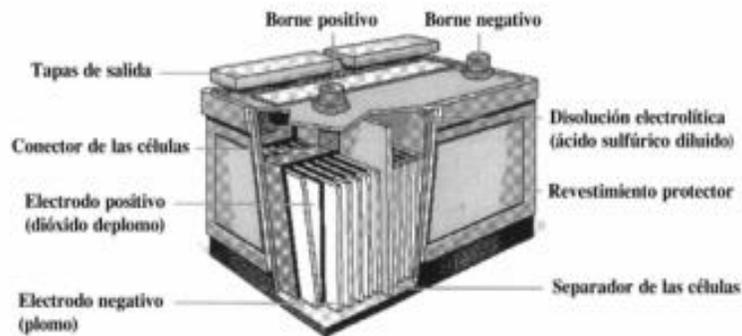


Figura 30. Elementos que componen una batería. Recuperado de: [http://api.eoi.es/api\\_v1\\_dev.php/fedora/asset/eoi:45337/componente45335.pdf](http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45337/componente45335.pdf)

## El inversor

Entre las funciones principales del inversor se encuentran: Invertir de corriente directa a corriente alterna, la modulación de la onda alterna presente a la salida. Estos por lo general pueden encontrarse de tipos monofásicos y trifásicos a frecuencias de salida entre los 50 y 60 Hz, los inversores pueden clasificarse en función de la forma de onda a su salida, este tipo de onda puede ser como las de la Figura 31.

- a) Onda cuadrada
- b) Onda modificada
- c) Onda senoidal pura

Siendo aquellos del primer inciso los más económicos, ya que tienen muy poca modulación y filtrado por lo cual la onda resultante tiene un alto contenido armónico no deseado, estando entorno al 40% de la distorsión armónica total (THD por sus siglas en inglés para Total Harmonic Distortion). Suelen usarse para pequeñas cargas inductivas o resistivas.

Los inversores de onda modificada presentan un THD del 20% y tiene un filtrado mayor que los de onda cuadrada por lo que la eficiencia del dispositivo es mayor que el anterior. De esta manera puede alimentar equipo como electrodomésticos.

Aquellos con una onda senoidal tienen un filtrado mucho mayor en la señal generada, son la mejor opción para alimentar las cargas de corriente alterna, no presentan problemas de THD o en la estabilidad de la tensión.

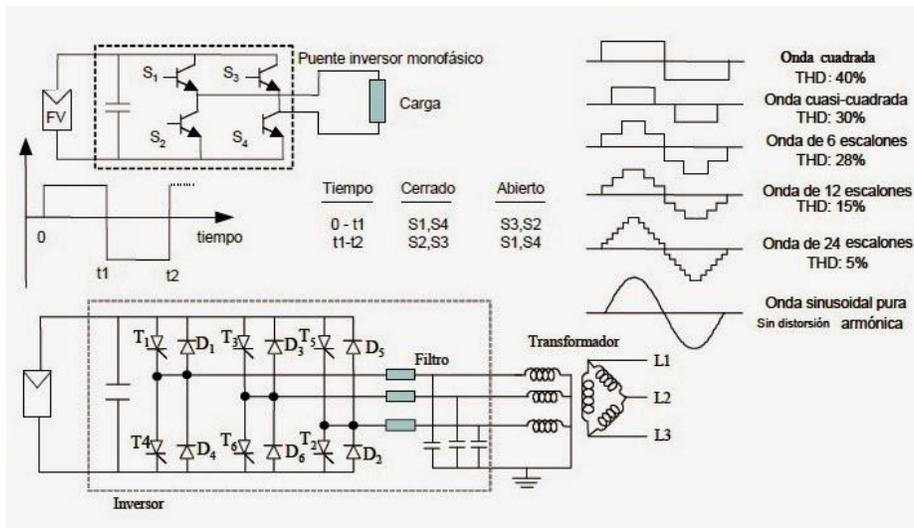


Figura 31. Circuito del inversor y tipos de onda de salida. Recuperado de: <http://www.yubasolar.net/2015/02/inversores.html>

## 1.12. Normatividad aplicable

Para la realización del proyecto se toma en cuenta la normalización aplicable a nivel nacional para garantizar la correcta operación del proyecto y el apego al marco jurídico y profesional.

- 1) NORMA Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008, Condiciones de iluminación en los centros de trabajo.
  - a) Objetivo Establecer los requerimientos de iluminación en las áreas de los centros de trabajo, para que se cuente con la cantidad de iluminación requerida para cada actividad visual, a fin de proveer un ambiente seguro y saludable en la realización de las tareas que desarrollen los trabajadores.
- 2) NORMA Oficial Mexicana NOM-007-ENER-2014, Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en edificios no residenciales.
  - a) Objetivo. 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.

- 3) NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012, Instalaciones Eléctricas (utilización).

## CAPÍTULO 2. ANÁLISIS TÉCNICO

### 2.1 Localización del Proyecto

El análisis se lleva a cabo en una compañía encargada a la fabricación y manufactura de elementos cerámicos ubicado como aparece en el croquis de la Figura 32.

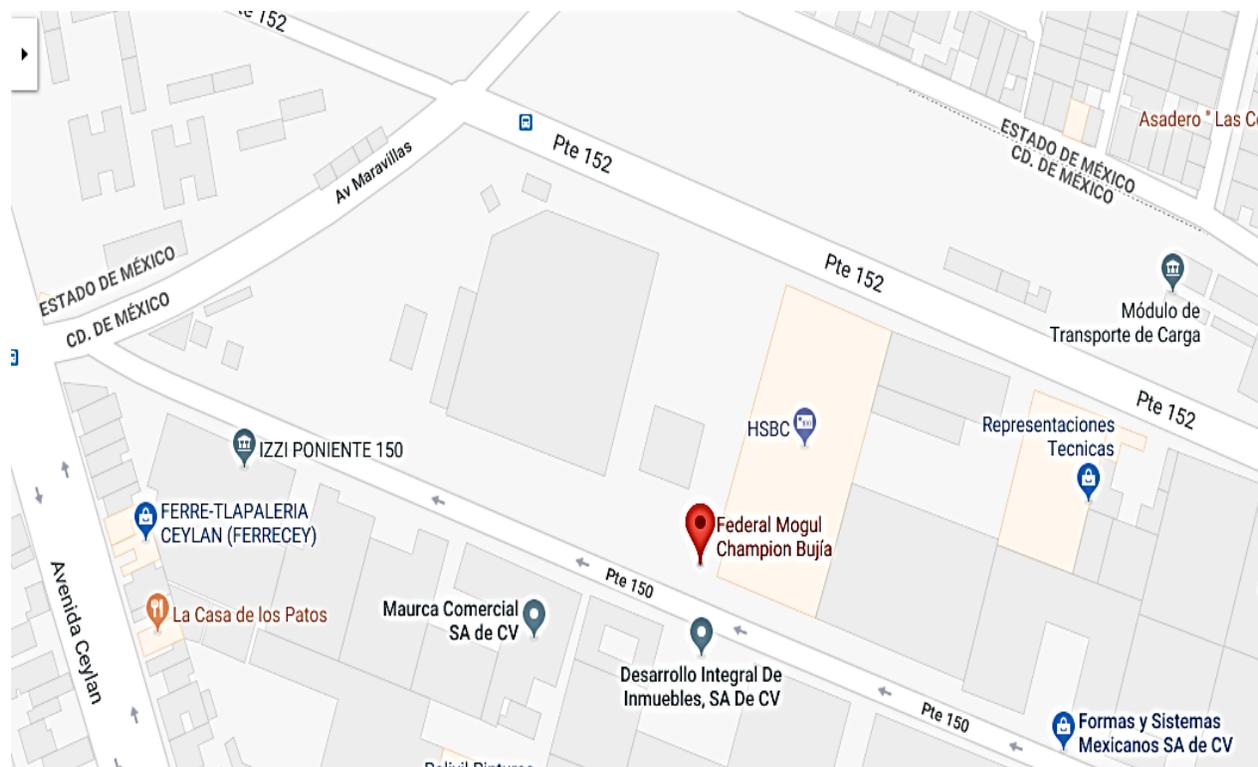


Figura 32. Ubicación de la zona donde se llevará a cabo el proyecto. Recuperado de: Google maps.

### 2.2 Situación Actual

Actualmente la planta de cocción como su nombre lo indica realiza trabajos de cocción de cerámicos, así como la preparación de los moldes de los productos. La amplitud de la nave es considerable ya que el equipo empleado en ella es de grandes magnitudes. Cuenta con dos hornos principales para la cocción de los materiales, y a su vez con una serie de hornos más pequeños para el vidriado y otros acabados que se les dan a las piezas con las que se trabaja. Como se podrá observar en imágenes posteriores el sistema de iluminación presenta una alta degradación por el tiempo y si bien aún emplea tecnología que ya tiene un largo tiempo de haber salido al mercado ésta no se encuentra

en óptimo estado, lo cual genera variaciones en iluminancia que existe en diversos puntos de la nave industrial, lo anterior se muestra en la Figura 33.



Figura 33. Muestra de la iluminación en diferentes áreas de la nave.

Las fotografías de la Figura 33 muestran un estado de iluminación con un precario mantenimiento. Como se llega a divisar algunas de las luminarias presentan lámparas parcialmente o fundidas en su totalidad, lo que genera un flujo desigual sobre las superficies.

## 2.3 Recolección de datos

El primer acercamiento al problema fueron los reportes de mantenimiento donde se contabilizaban las lámparas que constituyen las luminarias de su sistema de iluminación. Éstos dan una idea general de cómo se encuentra la potencia demandada y el tipo de tecnología que se está empleando para los sistemas de iluminación.

La Tabla 6 es un extracto de los datos los cuales tenían registro por parte de la compañía acorde al mantenimiento:

Tabla 6. Iluminación instalada en la sección de cerámicos.

Ubicación (área de cerámicos)	Cantidad	Fura de servicio	En funcionamiento	Consumo [w]	Horas en funcionamiento	kW	Total, kW día	Tipo de luminaria
Área de máquinas	124		124	192	24	23.808	571.392	T8 6x32w
Subestación	4		4	78	1	0.312	0.312	T12 2x39w
Torre de enfriamiento	3		3	120	11	0.36	3.96	T12 2x60w
Subestación	2		2	120	11	0.24	2.64	T12 2x60w
Oficinas	15		15	120	11	1.8	19.8	T12 2x60w
Cuarto de Tableros Eléctricos	5		5	120	11	0.6	6.6	T12 2x60w
Área de máquinas	91	34	57	120	24	6.84	164.16	T12 2x60w
Planta de emergencia	2		2	148	11	0.296	3.256	T8 2x74w
Área de máquinas	8	4	4	78	24	0.312	7.488	T12 2x39w
Total:	254					34.568	779.608	

Después se procede a hacer la inspección visual y el levantamiento de datos dentro de planta, con lo cual se puede realizar la Tabla 7:

Tabla 7. Levantamiento de datos.

Área	Metros cuadrados	Luminarias en funcionamiento	Fuera de servicio	Potencia Instalada	Tecnología
Área 1 [Hornos de vidriado]	481	28	3	5376	t8
Área 2 [Prensado]	408	28	0	5376	t8
Área 3a [Hornos tránsito de material]	521	24	4	5376	t8
Área 3b [Hornos de cocción]	390	18	0	2160	t12
Área 4 [Almacén]	172	3	2	576	t8
Área 5a [Oficinas Vidriado]	29	2	0	240	t12
Área 5b [Oficinas Prensado]	15	2	0	240	t12
Área 6 [Molinos]	394	21	4	2520	t12
Área 7	315	16	0	3072	t8
Área 8 [Almacén 2]	136	4	0	768	t8
Área 9 [Compresores]	188	9	3	1440	t12
Área 10 [Caldera]	150	9	3	1080	t12
Área 11 [Hornos parte trasera]	278	10	2	1920	t8
Área 12 [Baños]	66	6	0	720	t12
Área 13 [Vestidores]	183	10	0	1200	t12

<b>Área 14 [Caseta de Herramientas]</b>	106	Sin información	Sin información	Sin información	t12
<b>Área 15</b>	94	Sin información	Sin información	Sin información	t12
<b>Área 16</b>	164	Sin información	Sin información	Sin información	t12
<b>Total:</b>	3726	197	21	32064	

## 2.4 Elaboración documental del estado actual

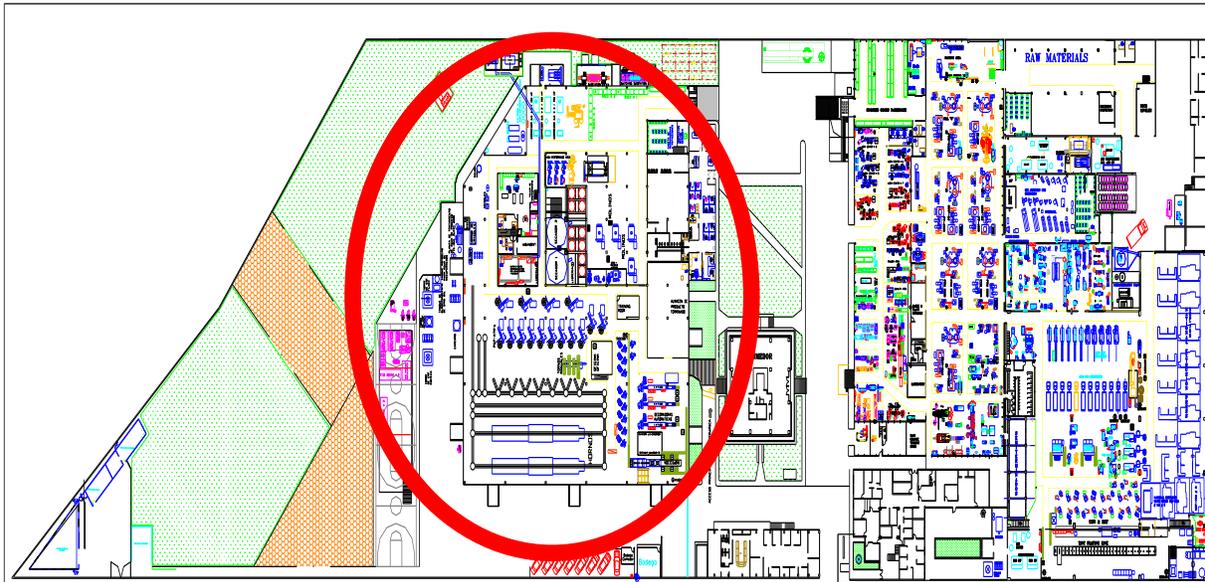


Figura 34. Croquis de la planta con sus diferentes secciones.

En la Figura 34 se observa un croquis de la planta y se delimita en un círculo rojo la parte que corresponde al proyecto de la planta en general representa un área de gran tamaño por lo cual la importancia de trabajar en ella.

En la Figura 35 se observa las el diagrama unifilar de la planta de ceramicos, se observa que el digrama carece de detalle en la distribuacion de los circuitos que corresponden a iluminacion.

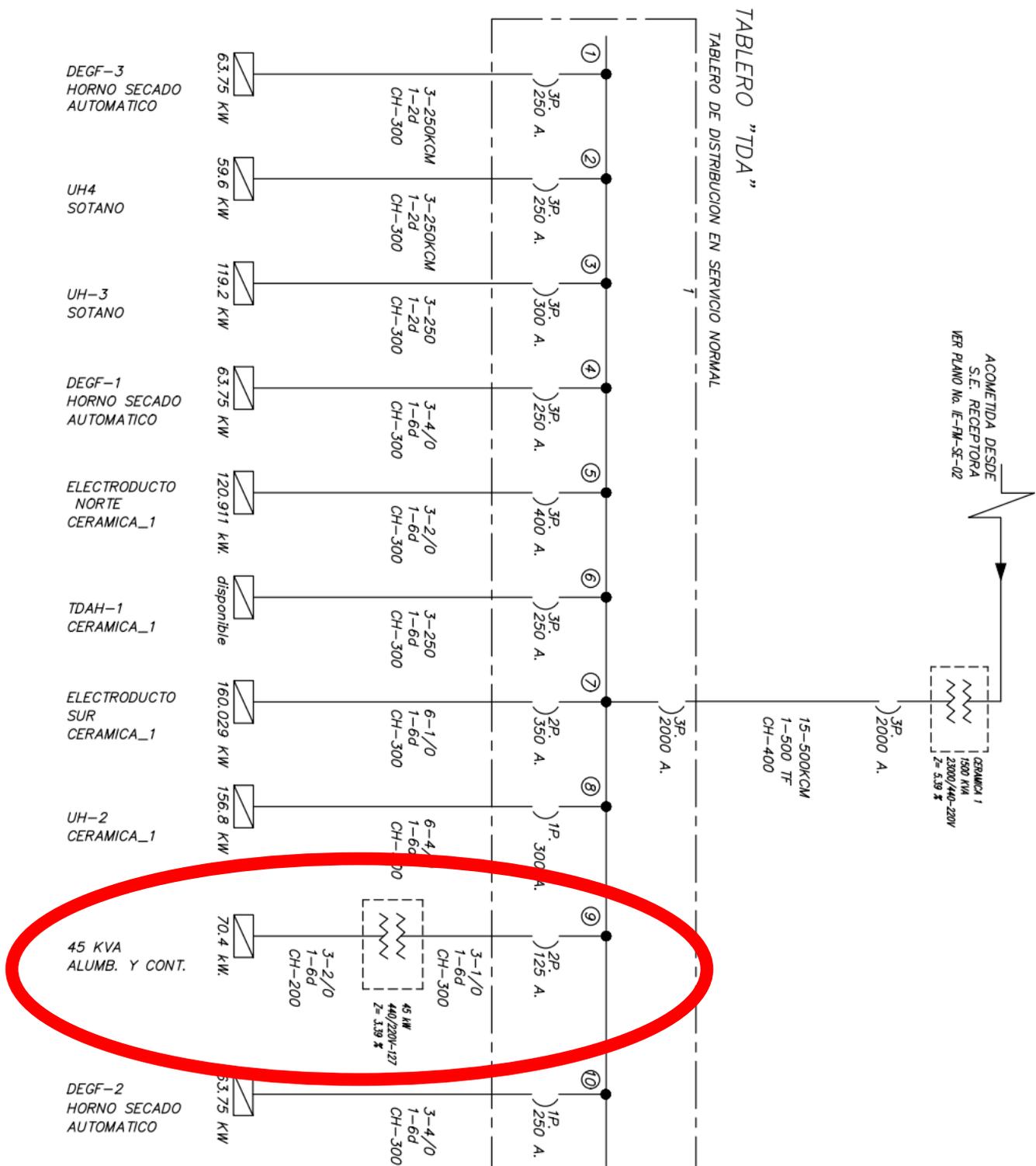


Figura 35.. Diagrama unifilar de la sección de cerámicos (actual).

## 2.5 Estudios Técnicos

Para llevar a cabo el estudio técnico y general la propuesta pertinente se lleva a cabo la siguiente metodología expresada en la Figura 36, para garantizar antes en primera instancia que los parámetros se encuentren dentro de las correspondientes normatividades aplicables. De esta manera no sólo garantizar el cumplimiento del marco jurídico y regulatorio sino también la eficacia de las posteriores recomendaciones.

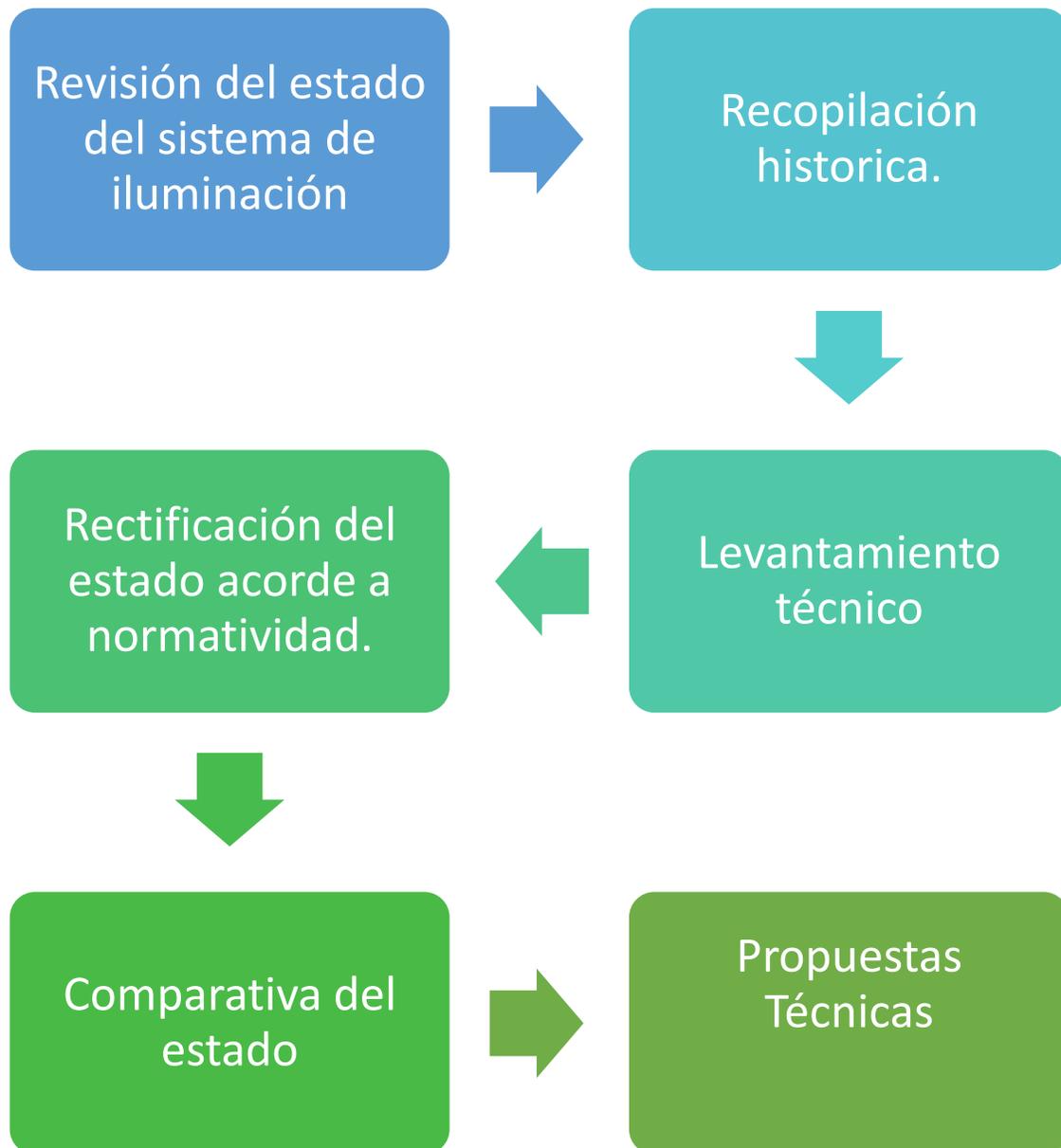


Figura 36. Metodología propuesta a seguir.

## Metodología de cálculo

### *Watt por metro cuadrado*

El método de Watt por metro cuadrado es una metodología que conlleva a la aproximación para determinar el número de luminarias que se van a requerir en un área determinada. Partimos de las condiciones que el lugar donde se aplica el método debe contar con techos blancos y paredes en tonos ligeros. Este método se emplea para obtener una iluminación general empleando lámparas y luminarias con tecnología fluorescente o de descarga de alta intensidad.

Para empezar con el cálculo se debe de limitar las áreas a iluminar, para identificar la luminancia y la potencia pertinente se sigue la tabla de recomendaciones de la S.M.I.I de los luxes requeridos conforme a la actividad o el tipo de área. Al igual se realiza una verificación con la "NORMA Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008, Condiciones de iluminación en los centros de trabajo".

Los cálculos pertinentes para llegar al número de luminarias es el siguiente:

$$W = A * Wm^2$$

*Ecuación 22*

Dónde:

W Potencia requerida.

A= Área de la zona de análisis

$Wm^2$ = Potencia eléctrica por metro cuadrado

Así también:

$$N_l = \frac{W}{(W_{lamp} * lamp)}$$

*Ecuación 23*

Dónde:

$N_l$  es el número de luminarias necesarias

W es la potencia total

$(W_{lamp} * lamp)$  es la potencia de cada lámpara por el número de lámparas en la luminaria

Como se menciona en un inicio es necesario delimitar el espacio que se va a estudiar, como propuesta en la siguiente figura se limitan las zonas de actividad para la aplicación de las luminarias.

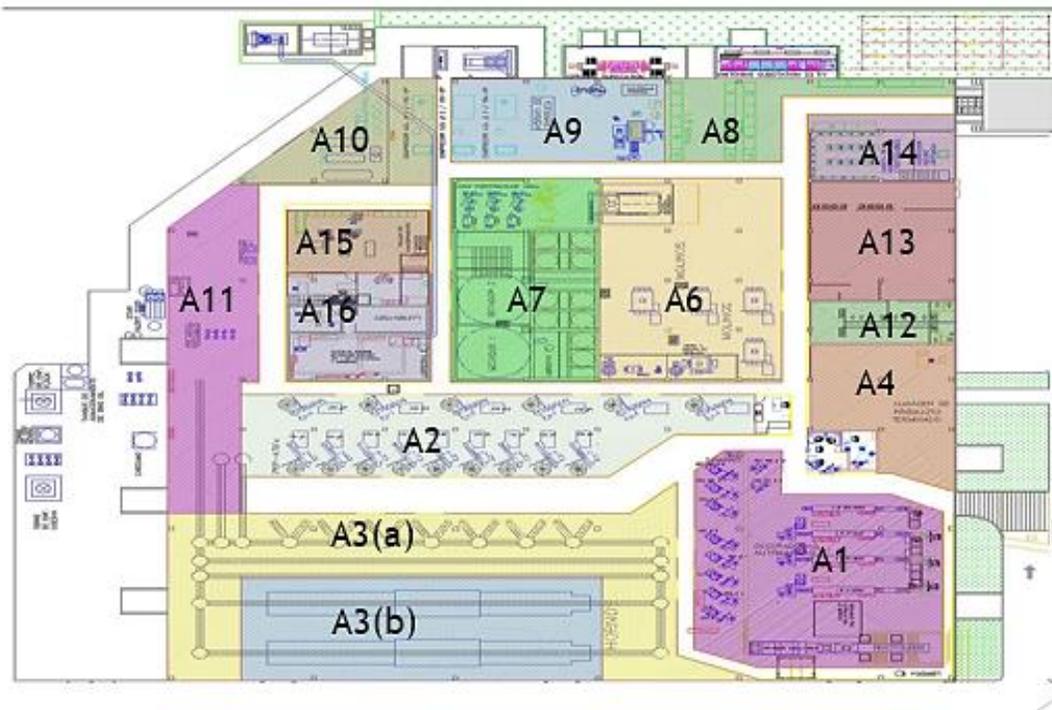


Figura 37. División de las áreas para el cálculo por el método de Watt por metro cuadrado.

Empleo de la metodología de Watt por metro cuadrado para el cálculo de las áreas delimitadas dentro de la Figura 37

- a) Área de análisis: **Área 1**
- b) Iluminancia requerida acorde a normatividad aplicable: 500 luxes.
- c) Potencia requerida por criterios por la S.M.I.I:  $12.92 \frac{W}{m^2}$
- d) Área del lugar:  $481m^2$
- e) Potencia por unidad de área requerida de acuerdo a la ecuación 22:

$$W = 481m^2 * 12.92 \frac{W}{m^2} = 6214.52 W$$

f) Luminarias necesarias acorde a la ecuación 23:

La zona cuenta con una luminaria con lámparas T8 de la forma 6x32W

$$N_l = \frac{6214.52 \text{ W}}{(6 \times 32 \text{ W})} = 32.36 \approx 32 \text{ luminarias}$$

a) Área de análisis: **Área 2**

b) Iluminancia requerida acorde a normatividad aplicable: 500 luxes.

c) Potencia requerida por criterios por la S.M.I.I:  $12.92 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$

d) Área del lugar:  $408 \text{ m}^2$

e) Potencia por unidad de área requerida de acuerdo a la ecuación 22:

$$W = 408 \text{ m}^2 * 12.92 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} = 5271.36 \text{ W}$$

f) Luminarias necesarias acorde a la ecuación 23:

La zona cuenta con una luminaria con lámparas T8 de la forma 6x32W

$$N_l = \frac{5271.36 \text{ W}}{(6 \times 32 \text{ W})} = 27.55 \approx 28 \text{ luminarias}$$

a) Área de análisis: **Área 3a**

b) Iluminancia requerida acorde a normatividad aplicable: 310 luxes.

c) Potencia requerida por criterios por la S.M.I.I:  $9.9 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$

d) Área del lugar:  $521 \text{ m}^2$

e) Potencia por unidad de área requerida de acuerdo a la ecuación 22:

$$W = 521m^2 * 9.9 \frac{W}{m^2} = 5157.9 W$$

f) Luminarias necesarias acorde a la ecuación 23:

La zona cuenta con una luminaria con lámparas T8 de la forma 6x32W

$$N_l = \frac{5157.9 W}{(6x32W)} = 26.86 \approx 27 \text{ luminarias}$$

a) Área de análisis: **Área 3b**

b) Iluminancia requerida acorde a normatividad aplicable: 200 luxes.

c) Potencia requerida por criterios por la S.M.I.I:  $8.61 \frac{W}{m^2}$

d) Área del lugar:  $390 m^2$

e) Potencia por unidad de área requerida de acuerdo a la ecuación 22:

$$W = 390 m^2 * 8.61 \frac{W}{m^2} = 3357.9 W$$

f) Luminarias necesarias acorde a la ecuación 23:

La zona cuenta con una luminaria con lámparas T12 de la forma 2x60W

$$N_l = \frac{3357.9 W}{(2x60W)} = 27.98 \approx 28 \text{ luminarias}$$

a) Área de análisis: **Área 4**

b) Iluminancia requerida acorde a normatividad aplicable: 200 luxes.

c) Potencia requerida por criterios por la S.M.I.I:  $8.61 \frac{W}{m^2}$

d) Área del lugar:  $172 m^2$

e) Potencia por unidad de área requerida de acuerdo a la ecuación 22:

$$W = 172m^2 * 8.61 \frac{W}{m^2} = 1480.92 W$$

f) Luminarias necesarias acorde a la ecuación 23:

La zona cuenta con una luminaria con lámparas T8 de la forma 6x32W

$$N_l = \frac{1480.92 W}{(6x32W)} = 7.81 \approx 8 \text{ luminarias}$$

a) Área de análisis: **Área 5a**

b) Iluminancia requerida acorde a normatividad aplicable: 310 luxes.

c) Potencia requerida por criterios por la S.M.I.I:  $9.9 \frac{W}{m^2}$

d) Área del lugar:  $29 m^2$

e) Potencia por unidad de área requerida de acuerdo a la ecuación 22:

$$W = 29 m^2 * 9.9 \frac{W}{m^2} = 287 W$$

f) Luminarias necesarias acorde a la ecuación 23:

La zona cuenta con una luminaria con lámparas T12 de la forma 2x60W

$$N_l = \frac{287 W}{(2x60W)} = 2.39 \approx 2 \text{ luminarias}$$

- a) Área de análisis: Área 5b
- b) Iluminancia requerida acorde a normatividad aplicable: 200 luxes.
- c) Potencia requerida por criterios por la S.M.I.I:  $9.9 \frac{W}{m^2}$
- d) Área del lugar:  $15 m^2$
- e) Potencia por unidad de área requerida de acuerdo a la ecuación 22:

$$W = 15 m^2 * 9.9 \frac{W}{m^2} = 148.5 W$$

- f) Luminarias necesarias acorde a la ecuación 23:

La zona cuenta con una luminaria con lámparas T12 de la forma 2x60W

$$N_l = \frac{148.5 W}{(2x60W)} = 1.23 \approx 1 \text{ luminarias}$$

- a) Área de análisis: Área 6
- b) Iluminancia requerida acorde a normatividad aplicable: 200 luxes.
- c) Potencia requerida por criterios por la S.M.I.I:  $8.61 \frac{W}{m^2}$
- d) Área del lugar:  $394 m^2$
- e) Potencia por unidad de área requerida de acuerdo a la ecuación 22:

$$W = 394 m^2 * 8.61 \frac{W}{m^2} = 3392 W$$

- f) Luminarias necesarias acorde a la ecuación 23:

La zona cuenta con una luminaria con lámparas T12 de la forma 2x60W

$$N_l = \frac{3392 \text{ W}}{(2 \times 60 \text{ W})} = 28.26 \approx 28 \text{ luminarias}$$

- a) Área de análisis: **Área 7**
- b) Iluminancia requerida acorde a normatividad aplicable: 310 luxes.
- c) Potencia requerida por criterios por la S.M.I.I:  $9.9 \frac{W}{m^2}$
- d) Área del lugar:  $315 \text{ m}^2$
- e) Potencia por unidad de área requerida de acuerdo a la ecuación 22:

$$W = 315 \text{ m}^2 * 9.9 \frac{W}{m^2} = 3118.5 \text{ W}$$

- f) Luminarias necesarias acorde a la ecuación 23:

La zona cuenta con una luminaria con lámparas T8 de la forma 6x32W

$$N_l = \frac{3118.5 \text{ W}}{(6 \times 32 \text{ W})} = 16.24 \approx 16 \text{ luminarias}$$

- a) Área de análisis: **Área 8**
- b) Iluminancia requerida acorde a normatividad aplicable: 200 luxes.
- c) Potencia requerida por criterios por la S.M.I.I:  $8.61 \frac{W}{m^2}$
- d) Área del lugar:  $136 \text{ m}^2$
- e) Potencia por unidad de área requerida de acuerdo a la ecuación 22:

$$W = 136 \text{ m}^2 * 8.61 \frac{W}{m^2} = 1171 \text{ W}$$

f) Luminarias necesarias acorde a la ecuación 23:

La zona cuenta con una luminaria con lámparas T8 de la forma 6x32W

$$N_l = \frac{1171 \text{ W}}{(6 \times 32 \text{ W})} = 6.09 \approx 6 \text{ luminarias}$$

a) Área de análisis: **Área 9**

b) Iluminancia requerida acorde a normatividad aplicable: 200 luxes.

c) Potencia requerida por criterios por la S.M.I.I:  $8.61 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$

d) Área del lugar:  $188 \text{ m}^2$

e) Potencia por unidad de área requerida de acuerdo a la ecuación 22:

$$W = 188 \text{ m}^2 * 8.61 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} = 1618.88 \text{ W}$$

f) Luminarias necesarias acorde a la ecuación 23:

La zona cuenta con una luminaria con lámparas T12 de la forma 2x30W

$$N_l = \frac{1618.88 \text{ W}}{(2 \times 30 \text{ W})} = 13.48 \approx 13 \text{ luminarias}$$

a) Área de análisis: **Área 10**

b) Iluminancia requerida acorde a normatividad aplicable: 200 luxes.

c) Potencia requerida por criterios por la S.M.I.I:  $8.61 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$

d) Área del lugar:  $150 \text{ m}^2$

e) Potencia por unidad de área requerida de acuerdo a la ecuación 22:

$$W = 150 \text{ m}^2 * 8.61 \frac{W}{\text{m}^2} = 1291.5 \text{ W}$$

f) Luminarias necesarias acorde a la ecuación 23:

La zona cuenta con una luminaria con lámparas T12 de la forma 2x30W

$$N_l = \frac{1291.5 \text{ W}}{(2 \times 30 \text{ W})} = 10.76 \approx 11 \text{ luminarias}$$

a) Área de análisis: **Área 11**

b) Iluminancia requerida acorde a normatividad aplicable: 200 luxes.

c) Potencia requerida por criterios por la S.M.I.I:  $8.61 \frac{W}{\text{m}^2}$

d) Área del lugar:  $278 \text{ m}^2$

e) Potencia por unidad de área requerida de acuerdo a la ecuación 22:

$$W = 278 \text{ m}^2 * 8.61 \frac{W}{\text{m}^2} = 2393.81 \text{ W}$$

f) Luminarias necesarias acorde a la ecuación 23:

La zona cuenta con una luminaria con lámparas T8 de la forma 6x32W

$$N_l = \frac{2393.81 \text{ W}}{(6 \times 32 \text{ W})} = 12.46 \approx 13 \text{ luminarias}$$

a) Área de análisis: **Área 12**

b) Iluminancia requerida acorde a normatividad aplicable: 200 luxes.

c) Potencia requerida por criterios por la S.M.I.I:  $8.61 \frac{W}{\text{m}^2}$

d) Área del lugar:  $66 \text{ m}^2$

e) Potencia por unidad de área requerida de acuerdo a la ecuación 22:

$$W = 66 \text{ m}^2 * 8.61 \frac{W}{\text{m}^2} = 568.26W$$

f) Luminarias necesarias acorde a la ecuación 23:

La zona cuenta con una luminaria con lámparas T12 de la forma 2x60W

$$N_l = \frac{568.26 W}{(2x60W)} = 4.76 \approx 5 \text{ luminarias}$$

a) Área de análisis: **Área 13**

b) Iluminancia requerida acorde a normatividad aplicable: 200 luxes.

c) Potencia requerida por criterios por la S.M.I.I:  $8.61 \frac{W}{\text{m}^2}$

d) Área del lugar:  $183 \text{ m}^2$

e) Potencia por unidad de área requerida de acuerdo a la ecuación 22:

$$W = 183 \text{ m}^2 * 8.61 \frac{W}{\text{m}^2} = 1575.63 W$$

f) Luminarias necesarias acorde a la ecuación 23:

La zona cuenta con una luminaria con lámparas T12 de la forma 2x60W

$$N_l = \frac{1575.63 W}{(2x60W)} = 13.13 \approx 13 \text{ luminarias}$$

a) Área de análisis: **Área 14**

- b) Iluminancia requerida acorde a normatividad aplicable: 310 luxes.
- c) Potencia requerida por criterios por la S.M.I.I:  $9.9 \frac{W}{m^2}$
- d) Área del lugar:  $106 m^2$
- e) Potencia por unidad de área requerida de acuerdo a la ecuación 22:

$$W = 106 m^2 * 9.9 \frac{W}{m^2} = 1049.4W$$

- f) Luminarias necesarias acorde a la ecuación 23:

La zona cuenta con una luminaria con lámparas T12 de la forma 2x60W

$$N_l = \frac{1049.4 W}{(2x60W)} = 8.74 \approx 9 \text{ luminarias}$$

- a) Área de análisis: **Área 15**
- b) Iluminancia requerida acorde a normatividad aplicable: 310 luxes.
- c) Potencia requerida por criterios por la S.M.I.I:  $9.9 \frac{W}{m^2}$
- d) Área del lugar:  $94 m^2$
- e) Potencia por unidad de área requerida de acuerdo a la ecuación 22:

$$W = 94 m^2 * 9.9 \frac{W}{m^2} = 930.6 W$$

- f) Luminarias necesarias acorde a la ecuación 23:

La zona cuenta con una luminaria con lámparas T12 de la forma 2x60W

$$N_l = \frac{930.6 W}{(2x60W)} = 7.75 \approx 8 \text{ luminarias}$$

- a) Área de análisis: **Área 16**
- b) Iluminancia requerida acorde a normatividad aplicable: 310 luxes.
- c) Potencia requerida por criterios por la S.M.I.I:  $9.9 \frac{W}{m^2}$
- d) Área del lugar:  $164 m^2$
- e) Potencia por unidad de área requerida de acuerdo a la ecuación 22:

$$W = 164 m^2 * 9.9 \frac{W}{m^2} = 1623.6 W$$

- f) Luminarias necesarias acorde a la ecuación 23:

La zona cuenta con una luminaria con lámparas T12 de la forma 2x60W

$$N_l = \frac{1623.6 W}{(2x60W)} = 13.5 \approx 14 \text{ luminarias}$$

Con los cálculos anteriores y datos previos se tiene la síntesis comparativa reflejada en la Tabla 8.

Tabla 8. Síntesis comparativa de los datos calculados y el levantamiento de campo.

Área	Metros cuadrados	Luminarias Calculadas	Potencia Calculada	Luminarias Instaladas	Potencia Instalada	Luxes considerados de acuerdo con la zona	Tecnología	[w/m^2] requerido
Área 1 [Hornos de vidriado]	481	32	6144	28	5376	500	t8	12.92
Área 2 [Prensado]	408	28	5376	28	5376	500	t8	12.92
Área 3a [Hornos tránsito de material]	521	27	5184	28	5376	310	t8	9.9
Área 3b [Hornos de cocción]	390	28	3360	18	2160	200	t12	8.61

Área 4 [Almacén]	172	8	1536	3	576	200	t8	8.61
Área 5a [Oficinas Vidriado]	29	2	240	2	240	310	t12	9.9
Área 5b [Oficinas Prensado]	15	1	120	2	240	310	t12	9.9
Área 6 [Molinos]	394	28	3360	21	2520	200	t12	8.61
Área 7	315	17	3264	16	3072	310	t8	9.9
Área 8 [Almacén 2]	136	6	1152	4	768	200	t8	8.61
Área 9 [Compresores]	188	14	1680	12	1440	200	t12	8.61
Área 10 [Caldera]	150	11	1320	9	1080	200	t12	8.61
Área 11 [Hornos parte trasera]	278	13	2496	10	1920	200	t8	8.61
Área 12 [Baños]	66	5	600	5	600	200	t12	8.61
Área 13 [Vestidores]	183	13	1560	10	1200	200	t12	8.61
Área 14 [Caseta de Herramientas]	106	9	1080	ND	ND	310	t12	9.9
Área 15	94	8	960	ND	ND	310	t12	9.9
Área 16	164	14	1680	ND	ND	310	t12	9.9
Total:	4090	264	41112	196	31944			

## Dimensionamiento de los conductores de alimentación.

Dimensionamiento del conductor por la potencia demandada

Las luminarias T8 ya que son de 6 tubos fluorescentes cuenta con dos balastos electrónicos conectados a los arreglos de la siguiente manera:

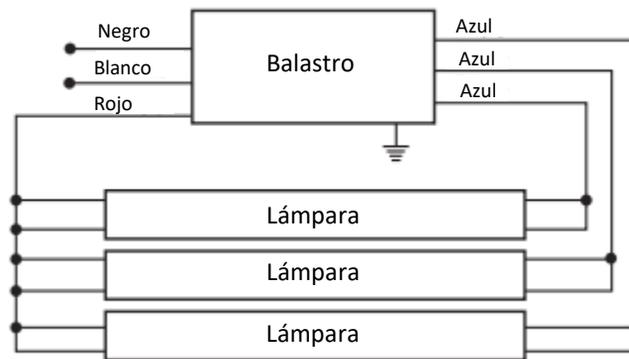


Figura 38. Conexión de las lámparas T8 acorde al manual de fabricante. Recuperado de: <http://www.lightingcomponents.us/Product-Manuals/49945.pdf>

Por consiguiente, la corriente del arreglo es:

$$I = \frac{W}{V_{fn} * F.P} \quad \text{Ecuación 24}$$

Dónde:

$W$  potencia eléctrica [W]

$V_{fn}$  tensión de fase a neutro [V]

$F.P$  factor de potencia

De forma conjunta se considera que para cuestiones de consumo que el balastro consume un 20% más potencia de la potencia total del arreglo al cual está conectado, por lo tanto:

$$W_{arreg} = 3 * 32 W * (1.20) = 115.2$$

Ya que la luminaria consta de dos de estos arreglos con características iguales, se procede a multiplicar el valor anterior por dos en el cálculo de la corriente de la luminaria.

$$I_{lum} = \frac{230.4 W}{127 V * 0.9} = 2.015 A$$

Se toma el área con mayor número de luminarias para realizar el cálculo del conductor del alimentador del circuito:

$$I_{Circuito} = 2.015 A * 32 \text{ luminarias} = 65.5 A$$

Se aplican los mismos criterios para determinar las corrientes de los circuitos de las luminarias con lámparas T12

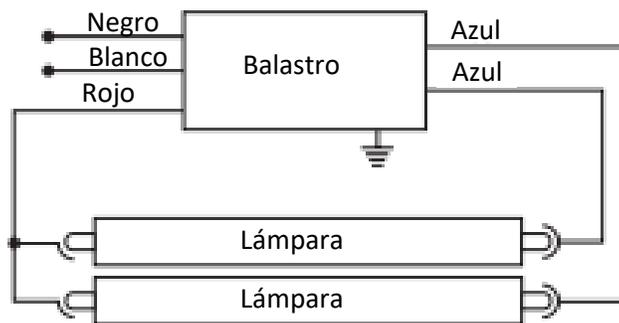


Figura 39. Conexión de las lámparas T12 acorde al manual de fabricante. Recuperado de: [https://www.mc-mc.com/ASSETS/DOCUMENTS/ITEMS/EN/Specification%20Sheet\\_ECS416\\_76f396c4-fb60-4040-8878-04a45d0ce561.pdf](https://www.mc-mc.com/ASSETS/DOCUMENTS/ITEMS/EN/Specification%20Sheet_ECS416_76f396c4-fb60-4040-8878-04a45d0ce561.pdf)

$$W_{arreg} = 2 * 60 W * (1.20) = 144 W$$

Ya que la luminaria consta de uno de estos arreglos con, se procede al cálculo de la corriente de la luminaria.

$$I_{lum} = \frac{144 W}{127 V * 0.9} = 1.26 A$$

Se toma el área con mayor número de luminarias para realizar el cálculo del conductor del alimentador del circuito:

$$I_{Circuito} = 1.26 A * 28 \text{ luminarias} = 35.27 A$$

## Verificación del calibre del conductor

Realizando la corrección de corrientes en conformidad a la NOM 001 considerando los factores de las tablas NOM-001-SEDE Tabla 310-15(b)(2)(a) y Tabla 310-15(b)(3)(a).

$$I' = \frac{I}{FCT * FCA} \quad \text{Ecuación 25}$$

Dónde:

I' es la corriente corregida

FCT el factor de corrección por temperatura

FCA factor de corrección por agrupamiento

$$I' = \frac{35.27}{(1)(1)} = 35.27A$$

La selección del calibre del conductor corresponde a un 8 AWG de acuerdo a las tablas de ampacidades de conductor por la Tabla 310-15(b)(16) de la NOM-001.

Por lo anterior y acorde a la normatividad el calibre mínimo que debe encontrarse actualmente en los circuitos de iluminación considerando que se maneje la manera que se realizó el cálculo es un calibre 8 AWG

## 2.6 Propuestas de solución

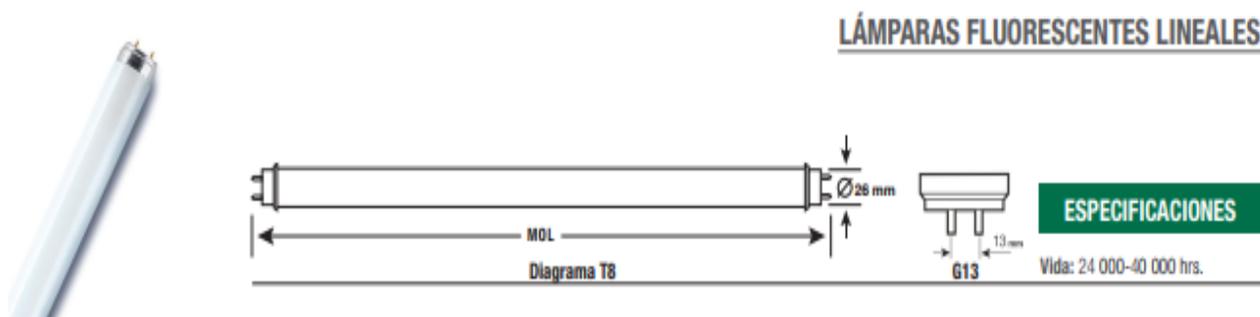
Con la síntesis de la Tabla 8 se observa que existen áreas que se encuentran por debajo de los valores de iluminancia de la NOM-025-STPS-2008, por lo cual se tienen que hacer esta corrección.

Tabla 9. Síntesis de lámparas de luminarios por diámetro.

Luminaria	Número de luminarias	Potencia demandada
Fluorescente T8 6x32	131	25152 W
Fluorescente T12 2x60	133	15960 W

Ya que se lleva a cabo la corrección de los valores de iluminancia por áreas de trabajo se opta por seleccionar lámparas. Ya que las luminarias constan de un gabinete reflector que aloja un arreglo de lámparas, se procede a buscar un remplazo que se asemeje en especificación fotométricas a las lámparas actuales de tecnología fluorescente. Para ello se consulta en el catálogo del fabricante que corresponda a las lámparas actualmente instaladas.

En la Figura 40, se muestra los extractos del catálogo de Osram (2012) en el que se observa los modelos de lámparas fluorescentes, así como sus especificaciones técnicas.



### OCTRON® T8 ESTANDAR (serie 800)

Clave	Descripción	Potencia [W]	Flujo Luminoso Inicial [lm]	MOL [mm]	IRC	CCT [K]	Bulbo	Tipo de Base	Vida Promedio [h]	Estatus	Piezas por Caja
22290	F017835E00	17	1 350	604	>80	3 500	T8	G13	28 000	MTS	30
22122	F017841E00	17	1 350	604	>80	4 100	T8	G13	28 000	MTS	30
22139	F025835E00	25	2 150	909	>80	3 500	T8	G13	28 000	MTS	30
22140	F025841E00	25	2 150	909	>80	4 100	T8	G13	28 000	MTS	30
22283	F032830E00	32	2 950	1 214	>80	3 000	T8	G13	28 000	MTS	30
22284	F032835E00	32	2 950	1 214	>80	3 500	T8	G13	28 000	MTO	30
21755	F032841E00	32	2 950	1 214	>80	4 100	T8	G13	28 000	MTS	30
21943	F032850E00	32	2 950	1 214	>80	5 000	T8	G13	28 000	MTS	30
21974	F032865	32	2 950	1 214	>80	6 500	T8	G13	28 000	MTS	30
*22594	F032SKYWHITE00	32	2 650	1 214	>80	8 000	T8	G13	40 000	MTO	30
22146	F040841E00	40	3 650	1 524	>80	4 100	T8	G13	30 000	MTS	30
22147	F096830E00	59	5 900	2 338	>80	3 000	T8	G13	24 000	MTS	24
22148	F096835E00	59	5 900	2 338	>80	3 500	T8	G13	24 000	MTS	24
22112	F096841E00	59	5 900	2 338	>80	4 100	T8	G13	24 000	MTS	24
22120	F096850E00	59	5 900	2 338	>80	5 000	T8	G13	24 000	MTS	24

## T12 PRO

Clave	Descripción	Potencia [W]	Flujo Luminoso Inicial [lm]	MOL [mm]	IRC	CCT [K]	Bulbo	Tipo de Base	Vida Promedio [h]	Estatus	Piezas por Caja
22465	F48T12DX965SSIRC90	32	1 725	1 219	>90	6 100	T12	Fa8	9 000	MTS	30
22466	F96T12DX965SSIRC90	60	4 180	2 438	>90	6 100	T12	Fa8	12 000	MTS	15

Figura 40. Extracto del catálogo del fabricante.

Del catálogo anterior se buscará entre fabricantes tipos de lámparas con tecnología LED, mostradas en la Tabla 10, compatibles con los requerimientos técnicos de las fluorescentes actualmente instaladas, esto en función de cumplir el objetivo de la maximización del material acoplándolo a la infraestructura existente, en los objetivos específicos del proyecto

Tabla 10. Tabla comparativa de lámparas para remplazo.

Código de referencia	Equipo		Especificaciones
TLD01	Tubo LED T8		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Casquillo: G13</li> <li>• Flujo Luminoso: 2500 lumen</li> <li>• Temperatura de color: 4000 K</li> <li>• Potencia nominal: 16.5 W</li> <li>• Longitud: 1213 mm</li> </ul>
TLD02	Tubo LED T8	<p>Order# 14098998</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potencia de entrada 16.5 W</li> <li>• Tensión de entrada (V) 120-277V</li> <li>• Flujo luminoso 2400 (lm)</li> <li>• Eficacia (lm/W) 145.0</li> <li>• Temperatura de color 5000 K</li> </ul>

TLD03	Tubo LED T8		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bulbo T8</li> <li>• Bulb Finish Diffuse</li> <li>• Regulatory comment CE certified</li> <li>• Longitud 1200 [mm]</li> <li>• Flujo luminoso 2100 [lm]</li> <li>• Consumo energético [kWh/1000h] 17</li> </ul>
TLD04	Tubo LED T12		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Casquillo: FA8</li> <li>• Flujo Luminoso: 3200 lumen</li> <li>• Temperatura de color: 4000 K</li> <li>• Potencia nominal: 26 W</li> <li>• Longitud: 2400 mm</li> </ul>
TLD05	Tubo LED T12		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Voltaje de operación 85-265v 50/60 Hz</li> <li>• Consumo 36W</li> <li>• Cantidad de Leds 336</li> <li>• Temperatura de color blanco puro (4500-500k)</li> <li>• Ángulo de apertura 120°</li> <li>• Flujo luminoso 3600lm</li> <li>• Cuerpo Aluminio, plástico y mica transparente</li> <li>• Grado de Protección IP50</li> <li>• Peso 712 gr</li> <li>• Compatibilidades terminales T12</li> </ul>

El equipo resaltado en color verde en la Tabla 10 es aquel que cumple con las características más cercanas a las especificaciones previamente mostradas en las especificaciones del catálogo de fabricante (OSRAM). Otro de los factores de selección en las lámparas de sustitución fue la capacidad de éstas a trabajar con una conexión

directa a la línea, el remplazo y la disminución de demanda por parte de la carga se refleja en la Tabla 11.

Tabla 11. Remplazo de las lámparas

Luminaria	Número de luminarias	Potencia de la lampara	Potencia demandada
<b>Tubo LED T8 6x16.5</b>	131	16.5 [W]	12969 W
<b>Tubo LED T12 2x36</b>	133	36 [W]	9576 W
<b>Total:</b>			<b>22545 W</b>

A la par del remplazo de las luminarias se agruparán los circuitos en tableros dedicados a la iluminación, para esto se tomará cuenta la corriente que cada grupo de luminarias demanda por las áreas consideradas, lo cual se puede observar en la Tabla 12.

Tabla 12. Corriente demanda por luminarias acorde al área.

Área	Metros cuadrados	Luminarias	Potencia	Tecnología	Corriente demandada a 220V
Área 1 [Hornos de vidriado]	481	32	3168	t8	14.40
Área 2 [Prensado]	408	28	2772	t8	12.60
Área 3a [Hornos tránsito de material]	521	27	2673	t8	12.15
Área 3b [Hornos de cocción]	390	28	2016	t12	9.16

Área 4 [Almacén]	172	8	792	t8	3.60
Área 5a [Oficinas Vidriado]	29	2	144	t12	0.65
Área 5b [Oficinas Prensado]	15	1	72	t12	0.33
Área 6 [Molinos]	394	28	2016	t12	9.16
Área 7	315	17	1683	t8	7.65
Área 8 [Almacén 2]	136	6	594	t8	2.70
Área 9 [Compresores]	188	14	1008	t12	4.58
Área 10 [Caldera]	150	11	792	t12	3.60
Área 11 [Hornos parte trasera]	278	13	1287	t8	5.85
Área 12 [Baños]	66	6	432	t12	1.96
Área 13 [Vestidores]	183	13	936	t12	4.25
Área 14 [Caseta de Herramientas]	106	9	648	t12	2.95
Área 15	94	8	576	t12	2.62
Área 16	164	14	1008	t12	4.58
Total:	4090	265	22617		102.80

De igual manera se considera el cálculo del alimentador, para lo cual se toma el área con mayor potencia demanda y cantidad de luminarias, en este caso es el Área 1 y la corriente demandada se puede observar en la tabla anterior. Realizando la corrección de corrientes en conformidad a la NOM 001 considerando los factores de las tablas NOM-001-SEDE Tabla 310-15(b)(2)(a) y Tabla 310-15(b)(3)(a).

Aplicando la ecuación 25 tenemos que:

$$I' = \frac{14.40 A}{(1)(1)} = 14.40 A$$

Consultando la Tabla 310-15(b)(16), correspondiente a ampacidades de los conductores se observa que por ampacidad el conductor necesario es un 14 AWG, pero por su proximidad y para no trabajar tan cerca del rango permisible del conductor se opta por seleccionar un calibre 10 AWG.

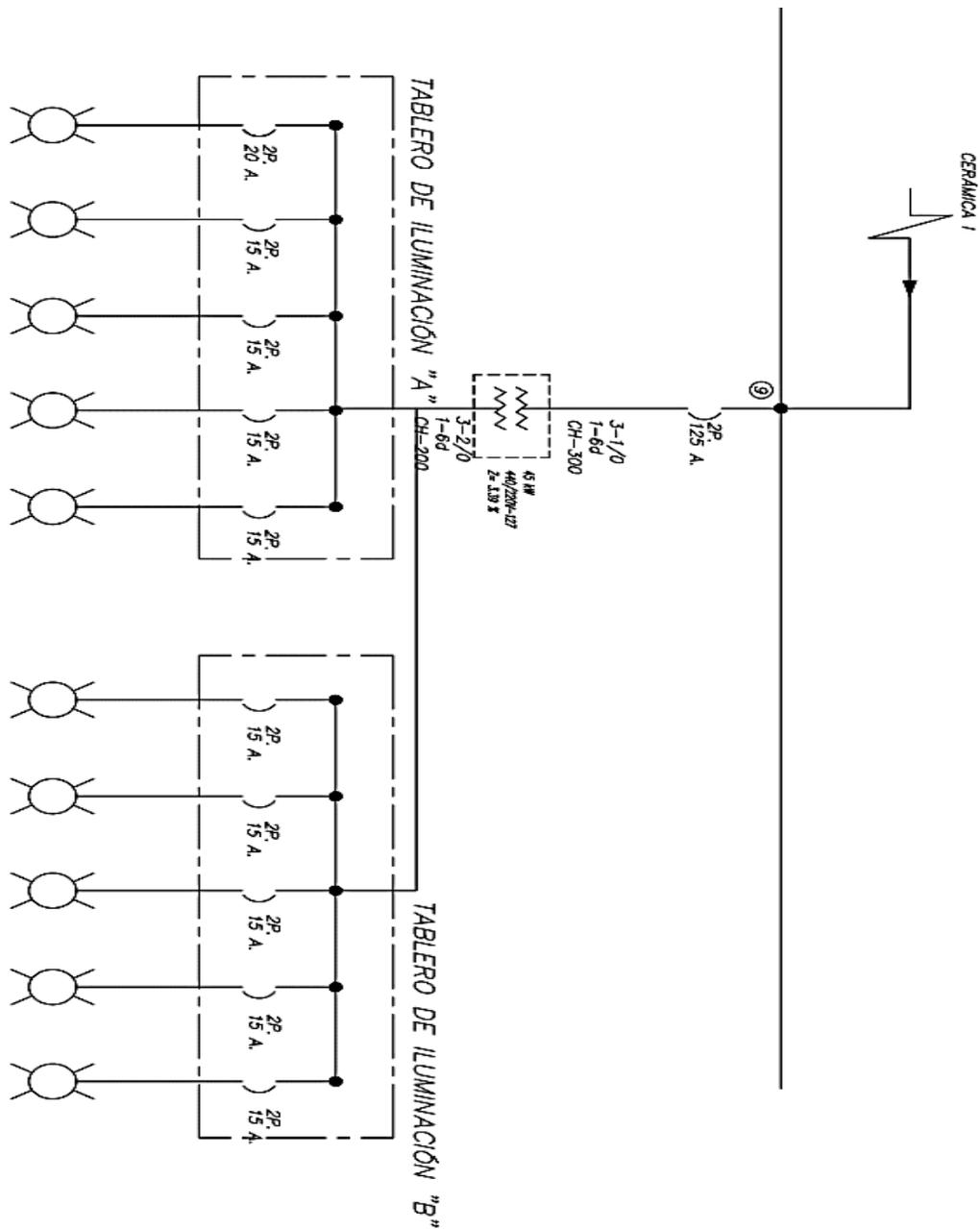


Figura 41. Diagrama unifilar de la corrección del circuito de iluminación.

En la figura 41 se observa la corrección propuesta de los circuitos de iluminación correspondientes a la sección marcada en la Figura 35. De igual manera se puede observar la distribución de las luminarias en la siguiente figura obtenida mediante el uso del programa de computadora "Dialux" y la comparación del levantamiento en campo como, se observa en la Figura 42:

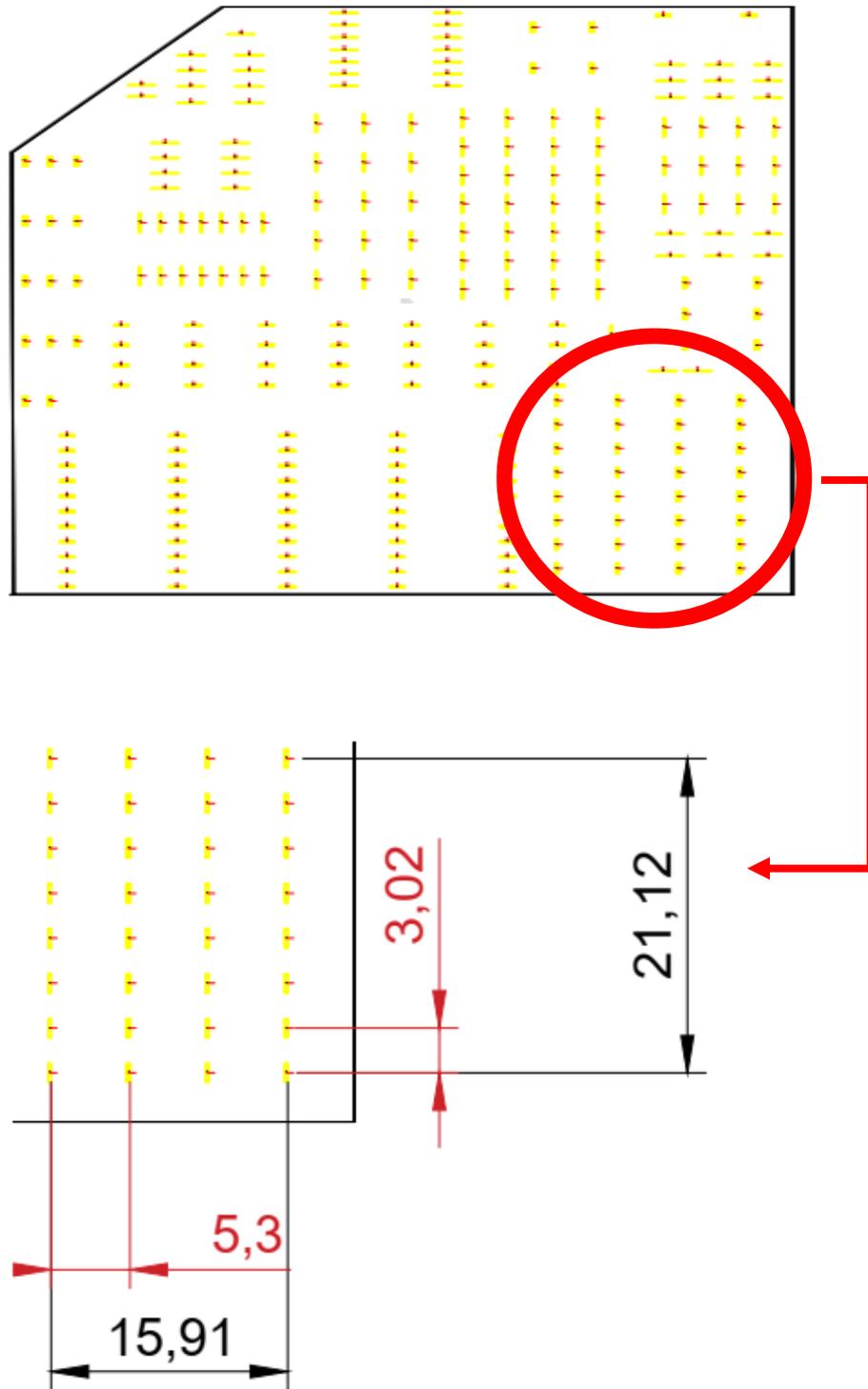


Figura 42. Distribución de las luminarias y extracto de las distancias (las distancias están dadas en metros).

## Huella de carbono asociada

Huella de carbono, cantidad de emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) asociadas con todas las actividades de una persona u otra entidad (por ejemplo, edificio, corporación, país, etc.). Incluye emisiones directas, como las que resultan de la combustión de combustibles fósiles en la fabricación, calefacción y transporte, así como las emisiones requeridas para producir la electricidad asociada con los bienes y servicios consumidos. Además, el concepto de huella de carbono a menudo también incluye las emisiones de otros gases de efecto invernadero, como el metano, el óxido nitroso o los clorofluorocarbonos (CFC).

El concepto de huella de carbono está relacionado con la antigua idea de huella ecológica y surgió de ella, un concepto inventado a principios de la década de 1990 por el ecólogo canadiense William Rees y el planificador regional de origen suizo Mathis Wackernagel en la Universidad de British Columbia. Una huella ecológica es el área total de tierra requerida para sostener una actividad o población. Incluye los impactos ambientales, como el uso del agua y la cantidad de tierra utilizada para la producción de alimentos. En contraste, una huella de carbono generalmente se expresa como una medida del peso, como en toneladas de CO<sub>2</sub> o equivalente de CO<sub>2</sub> por año. *la etapa de uso y final de la vida útil (depósito, reutilización o reciclado).*  
(Eckley Selin, 2015)

Puesto a que en uno de los puntos dentro de los objetivos específicos se contempla la reducción de emisiones asociadas por concepto de consumo de energía eléctrica, se tiene que la disminución de potencia previamente planteada.

Para la tabla anterior se toma en consideración el tiempo en operación que dado en horas que se obtuvo de la Tabla 5 la cual indica una operación continua de 24hrs y una demanda de carga de un 75% del total de carga demandada por iluminación opera en ese rango de tiempo, por las anteriores consideraciones se tiene que:

Luminarias con tecnología fluorescente:

$$MWh_{mes} = 41112 W (24hrs)(20dias)(0.75) = 14.800 MWh$$

Luminarias con tecnología LED:

$$MWh_{mes} = 22545 W (24hrs)(20dias)(0.75) = 8.116 MWh$$

El factor de emisiones por generación se obtiene de la página de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales respecto a emisiones de gases de efecto invernadero asociados a la industria eléctrica y se puede consultar en el Anexo A.

Por lo tanto:

Luminarias con tecnología fluorescente:

$$\text{Toneladas de } CO_2 MWh_{mes} = 14.8 MWh_{mes} * 0.582 \text{ ton} = 8.61 \text{ ton}/MWh_{mes}$$

Luminarias con tecnología fluorescente:

$$MWh_{mes} = 8.116 MWh * 0.582 \text{ ton} = 4.72 \text{ ton}/MWh_{mes}$$

De lo anterior y como lo muestra la Tabla 13 se constata que no sólo se reduce la potencia demandada, sino que disminuye en un 45.10% las emisiones de  $CO_2$ , casi la mitad de las emisiones que se producen por la tecnología anterior cada mes.

Tabla 13. Reducción de emisiones de  $CO_2$  asociadas al consumo eléctrico.

Tecnología	Potencia [W]	MWh al mes	Emisiones asociadas Toneladas de $CO_2$
Fluorescente	30834	14.80	8.61
LED	16908	8.11	4.72
Porcentaje de reducción de emisiones:			45.10 %

## Equipo para utilizar dentro del proyecto en la parte de iluminación

El material por el cual se opta para la actualización del sistema de iluminación esta agrupado en la Tabla 14.

Tabla 14. Equipo a considera dentro del proyecto.

Código de Referencia.	Equipo		Especificación
TLD02	Tubo LED T8		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potencia de entrada 16.5 [W]</li> <li>• Rango de tensión 120-277 (V)</li> <li>• Flujo luminoso 2400 (lm)</li> <li>• Eficacia (lm/W) 145.0</li> <li>• Temperatura de color 5000 K</li> <li>• Fabricante: MaxLite</li> </ul>
TLD05	Tubo LED T12		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Voltaje de operación 85-265v 50/60 Hz</li> <li>• Consumo 36W</li> <li>• Cantidad de Leds 336</li> <li>• Temperatura de color blanco puro (4500-500k)</li> <li>• Ángulo de apertura 120°</li> <li>• Flujo luminoso 3600lm</li> <li>• Cuerpo Aluminio, plástico y mica transparente</li> <li>• Grado de Protección IP50</li> <li>• Peso 712 gr</li> <li>• Compatibilidades terminales T12</li> <li>• Fabricante: L3D</li> </ul>

CTT018	Conductor		10 AWG Fabricante: Viakon
TCR01	Tubo Conduit rígido de pared delgada		1 pulgada y ½ pulgada
PTM01	Protección termomagnética		Dos polos con capacidad de interrupción de 15 y 20 A  Fabricante: Schneider Square D
CCB01	Tablero para iluminación		Fabricante: Schneider Modelo: QO11220M100C
GF801	Gabinete para lámparas T8		Fabricante: OSRAM Tubos T8 6x32W  55x829x1173 mm

## Dimensionamiento del sistema fotovoltaico

### Cálculo de la potencia consumida

Para alimentar el sistema de iluminación que se ha remplazado con la tecnología de tubos LED, por lo cual las potencias instaladas pueden observarse en la Tabla 12. Se toman en consideración criterios para el desarrollo de la instalación del sistema fotovoltaico tales como:

- Espacio necesario para la distribución de los componentes del sistema fotovoltaico.
- Una ubicación cercana a la carga para minimizar pérdidas

- Minimizar la obstrucción del tránsito o actividades productivas de la compañía.
- Condiciones que no sean adversas para la instalación y operación del sistema fotovoltaico.

Ante las razones anteriores para poder situar el sistema y las especificaciones propias del lugar donde se desarrolla el proyecto, se considera un aproximado al 50% de la potencia para realizar un sistema modular, se considera la demanda de los circuitos de las áreas; A1, A2, A3a, A3b y A4, los cuales representan las zonas de mayor tránsito de personal y de operación laboral. Por lo tanto, se propone un tiempo de uso de 10 horas dando un pequeño margen extra ya que los turnos en planta son de ocho horas. Se tiene que la energía consumida es:

$E_c = (\text{tiempo de uso en horas})(\text{potencia consumida por el elemento})$	<i>Ecuación 26</i>
--	--------------------

Dónde:

$E_c$  es el consumo energético en kW-h por día.

Sustituyendo lo anterior:

$$E_c = (10hrs)(11\,421\,W) = 114\,2100\,Wh_{dia} \approx 115\,000\,Wh_{dia}$$

### **Cálculo del número de paneles para suministrar la potencia requerida**

Para el dimensionamiento se considera como guía para la metodología casos prácticos como los expuestos en “Design of a Stand-Alone Photovoltaic System for a Residence in Bauchi” (Guda & Aliyu, 2015) y “Dimensionamiento de un sistema de energía solar fotovoltaica para una vivienda en la ciudad de Cordova” (Roitman, Mestrallet, Aramburu, & Rossi, 2015) por lo cual se considera el siguiente desarrollo.

$$E_r = \frac{E_c}{\eta_s} \qquad \text{Ecuación 27}$$

Dónde:

$E_r$  energía demandada corregida.

$\eta_s$  rendimiento del sistema y está dada por:

$$\eta_s = (1 - K_b - K_c - K_v) \left(1 - \frac{K_a}{P_d} * Dias_{aut}\right)$$

Ecuación 28

Dónde:

$K_b$  Coeficiente de pérdidas en las baterías

$K_c$  Coeficiente de pérdidas en el inversor

$K_v$  Coeficiente de pérdidas varias

$K_a$  Coeficiente de descarga

$P_d$  Profundidad de descarga de la batería

$Dias_{aut}$  los días de autonomía del sistema.

Remplazando los datos anteriores se tiene que:

$$\eta_s = (1 - 0.1 - 0.05 - 0.05) \left(1 - \frac{0.005}{0.7} * 2\right) = 0.7885 \approx 0.8$$

$$E_r = \frac{115\,000\ Wh_{dia}}{0.8} = 143\,750\ Wh_{dia}$$

Potencia pico entregada por el sistema

$$P_p = \frac{E_r}{H_p}$$

Ecuación 29

Dónde:

$P_p$  es la potencia pico

$E_r$  energía demandada corregida

$H_p$  horas solares pico

Para el cálculo de las horas solares pico se consulta la página <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> propiedad de la National Aeronautics and Space Administration (NASA) la cual no facilita la irradiación solar mostrada en la Tabla 15 en las coordenadas pertinentes al proyecto. Se selecciona el menor tiempo de irradiación para dimensionar el arreglo, por lo tanto:

Tabla 15. Irradiación solar en la locación 19.508049, -99.172752. Recuperado de: [https://power.larc.nasa.gov/downloads/POWER\\_SinglePoint\\_Interannual\\_201401\\_201712\\_019d51N\\_99d17W\\_304b6ec1.txt](https://power.larc.nasa.gov/downloads/POWER_SinglePoint_Interannual_201401_201712_019d51N_99d17W_304b6ec1.txt)

```

-BEGIN HEADER-
NASA/POWER SRB/FLASHFlux/MERRA2/GEOS 5.12.4 (FP-IT) 0.5 x 0.5 Degree Climatologies
Interannual Averages/Sums
Location: Latitude 19.508 Longitude -99.1728
Elevation from MERRA-2: Average for 1/2x1/2 degree lat/lon region = 2483.82 meters Site = na
Value for missing model data, cannot be computed or out of model availability range: -999
Parameter(s):
ALLSKY_SFC_SW_DWN SRB/FLASHFlux 1/2x1/2 Insolation Incident on a Horizontal Surface (kW-hr/m^2/day)
PARAMETER YEAR JAN FEB MAR APR MAY JUN JUL AUG SEP OCT NOV DEC ANN
-END HEADER-
ALLSKY_SFC_SW_DWN 2014 4.77 5.90 6.40 6.25 5.17 4.90 5.30 5.54 4.54 4.65 4.57 4.33 5.19
ALLSKY_SFC_SW_DWN 2015 4.67 5.17 5.32 6.22 5.29 5.24 5.23 5.45 4.60 4.62 4.59 4.31 5.06
ALLSKY_SFC_SW_DWN 2016 4.29 5.60 5.64 6.38 5.80 4.99 5.29 5.41 4.84 5.11 4.11 4.71 5.18
ALLSKY_SFC_SW_DWN 2017 5.27 5.93 5.93 6.08 5.83 5.90 4.96 5.09 4.53 4.49 5.54 4.96 5.36

```

Sustituyendo en la ecuación:

$$P_p = \frac{143\,750\text{ Wh}_{dia}}{4.29\text{ hr}} = 33\,508.15\text{ W}$$

Corriente demandada

$$I_{dc} = \frac{P_p}{V_{syst}}$$

Ecuación 30

Dónde:

$I_{dc}$  corriente demandada

$V_{syst}$  tensión del sistema (tensión a la que trabajan los elementos, tales como el inversor)

Sustituyendo en la ecuación 30:

$$I_{dc} = \frac{33\,508.15\text{ W}}{48\text{ V}} = 698.08\text{ A}$$

Cálculo del número de paneles necesarios:

Para determinar el número de paneles en paralelo ( $N_p$ ), se toma en consideración la corriente demanda por el sistema y la suministrada por el módulo fotovoltaico:

$$N_p = \frac{\text{corriente demanda}}{\text{corriente del módulo}} \quad \text{Ecuación 31}$$

$$N_p = \frac{698.08\text{ A}}{8.69\text{ A}} = 80.33 \approx 80$$

El arreglo en serie, número de módulos en serie ( $N_s$ ), esta dado por la tensión del sistema entre la tensión que genera cada módulo fotovoltaico:

$$N_s = \frac{\text{tensión del sistema autónomo}}{\text{tensión del módulo}} \quad \text{Ecuación 32}$$

$$N_s = \frac{48\text{ V}}{36\text{ V}} = 1.333 \approx 2$$

El número total de paneles ( $N_t$ ) es entonces la multiplicación de los paneles en serie por lo paneles en paralelo:

$$N_t = \text{paneles en paralelo} * \text{paneles en serie} \quad \text{Ecuación 33}$$

Sustituyendo:

$$N_t = 80 * 2 = 160$$

Los datos del panel solar seleccionado se encuentran en el Anexo B

### **Cálculo del espaciamiento entre módulos y su inclinación.**

Los paneles fotovoltaicos deben tener una orientación al sur geográfico, a su vez la inclinación que tiene el panel fotovoltaico está ligada a la latitud que se encuentra la zona de instalación de éstos. Aunque en el hemisferio norte el mayor desempeño se encuentra hasta un rango de inclinación de 30°. De igual manera ángulo permite que factores ambientales como lluvia, polvo, entre otros no queden sobre el panel y afecten el desempeño de éste.

$$\theta = \text{latitud de la ubicación} + 5^\circ$$

Sustituyendo:

$$\theta = 19.50^\circ + 5^\circ = 24.50^\circ \approx 25$$

Para evitar que en el arreglo paneles fotovoltaicos esto proyecten una sombra en secciones posteriores se considera un espaciamiento, el cual está dado por la siguiente expresión correspondiente a la ecuación 28:

$$D_{min} = \text{long}_{panel} \frac{\text{sen}(\gamma + \beta)}{\text{sen}(\gamma)} \quad \text{Ecuación 34}$$

Dónde:

$D_{min}$  es la distancia mínima de separación para evitar sombras sobre el panel

$\beta$  es la inclinación del módulo

$\gamma$  es el ángulo crítico de solsticio de invierno:

$$\gamma = 90^\circ - \theta$$

$\theta$  es el ángulo de la latitud del lugar con una corrección

$$\theta = \text{latitud del lugar} + 23.5^\circ$$

Sustituyendo lo anterior en la ecuación 34:

$$\theta = 19.5^\circ + 23.5^\circ = 43$$

$$\gamma = 90^\circ - 43 = 47$$

$$D_{min} = (1m) \frac{\text{sen}(47^\circ + 25^\circ)}{\text{sen}(47^\circ)} = 1.30 m$$

Por lo anterior se tiene que dar una distancia mínima de 1.30 m entre el panel frontal y trasero para evitar que se generen sombras por el panel frontal.

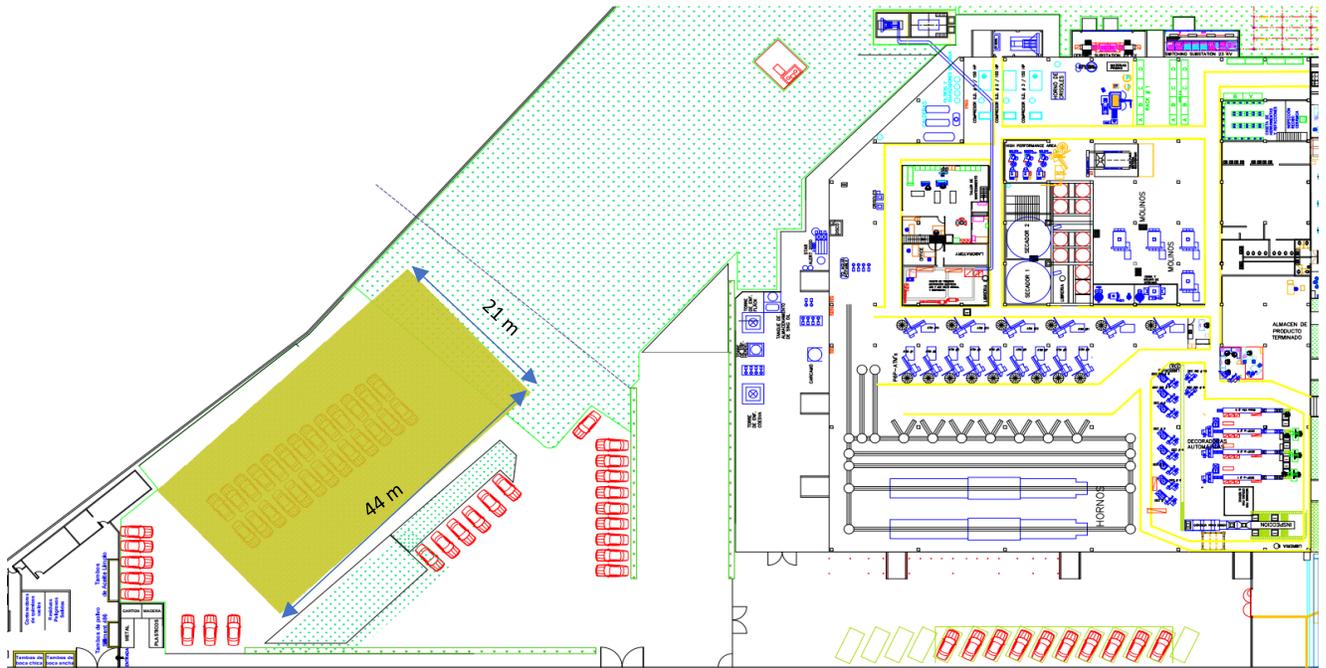


Figura 43. Zona propuesta para instalar el sistema fotovoltaico (resaltada en amarillo).

La selección del lugar que cumple con un área necesaria para la instalación del sistema fotovoltaico se muestra en la Figura 43, la decisión de este lugar surge después de realizar una evaluación, con ayuda de documentación propiedad de la empresa, de los puntos mencionados en la pág. 79 que cumple con los requerimientos básicos de espacio, condiciones estructurales y distancias óptimas a la carga. Los requisitos se cumplen en la zona sombreada de color amarillo de la figura anterior. Otros lugares son descartados por factores como distancias, temperaturas que afectan el desempeño del sistema fotovoltaico, limitaciones estructurales, zonas de maniobra o alto riesgo y zonas en construcción por parte del cliente.

### Cálculo del banco de baterías

Para realizar el cálculo pertinente de las baterías se considera las características del modelo seleccionado, el cual se muestra en el ANEXO E. Los días de autonomía, siendo un factor arbitrario se propone un máximo de dos días acorde a criterio propio, considerándolo un tiempo pertinente para el caso del proyecto. El dimensionamiento del banco de baterías toma en consideración el caso práctico de “Design & Sizing of Stand-

alone Solar Power Systems A house Iraq” (Hj Othman, Mat, Ruslan, Abed, & Sopian, 2015). Por lo cual se desarrollan los siguientes cálculos:

$$E_{safe} = \frac{A_U E_r}{F_{desc}} \quad \text{Ecuación 35}$$

Dónde:

$C_B$  es la capacidad del banco de baterías.

$A_U$  son los días de autonomía del sistema.

$E_r$  es la potencia consumida al día.

$F_{desc}$  Es el porcentaje de descarga al que se operara la batería.

$E_{safe}$  Energía almacenada

Sustituyendo lo anterior se tiene que:

$$E_{safe} = \frac{(2\text{días})(143\,750\text{Wh}_{\text{día}})}{(0.7)} = 410\,714.28\text{Wh}_{\text{día}}$$

Capacidad de banco de baterías

$$C_R = \frac{E_{safe}}{V_{bat}} = 17\,113.09\text{Ah} \quad \text{Ecuación 36}$$

Dónde:

$C_R$  es la capacidad requerida en Ah.

$E_{safe}$  Energía almacenada.

$V_{bat}$  Tensión de la batería (consultar selección, Tabla 19).

$$C_R = \frac{410\,714.28\text{ Wh}_{\text{dia}}}{24\text{ V}} = 17\,113.09\text{ Ah}$$

### Dimensionamiento del número de baterías

El número total de baterías esta dado por la relación de los Amper hora necesarios por el sistema entre los Amper hora propios de la batería a seleccionar. Las características de la batería seleccionada, usados en los cálculos siguientes pueden observarse en el ANEXO E.

$$N_B = \frac{C_R}{C_{bat}} \quad \text{Ecuación 37}$$

Dónde:

$N_B$  es el número de baterías necesarias.

$C_R$  es la capacidad requerida en Ah.

$C_{bat}$  es la capacidad en Ah de la batería.

Sustituyendo:

$$N_B = \frac{17\,113.09\text{ Ah}}{200\text{ Ah}} = 85.56 \approx 86$$

Las baterías y su conexión están dadas por:

$$N_{BatS} = \frac{V_{inv}}{V_{bat}} \quad \text{Ecuación 38}$$

Y

$$N_{BatP} = \frac{N_B}{N_{BatS}} \quad \text{Ecuación 39}$$

Dónde:

$N_{BatS}$  número de baterías en serie.

$V_{inv}$  tensión de trabajo del inversor.

$V_{bat}$  tensión del en bornes de la batería.

$N_{BatP}$  número de baterías en paralelo.

Sustituyendo:

$$N_{BatS} = \frac{48 V}{24V} = 2$$

$$N_{BatP} = \frac{86}{2} = 43$$

### Dimensionamiento del controlador de carga

Para dimensionar el controlador de carga se toma en cuenta la corriente corto circuito del sistema fotovoltaico acoplado al mismo, por ello se toma en cuenta la ecuación 33 para dicho dimensionamiento. Se considera la corriente de corto circuito ya que el controlador de carga “se seleccionará para que sea capaz de resistir sin daño una sobrecarga simultánea” (Sánchez Quiroga, 2012, pág. 27). La metodología para el cálculo se toma del manual práctico de la empresa Sun Fields “Boletín Solar Fotovoltaica Autónoma” (SunFields Europe, s.f).

$$I = I_{sc} * M_p * F_s \quad \text{Ecuación 40}$$

Dónde

$I$  es la corriente que soporta el controlador de carga.

$I_{sc}$  es la corriente de corto circuito de cada panel.

$M_p$  es la cantidad de paneles en paralelo.

$F_s$  es un factor de sobredimensionamiento de seguridad.

Sustituyendo lo anterior.

$$I = 9.20A * 80 * 1.25 = 920 A$$

Y el número total de controladores es la resultante de dividir la corriente de corto circuito por parte del sistema fotovoltaico entre la corriente máxima de trabajo del dispositivo.

$$N_{inv} = \frac{I}{I_{cont}} \quad \text{Ecuación 41}$$

Done:

$I$  es la corriente que soporta el controlador de carga.

$I_{cont}$  Corriente del controlador seleccionado (consultar ANEXO D)

$$N_{inv} = \frac{920 A}{100A} = 9.2 \approx 9 \quad \text{Ecuación 42}$$

Las especificaciones del elemento seleccionado se encuentran en el ANEXO C.

### **Conductores del sistema fotovoltaico al controlador de carga**

El arreglo de paneles fotovoltaicos a cada controlador consta de nueve ramas en paralelo conectadas con dos en serie lo cual entrega una tensión de 72V y una corriente combinada de 78.21 A, ya que se encuentra a la intemperie y. una exposición indirecta a la radiación solar se toma un criterio de corrección por temperatura situándola a un máximo de 45°C. El factor de corrección se obtiene de la Tabla 310-15(b)(2)(a) de la NOM-001-SEDE-2012.

Sustituyendo en la ecuación 25:

$$I' = \frac{78.21 A}{0.82} = 95.37$$

Ya que la corriente del circuito es muy alta se considera dividir la conexión al controlador de carga en tres arreglos de tres ramas en paralelo por lo cual la corriente de cada arreglo es igual a un tercio de la corriente corregida. Por lo cual el cálculo de la caída de tensión

( $V_d$ ) por arreglo (se considera el procedimiento indicado por la ANSI / IEEE Std 141) es expresado en la ecuación 43:

$$V_d = \frac{2 * R * L * I}{1000} \quad \text{Ecuación 43}$$

Dónde:

L es la longitud del conductor

I es la corriente que fluye por el conductor

R es la resistencia del conductor

Y la caída en porcentaje indicada como %e:

$$\%e = \frac{\text{caída de tensión en el conductor}}{\text{tensión en la fuente}} * 100 \quad \text{Ecuación 44}$$

La corriente por el arreglo sugerido es igual a 31.79 A por ampacidad el conductor que corresponde es un 8AWG, sustituyendo su valor de resistencia para determinar su caída de tensión es:

$$V_d = \frac{2 * (2.56\Omega) * (55m) * (31.79 A)}{1000} = 8.95 V$$

$$\%e = \frac{8.95 V}{72 V} * 100 = 12.43 \%$$

Lo cual excede el 3% permitido por norma. Por lo cual se considera el cambio del conductor a un calibre 4 AWG con dos conductores en paralelo.

$$V_d = \frac{2 * (1.02\Omega) * (55m) * (15.90 A)}{1000} = 1.79 V$$

$$\%e = \frac{1.79 V}{72 V} * 100 = 2.48 \%$$

El arreglo de conductores cumple con la caída de tensión. También se considera la protección de cada arreglo, ya que cada arreglo de módulos tiene una corriente de 26.07 A, tomando en consideración

NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012, Instalaciones Eléctricas (utilización) en artículo 690-8 en su inciso a, donde dice que la capacidad de interrupción no debe ser menor al 125 % de la corriente nominal.

$$I' = 1.25 * 26.07 A = 32.85$$

Ya que no hay una protección con ese valor se selecciona la inmediata superiora que es de 40 A.

### **Conductores del banco de baterías**

Para el banco de baterías se considera la corriente máxima que puede suministrar el controlador de carga, la cual es de 100 A por lo cual se propone dos conductores calibre 4 AWG conectados en paralelo y una protección de tres polos de 80 A, considerando un 125 % de la corriente máxima del controlador como indica la NOM-001-SEDE-2012 en su artículo 690-8.

### **Selección del inversor**

Conociendo los valores de la potencia instalada de iluminación expresados en la Tabla 12 y considerando que solo estamos calculando a un 50% de la potencia, se tiene que el inversor seleccionado debe tener una potencia mínima de 11,400 W.

Se opta por seleccionar el inversor Magnum modelo M S 4448P AE con una potencia nominal de salida de 4400 W, ya que permite una conexión en paralelo de hasta cuatro módulos conforme a especificaciones del fabricante permitiendo aumentar la potencia suministrada al sistema hasta alcanzar la potencia requerida. La selección de este se realizó después de una comparativa entre posibles opciones como se puede observar en la Tabla 17 y la descripción de dicha tabla.

Las especificaciones del elemento seleccionado se encuentran en el ANEXO D

### **Conductores del inversor a la carga**

En el punto anterior se da una descripción de la parte eléctrica del inversor y sus especificaciones pueden verse en los Anexos D, la corriente nominal del inversor en el modo en el que se trabaja es de 18.33 A por lo que acorde a la tabla Tabla 310-15(b)(16)

de la NOM-001-SEDE-2012 por ampacidad correspondería a un calibre 12 AWG pero como es un conductor de alimentación el calibre mínimo es un 10 AWG.

$$V_d = \frac{2 * Z * L}{1000} \quad \text{Ecuación 45}$$

L es la longitud del conductor

I es la corriente que fluye por el conductor

Z es la impedancia del conductor expresada como

$$Z = RI \cos \theta + XI \sin \theta$$

Sustituyendo: en la ecuación 44 y 45:

$$Z = (3.9 \Omega)(18.33 A)(0.9) + (0.207 \Omega)(18.33 A)(0.435) = 65.95 \Omega$$

$$V_d = \frac{2 * 65.95 \Omega * 75m}{1000} = 9.892V$$

$$\%e = \frac{9.892 V}{240 V} * 100 = 4.12 \%$$

La caída de tensión excede el 3% permisible, por lo cual se propone realizar un cambio en el calibre del conductor a un 8AWG

$$Z = (2.56 \Omega)(18.33 A)(0.9) + (0.213 \Omega)(18.33 A)(0.435) = 43.92 \Omega$$

$$V_d = \frac{2 * 43.92 \Omega * 75m}{1000} = 6.588 V$$

$$\%e = \frac{6.588 V}{240 V} * 100 = 2.744 \%$$

La propuesta cumple con la caída de tensión admisible.

## Cálculo del sistema de puesta a tierra

El equipo que se instala debe estar protegido contra fallas, por lo cual es indispensable conectar las partes del equipo sensibles a la interacción con el personal. Para esto se propone un sistema de puesta a tierra que garantice lo anterior por lo cual se seguirán las recomendaciones del estándar IEEE Std 142-1991 del cual se toma la siguiente fórmula para el arreglo de electrodos de puesta a tierra. Así como los valores de resistividad necesarios. Para la resistividad se obtuvo del mismo estándar en su tabla 10, la selección del valor correspondiente se lleva a cabo comparando la zona en una carta geológica.

$$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left( \ln \frac{4L}{a} - 1 \right) + \frac{\rho}{4\pi s} \left( 1 - \frac{L^2}{3s^2} + \frac{2L^4}{3s^4} \right)$$

Ecuación 46

Dónde:

$\rho$  es la resistividad del terreno

$L$  es la longitud de la varilla de puesta a tierra

$a$  es el radio de la varilla de puesta a tierra

$s$  espacio entre las varillas de puesta a tierra

Sustituyendo en la ecuación 46:

$$R = \frac{10000 \Omega * cm}{4\pi(300 cm)} \left( \ln \frac{4(300cm)}{0.794} - 1 \right) + \frac{10000 \Omega * cm}{4\pi(600 cm)} \left( 1 - \frac{(300cm)^2}{3(600cm)^2} + \frac{2(300cm)^4}{3(600cm)^4} \right) \therefore$$

$$R = 17.8 \Omega$$

Acorde a la NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012, Electricidad estática en los centros de trabajo-Condiciónes de seguridad. Indica en su artículo 250-53 inciso 2 que la resistencia del electrodo de puesta a tierra debe ser igual o menor a 25  $\Omega$  y una distancia mínima entre electrodos de 1.80m por lo cual se encuentra dentro del rango. Lo anterior se cumple utilizando jabalinas de 3 metros de longitud y un diámetro de 5/8 de pulgada.

El diagrama final se observa en la Figura 44, y en consideración a que el sistema trabajara en conjunto a la red de alimentación de la empresa "CERAMICOS I" y ante cualquier condición de falla o mantenimiento se considera un interruptor de transferencia, como se

observa en el diagrama de la figura siguiente y con características expuestas en el ANEXO F.

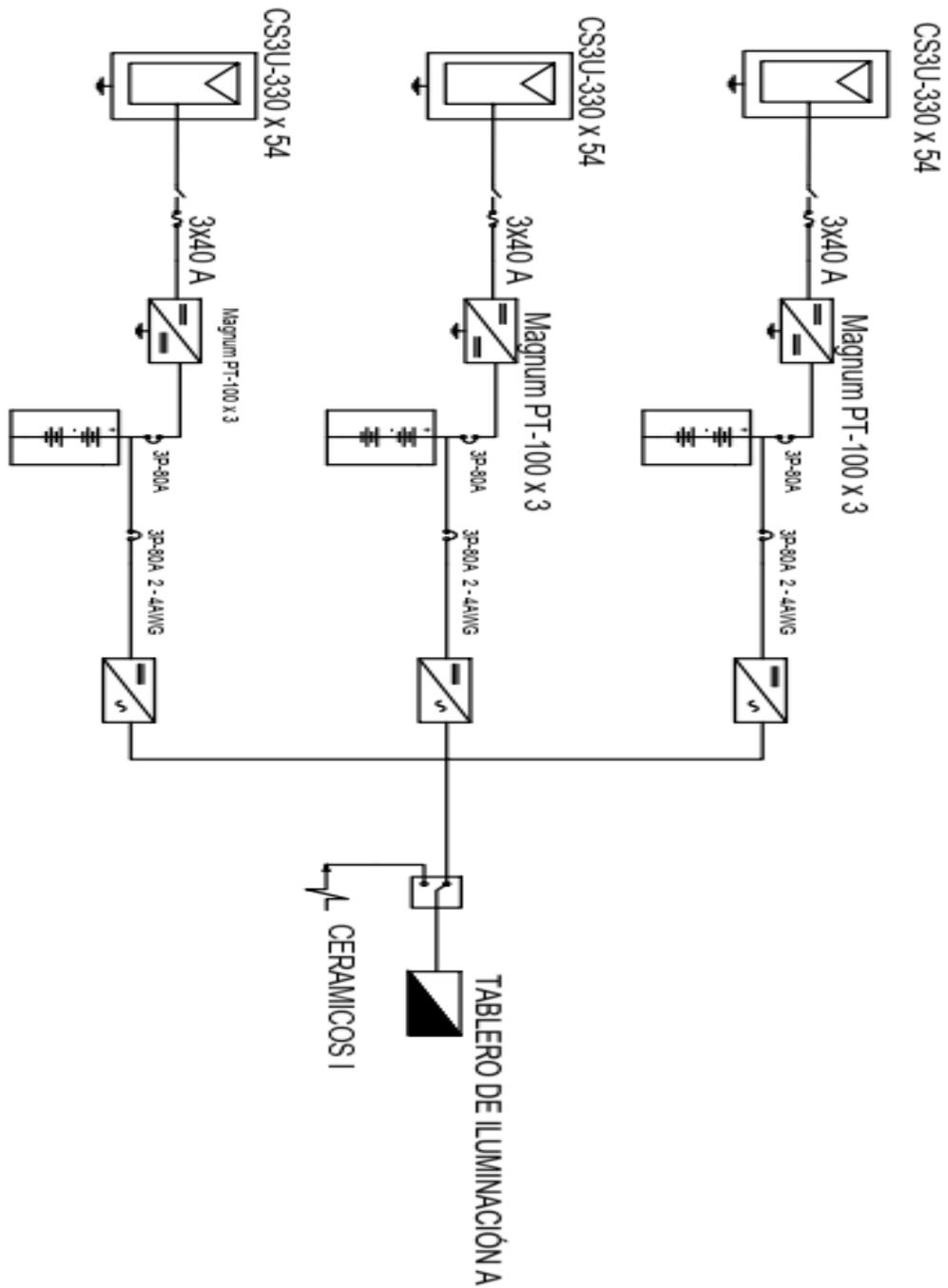


Figura 44. Diagrama Unifilar del sistema fotovoltaico.

## Comparativa y selección de materiales del arreglo fotovoltaico

### Módulo fotovoltaico

Para la selección del módulo fotovoltaico se toma en consideración como mínimo tres proveedores al igual que en posteriores tablas comparativas. Como se puede observar en la Tabla 16 se muestran 3 diferentes módulos fotovoltaicos que se tomaron en consideración para el proyecto, así como características de estos. Resaltado en color verde se muestra la selección aplicada. En este caso los factores que se toma en cuenta fue las características eléctricas, como la tensión, corriente nominal y de corto circuito. Así como la disponibilidad del mismo en proveedores dentro del país.

Tabla 16. Tabla comparativa de módulos fotovoltaicos.

Modelo	Características	
<p style="text-align: center;"><b>LG:</b> <b>LG360S2W-A5</b></p>	<p style="text-align: center;">(Pmax)360 W (Vmp) 37.7 V (Imp) 9.56 A (Isc) 10.12 A</p>	
<p style="text-align: center;"><b>Risen:</b> <b>RSM60-6-260</b></p>	<p style="text-align: center;">Pmax)260 W (Vmp) 30.6 V (Imp) 8.5 A (Isc) 9.04 A</p>	
<p style="text-align: center;"><b>Canadian Solar:</b> <b>CS3U 330P</b></p>	<p style="text-align: center;">(Pmax)330 W (Vmp) 38.0 V (Imp) 8.69 A (Isc) 9.20 A</p>	

## Inversor

Para la selección del inversor se considera que sean específicos para sistemas aislados y que el rango de tensión de operación coincidiera con lo planteado en la memoria de cálculo, otro factor en consideración es que tenga una onda senoidal pura en su salida. Una característica que es importante es la capacidad de acoplar inversores en arreglos en paralelo para incrementar la potencia de los mismo, este factor es importante para cubrir las necesidades planteadas y por el cual se toma la decisión expresada con el elemento resaltado en la Tabla 17.

Tabla 17. Tabla comparativa de Inversores.

Modelo	Características	
<p style="text-align: center;"><b>Schneider:</b> <b>Schneider Conext</b> <b>SW4048</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>Potencia 3800 W</b></p> <p style="text-align: center;"><b>Tensión de AC: 120/240V</b></p> <p style="text-align: center;"><b>Tensión nominal: 24VDC</b></p> <p style="text-align: center;"><b>Onda senoidal pura.</b></p> <p style="text-align: center;"><b>Acoplamiento de dos módulos en paralelo (máximo 2)</b></p>	
<p style="text-align: center;"><b>Magnum Dimensions:</b> <b>Magnum MM1524AE</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>Potencia: 1500 W</b></p> <p style="text-align: center;"><b>Tensión nominal: 24VDC</b></p> <p style="text-align: center;"><b>Tensión de AC: 120V</b></p> <p style="text-align: center;"><b>Onda senoidal modificada</b></p>	

<p><b>Magnum Dimensions: PT-100 Charge Controller Specifications</b></p>	<p><b>Potencia: 4400 W</b></p> <p><b>Tensión nominal: 48VDC</b></p> <p><b>Onda senoidal pura</b></p> <p><b>Tensión de AC: 120/240V</b></p> <p><b>Capacidad de acoplar 4 módulos en paralelo</b></p>	
--	---	---

### Controlador de carga

Correspondiente a la selección del controlador de carga se toma en cuenta que el rango de operación tenga la tensión de las baterías con los que se trabaja, y que los criterios de entrada sean permisibles a los parámetros eléctricos de los arreglos fotovoltaicos que se proponen en la memoria de cálculo. Estos son la máxima tensión de entrada y corriente de corto circuito, en la Tabla 18 se muestra el equipo por el que se opta.

*Tabla 18. Tabla comparativa de controladores de carga.*

<b>Modelo</b>	<b>Características</b>	
<p><b>Phocos: Phocos CX</b></p>	<p><b>Voltaje operative del SFV: hasta 24 VDC</b></p> <p><b>Voltaje nominal de la baterías: 12 hasta 24 VDC</b></p> <p><b>Corriente máxima entrada: 40 A</b></p>	

<p><b>MIDNITE MPPT: THE KID</b></p>	<p><b>Voltaje operative del SFV hasta 150 VDC Voltaje nominal de las baterías: 12 hasta 48 VDC</b></p>	
<p><b>Magnum Dimensions: MS-PAE 120/240V</b></p>	<p><b>Voltaje operative del SFV: hasta 187 VDC Voltaje nominal de las baterías: 12, 24, o 48 VDC Corriente máxima de entrada: 100A</b></p>	

### Banco de baterías

Para la selección de las baterías que conformaran el banco, se tiene en consideración que la capacidad de almacenamiento de energía sea alta. De igual forma ya que será para un uso fotovoltaico se opta por aquellas que sean de ciclo profundo. De las características anteriores se selecciona el modelo que aparece en la siguiente tabla.

*Tabla 19. Comparativa de baterías.*

Modelo	Características	
<p><b>Trojan SIND 06 610</b></p>	<p><b>Batería de Plomo-Acido Capacidad: 400 Ah Tensión: 6V Batería de ciclo profundo</b></p>	

<p><b>Taico</b></p>	<p><b>Batería de Plomo-Acido</b>  <b>Capacidad: 200 Ah</b>  <b>Tensión: 24V</b>  <b>Batería de ciclo profundo</b></p>	
<p><b>Kaise KBS</b></p>	<p><b>Batería de Plomo-Acido</b>  <b>Capacidad: 250 Ah</b>  <b>Tensión: 12V</b></p>	

## CAPÍTULO 3 ANÁLISIS ECONÓMICO

Este capítulo contiene el análisis económico pertinente para la posible realización de este proyecto, determinar cuáles son los montos de los recursos monetarios necesarios para la correcta instalación después de haber realizado el dimensionamiento el mismo.

Se pretende demostrar la factibilidad del proyecto, a través de desarrollar un análisis de los gastos que se van a realizar, considerando gastos directos, indirectos, rendimientos, utilidades, etc.

Después de haber realizado dicho proceso se hace una evaluación que da como resultado el espectro económico de lo que aquí se propone.

### 3.1 Determinación de los costos

En este caso de estudio se evalúa dos tipos de costos, los costos hundidos o pasados, gastos que se realizaron en el pasado en materia de gastos relacionados a la energía eléctrica dentro de la planta y los gastos futuros o inversión que son en los que más se hace énfasis al momento de determinar la factibilidad del proyecto.

Antes de entrar al análisis es importante mencionar que la compañía suministradora de energía considera diferentes tipos de tarifas para la facturación del servicio de energía eléctrica, con base en el tipo de servicio que va a proporcionar, en el caso de la empresa, se encuentra en un servicio de tarifas generales en media tensión denominado H-M.

### 3.2 Costos hundidos

En la Figura 45 se muestra un recibo emitido por la compañía suministradora de energía eléctrica.

Del costo que realiza la empresa se considera en materia de energía únicamente el que se realiza en relación con la iluminación del área de la cual se realiza el estudio, Teniendo en cuenta lo anterior, se obtiene lo siguiente

Valor promedio

\$ 1,447,542.93

Este valor se obtuvo de las facturaciones que se le asignaron a la empresa en el recibo que proporciona y que aparece en la figura anterior.

De esta cantidad se sabe que el 55% de ese gasto pertenece al área cerámica, entonces el gasto efectuado por la planta en esta área es el siguiente.

$\$ 1,447,542.93 \cdot 0.55 = \$ 796,038.1$

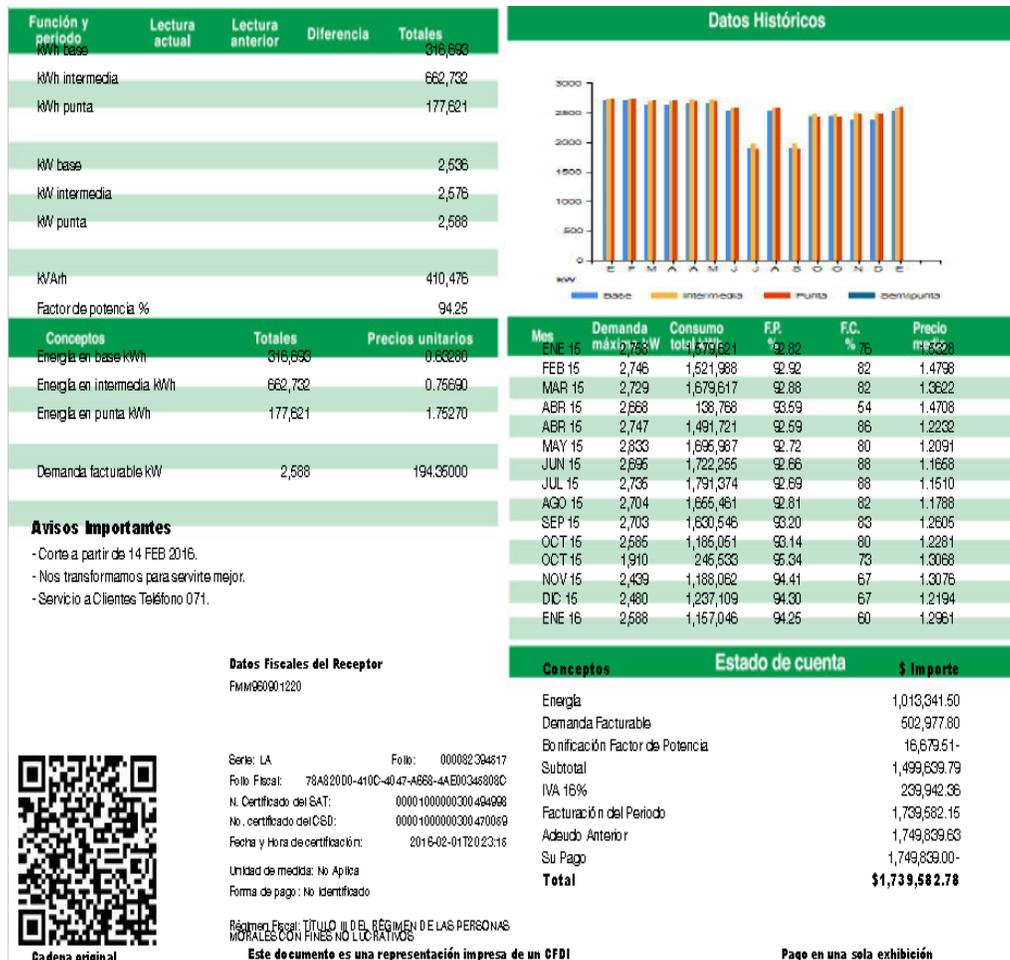


Figura 45. Facturación eléctrica de la compañía

De esta cantidad el 5% de ese gasto es el que se realiza para iluminación únicamente, sabiendo esto, el gasto relacionado promedio de iluminación mensual de la empresa para esta área es:

$$\$ 796,038.1 * .05 = 39,801.90$$

### 3.3 Gastos Futuros o inversión

En este apartado se hace un análisis detallado de los costos que tienen los elementos necesarios para la elaboración de este proyecto.

Se realiza un análisis en dos etapas, primero se menciona los costos relacionados a la sustitución de luminaria, y posteriormente se menciona lo que describimos como la segunda etapa que son los gastos relacionados con la instalación de paneles solares.

La Tabla 19, muestra los costos de los materiales que se utilizan dentro de la primera etapa, la sustitución de luminarias.

Tabla 20. Materiales del proyecto.

MATERIAL A UTILIZAR					
CONCEPTO	PRECIO POR UNIDAD EN PESO	UNIDAD DE CONCEPTO	MARCA SELECCIONADA	UNIDADES REQUERIDAS	TOTAL EN PESO
Lámpara T8 26 W	91.08	PIEZA	MaxLite	786	71,588.88
Lámpara T12 36 W	450.1	PIEZA	LED	270	121,527.00
Base para lámpara InstantFit T8 26W	11	PIEZA	MaxLite	131	1,441.00
Base para lámpara InstantFit T12 36W	22.85	PIEZA	LED	135	3,084.75
Cable Cal. 8 AWG	1868.12	CAJA	Condulac	20	37,362.40
Cable Cal. 12 AWG	735.76	CAJA	Condulac	20	14,715.20
Tuberia conduit pared delgada 1"	136.59	M	Omega	350	47,806.50
Tuberia conduit pared delgada 1/2"	118.79	M	Omega	200	23,758.00
Caja metalica galvanizada de 4"	13.43	PIEZA	IUSA	200	2,686.00
Caja metalica galvanizada de 4"	43.24	PIEZA	IUSA	205	8,864.20
Codo galvanizado de 1"	60.27	PIEZA	Omega	150	9,040.50
Codo galvanizado de 1/2"	15.76	PIEZA	Omega	120	1,891.20
Cople de 1"	14.05	PIEZA	Omega	450	6,322.50
Cople de 1/2"	3.85	PIEZA	Omega	320	1,232.00
Reducciones de 1" a 1/2"	28.5	PIEZA	Omega	400	11,400.00
Cinta de Aislar	1950	CAJA	Nitto	3	5,850.00
Tablero de sobreponer 12 espacios	2159.77	PIEZA	SQUARE D	1	2,159.77
Protección termomagnética 2X15	529.33	PIEZA	SQUARE D	9	4,763.97
Protección termomagnética 2X20	251.5	PIEZA	SQUARE D	1	251.50
Protección termomagnética 2X60	1080.91	PIEZA	SQUARE D	1	579.43
<b>TOTAL</b>					<b>376,324.80</b>

En la Tabla 19, la columna "Concepto" describe el material del que se hace el desglose de costos, en la columna "Precio" se escoge el precio que se considera el más adecuado, ya que previamente se realizaron cotizaciones en diferentes sitios y el que se muestra en tabla es el mejor que se encontró, las cantidades que se muestran en la columna descrita como "Unidades requeridas" se obtuvieron después de haber realizado el acomodo de las luminarias propuestas con la ayuda del programa de computadora "Dialux", en la última fila de la tabla se muestra el costo total obtenido para los materiales necesarios para la sustitución de luminaria.

La Tabla 20, muestra los costos que se tienen para realizar para la ejecución del proyecto con relación al personal que se va a ocupar.

Tabla 21. Material Fotovoltaico.

Colocación de paneles solares					
CONCEPTO	PRECIO POR UNIDAD	UNIDAD DE CONCEPTO	MARCA SELECCIONADA	UNIDADES REQUERIDA	TOTAL
Modulo Fotovoltaico Canadian Solar 330 W	5400	PIEZA	Canadian Solar	160	864,000.00
Inversor de corriente	34,827.36	PIEZA	Magnum Energy	3	104,482.08
Controlador de carga	782	PIEZA	Magnum Energy	10	7,820.00
Bateria 24 V	7467.9	PIEZA	TAICO	86	642,239.40
Conductor AWG Cal. 8 AWG	1,930.12	CAJA	Condulac	17	32,812.04
Conductor AWG Cal. 4 AWG	1,216.45	CAJA	Condulac	17	20,679.65
Caja de fusibles trifásica	2222.79	PIEZA	IttelFuse	20	44,455.80
Electrodo de puesta a tierra	2329.86	PIEZA	Ventair	3	6,989.58
TOTAL					1,723,478.55
GRAN TOTAL					2,099,803.35

Se planea utilizar dos cuadrillas que se conforman de un ayudante, un maestro electricista, y un oficial electricista, los salarios son calculados con base en la “Tabla de salarios mínimos generales y profesionales por áreas geográficas”, emitido por el gobierno federal en el DOF (Diario Oficial de la Federación). Se utilizan dos cuadrillas para hacer más eficiente el proceso escalonado de sustitución, una cuadrilla se encarga de desmontar, la segunda se encarga de montar en turnos simultáneos.

La Tabla 21, se refiere a Gastos relacionados al personal a utilizar de acuerdo con las actividades a realizar.

Tabla 22. Cuadrillas.

Cuadrilla de electricistas				
Concepto	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Importe
Ayudante	1	Jornal	177.6	177.6
Maestro electricista	1	Jornal	550.05	550.05
Oficial electricista	1	Jornal	598.85	598.88
Total del Jornal				1,326.53
Total a la semana				7,959.18
Total al mes				31,836.72
Personal para reemplazo de luminaria				
Cuadrillas requeridas	3			
Meses requeridos	3.25			
Total	310,408.02			
Personal para instalación de sistema fotovoltaico				
Cuadrillas requeridas	3			
Meses requeridos	1.75			
Total	167,142.78			
<b>Gran total de gastos de personal</b>				<b>477,550.80</b>

La Tabla 22, refiere al listado de herramientas a utilizar por el personal para la correcta realización de los trabajos que se van a ejecutar.

Tabla 23. Herramientas.

HERRAMIENTA					
CONCEPTO	PRECIO POR UNIDAD EN PESO	UNIDAD DE CONCEPTO	MARCA SELECCIONADA	UNIDADES REQUERIDA	TOTAL EN PESO
Dobladora de tubo de 1"	554.24	PIEZA	SURTEK	2	1108.48
Dobladora de tubo de 1/2" A 3/4"	465.79	PIEZA	SURTEK	2	931.58
Guía eléctrica	576.32	PIEZA	URREA	2	1152.64
Pinzas de corte diagonal	217.63	PIEZA	URREA	6	1305.78
Pinzas de electricista	526.34	PIEZA	URREA	6	3158.04
Pinzas pelacable	311.83	PIEZA	URREA	6	1870.98
Pinzas planas	210.31	PIEZA	URREA	6	1261.86
Casco de seguridad	88	PIEZA	TRUPER	6	528
Línea de vida	1833	PIEZA	MILLER	6	10998
Arnes de seguridad	1482	PIEZA	MILLER	6	8892
Desarmador plano	224.25	JUEGO	STANLEY	6	1345.5
Desarmador phillips	224.25	JUEGO	STANLEY	6	1345.5
Guantes	312.43	PAR	KLEIN TOOLS	6	1874.58
Lentes de Seguridad	31	PIEZA	TRUPER	6	186
Grúa de elevación	18,000	PIEZA	GENIE 1930	2	36000
<b>TOTAL</b>					<b>71,958.94</b>

Se realiza un listado de las herramientas a utilizar por el personal para la correcta realización de los trabajos, y de su valor total se considera un 25%, ya que no se le puede adjudicar el costo total a un sólo cliente.

Como elaboradores del proyecto, se considera un 20% del valor del proyecto hasta este punto y es destinado para el área de ingeniería, por concepto de administración, desarrollo y entrega de obra, realización de cálculos apegados a norma, se obtiene un total como el que se muestra en la Tabla 23.

Tabla 24. Gatos totales

GASTOS TOTALES				
Material	Herramienta	Personal	Ingeniería	Total
2,099,803.35	27,469.41	477,550.80	520,964.71	3,125,788.27

Con este costo, referido en la Tabla 23, se concluyen los gastos relacionados a la primera etapa de sustitución de luminario y la segunda etapa relacionada con la instalación de los arreglos fotovoltaicos.

### 3.5 Punto de equilibrio

Se define el punto de equilibrio como la técnica para estudiar las relaciones entre costos fijos, variables y los beneficios. Sin embargo, para este caso se considera punto de equilibrio al punto en el que la inversión alcance equilibrio contra los gastos que se realizaron para la implementación de este proyecto.

Se muestra en la siguiente tabla y gráfica el gasto anual que se realiza con respecto al gasto eléctrico relacionado con la iluminación

La Tabla 24, muestra el gasto anual relacionado con el consumo de energía eléctrica asociado a la iluminación

Tabla 25. Gasto anual relacionado al consumo de energía eléctrica.

AÑO	Gasto de energía
1	477,622.80
2	955,245.60
3	1,432,868.40
4	1,910,491.20
5	2,865,736.80
6	2,865,736.80
7	3,343,359.60
8	3,820,982.40
9	4,298,605.20
10	4,776,228.00
11	5,253,850.80
12	5,731,473.60

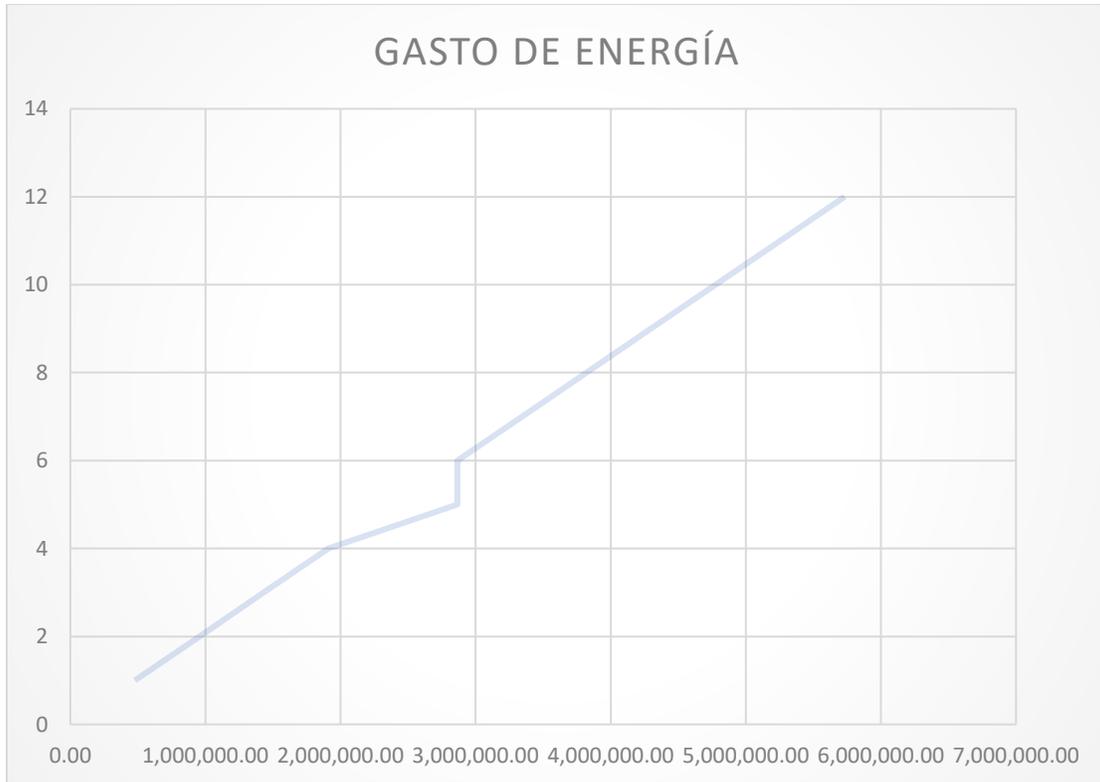


Figura 46. Gráfica del gasto de energía.

En la Figura 46 se muestra el gasto con el consumo de energía eléctrica asociado a la iluminación.

Ahora se muestra el punto de equilibrio que como se menciona anteriormente es el punto en el que la inversión se habrá recuperado. Se obtuvo a través de la división del costo total del proyecto, entre el gasto anual que se hace y se obtuvo un total de 6.5.

Punto de equilibrio= Costo total del proyecto/ Costo anual relacionado a la iluminación en el área

$$\text{Punto de equilibrio} = \$3,125,788.27 / 477,622.80 = 6.54 \text{ años}$$

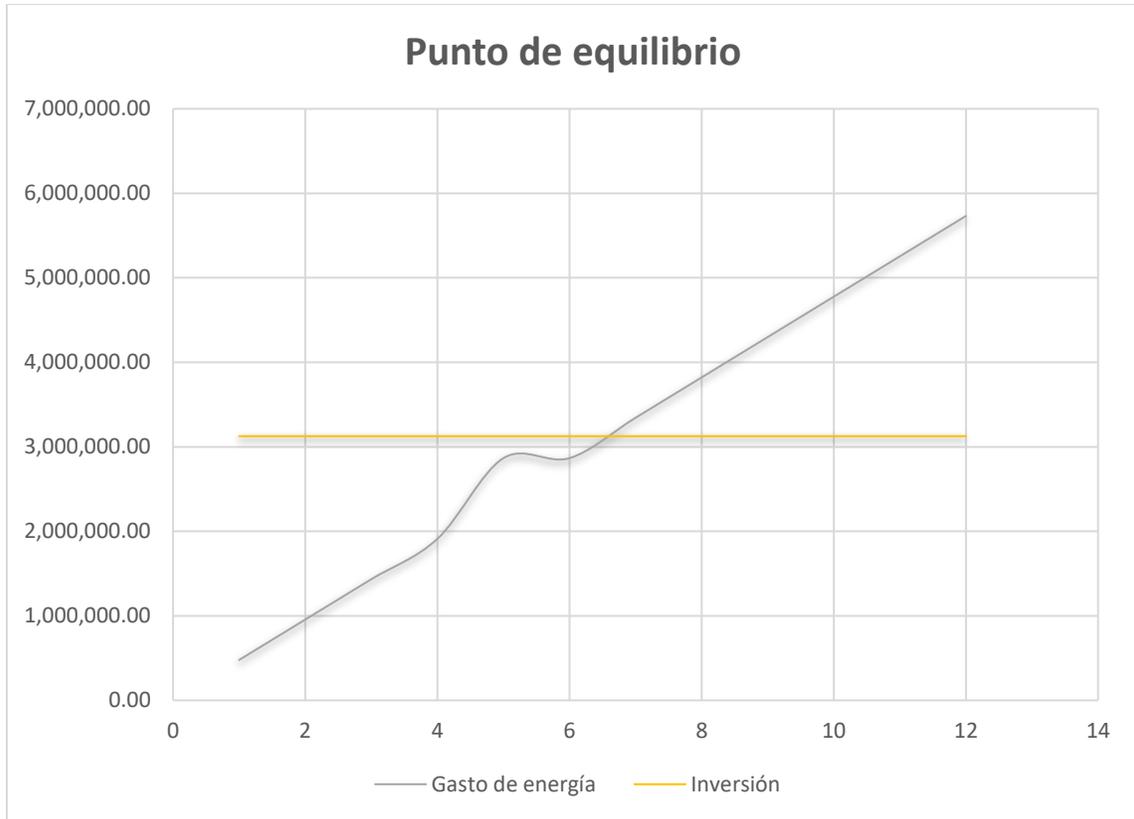


Figura 47. Punto de equilibrio.

La Figura 47 muestra el Punto de equilibrio del proyecto. Considerando que la vida útil de los paneles solares es de 12 años trabajando al 100% de sus capacidades el tiempo restante después del punto de equilibrio es de 5.46 años por lo que la utilidad que se obtiene después de este es de \$ 2,607,820.48

### 3.5 Cronograma de Actividades

Tabla 26. Cronograma de actividades.

ACTIVIDADES	RESPONSABLE	MES 1				MES 2				MES 3				MES 4			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Diseño de proyecto	Ingeniería	■															
Compra y entrega de materiales	Ingeniería		■	■													
Solicitud de permisos al departamento EHS	Ingeniería		■														
Platicas de seguridad e higiene con cuadrillas	Ingeniería		■														
Retiro de luminarias en Áreas 1-3	E1-E2-E3				■												
Inspección y colocación de bases en gabinetes dañados de Área 1-3	E1-E2-E3				■												
Colocación de gabinetes con reemplazo de lámparas en Áreas 1-3	E1-E2-E3					■											
Retiro de luminarias en Áreas 4-7	E1-E2-E3					■											
Inspección y colocación de bases en gabinetes dañados de Área 4-7	E1-E2-E3					■											
Colocación de gabinetes con reemplazo de lámparas en Áreas 4-7	E1-E2-E3						■										
Retiro de luminarias en Áreas 8-10	E1-E2-E3							■									
Inspección y colocación de bases en gabinetes dañados de Área 8-10	E1-E2-E3							■									
Colocación de gabinetes con reemplazo de lámparas en Áreas 8-10	E1-E2-E3								■								
Retiro de luminarias en Áreas 11-14	E1-E2-E3									■							
Inspección y colocación de bases en gabinetes dañados de Área 11-14	E1-E2-E3									■							
Colocación de gabinetes con reemplazo de lámparas en Áreas 11-14	E1-E2-E3										■						
Retiro de luminarias en Áreas 15-16	E1-E2-E3											■					
Inspección y colocación de bases en gabinetes dañados de Área 15-16	E1-E2-E3											■					
Colocación de gabinetes con reemplazo de lámparas en Áreas 15-16	E1-E2-E3												■				
Instalación de estructura para arreglos fotovoltaicos	Contratista					■	■										
Instalación de arreglos fotovoltaicos	E4-E5-E6						■	■	■								
Instalación Sistema de puesta a tierra	E4-E5-E6									■							
Pruebas y puesta en servicio del sistema	Ingeniería											■					
Entrega de obra eléctrica y planos	Ingeniería															■	

La planeación, como indica la Tabla 25, del cronograma considera tiempos de cotización de materiales y entrega de los mismos jornales de 6 días y ocho horas por turno y considerando los tiempos que las actividades descritas en el mismo tardan en llevarse a cabo.

Se utiliza un total de seis cuadrillas de trabajo, sin embargo, no todas trabajan al mismo tiempo, de acuerdo con la planeación el segundo grupo de trabajadores que está conformado por cuatro cuadrillas entra a trabajar hasta el segundo mes de haber iniciado actividades, este segundo grupo es el encargado de la segunda etapa del proyecto.

## CONCLUSIONES

La implementación de nuevas tecnologías y la mejora continua da pie a la elaboración de proyectos como éste en los que se busque la sustentabilidad y la sostenibilidad como primer propósito.

En el aspecto económico es observable que el simple hecho de la actualización de las luminarias provee de beneficios inmediatos que se deben ver reflejados en la facturación por el servicio eléctrico, aunado a esta reducción, la inversión que se realiza para la instalación del arreglo fotovoltaico resulta en una inversión con un tiempo de recuperación razonable y que a la postre resulta en una ganancia.

Además, el proyecto tiene beneficios ecológicos cumpliendo así con los principios de la ingeniería verde, al realizar este tipo de proyectos se genera un impacto positivo para el medio ambiente, proyectando también una imagen positiva para la empresa ante la sociedad, esto genera conciencia y son acciones de esta índole las que se busca replicar en todo tipo de industria, pues es apremiante la situación que se vive día con día respecto del cambio climático, resulta urgente la búsqueda de alternativas para la generación de energía eléctrica sin la quema de combustibles fósiles.

La aportación principal de este proyecto es la de proveer una solución de ahorro de energía a través de tecnología que actualmente constituye un mercado en crecimiento, además de generar un impacto perceptible inmediato con acciones sencillas.

Tras haber llevado a cabo el desarrollo de la propuesta se considera que se cumple con los objetivos que se plantearon al inicio de este, ya que se realiza un análisis integral teniendo como base la normatividad pertinente para poder ayudar a mejorar los niveles de iluminación actuales y optimizar las condiciones laborales de los operadores que trabajan en el área de nuestro caso de estudio, se redujo el consumo de potencia eléctrica y con ello se redujo la huella de carbono asociada a la generación de energía eléctrica, se propone un sistema de arreglos fotovoltaicos que a la postre genera una ganancia económica, la instalación del arreglo no sólo produce efectos económicos y sociales positivos.

Finalmente, se puede mencionar a manera de cierre que el proyecto posee todos los criterios necesarios para resultar en una línea de realización viable, y plantea interrogantes para el futuro, ¿Cómo podría hacerse más eficiente? Y ¿Cómo se puede reducir aún más los costos por facturación?, se espera que la tecnología que surja en los años por venir ayude a resolver estas interrogantes.

## GLOSARIO

**Área**-Medida de superficie

**Arreglo fotovoltaico**-Un sistema fotovoltaico es un conjunto de dispositivos que aprovechan la energía producida por el sol y la convierten en energía eléctrica. Los sistemas fotovoltaicos se basan en la capacidad de las celdas fotovoltaicas de transformar energía solar en energía eléctrica (DC).

**Balastro eléctrico**- es un equipo que sirve para mantener estable y limitar la intensidad de la corriente para lámparas, ya sea una lámpara fluorescente o una lámpara de haluro metálico.

**Batería eléctrica**- es un dispositivo que consiste en una o más celdas electroquímicas que pueden convertir la energía química almacenada en corriente eléctrica.

**Celdas solares**-Las celdas solares son las encargadas de convertir directamente la luz solar en electricidad. Están fabricadas con silicio, que es un semiconductor.

**Contactador**- Un contactor es un dispositivo con capacidad de cortar la corriente eléctrica de un receptor o instalación, con la posibilidad de ser accionado a distancia, que tiene dos posiciones de funcionamiento: una de encendido y otra de apagado.

**Corriente eléctrica**- La corriente eléctrica es el flujo de carga eléctrica que recorre un material.

**Costo**- Cantidad de dinero que cuesta una cosa

**Diagrama unifilar**- Es una representación gráfica de una instalación eléctrica o de parte de ella

**Eficiencia eléctrica**- La eficiencia energética es el uso eficiente de la energía, de manera de optimizar los procesos productivos y el empleo de la energía, utilizando lo mismo o menos para producir más bienes y servicios

**Energía**- Capacidad que tiene la materia de producir trabajo en forma de movimiento, luz, calor, etc.

**Flujo luminoso**- El flujo luminoso es la medida de la potencia luminosa percibida

**Gasto**- Un gasto es un egreso o salida de dinero que una persona o empresa debe pagar para acreditar su derecho sobre un artículo o a recibir un servicio.

**Iluminación**- En la técnica se refiere al conjunto de dispositivos que se instalan para producir ciertos efectos luminosos, tanto prácticos como decorativos.

**Iluminancia/luminancia**- La iluminancia es una medida para la densidad del flujo luminoso. Se define como la relación del flujo luminoso que cae sobre una superficie y el área de esta.

**Insolación-** Número de horas en un período determinado de tiempo durante el cual una superficie recibe la luz del sol.

**Intensidad luminosa-** se define como la cantidad de flujo luminoso que emite una fuente por unidad de ángulo sólido.

**Inversor-**Un inversor es un dispositivo que cambia o transforma un voltaje de entrada de corriente continua a un voltaje simétrico de salida de corriente alterna, con la magnitud y frecuencia deseada por el usuario o el diseñador.

**Irradiación-**Emisión de radiaciones luminosas, térmicas, magnéticas o de otro tipo.

**Lámpara-**Las lámparas son dispositivos que transforman una energía eléctrica o química en energía lumínica.

**LED-** Diodo emisor de luz

**Longitud-**Medida de una dimensión lineal.

**Lumen-**Unidad de flujo luminoso del Sistema Internacional, de símbolo lm, que equivale al flujo luminoso emitido por un foco puntual de 1 candela de intensidad en un ángulo sólido de 1 estereorradián.

**Luminaria-** Dispositivo que sirve de soporte para la lámpara.

**Luz-**Forma de energía que ilumina las cosas, las hace visibles y se propaga mediante partículas llamadas fotones.

**Materia-**Componente principal de los cuerpos, susceptible de toda clase de formas y de sufrir cambios, que se caracteriza por un conjunto de propiedades físicas o químicas, perceptibles a través de los sentidos.

**Ondas electromagnéticas-**Son aquellas ondas que no necesitan un medio material para propagarse.

**Puesta a Tierra-**La puesta a tierra es un mecanismo de seguridad que forma parte de las instalaciones eléctricas y que consiste en conducir eventuales desvíos de la corriente hacia la tierra, impidiendo que el usuario entre en contacto con la electricidad.

**Punto de equilibrio-**Punto de equilibrio es un concepto de las finanzas que hace referencia al nivel de ventas donde los costos fijos y variables se encuentran cubiertos.

Emisión de energía o de partículas que producen algunos cuerpos y que se propaga a través del espacio.

**Resistencia eléctrica-**Oposición que presenta un conductor al paso de la corriente eléctrica.

**Resistividad-**Resistencia específica de un material.

**Temperatura del color-** La temperatura de color de una fuente de luz se define comparando su color dentro del espectro luminoso con el de la luz que emitiría un cuerpo negro calentado a una temperatura determinada

**Tensión-**La tensión eléctrica o diferencia de potencial, es una magnitud física que cuantifica la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos.

**Potencia eléctrica-** La potencia eléctrica es la proporción por unidad de tiempo, o ritmo, con la cual la energía eléctrica es transferida por un circuito eléctrico.

## FUENTES CONSULTADAS

- Albella, M. A. (s.f.). *Sistemas Fotovoltaicos*. Recuperado el 27 de Mayo de 2018, de [http://api.eoi.es/api\\_v1\\_dev.php/fedora/asset/eoi:45337/componente45335.pdf](http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45337/componente45335.pdf)
- Alwaeli, A., & Mahdi, H. (Febrero de 2017). Standalone PV systems for rural areas in Sabah, Malaysia. *International Journal of Computation and Applied Sciences IJOCAAS*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/312535062\\_Standalone\\_PV\\_systems\\_for\\_rural\\_areas\\_in\\_Sabah\\_Malaysia\\_Review\\_and\\_case\\_study\\_application](https://www.researchgate.net/publication/312535062_Standalone_PV_systems_for_rural_areas_in_Sabah_Malaysia_Review_and_case_study_application)
- Al-Waeli, A., Kazem, H., & Chaichan, M. (Agosto de 2016). Review and design of a standalone PV system performance. *International Journal of Computation and Applied Sciences IJOCAAS*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/306092163\\_Review\\_and\\_design\\_of\\_a\\_standalone\\_PV\\_system\\_performance](https://www.researchgate.net/publication/306092163_Review_and_design_of_a_standalone_PV_system_performance)
- Beltran, A., Morera, M., López, F., & Villela, R. (Enero-Junio de 2017). Prospectiva de las energías eólica y solar fotovoltaica en la producción de energía eléctrica. *Vol. 11, 2*, 105-117. Ciudad Victoria, Tamaulipas, México: CienciaUAT. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/4419/441949672008.pdf>
- Cambio Climatico ORG. (s.f.). *Protocolo de Kioto*. Recuperado el 26 de Mayo de 2018, de <http://www.cambioclimatico.org/tema/protocolo-de-kyoto>
- Carta Gonzalez, J., Calero Pérez, R., Colmenar Santos, A., Castro Gil, M., & Collardo Fernández, E. (2013). *Centrales de energías renovables*. Madrid, España: Pearson Educación, S.A.
- De La Torre, G. (11 de Septiembre de 2018). Perspectivas del sector de energías renovables en México 2018. *EL ECONOMISTA*. Obtenido de <https://www.economista.com.mx/empresas/Perspectivas-del-sector-de-energias-renovables-en-Mexico-2018-20180911-0049.html>
- Eckley Selin, N. (25 de Mayo de 2015). Carbon Footprint. Obtenido de <https://www.britannica.com/science/carbon-footprint#ref1082097>
- Enríquez Harper, G. (1999). *El ABC del alumbrado y las instalaciones eléctricas en baja tensión*. Ciudad de México, México: LIMUSA S.A de C.V.
- Enríquez Harper, G. (2010). *EL ABC DE LAS INSTALACIONES ELECTRICAS EN SISTEMAS EOLICOS Y FOTOVOLTAICOS*. Ciudad de México: Limusa.
- Franklin, E. (Agosto de 2017). Types of Solar Photovoltaic Systems. Tucson, Arizona, Estados Unidos: The University of Arizona College of Agriculture and Life Sciences. Recuperado el 24 de Mayo de 2018, de <https://extension.arizona.edu/sites/extension.arizona.edu/files/pubs/az1745-2017.pdf>
- Glunz, S., Preu, R., & Biro, D. (2012). Crystalline Silicon Solar Cells State of the Art and Future Developments. *Vol. 1*, 1-62. Freiburg, Alemania. doi:10.11016/B978-0-08-087872-0.00117-7

- Gobierno de Aragón. (24 de Octubre de 2018). *aragon.es*. Obtenido de [http://www.aragon.es/DepartamentosOrganismosPublicos/Departamentos/DesarrolloRuralSostenibilidad/AreasTematicas/MA\\_CambioClimatico/ci.CAMBIO\\_CLIMATICO..detalleDepartamento?channelSelected=afc736552883a210VgnVCM100000450a15acRCRD](http://www.aragon.es/DepartamentosOrganismosPublicos/Departamentos/DesarrolloRuralSostenibilidad/AreasTematicas/MA_CambioClimatico/ci.CAMBIO_CLIMATICO..detalleDepartamento?channelSelected=afc736552883a210VgnVCM100000450a15acRCRD)
- Goldwasser, S., & Klipstein, D. (14 de Diciembre de 2006). Sam's and Don's D-Lamp FAQ Gas Discharge Lamps, Ballasts, and Fixtures Principles of Operation, Circuits, Troubleshooting, Repair. Recuperado el 16 de Octubre de 2018, de <http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/L%E2mpadas/Gas%20Discharge%20Lamps.pdf>
- González Vásquez, E. (2016 de 07 de 30). *Cálculo de sombra con el método del solsticio de invierno*. Recuperado el 28 de Mayo de 2018, de <https://ccee.mx/blog/energia-solar-fotovoltaica/calculo-de-sombra-con-el-metodo-del-solsticio-de-invierno>
- González, R., Jiménez, H., & Lagunas, J. (Octubre de 2003). Sistemas fotovoltaicos conectados a la red. Recuperado el 10 de Octubre de 2018, de <http://ecotec.unam.mx/Ecotec/wp-content/uploads/Sistemas-Fotovoltaicos-conectados-a-la-red.pdf>
- Guda, H. A., & Aliyu, U. O. (15 de Enero de 2015). *Design of a Stand-Alone Photovoltaic System for a Residence in Bauchi*. Recuperado el 20 de Mayo de 2018, de [http://iet-journals.org/archive/2015/jan\\_vol\\_5\\_no\\_1/449461415717781.pdf](http://iet-journals.org/archive/2015/jan_vol_5_no_1/449461415717781.pdf)
- Hj Othman, M. Y., Mat, S., Ruslan, M. H., Abed, A. M., & Sopian, K. (25 de Abril de 2015). *Design & Sizing of Stand-alone Solar Power Systems A house Iraq*. Recuperado el 16 de Mayo de 2018, de <https://pdfs.semanticscholar.org/ac10/c05f8a9e233407132e0e86161f47c4840e98.pdf>
- Kaper, H. (s.f.). *The Discovery of Global Warming*. Recuperado el 25 de Octubre de 2018, de Mathematics of Planet Earth: <http://mpe.dimacs.rutgers.edu/2013/01/19/the-discovery-of-global-warming/>
- Lindsey, J. L. (1997). *APPLIED ILLUMINATION ENGINEERING*. Lilburn, Georgia: The Fairmont Press.
- M. De Juana, J., Florentino, S., Crespo, A., Ángel Herrero, M., de Francisco, A., & Fernandez, J. (2009). *Energías renovables para el desarrollo*. Madrid, España: International Thomson Editores.
- Madrid Antonio, V. (2009). *Curso de energía Solar (Fotovoltaica, Térmica, y Termoeléctrica)*. Madrid, España: MUNDI-PRENSA.
- Márquez, R. G. (1999). *LA PUESTA A TIERRA DE INSTALACIONES ELECTRICAS*. D.F, México: Alfaomega.
- Martínez Domínguez, F. (1999). *Instalaciones eléctricas de alumbrado e industriales*. Madrid, España: Parafino.
- Mohammad Bagher, A., Abadi Vahid, M., & Mohsen, M. (2015). Types of Solar Cells and Application. Vol.3. American Journal of Optics and Photonics. Obtenido de [article.sciencepublishinggroup.com/pdf/10.11648.j.ajop.20150305.17.pdf](http://article.sciencepublishinggroup.com/pdf/10.11648.j.ajop.20150305.17.pdf)
- Montenegro, M. (2012). Análisis de los riesgos físicos (ruido e iluminación) y su influencia en el desempeño laboral de los trabajadores del área de ingeniería del Grupo Azul. Quito, Ecuador: Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/2770/1/T-UCE-0007-76.pdf>

- Obregón, M., & Francisco, M. (Febrero de 2018). Impacto Del Factor Iluminación Y Psicosocial En El Desempeño Laboral Del Personal De Apoyo Y Asistencia A La Educación. Ciudad de México, México. doi:10.19044/esj.2018.v14n4p223
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. (2012). PERSPECTIVAS AMBIENTALES DE LA OCDE HACIA 2050. Recuperado el 10 de Octubre de 2018, de <https://www.oecd.org/env/indicators-modelling-outlooks/49884278.pdf>
- Ramírez Morales , S., & Vega de Kuyper, J. C. (Julio de 2014). Fuentes de energía, renovables y no renovables. Aplicaciones. *Primera edición*, 696. México: Alfaomega Grupo Editor, S.A de C.V.
- Ramos, J. (17 de Mayo de 2011). México avanza contra el cambio climático; apoya al Protocolo de Kyoto. *Excelsior*. Recuperado el 25 de Octubre de 2018, de <https://www.excelsior.com.mx/2011/05/17/dinero/737295>
- Raymond , D. (s.f.). A CORRELATED COLOR TEMPERATURE FOR ILLUMINANTS. Obtenido de [https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/jres/7/jresv7n4p659\\_A2b.pdf](https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/jres/7/jresv7n4p659_A2b.pdf)
- Roitman, M., Mestrallet, A., Aramburu, M. D., & Rossi, R. (15 de Septiembre de 2015). *Dimensionamiento de un sistema de energía solar fotovoltaica para una vivienda en la ciudad de Cordova*. Recuperado el 16 de Mayo de 2018, de <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/FCEfYn/article/viewFile/10884/12668>
- Salgado, J. M. (2009). *Tenología de las Energías Renovables*. Madrid, España: AMV Ediciones.
- Salgado, J. M. (2010). *Compendio de Energía Solar Fotovoltaica, Termica y Termoelectrica*. Madrid, España: AMV Ediciones.
- Sánchez Quiroga, D. (30 de Mayo de 2012). SISTEMA DE EERÍA SOLAR FOTOVOLTAICA AISLADO PARA VIVIENDA UNIFAMILIAR AISLADA. Leganés, Madrid, España: UIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID. Recuperado el 16 de Junio de 2018, de <https://ingemecanica.com/proyectos/objetos/proyecto130.pdf>
- Schatan, C. (Diciembre de 1999). Contaminación industrial en los países latinoamaricas pre y post reformas económicas. Santiago de Chile, Chile: Publicación de las Naciones Unidas. Obtenido de [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/5725/1/S9900049\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/5725/1/S9900049_es.pdf)
- Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (11 de Diciembre de 2016). *Protocolo de Kioto sobre cambio climático*. Recuperado el 26 de Mayo de 2018, de <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/protocolo-de-kioto-sobre-cambio-climatico?idiom=es>
- Secretaría de Trabajo y Prevision Social. (2018 de Enero de 01). *Salarios minimos*. Recuperado el 02 de Junio de 2018, de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/285013/TablaSalariosMinimos-01ene2018.pdf>
- Sharma, B. (Febrero de 2014). PERFORMANCE OF SOLAR POWER PLANTS IN INDIA. Nueva Deli, India: Central Electricity Regulatory Commission. Recuperado el 5 de Octubre de 2018, de <http://www.cercind.gov.in/2011/Whats-New/PERFORMANCE%20OF%20SOLAR%20POWER%20PLANTS.pdf>

- Singh, S. C. (21 de Octubre de 2002). BASICS OF LIGHT EMITTING DIODES CHARACTERIZATIONS AND APPLICATIONS. Allahabad, India: University of Allahabad. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/200071029\\_Basics\\_of\\_Light\\_Emitting\\_diodes\\_Characterizations\\_and\\_Applications](https://www.researchgate.net/publication/200071029_Basics_of_Light_Emitting_diodes_Characterizations_and_Applications)
- SunFields Europe. (s.f.). *Boletín Solar Fotovoltaica Autónoma*. Manual para instalaciones fotovoltaicas autónomas, Santiago de Compostela, A Coruña (España). Recuperado el 2018 de Mayo de 26, de [https://www.sfe-solar.com/wp-content/uploads/2011/09/Sunfields\\_Boletin\\_Fotovoltaica\\_Autonomas.pdf](https://www.sfe-solar.com/wp-content/uploads/2011/09/Sunfields_Boletin_Fotovoltaica_Autonomas.pdf)
- Talib Hashim, E., & Qasim Khazaa, S. (Enero de 2017). Modelling and Output Power Evaluation of Series-Parallel Photovoltaic Modules. *International Journal of Computer Applications*. Recuperado el 7 de Junio de 2018, de <https://pdfs.semanticscholar.org/e937/c0a6d7b8c20186353fa55c84086b9c808dfe.pdf>
- United States Department of Energy. (Ahosto de 2013). SOLID-STATE LIGHTING TECHNOLOGY FACT SHEET. *Hoja Informativa*. Richland, Washington, Estados Unidos. Recuperado el 2018 de Junio de 20, de [https://www1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/life-reliability\\_fact-sheet.pdf](https://www1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/life-reliability_fact-sheet.pdf)
- United States Deparmet of Energy. (Enero de 2008). LED Basics. United States Deparmet of Energy. Obtenido de [http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/L%E2mpadas/led\\_tech.pdf](http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/L%E2mpadas/led_tech.pdf)
- Velasco, J. I. (1994). *Elementos de Alumbrado*. D.F, México: Dirección de publicaciones del Instituto Politécnico Nacional.
- Virginia Alba, B., & Victoria Asili, M. (2014). Caracterización y evaluación del alumbrado público de la ciudad de Mar del Plata para el diseño de un plan de gestión ambiental. Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina. Recuperado el 2018 de Junio de 13, de [http://redi.ufasta.edu.ar:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1534/2014\\_IA\\_002.pdf?sequence=3](http://redi.ufasta.edu.ar:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1534/2014_IA_002.pdf?sequence=3)

## ANEXO A. FACTORES DE EMISIÓN



### Factor de Emisión del Sector Eléctrico Nacional

Con fundamento en el Artículo 12 del Reglamento de la Ley de Transición Energética, que a la letra dice:

*Artículo 12. La CRE estimará de forma anual el factor de Emisión del Sistema Eléctrico Nacional, con base en las metodologías que emita la Secretaría en términos del artículo anterior y remitirá la propuesta de dicho factor a la SEMARNAT antes del 30 de enero de cada año, para que ésta emita su opinión dentro de los diez días hábiles siguientes a la recepción de dicha propuesta.*

*En caso de no recibir la opinión dentro del plazo a que se refiere el párrafo anterior, se entenderá que la SEMARNAT está de acuerdo con la propuesta. Transcurrido el plazo para emitir dicha opinión, la CRE podrá continuar con los trámites correspondientes para que el factor de Emisión del Sistema Eléctrico Nacional sea publicado antes del 28 de febrero de cada año."*

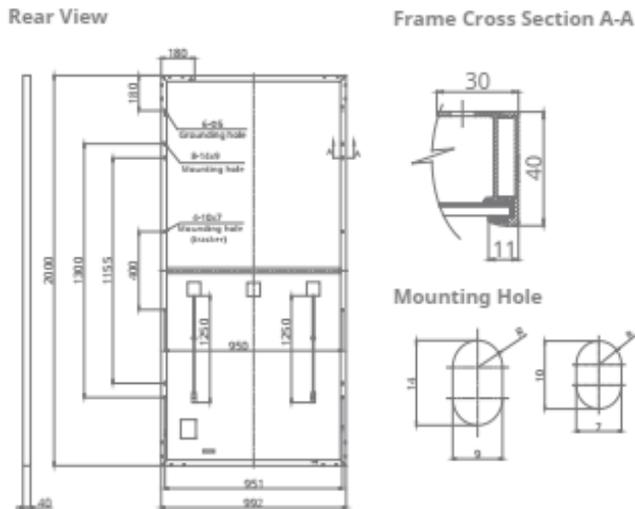
Habiendo recibido la opinión de SEMARNAT sin comentarios al cálculo realizado, la Comisión Reguladora de Energía, procede a publicar el Factor de Emisión del Sistema Eléctrico Nacional para 2017:

**Factor de emisión del Sistema Eléctrico Nacional, 2017:**

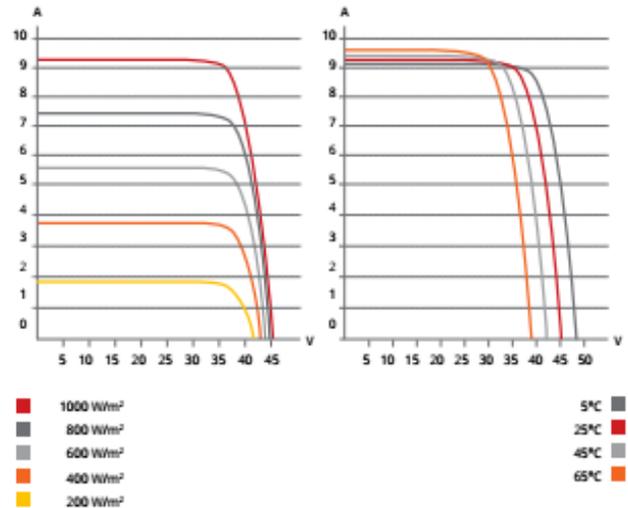
**0.582 toneladas de CO<sub>2</sub> / MWh**

# ANEXO B. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL MÓDULO FOTOVOLTAICO

## ENGINEERING DRAWING (mm)



## CS3U-340P / I-V CURVES



## ELECTRICAL DATA | STC\*

CS3U	330P	335P	340P	345P
Nominal Max. Power (Pmax)	330 W	335 W	340 W	345 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	38.0 V	38.2 V	38.4 V	38.6 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.69 A	8.77 A	8.86 A	8.94 A
Open Circuit Voltage (Voc)	45.5 V	45.7 V	45.9 V	46.1 V
Short Circuit Current (Isc)	9.20 A	9.28 A	9.36 A	9.44 A
Module Efficiency	16.63%	16.89%	17.14%	17.39%
Operating Temperature	-40°C – +85°C			
Max. System Voltage	1500V (IEC/UL) or 1000V (IEC/UL)			
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730)			
Max. Series Fuse Rating	30 A			
Application Classification	Class A			
Power Tolerance	0 – + 5 W			

\* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m<sup>2</sup>, spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

## ELECTRICAL DATA | NMOT\*

CS3U	330P	335P	340P	345P
Nominal Max. Power (Pmax)	244 W	248 W	251 W	255 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	35.0 V	35.1 V	35.3 V	35.5 V
Opt. Operating Current (Imp)	6.98 A	7.04 A	7.11 A	7.18 A
Open Circuit Voltage (Voc)	42.4 V	42.6 V	42.7 V	42.9 V
Short Circuit Current (Isc)	7.43 A	7.49 A	7.55 A	7.62 A

\* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), irradiance of 800 W/m<sup>2</sup>, spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

## MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Poly-crystalline, 156.75 X 78.38 mm
Cell Arrangement	144 [2 X (12 X 6)]
Dimensions	2000 X 992 X 40 mm (78.7 X 39.1 X 1.57 in)
Weight	22.6 kg (49.8 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame	Anodized aluminium alloy, crossbar enhanced
J-Box	IP68, 3 diodes
Cable	4 mm <sup>2</sup> (IEC), 12 AWG (UL) 1250 mm (49.2 in), 1670 mm (65.7 in)
Cable Length	is optional for single tracking system with leap-frog connection
Connector	T4 series
Per Pallet	27 pieces
Per Container (40' HQ)	594 pieces

## TEMPREATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.38 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.31 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.05 % / °C
Nominal Module Operating Temperature	43 ± 2°C

## ANEXO C. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL CONTROLADOR DE CARGA

### ESPECIFICACIONES DEL CONTROLADOR DE CARGA PT-100

PT-100	
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Tensión de entrada PV máximo (cualquier condición)	200 VCC + tensión de batería o 240 VDC, el que sea más bajo
Tensión de funcionamiento	(Voltaje de la batería + 8 V) a 187 VDC
Máxima corriente de entrada de cortocircuito	100 ADC
Opciones de tensión nominal de la batería	12, 24, o 48 VDC
Rango de voltaje de salida del cargador de la batería	10 a 66VDC
Máxima corriente de salida	100 ADC (de -20 °C a +40 °C) con una reducción de energía proporcional de hasta +60 °C de temperatura ambiente
Potencia máxima de salida	6600 vatios
Máxima eficiencia	mayor que 99% (98% típica)
Consumo interno/consumo de energía durante la noche	<4 vatios (ventilador apagado, pantalla/LED apagados)
Método de regulación del cargador	Carga automática de 3 etapas (Bulk (intensidad máxima), Absorbition (absorción) y Float (flotación)) con equalización manual

## ANEXO D. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL CONTROLADOR DEL INVERSOR

### MS-PAE 120/240V SERIES SPECIFICATIONS

	MS4024PAE	MS4448PAE
<b>INVERTER SPECIFICATIONS</b>		
Input battery voltage range	18 - 34 VDC	36 - 64 VDC
Nominal AC output voltage	120/240 VAC split phase ( $\pm 5\%$ )	120/240 VAC split phase ( $\pm 5\%$ )
Output frequency and accuracy	60 Hz $\pm 0.1$ Hz	60 Hz $\pm 0.1$ Hz
Total Harmonic Distortion (THD)	< 5%	< 5%
1 msec surge current (amps AC)	Line-Neutral: 120, Line-Line: 70	Line-Neutral: 120, Line-Line: 70
100 msec surge current (amps AC)	Line-Neutral: 72, Line-Line: 40	Line-Neutral: 75, Line-Line: 40
5 sec surge power (real watts)	5800	8500
30 sec surge power (real watts)	5200	6000
5 min surge power (real watts)	4800	5400
30 min surge power (real watts)	4500	4800
Continuous power output at 25° C	4000 VA (L-L)	4400 VA (L-L)
Maximum continuous input current	266 A	144 ADC
Inverter efficiency (peak)	93%	94%
Transfer time	16 msecs	16 msecs
Search mode (typical)	< 6 watts	< 6 watts
No load (120 VAC output, typical)	27 watts	25 watts
Waveform	Pure Sine Wave	Pure Sine Wave

## ANEXO E. CARACTERISTICAS TÉCNICAS DE LA BATERIA

Marca:	Taico	Número de Modelo:	TPD12-200
Voltaje:	24 V	Tipo de sellado:	Foca
Talla:	522*240*218*224mm	Peso:	59.5 kg
Material del recipie...	ABS	Ciclo de Vida:	2400 ciclos basados
Terminal:	T11	Garantía:	2 años
Color:	Negro o gris	Servicio de OEM/O...	Proporcionado
Nombre del produc...	24 V 200ah AGM batería d...		

Max. corriente de descarga	1800A (5S)
Resistencia interna	Aprox 3.24m $\Omega$
Temp. range de funcionamiento	Descarga: -15 ~ 50 C (-5 ~ 122 F)
	Carga: 0 ~ 40 C (32 ~ 104 F)
	Almacenamiento: -15 ~ 40 C (5 ~ 104 F)
Uso de espera	Sin límite de tensión de corriente de carga inicial 13.5 V ~ 13.8 V a 25 C (77 f) Temperatura. Coeficiente-20mv/c

## ANEXO F. CARACTERISTICAS TÉCNICAS DEL INTERRUPTOR DE TRANSFERENCIA



### Technical data

#### Compact automatic transfer switches OTM40...125\_

Compact automatic transfer switches

Data according to IEC 60947-3					Switch size		
					OTM40_	OTM63_	OTM125_
Rated insulation voltage and rated operational voltage AC20/DC20	Pollution degree 3	V	800	800	800		
	50 Hz 1min.	kV	6	6	6		
Rated impulse withstand voltage		kV	8	8	8		
Rated thermal current and rated operational current AC20/DC20	/ ambient 40°C	In open air	A	40	63	125	
	/ ambient 40°C	In enclosure	A	40	63	125	
	/ ambient 60°C	In enclosure	A	32	50	100	
..with minimum conductor cross section		Cu	mm <sup>2</sup>	10	16	50	