



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“Sistema de control y monitoreo para iluminación autosustentable
y de alta eficiencia en viviendas de interés social utilizando
energías renovables”

INFORME DE MATERIA DE GRADUACIÓN

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRICIDAD ESPECIALIZACIÓN
ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**

Presentada por:

Carlos Alvin Mosquera Mosquera

Luis Gerardo Verduga Rojas

Jimmy Rubén Suárez Yagual

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2012

DEDICATORIA

A DIOS por ser el creador y
dador de nuestras vidas.

A nuestros padres que con su trabajo,
empeño y dedicación nos han
inspirado para alcanzar el último
peldaño en nuestra vida profesional.

AGRADECIMIENTO

A todos aquellos que han hecho posible que este trabajo sea realizado, a nuestros compañeros de trabajo y seminario.

A nuestros profesores y guías que con su dedicación y tiempo nos han dado el empuje necesario para culminar nuestra tarea.

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Ing. Javier Urquiza

PROFESOR DE LA MATERIA
DE GRADUACIÓN

Ing. Douglas Aguirre

DELEGADO DEL DECANO

DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad del contenido de este informe de materia de graduación nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la Escuela Superior Politécnica del Litoral.

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

Carlos Alvin Mosquera Mosquera

Luis Gerardo Verduga Rojas

Jimmy Rubén Suárez Yagual

RESUMEN

El presente documento tiene como objetivos principales destacar que los diferentes tipos de lámpara de inducción son capaces de cumplir con el alumbrado tanto de interiores como de exteriores de locales industriales, comerciales, de instituciones sociales e infraestructura pública. Además, realizar estudios de los aspectos técnicos y económicos sobre la utilización de fuentes de energías renovables como una alternativa para evitar el cambio climático.

En el primer capítulo se presentará las generalidades de las lámparas de inducción. Se estudiará su principio de funcionamiento, clasificación y características técnicas. Se hará una breve comparación con otros tipos de luminarias y se revisarán las ventajas y desventajas de su uso, así como también algunas de las normas internacionales que se cumplen.

El siguiente capítulo tratará sobre la aplicación de la domótica en nuestro proyecto para el control y monitoreo de la iluminación de alta eficiencia. Se verán los diferentes tipos de arquitecturas de conexión, tecnologías y protocolos de comunicación existentes en el mercado. Luego se escogerá el que sea técnica y económicamente más conveniente para la aplicación al proyecto para hacer finalmente un listado de los módulos y elementos que utilizaremos.

En el tercer capítulo estudiaremos el tipo de energía renovable de aplicación en nuestro proyecto, Se expondrá sobre los sistemas solares fotovoltaicos, sus ventajas, constitución física , los factores que afectan a un sistema fotovoltaico, se hablará sobre los módulos fotovoltaicos como elementos fundamentales de los sistemas en mención, tomaremos en cuenta la forma de diseñar un sistema solar fotovoltaico para luego realizar un listado de los dispositivos necesarios para realizar la implementación del proyecto.

Por último se realizara el análisis económico del proyecto con el respectivo cálculo del valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR), dando una visión general de la factibilidad del proyecto y dando alternativas para la viabilidad del mismo.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	VI
ÍNDICE GENERAL	VIII
ABREVIATURAS	XI
SIMBOLOGÍA	XV
ÍNDICE DE FIGURAS	XVI
ÍNDICE DE TABLAS	XVIII
INTRODUCCIÓN	XIX
CAPÍTULO 1	
1. LÁMPARAS DE INDUCCIÓN MAGNÉTICA	1
1.1. Generalidades	1
1.2. Clasificación de las lámparas de inducción	1
1.3. Principio de funcionamiento	2
1.3.1. Principio de funcionamiento de las IEM-I	2
1.3.2. Principio de funcionamiento de las IEM-E	3
1.4. Características técnicas de las lámparas de inducción	5
1.4.1. Normas internacionales que cumplen las lámparas de inducción	7
1.4.2. Ventajas de las lámparas de inducción	9
1.4.3. Desventajas de las lámparas de inducción	10
1.5. Comparación con otras fuentes de luz	10

CAPÍTULO 2

2. ESTADO DE LA TECNOLOGÍA	12
2.1. Introducción a la domótica	13
2.2. Características del hogar inteligente	14
2.3. Aplicaciones de la domótica	14
2.4. Dispositivos de un sistema domótico	17
2.5. Arquitectura de un sistema domótico	18
2.6. Principales tecnologías y protocolos	21
2.6.1. Tecnología Batibus	22
2.6.2. Tecnología EIB	23
2.6.3. Tecnología Konnex	23
2.6.4. Tecnología Lon Works	25
2.6.5. Tecnología X-10	26
2.7. Generalidades de la tecnología X-10	27
2.7.1. Consideraciones para enviar códigos X-10	34
2.7.2. Estructura de un sistema X-10	36
2.8. Descripción de la vivienda de interés social	44
2.8.1. Estructura de la vivienda	44

CAPÍTULO 3

3. PROCESOS EN LA PRODUCCIÓN Y ALMACENAMIENTO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES	48
3.1. Alternativas de producción de energías renovables	50
3.2. Sistemas solares fotovoltaicos	51

3.2.1. Fundamentos físicos de las celdas solares	53
3.2.2. Ventajas de un sistema solar fotovoltaico	64
3.2.3. Variables que afectan al diseño de un sistema solar fotovoltaico	64
3.2.4. Módulo fotovoltaico	66
3.3. Diseño de un sistema solar fotovoltaico	69
3.4. Características de los elementos utilizados	71
3.4.1. Panel Módulo fotovoltaico KD235GX-LPB	71
3.4.2. Regulador de Voltaje	74
3.4.3. Inversor	75
3.4.4. Acumulador o Batería	77
CAPÍTULO 4	
4. VALORACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA	80
4.1. Análisis técnico del proyecto	81
4.1.1. Cálculo de la carga de alumbrado	82
4.1.2. Cálculo de los elementos del sistema fotovoltaico	83
4.2. Costos de los elementos	86
4.3. Análisis del consumo de energía eléctrica	88
4.4. Flujo de caja	92
CONCLUSIONES	95
RECOMENDACIONES	96
BIBLIOGRAFÍA	97

ABREVIATURAS

LETRAS MAYÚSCULAS

A:	Amperios
AC:	Alternating Current, corriente alterna
Ah:	Amperios hora
ANSI:	American National Standard Institute
BCI:	Batibus Club International
CCC:	China Compulsory Certification
CE:	Conformidad Europea
CEBus:	Consumer Electronic Bus
CRI:	Índice de Rendimiento Cromático, Colour Rendering Index
CSMA-CA:	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance, Método de acceso múltiple por detección de portadora con anulación de colisiones
DAI:	Lámparas de Descarga de Alta Intensidad
DC:	Direct Current, corriente directa
EHS:	European Home System
EHSA:	European Home System Association
EIB:	Bus de Instalación Europeo, European Installation Bus
EIBA:	European Installation Bus Association
EJ:	Exa Joules
FCC:	Federal Communications Commission

HP:	Horse Power
Hz:	Hertz
I:	Corriente
IEM:	Lámparas de Inducción Electromagnética
IEM-E:	Lámparas de Inducción Electromagnética Externas
IEM-I:	Lámparas de Inducción Electromagnética Internas
IL:	Corriente generada por la luz
IR:	Infrarrojo
KETI:	Korea Electric Testing Institute
KHz:	Kilohertz
Km/h:	Kilómetro por hora
KW:	Kilovatio, Kilowatt
KWh	Kilovatio hora
KNX:	Konnex
LED:	Diodo Emisor de Luz, Light Emitting Diode
LVD	Lámpara de Inducción Magnética
Lm:	Lúmens
Lon Works:	Local Operating Network
MHz:	Megahertz
MIDUVI:	Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda
OSHA:	Occupational Safety and Health Administration
OSI:	Open System Interconnection, modelo de interconexión de sistemas abiertos

P:	Potencia
PC:	Computador personal, Personal Computer
Plm	Pupil lumen, Flujo luminoso de pupila.
RAM:	Random Access Memory, Memoria de acceso aleatorio
RF:	Radiofrecuencia
ROM:	Read Only Memory, Memoria de sólo lectura
SMVLV:	Salarios Mínimos Vitales Legales Vigentes
SON:	Standards Organisation of Nigeria
TIR:	Tasa Interna de Retorno
UL:	Underwriters Laboratories
UV:	Ultravioleta
V:	Voltios, Voltaje
VIS:	Vivienda de Interés Social
VAN:	Valor Actual Neto
V/cm:	Voltios por centímetro
W:	Vatio, Watts
W/m ² :	Vatios por metro cuadrado

LETRAS MINÚSCULAS

bps:	bits por segundo
cm:	centímetro
d.c.:	después de Cristo
h:	hora
mA/cm ² :	miliamperios por centímetro cuadrado
mg:	miligramo
min:	minuto
ms:	milisegundo
m/s:	metros por segundo
nm:	nanómetro
seg:	segundo

SIMBOLOGÍA

$^{\circ}\text{C}$:	Grados Celcius
Cd:	Cadmio
FF:	Factor de llenado
Ge:	Germanio
$I_{\text{máx}}$	Corriente máxima de La carga de alumbrado
$I_{\text{máxreg}}$	Corriente máxima del regulador
I_{mp} :	Punto de corriente a maxima potencia
I_{sc} :	Corriente de corto circuito
$^{\circ}\text{K}$:	Grados Kelvin
η :	Eficiencia
P_{LVD}	Potencia de La lámpara de inducción requerida
S:	Azufre
Si:	Silicio
V_{mp} :	Punto de voltaje a máxima potencia
V_{OC} :	Voltaje en circuito abierto

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1. Lámpara de Inducción Interna
- Figura 2. Lámpara de Inducción Externa
- Figura 3. Aplicaciones de la domótica
- Figura 4. Gestión y control de la vivienda por medio de la domótica
- Figura 5. Dispositivos de un sistema domótico
- Figura 6. Arquitectura centralizada
- Figura 7. Arquitectura descentralizada
- Figura 8. Arquitectura distribuida
- Figura 9. Tecnología Batibus y EIB
- Figura 10. Tecnología Konnex
- Figura 11. Tecnología LonWorks
- Figura 12. Tecnología X-10
- Figura 13. Relación entre los pulsos y el punto cero de la corriente alterna
- Figura 14. Trama de X-10
- Figura 15. Estructura de un sistema domótico X-10
- Figura 16. Módulo de lámpara XTP130803
- Figura 17. Módulo de casquillo de lámpara XTP130810
- Figura 18. Interruptores y enchufes con micromódulos X-10
- Figura 19. Micromódulo aparato unidireccional XTP130408
- Figura 20. Controlador receptor IR/RF XTR040804
- Figura 21. Planta Baja
- Figura 22. Planta Alta

- Figura 23. El Sol como mayor fuente de energía renovable
- Figura 24. Aprovechamiento de la energía solar
- Figura 25. Celdas solares
- Figura 26. Representación esquemática del diagrama de bandas de un semiconductor
- Figura 27. Representación esquemática del movimiento de electrones y huecos libres bajo la acción de un potencial aplicado.
- Figura 28. Estructura de una celda solar de silicio
- Figura 29. Dependencia I-V de una celda solar en oscuridad y bajo iluminación
- Figura 30. Diferentes inclinaciones del panel dependiendo de la estación
- Figura 31. Instalación solar integrada en tejadas de viviendas
- Figura 32. Sistema solar fotovoltaico
- Figura 33. Intensidad vs Voltaje a varias temperaturas de la celda
- Figura 34. Intensidad vs Voltaje a varios niveles de irradiancia.
- Figura 35. Regulador de voltaje ISOLER 10 Digital
- Figura 36. ISOVERTER 700/12V
- Figura 37. Bateria Hoppecke Energy 12V 250Ah
- Figura 38. Curva de profundidad de descarga y tiempo de vida en ciclos

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Comparación de características entre lámparas de inducción y las de otro tipo
Tabla 2.	Códigos de Casa
Tabla 3.	Códigos de Llave
Tabla 4.	Dimensiones de las estancias de la vivienda
Tabla 5.	Especificaciones del módulo fotovoltaico
Tabla 6.	Alarmas y Protecciones del regulador
Tabla 7.	Características Funcionales del regulador
Tabla 8.	Características físicas y eléctricas del inversor
Tabla 9.	Cuadro de cargas de alumbrado para la vivienda
Tabla 10.	Costos de elementos domóticos y luminarias
Tabla 11.	Costos de los elementos del Sistema de Energías Renovables
Tabla 12.	Carga total de la vivienda para cálculo del precio del KWh
Tabla 13.	Cargos Tarifarios del Sector Residencial
Tabla 14.	Cantidad de lámparas incandescentes para reemplazar en tiempo del proyecto
Tabla 15.	Flujo de caja para 1 vivienda
Tabla 16.	Tabla de radiación solar promedio para diferentes inclinaciones

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el avance tecnológico ha obligado a la humanidad a requerir más recursos y por ende esto ha desembocado en el mayor consumo de energía. El uso de los combustibles fósiles ha llevado al calentamiento global debido a la generación de gases de efecto invernadero.

Debido al perjuicio causado a la naturaleza se ha hecho conciencia para reducir estas emisiones y a partir del Protocolo de Kioto los países en desarrollo han gestionado el uso de las energías renovables por medio de la utilización de fuentes de energía no convencionales como el sol, viento, mareas, etc.

En nuestro país estos recursos no han sido aprovechados en todo su potencial, sin embargo, ya se encuentran enrumados algunos proyectos eólicos como el de Galápagos (ya implementado) y Loja recientemente aprobado. Se plantea entonces la expectativa de implementar por medio de estos recursos la optimización de la generación de energía para el consumo a nivel residencial, comercial e industrial.

Para el consumo eficiente de la energía se han desarrollado también sistemas de control y monitoreo inteligente que por medio del uso de controladores, sensores y actuadores gestionar el uso de luminarias y demás equipos eléctricos.

El presente proyecto está dirigido a Viviendas de Interés Social que son adquiridas por personas de escasos recursos económicos con la ayuda de organismos del estado ecuatoriano, como es el caso del MIDUVI. La idea inicial es equipar éstas viviendas con el sistema de control de un alumbrado más eficiente y el sistema de generación eléctrica aprovechando la energía solar. Así, las personas que adquieran éstas viviendas tendrían la ventaja de poder ahorrar en consumo eléctrico y con este dinero poder seguir pagando la inversión.

Como proyecto piloto, las cargas que se alimentarán serán sólo las de alumbrado pero queda la opción de implementarlo para toda la carga eléctrica de la vivienda, buscando siempre la mejor alternativa para el adquiriente.

Cabe mencionar que este proyecto no sería viable en sectores donde pase la mayor parte del día nublado, puesto que no se podría aprovechar al máximo los equipos adquiridos.

CAPÍTULO 1

1. LÁMPARAS DE INDUCCIÓN MAGNÉTICA

1.1. Generalidades

Las Lámparas de Inducción Electromagnética (IEM) es un nuevo concepto de muy alta tecnología para el ahorro de energía en la iluminación, que se basa en los principios de gas de descarga de las lámparas fluorescentes y de inducción electromagnética de alta frecuencia.

Este tipo de lámparas, a diferencia de las otras, no tiene electrodos ni filamentos que limiten su vida útil, por lo que nos pueden dar alrededor de 100000 horas de luz de alta calidad. La vida útil de las lámparas de IEM se determina sólo por el nivel de calidad, el diseño de los circuitos y demás componentes electrónicos.

1.2. Clasificación de las lámparas de inducción.

- **Lámpara de Inducción Electromagnética *Interna*** (IEM-I) de alta frecuencia (sin electrodos). Frecuencia de operación: 2.65 MHz.

- **Lámpara de Inducción Electromagnética *Externa*** (IEM-E) de baja frecuencia (sin electrodos). Frecuencia de operación: 2.50 kHz.

1.3. Principio de funcionamiento.

1.3.1. Principio de funcionamiento de las IEM-I

La Lámpara de IEM Interna de alta frecuencia, está compuesta por un bulbo, una antena y una fuente de poder (alimentación). Después de la llegada de energía a la fuente de poder, el generador de alta frecuencia que posee, envía un voltaje constante con 2.65MHz hacia la antena que está instalada dentro del bulbo y conectada a un ballast electrónico de la lámpara a través de un cable de alta frecuencia. La antena crea un fuerte campo magnético estático dentro del bulbo, generando una reacción e ionización del gas que se encuentra al vacío dentro de las 2 paredes del bulbo, formando un plasma. Cuando los átomos de plasma reaccionan, la energía obtenida anteriormente se irradia en forma de 253.7nm de radiación ultravioleta, cumpliendo con el proceso de transformación de la energía. Entonces, el fósforo tricolor que posee el bulbo en su superficie interna, será estimulado lo que permitirá emitir una luz visible.

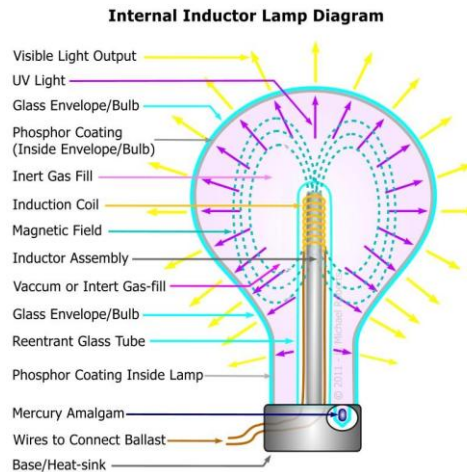


Figura 1.- Lámpara de Inducción Interna

En cuanto al diseño de la fuente de poder y gracias a que su factor de potencia llega a niveles mayores de 0,98 el generador de alta frecuencia puede enviar una tensión constante y una alta frecuencia constante cuando la lámpara está encendida. Así que, aunque la tensión de entrada de la fuente de alimentación fluctúe dentro de cierto rango (170V – 270V), el brillo de la lámpara y su luminosidad no va a cambiar.

1.3.2. Principio de funcionamiento de las IEM-E

La Lámpara de IEM Externa de baja frecuencia, está compuesta por un bulbo, una antena de doble poder y una fuente de poder (alimentación). Después de la llegada de energía a la fuente de poder, el generador de alta frecuencia envía un voltaje constante hacia los 2 anillos metálicos, a través del un cable de alta frecuencia. Los anillos, son los encargados

de producir el campo magnético alrededor del tubo de vidrio. En otras palabras, el acoplador de energía (anillos metálicos), que se instalan en el exterior del bulbo y conectado con el ballast electrónico de la lámpara a través del cable de alta frecuencia, va a crear un fuerte campo magnético estático en el espacio de descarga de la cáscara de cristal. Así, la ruta circular del campo magnético, motivado por el bucle, forma un circuito cerrado, lo que genera la aceleración de los electrones libres.

Entonces, estos electrones libres que chocan con los átomos de mercurio, permiten que el gas que se encuentra al vacío dentro del bulbo genere una reacción e ionización del mismo, formando un plasma. Cuando los átomos de plasma reaccionan, la energía obtenida anteriormente se irradia en forma de 253.7nm de radiación ultravioleta, cumpliendo con el proceso de transformación de la energía. Entonces, el fósforo tricolor que posee el bulbo en su superficie interna, será estimulado lo que permitirá emitir una luz visible. ^[1]

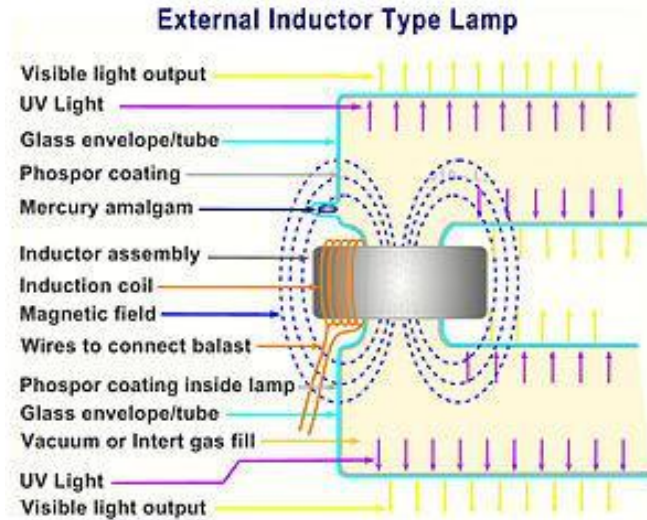


Figura 2.- Lámpara de Inducción Externa

1.4. Características técnicas de las lámparas de inducción

Las lámparas de inducción presentan las siguientes características técnicas:

- Alcanzan una vida útil de hasta 100,000 horas. Es decir, 100 veces lo que una lámpara incandescente y el doble que una luminaria LED.
- Uso a largo plazo, sin mantenimiento.
- Factor de potencia mayor a 0.95
- Alta eficiencia lumínica. Eficiencia tradicional: 80 – 90 Lm/W y Eficacia fotópica: 150 pupil lúmens/W.
- Alto índice de rendimiento cromático, CRI > 80
- Consumen entre 40% y 60% menos energía que las lámparas convencionales.

- Frecuencia de trabajo: 230 kHz.
- Flujo luminoso constante contra variaciones de tensión.
- Luz suaves sin parpadeos ni deslumbramientos (efecto estroboscópico).
- Respetuosas con el medio ambiente. Los componentes utilizados son 100% reciclables, excepto el mercurio que utilizan, pero que no supera los 0.25 mg, muy inferior al de las lámparas fluorescentes u otras lámparas como las de descarga de vapor de mercurio.
- El contenido de armónicos es menor al 7%.
- Arranque instantáneo menor a 400 ms. Sin tiempo de espera para el precalentamiento de la lámpara. Pueden encender a bajas temperaturas de hasta -40°C.
- Temperatura de funcionamiento baja, menor de 80°C, reduciendo los costes de aire acondicionado.
- Baja depreciación de la luz, 5% a 2000 horas y 30% a las 60000 horas.

Con estas características, puede beneficiar a los clientes en los siguientes factores: eficiencia energética, ahorro energético, ahorro en el mantenimiento, reducción en costo de cambiar las lámparas, etc.

Las lámparas de inducción cumplen las normas internacionales, por ejemplo: CCC, UL, CE, FCC, SON, KETI, etc. Sobre éstas hablaremos más adelante.

Los variados tipos y series de lámparas de inducción satisfacen las necesidades tanto comercial, industrial, doméstica o pública, tanto en interior como en exterior. La lámpara de inducción es la alternativa óptima a las lámparas incandescentes.

1.4.1. Normas internacionales que cumplen las lámparas de inducción

Entre las diferentes normas que cumplen las lámparas de inducción podemos citar las siguientes:

- **CCC:** El certificado CCC (China Compulsory Certification) es el certificado chino de obligado cumplimiento para diferentes grupos de productos, en particular productos electrónicos y maquinas. Esta certificación solo afecta a determinados productos y se introdujo por motivo de directrices y leyes en la República Popular de China en 2002.
- **UL:** Underwriters Laboratories es un organismo de certificación de productos eléctricos que está desarrollando estándares de seguridad para productos de iluminación en los EEUU.
- **CE:** La marca CE es una marca europea obligatoria para ciertos grupos de productos para indicar la conformidad con los requisitos esenciales de seguridad y de salud

establecidos en las Directivas Europeas. El marcado "CE" no es una marca de calidad. Se refiere a la seguridad en lugar de a la calidad de un producto. Indica la conformidad obligatoria con los requisitos de seguridad europeos.

- **FCC:** Es una agencia estatal independiente de Estados Unidos, bajo responsabilidad directa del Congreso. Fue creada en 1934 con la Ley de Comunicaciones y es la encargada de la regulación (incluyendo censura) de telecomunicaciones interestatales e internacionales por radio, televisión, redes inalámbricas, satélite y cable.
- **SON:** El estándar de la Organización de Nigeria es el único órgano legal que recae la responsabilidad de normalizar y regular la calidad de todos los productos en Nigeria.
- **KETI:** La Korea Electric Testing Institute es una organización dedicada a mejorar la seguridad y la calidad de los productos electrónicos. La compañía ha acumulado hasta la fecha y la tecnología de última generación equipados con instalaciones de alta capacidad y las propiedades, desde su creación en 1970 como Oficial Nacional de Profesionales Instituto de Ensayo de Investigación. KETI ha estado construyendo relaciones estrechas con los organismos de certificación en el extranjero.

1.4.2. Ventajas de las lámparas de inducción

- Larga duración. Entre 65,000 y 100,000 horas dependiendo del modelo.
- Alta eficiencia de entre 62 y 87 lúmenes por watt.
- Alto factor de potencia debido a las bajas pérdidas en los balastos electrónicos que son 98% eficientes.
- Mínima depreciación de lúmenes (baja intensidad luminosa con el tiempo) comparada con otros tipos de lámparas debido a que no existe la evaporación del filamento ni la deflexión.
- Encendido y reencendido instantáneos, a diferencia de las lámparas convencionales.
- Amigables con el ambiente ya que utilizan menos energía y generalmente utilizan menos mercurio por hora de operación. El mercurio se encuentra en forma sólida y puede recuperarse fácilmente al final de la vida de la lámpara.
- Proporcionan una excelente interpretación del color (CRI mayor a 80) contra DAI (CRI de 22 para sodio y 70 para haluro metálico).

1.4.3. Desventajas de las lámparas de inducción

- Alto costo inicial (más de 10 veces el costo de una DAI convencional)
- Actualmente limitadas en potencia.
- Físicamente más grandes que las lámparas DAI, lo cual las hace más apropiadas para luminarias grandes.
- Una variedad limitada.
- Requieren la compra de accesorios necesarios para reemplazar lámparas de casa.
- Dañinas para el ambiente y listadas como de riesgo personal por la OSHA debido al contenido de mercurio (los protocolos se establecen por OSHA en el evento de rompimiento del bulbo), deben desecharse de manera apropiada, desecho especial es más costoso y le genera un costo al consumidor.

1.5. Comparación con otras fuentes de luz

En la tabla que se muestra a continuación se comparan las características de las lámparas de inducción con las de otros 4 tipos de luminarias:

Categoría	Inducción magnética	Halogenuros metálicos	Vapor de sodio alta presión	Vapor de mercurio alta presión	Fluorescentes compactas
Vida útil	Compacta: 60000 h Separada: 100000 h	6000 – 20000 h	24000 h (debido a la temperatura del electrodo 1200°C)	3000 – 6000 h (debido a la temperatura del electrodo 1200°C))	8000 – 10000 h
Ahorro de energía	Excelente	Menor	Menor	Menor	Bueno
Eficiencia lumínica	150 Plm/W 80 Lm/W	110 Plm/W 75 Lm/W	90 Plm/W 120 Lm/W	90 Plm/W 120 Lm/W	85 Plm/W 50 Lm/W
Degradación	5% a 2000 h	40% a 2000 h	30% a 2000 h	25% a 2000 h	30% a 2000 h
Temperatura funcionamiento	< 80°C	> 300°C	> 350°C	> 300°C	> 100°C
CRI	> 80	65 - 90	< 69	< 69	50 - 80
Temperatura de color	2700 – 6500°K	3000 – 5600°K	1950 – 2500°K	3000 – 4500°K	2700 – 6500°K
Encendido	Instantáneo	5 – 10 min	5 – 10 min	5 – 10 min	< 3 seg
Reencendido	Instantáneo	10 – 15 min	10 – 15 min	10 – 15 min	< 1 seg
Parpadeo	No	Sí	Sí	Sí	No siempre
Brillo	No	Sí	Sí	Sí	Sí
Ruido	No	Sí	Sí	Sí	Sí
Ecológico	Amalgama de mercurio (estado sólido). Sustitución lámpara cada 10 años	Mercurio y plomo, alto mantenimiento	Mercurio y plomo, alto mantenimiento	Alto mercurio y mantenimiento	Alto mercurio y mantenimiento
Factor de potencia	> 0.98	0.4 – 0.6	0.44	0.44 – 0.67	0.35 – 0.95

Tabla 1.- Comparación de características entre lámparas de inducción y las de otro tipo

CAPÍTULO 2

2. ESTADO DE LA TECNOLOGÍA

Con todo el avance tecnológico actual, disponer de una vivienda capaz de ofrecer la seguridad, el confort, a más de un ahorro energético, que permitan alcanzar la calidad de vida deseada ya no es difícil. Al contrario, esto es posible a través de la domótica. Y si tomamos en cuenta el amplio desarrollo de las telecomunicaciones, la domótica también nos permite estar conectados a nuestra vivienda en todo momento y desde cualquier lugar. Con una simple llamada telefónica, un mensaje de texto o a través del internet lo podemos lograr. Un sistema domótico nos ofrece múltiples aplicaciones que serán de gran utilidad en el día a día y aportarán una mayor comodidad a nuestras vidas.

Alrededor de las dos terceras partes del consumo medio de electricidad en una vivienda se atribuye a los sistemas de aire acondicionado y calefacción, a la ducha eléctrica y a la iluminación. La domótica puede controlar todos ellos de manera inteligente y por lo tanto eficiente.

Detalles como por ejemplo apagar las luces cuando nos vamos a dormir o cuando salimos de casa nos permiten ahorrar hasta un 30% del consumo eléctrico, traduciéndose además en un mayor tiempo de vida de las luminarias. El uso eficaz de la energía no solo que nos ayuda a preservar el medio ambiente, sino que además repercute en un menor gasto de dinero que nos permitirá amortizar la inversión realizada.

2.1. Introducción a la domótica

Podemos decir que la domótica es la aplicación de las nuevas tecnologías informáticas, electrónicas y de telecomunicaciones para poder realizar el control y monitoreo de todo tipo de aparatos o elementos que encontramos en una vivienda o edificio, con la ayuda de la electricidad, y de dispositivos electrónicos, informáticos y de telecomunicaciones.

Un término que también se usa es el de “hogar inteligente”. Esto se debe a que la palabra domótica se forma del latín “domus” que significa casa y la palabra “automática” con lo que estamos haciendo referencia a una casa automática o inteligente. En ésta, los dispositivos están integrados y automatizados por medio de una red, y sus estados pueden ser modificados con la ayuda de elementos internos o externos. Por ejemplo, una lámpara que se enciende y/o apaga a horas determinadas o desde lugares lejanos a la vivienda.

2.2. Características del hogar inteligente

Las principales características de todo hogar inteligente son: integración, interrelación, facilidad de uso, control remoto o manejo a distancia, fiabilidad, y capacidad de programación y actualización.

2.3. Aplicaciones de la domótica

Las aplicaciones típicas de la domóticas son las que nombraremos a continuación, aunque nosotros trabajaremos sólo sobre la primera de ellas:

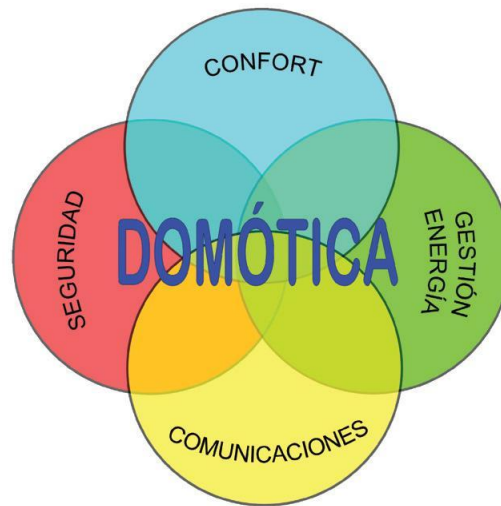


Figura 3.- Aplicaciones de la domótica

1. **Ahorro energético:** Existen varias maneras de ahorrar energía en nuestro hogar u oficina. En muchos casos no es necesario sustituir los aparatos o dispositivos por otros de mejor rendimiento sino que basta con una gestión más eficiente de los mismos.

- Climatización: programación y zonificación.
 - Gestión eléctrica:
 - i. Racionamiento en las cargas eléctricas: desconexión de equipos de uso no prioritario en función del consumo eléctrico en un momento dado.
 - ii. Gestión de tarifas: derivando el funcionamiento de algunos aparatos a horas de tarifa reducida.
 - Uso de energías renovables.
2. **Confort:** Nos referimos a todas las actividades que se puedan realizar para mejorar el bienestar y comodidad en una vivienda y pueden ser de carácter activo, pasivo o mixto.
- Iluminación:
 - i. Apagado general de todas las luces de la vivienda.
 - ii. Automatización del encendido/apagado de cada punto de luz.
 - iii. Regulación de la iluminación variando el nivel de luminosidad.
 - Automatización de todos los distintos sistemas / instalaciones / equipos dotándolos de control eficiente y de fácil manejo.
 - Control por medio de Internet.

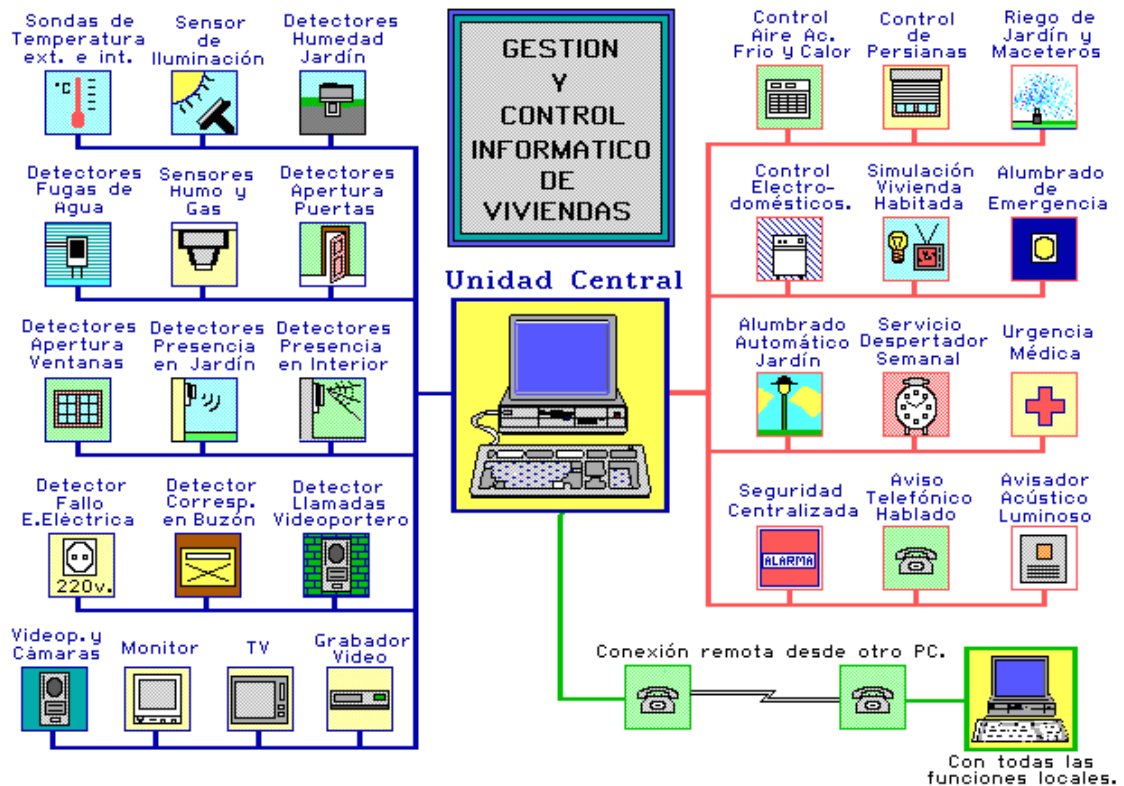


Figura 4.- Gestión y control de la vivienda por medio de la domótica

3. **Seguridad:** Tiene como función primordial advertir de la presencia de extraños y protección de los bienes de una vivienda o protección personal.

- Simulación de presencia.
- Detección de incendio, de fugas de gas o de agua, detección de intrusos, concentración de monóxido de carbono en garajes, ausencia de energía eléctrica.
- Alerta médica, teleasistencia.
- Cerramiento y apertura de persianas a determinada hora.
- Acceso a cámaras IP.

4. **Comunicaciones:** Toda la infraestructura o sistemas de comunicaciones que se encuentran en el hogar.

- Disponibilidad de contralar desde cualquier punto tanto externo como interno, control remoto desde Internet, PC, mandos inalámbricos, etc.
- Transmisión de alarmas.
- Telecomunicaciones.

2.4. Dispositivos de un sistema domótico

Los sistemas domóticos están formados por uno o varios elementos.

Estos elementos o dispositivos son:

- **Controlador:** Es el dispositivo que controla o administra el sistema domótico. Mediante el uso de un software puede Interactuar con el usuario final usando una pantalla, sonido, una señal visual, etc.
- **Actuador:** Dispositivo de salida encargado de llevar a cabo las tareas asignadas por el controlador, como: encendido, apagado, apertura o cierre, aumento o disminución, etc.
- **Sensor:** es aquel que monitorea de manera permanente los cambios o alteraciones sufridas en ciertos estados con el fin de enviar estos eventos al controlador.



Figura 5.- Dispositivos de un sistema domótico

2.5. Arquitectura de un sistema domótico.

Especifica el modo en que los diferentes elementos de control del sistema se van a ubicar. Existen dos arquitecturas básicas: la arquitectura centralizada y la distribuida

Arquitectura centralizada: en esta arquitectura existe un controlador principal al cual van conectados todos los dispositivos que quieran ser monitoreados o manejados, como por ejemplo las puertas de la casa, las ventanas, las luces, la calefacción, un sistema de alarma, etc.

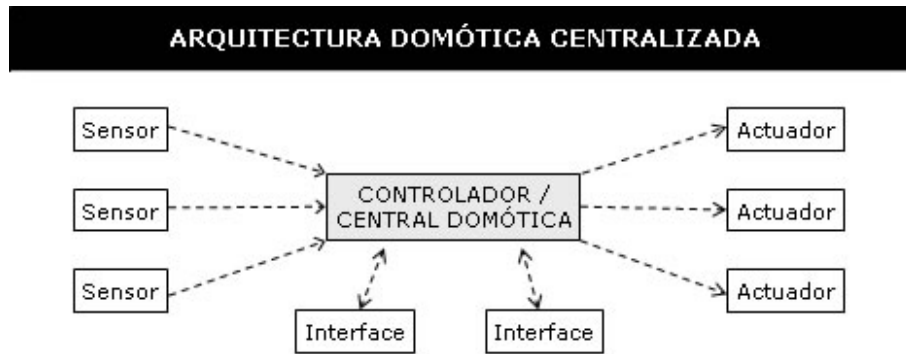


Figura 6.- Arquitectura centralizada

Cada uno de los dispositivos envía una señal al controlador principal, quien se encargará de procesarla y luego enviar las órdenes correspondientes para que se lleven a cabo.

Arquitectura descentralizada: En un sistema de domótica de arquitectura descentralizada, hay varios controladores, interconectados por un bus, que envía información entre ellos y a los actuadores e interfaces conectados a los controladores, según el programa, la configuración y la información que recibe de los sensores, sistemas interconectados y usuarios.

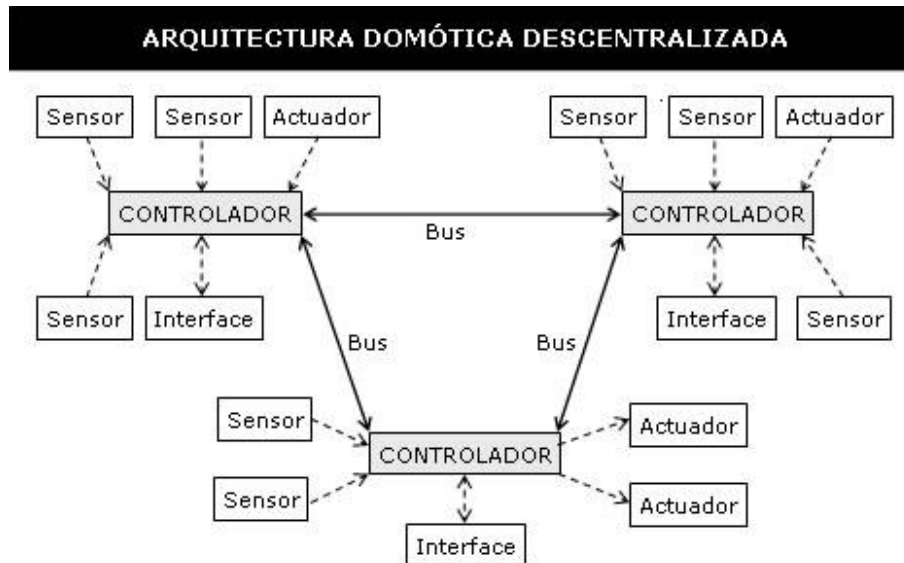


Figura 7.- Arquitectura descentralizada

Arquitectura distribuida: En este tipo de arquitectura no existe un solo controlador principal, sino varios distribuidos, o sea, cada dispositivo puede tener su propio controlador y la forma de comunicarse es a través de un bus de comunicaciones como se muestra en la figura 8.

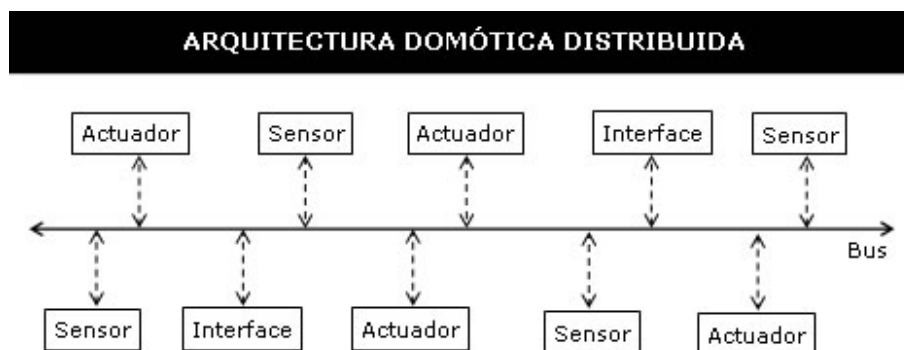


Figura 8.- Arquitectura distribuida

Arquitectura híbrida o mixta: en un sistema de domótica de arquitectura híbrida se combinan las arquitecturas de los sistemas centralizadas, descentralizadas y distribuidas. A la vez que puede disponer de un controlador central o varios controladores descentralizados, los dispositivos de interfaces, sensores y actuadores pueden también ser controladores (como en un sistema distribuido) y procesar la información según el programa, la configuración, la información que capta por sí mismo, y tanto actuar como enviarla a otros dispositivos de la red, sin que necesariamente pase por otro controlador.

2.6. Principales Tecnologías y Protocolos

Luego de establecer una arquitectura para el sistema se puede definir el protocolo de comunicaciones, es decir, el lenguaje con el que un dispositivo se entenderá con otro. Entre los más destacados están:

- X-10
- EIB
- Lonworks – LonTalk
- Cebus
- Batibus
- Konnex

2.6.1. Tecnología Batibus

Fue uno de los primeros buses de campo del mercado. Es un estándar de facto europeo desarrollado por Merlin Gerin, AIRELEC, EDF y LANDIS & GYR, que formaron el BCI (Batibus Club International). Se trata de un bus totalmente abierto, donde cualquier empresa puede desarrollarse su acceso compatible. Posteriormente el dispositivo tiene que ser certificado por el BCI que garantiza la conformidad a la norma. Se prevé una convergencia de Batibus con EIB y EHS, denominada Konnex.



Figura 9.- Tecnologías Batibus y EIB

Sus características son las siguientes:

- Es un bus simple de una sola línea que permite la intercomunicación entre todos los módulos en sistemas de control de edificios como: calor, aire acondicionado, luces, aperturas y cierres.
- El medio físico utilizado es par trenzado, aunque se puede utilizar cable telefónico o eléctrico.

- El protocolo de comunicación está basado en CSMA-CA, de forma que cada elemento está autorizado a comunicar cuando lo desee siempre que la línea esté disponible.
- Permite cualquier topología de red: anillo, estrella, árbol, etc.
- El cable también proporciona energía a los sensores.
- La dirección de los módulos se identifica al instalarlos.

2.6.2. Tecnología EIB

EIB (European Installation Bus) es un estándar orientado a la gestión técnica de edificios. Está distribuido en España, entre otras por las empresas ABB-Niessen, Foresis, Guijarro Hermanos, Jung, Siemens, Temper y Hager.

Se trata de un sistema por bus de datos, considerado como un estándar europeo. No es por tanto un sistema propietario. Es un sistema descentralizado, la programación de los elementos se realiza de forma individual y a través de PC. Cada componente tiene incorporado un controlador independiente.

2.6.3. Tecnología Konnex

El Konnex es la iniciativa de 3 asociaciones europeas, EIBA (European Installation Bus Association), BCI (Batibus Club International) y EHSA (European Home System Association), con el objeto de crear un único estándar europeo para la

automatización de los edificios. Los objetivos de esta iniciativa, con el nombre de “Convergencia”, son:

- Crear un único estándar para la domótica e inmótica que cubra todas las necesidades y los requisitos de las instalaciones profesionales y residenciales de ámbito europeo.
- Aumentar la presencia de estos buses domóticos en áreas como la climatización.



Figura 10.- Konnex

- Mejorar las prestaciones de los diversos medios físicos de comunicación incidiendo en la tecnología de radio frecuencia.
- Introducir nuevos modos de funcionamiento que permitan aplicar una filosofía Plug & Play a muchos de los dispositivos típicos de un edificio.
- Contactar con empresas proveedoras de servicios, como las de telecomunicaciones y las eléctricas, con el objeto de potenciar las instalaciones de telegestión técnica de los edificios.

En resumen, tomando como punto de partida los sistemas EIB, EHS y Batibus, se trata de crear un único estándar europeo que sea capaz de competir en calidad, prestaciones y precios con otros sistemas norteamericanos como el LonWorks o CEBus. Actualmente la asociación Konnex está terminando las especificaciones del nuevo estándar, el cual será compatible con los productos EIB instalados. Se puede afirmar que el nuevo estándar tendrá lo mejor del EIB, del EHS y del Batibus y que aumentará considerablemente la oferta de productos para el mercado residencial, el cual ha sido, hasta la fecha, la asignatura de este tipo de tecnologías.

2.6.4. Tecnología Lon Works

El estándar Lon Works (Local Operating Network) fue definido por Echelon, y es reconocido por la EIA (Electronic Industries Association) como el EIA-709. Es similar al EIB pero mucho más difundido en EEUU que en Europa. Se basa en la utilización del protocolo LonTalk (ANSI/EIA 709) para redes de control, que implementan las 7 capas del modelo OSI.

En esencia se trata de un sistema de control distribuido, basado en un conjunto de nodos independientes, interconectados entre sí y cuya red está formada por nodos. Cada uno de ellos disponen de un Neuron Chip, un circuito integrado que cuenta

con tres procesadores. Memoria de lectura-escritura RAM, memoria de sólo lectura ROM y subsistemas de comunicaciones y entrada y salida. Se programa con el lenguaje Neuron C, basado en el estándar ANSI C. Es independiente del medio de transmisión, aunque el más utilizado es el par trenzado o Link Power.



Figura 11.- LonWorks

La comunicación se realiza mediante paquetes. Cada dispositivo dispone de una dirección. Cada dispositivo tiene un transceptor para comunicarse físicamente a la red, que es la interfaz de comunicación y está disponible para par trenzado, línea eléctrica, radio frecuencia, fibra óptica, etc.

2.6.5. Tecnología X-10

El protocolo X-10 es uno de los más antiguos que se están usando en aplicaciones domóticas. Líder mundial en sistemas del control del hogar. Comercializada desde 1978 en el mercado de USA. Millones de usuarios en todo el mundo y 150 millones de equipos producidos en los últimos 15 años. Es un

sistema descentralizado que utiliza como medio transmisor de mensajes la propia red eléctrica. Además no es propietario, es decir, cualquier fabricante puede producir dispositivos X-10 y ofrecerlos en un catálogo, eso sí, está obligado a usar los circuitos del fabricante escocés que diseñó esta tecnología.



Figura 12.- Tecnología X-10

La ventaja de usar el protocolo X-10 para realizar la automatización de una vivienda es que no se requiere cableado adicional para las señales de control. Además los costos de los dispositivos X-10 son bajos comparados con los de los otros sistemas y su instalación es rápida y sencilla. Por estos dos motivos principales se escoge esta tecnología para implementar nuestro proyecto.

2.7. Generalidades de la tecnología X-10

La versión original de este protocolo permitía realizar 6 funciones: encender, apagar, atenuar, iluminar, encender todo y apagar todo. Las versiones actuales permiten realizar otras 9 funciones además de las tradicionales. Entre ellas están 2 que permiten que el protocolo pueda

realizar una gran cantidad de tareas nuevas. Estos comandos permiten enviar códigos extendidos (normalmente hasta 256 códigos) que a su vez permiten enviar datos extendidos, normalmente hasta 2 bytes adicionales.

Para realizar la transmisión de datos se utilizan señales de radiofrecuencia (RF) que se inyectan a la red eléctrica, sincronizándolas con los cruces por cero de la señal de ca (60 Hz). Esta técnica se llama *control por corriente portadora* (carrier current control). Así, para transmitir un uno lógico es necesario inyectar señales de 120 kHz, dentro de los 200 μ s posteriores al cruce por cero de la señal de poder. La presencia de las señales de RF en la red debe ser de 1 ms para que el uno lógico sea válido. Un cero lógico es representado por la ausencia de las señales de radiofrecuencia.

Otra consideración importante es que en un sistema trifásico los dispositivos X-10 que se encuentren conectados en fases distintas no pueden comunicarse, a menos de que se coloque un puente de señal que permita que la señal X-10 viaje por toda la red sin importar la fase. Por este motivo es necesario que los pulsos de RF se retransmitan al $1/3$ y a los $2/3$ del semiperiodo. La ilustración de la transmisión de un uno lógico en X-10 para un sistema trifásico de 60 Hz se puede ver en la figura 13.

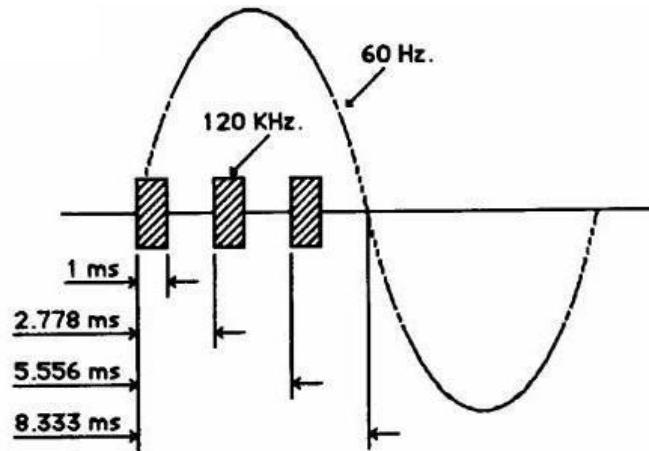


Figura 13.- Relación entre los pulsos y el punto cero de la corriente alterna

Cada medio ciclo de onda de la señal de corriente alterna es capaz de transportar un bit de información. Un mensaje completo de X-10 está compuesto por un Código de inicio (1110) seguido por un Código de Casa o módulo (letras A-P) y un Código de Llave que es el Código Numérico (1-16) o bien el Código de Función. En total se necesitan 11 ciclos de corriente alterna. Este bloque completo se transmite siempre 2 veces, separando cada 2 códigos por 3 ciclos de la corriente, excepto para funciones de regulación de la intensidad, que se transmiten de forma continua sin separación entre códigos. En el primer byte se transmite el Encabezado, el Código de Casa y el Código de Dirección y en el segundo byte se transmite el Encabezado, el Código de Casa y el Código de Función.

La repetición del Código de Casa en los dos paquetes y el envío del complemento de todos los bits, a excepción de los bits del encabezado, da cierta seguridad a la transmisión; es decir, es la única

manera de verificación de errores que posee este sistema. De lo indicado se puede deducir que un código X-10 completo se transmite en 25 ciclos de la línea de ca. Debido a que la tasa de transferencia en un sistema a 60 Hz es de 60 bps, la transmisión del código completo tarda 417 ms. Por esta razón este protocolo sólo se usa para tareas en las que la velocidad de transmisión de datos no es vital.

El código de casa fue pensado originalmente para no tener interferencias entre vecinos que utilicen este protocolo en la automatización de sus hogares. Cada vecino tomaría uno de los 16 Códigos de Casa y dentro de su hogar distribuiría los 16 Códigos de Dirección que corresponden a su Código de Casa asignado. La tabla 2 muestra los códigos de casa empleados en este protocolo.

Dirección Casa	Códigos de Casa			
	H1	H2	H4	H8
A	0	1	1	0
B	1	1	1	0
C	0	0	1	0
D	1	0	1	0
E	0	0	0	1
F	1	0	0	1
G	0	1	0	1
H	1	1	0	1
I	0	1	1	1
J	1	1	1	1
K	0	0	1	1
L	1	0	1	1
M	0	0	0	0
N	1	0	0	0
O	0	1	0	0
P	1	1	0	0

Tabla 2.- Códigos de casa

A cada unidad que exista en la casa se le asigna un Código de Casa y un código Llave (Numérico o de Función). Esta unidad sólo responderá a la unidad central cuando sus códigos de casa y llave coincidan con los de la petición. Si hay alguna unidad que tenga los mismos códigos que otra, ambas responderán al llamado.

Dirección de Unidad		Códigos llave				
		D1	D2	D4	D8	D16
1		0	1	1	0	0
2		1	1	1	0	0
3		0	0	1	0	0
4		1	0	1	0	0
5		0	0	0	1	0
6		1	0	0	1	0
7		0	1	0	1	0
8		1	1	0	1	0
9		0	1	1	1	0
10		1	1	1	1	0
11		0	0	1	1	0
12		1	0	1	1	0
13		0	0	0	0	0
14		1	0	0	0	0
15		0	1	0	0	0
16		1	1	0	0	0
Códigos de Función	Apaga toda unidad	0	0	0	0	1
	Enciende toda unidad	0	0	0	1	1
	On	0	0	1	0	1
	Off	0	0	1	1	1
	Reduce iluminación	0	1	0	0	1
	Aumenta iluminación	0	1	0	1	1
	Apaga toda luz	0	1	1	0	1
	Código extendido	0	1	1	1	1
	Petición de respuesta	1	0	0	0	1
	Notificación de respuesta	1	0	0	1	1
	Iluminación predeterminada	1	0	1	X	1
	Código extendido analógico	1	1	0	0	1
	Estado = On	1	1	0	1	1
	Estado = Off	1	1	1	0	1
	Petición de estado	1	1	1	1	1

Tabla 3.- Códigos de Llave

El Código de Llave permite las siguientes combinaciones: Las 16 primeras corresponden a la dirección del dispositivo y las otras 16 corresponden a una función que se va a ejecutar. Las direcciones de los dispositivos son identificadas por los números del 1 al 16. Existen 15 comandos diferentes dentro del protocolo X-10. La tabla 3 presenta las combinaciones posibles.

Los códigos de las tablas 2 y 3 se transmiten de forma diferente. Para transmitir un bit es necesario que haya 2 cruces por cero, o sea, un ciclo de onda. Primero se transmite el bit en el lado positivo de la onda, y en el lado negativo se transmite el bit complemento. Por ejemplo, para poder transmitir el Código de Casa "A" (0110) se debe transmitir la secuencia:

0	1	1	0	1	0	0	1
---	---	---	---	---	---	---	---

Lo que implica utilizar 4 ciclos de la línea de ca.

En otro ejemplo, para encender un módulo X-10 asignado a la casa A, unidad 2, se debe mandar el siguiente tren de datos sobre la línea eléctrica, un bit enviado por cada cruce por cero. Primero se manda la dirección 2 veces:

1110	01101001	10101001	01
Inicio	Casa A	Unidad 2	Sufijo
1110	01101001	10101001	01
Inicio	Casa A	Unidad 2	Sufijo

Después se esperan 3 ciclos de onda:

00000000

Entonces se manda el comando 2 veces:

1110	01101001	01011001	10
Inicio	Casa A	ON	Sufijo

1110	01101001	01011001	10
Inicio	Casa A	ON	Sufijo

Por último, se esperan 3 ciclos de onda para mandar otro bloque:

00000000

Hay excepciones en este método, por ejemplo, los códigos de reducir o aumentar iluminación no requieren la espera de 3 ciclos de onda entre comandos del mismo tipo; simplemente se envían consecutivamente.

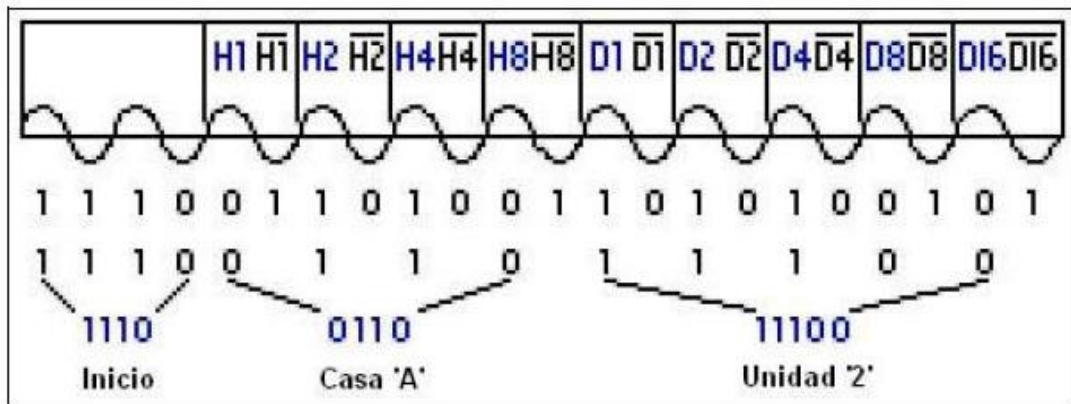


Figura 14.- Trama de X-10

2.7.1. Consideraciones para enviar códigos

X-10

No todos los comandos se envían de la misma manera, las consideraciones especiales son las siguientes:

- En el caso de que el comando sea para toda una casa (es decir, todos los dispositivos tienen el mismo Código de Casa) es suficiente con el envío de un solo byte, el cual contendrá: Encabezado, Código de Casa y Código Llave. Los comandos que se aplican a todos los dispositivos con el mismo Código de Casa son: encender todas las luces, apagar todas las luces y apagar todos los dispositivos.
- Cuando se ejecuta un código de Dim o Bright se aumenta o disminuye el voltaje de alimentación en un paso. Si se desea variar más que un solo paso se envían más comandos de Dim o Bright. Para ello se envía la dirección en el primer byte y el primer código de Dim en el segundo byte. Los 2 primeros bytes se pueden transmitir normalmente pero los siguientes comandos de Dim o Bright se envían consecutivamente, sin ninguna pausa entre los bytes. Por lo general son 20 pasos de voltaje que se pueden dar para encender o apagar totalmente un módulo.
- Para el envío de una instrucción de código extendido se envían normalmente los 2 primeros bytes, sin ninguna

pausa, se envía un byte de ocho bits el cual representa un comando distinto de los 15 comandos estándar del protocolo X-10.

- El código Petición de Respuesta sirve para buscar otros dispositivos capaces de enviar código X-10 dentro del rango de comunicación del dispositivo que lo envía. Esta petición de respuesta será contestada por cualquier otro transmisor/receptor de señales X-10 que reciba el comando Petición de Respuesta y tenga el Código de Casa recibido en dicho comando. Éste comando se responde con un comando de Notificación de Respuesta. Estos comandos permiten evitar que 2 transmisores X-10 tengan la misma Dirección de Casa e impedir que algún dispositivo de otro propietario de controladores X-10 interfiera con el funcionamiento del sistema a instalarse.
- Para una instrucción de Dim contenido en un valor predeterminado, el bit D8 es el más significativo para el nivel de luminosidad y los bits H1, H2, H4 y H8 son los menos significativos de los 5 bits que contienen la información del set point de luminosidad. Con estos 5 bits logramos 32 combinaciones distintas, pero por lo general los actuadores sólo permiten valores entre 0 y 20. Para enviar esta

instrucción el contenido del segundo byte es el único que se debe alterar.

- El código de Dato Extendido se usa para recibir información de cualquier tipo, como por ejemplo enviar pequeños archivos de eventos ocurridos durante el día desde un sensor hasta el Módulo de Control. La transmisión es normal para los 2 primeros bytes pero los siguientes serán de 8 bits y sin pausas entre ellos. Se recomienda que el primer byte adicional contenga el número de bytes de 8 bits que se van a transmitir, aunque eso depende del protocolo fijado por el programador para el envío de datos extendidos, porque el protocolo X-10 no ha normalizado esto.
- Los comandos para Petición de Estado y Reporte de Estado se usan para dispositivos con capacidad de transmisión bidireccional y sirven para monitorear el funcionamiento de los módulos X-10.

2.7.2. Estructura de un sistema X-10

La gama de componentes del sistema X-10 es bastante amplia por lo que solo nombraremos los fundamentales para el perfecto funcionamiento con un total control de una instalación básica. La figura 15 muestra la estructura de un sistema X-10.

ESTRUCTURA DEL SISTEMA X-10

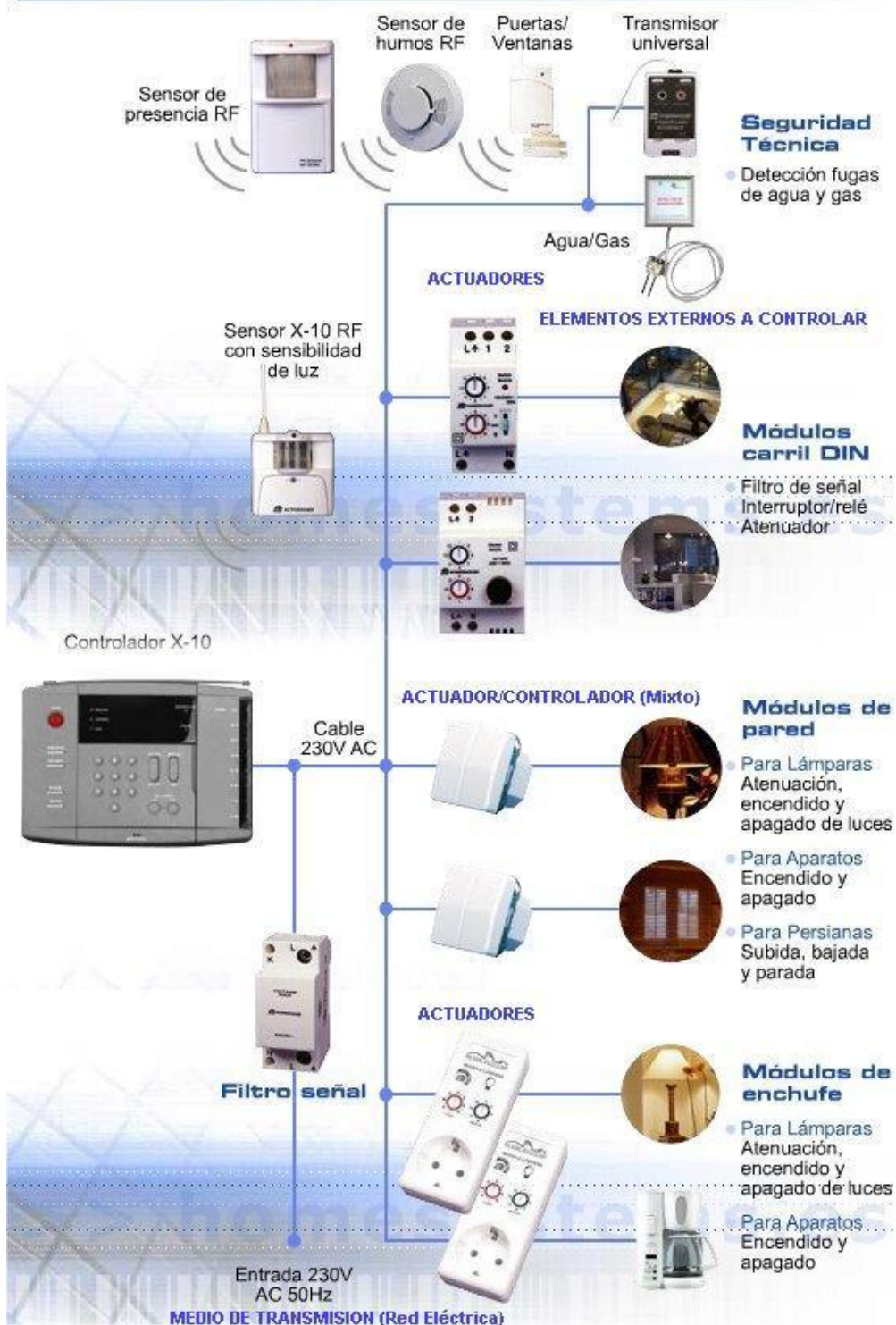


Figura 15.- Estructura de un sistema doméstico X-10

- **Filtro o acoplador de fase:** Este módulo se instala dentro del cuadro de protección eléctrica después del diferencial principal y antes de los magneto térmicos de la vivienda. Sirve para evitar que las señales X10 puedan entrar o salir de la vivienda. Las señales de transmisión de pulsos de alta frecuencia por red pueden efectuar interferencias, y también las señales de RF pueden generar interferencias; este filtro elimina dichas interferencias.
- **Programador de PC:** Va acompañado de un software en castellano que solo corre bajo Windows. Permite programar las actuaciones de los módulos X-10 existentes en la vivienda y detecta toda la información producida por los mismos. Para su instalación solo hay que enchufarlo a la red eléctrica. Las principales funciones son la programación horaria y macros (grupos de comandos encadenados que se activan únicamente cuando el programador detecta una señal X-10 definida en la macro). Una vez programado se copia la información introducida en el PC mediante una opción del software. El computador no controla al programador, por lo que no tiene que estar encendido para que este módulo funcione correctamente. Lleva una pila incorporada para que la información almacenada no se borre aunque haya un corte en el suministro eléctrico.

- **Controlador receptor IR:** Este módulo puede recibir, modular y enviar por la red eléctrica hasta 8 señales X-10. Dispone de un teclado que permite gobernar manualmente hasta un total de 128 grupos de módulos X-10 (8 por “Código de Casa”). Sus principales funciones son el encendido y apagado de receptores, regulación de intensidad luminosa, control de persianas.

- **Módulos de lámpara:** existen en 5 formatos además del formato micromódulo: de enchufe (plug & play) de empotrar en caja de mecanismos, en formato para carril DIN, para montaje en caja de registro y para colocar en casquillo de bombilla (éste último no permite regular la intensidad de la bombilla, solo tiene función de encendido y apagado).

- **Módulo de lámpara XTP130803:** El módulo de enchufe es un módulo receptor de señales X-10 que trabaja como un atenuador remoto. Permite la activación manual de la lámpara conectada, ya que detecta la actuación sobre el interruptor manipulado. Se puede utilizar en cualquier enchufe con toma de tierra de la casa, en una instalación monofásica (las más corrientes), o comunicando las distintas fases en instalaciones trifásicas mediante el Filtro/Acoplador DIN (XTP040704). El módulo soporta lámparas con consumos entre 40W y 300W. No requiere

instalación, simplemente se ajusta el código de unidad (p.e. A-3) y se anota para más tarde actuar desde cualquier controlador compatible X-10. El modulo responde al estándar X-10 las instrucciones de:

- **“All Lights On”** (Todas las Luces Encendidas) desde cualquier controlador X-10 que coincida con el Código de Casa del módulo, así como las instrucciones individuales.
- **“All Units Off”** (Todas las unidades apagadas) desde cualquier controlador X-10 que coincida con el Código de Casa del módulo.
- Así como las instrucciones individuales: **“On”** (encendido), **“Off”** (apagado), **“Bright”** (aumenta intensidad), **“Dim”** (atenúa).



Figura 16.- Módulo de lámpara XTP130803

- **Módulo de casquillo:** es un sencillo módulo X-10 que permite controlar luminarias de hasta 150W simplemente

desenroscando la luminaria de su casquillo. Intercalando el módulo conseguirá automáticamente su instalación. El módulo responde al estándar X-10 las instrucciones de:

- **“All Units Off”** (Todas las unidades apagadas) desde cualquier controlador X-10 que coincida con el Código de Casa del módulo, así como las instrucciones individuales.
- **“On”** (Encendido)
- **“Off”** (Apagado)

El módulo de casquillo no atenúa luces, es fácil de programar, configurable a cualquier código X-10 deseado.



Figura 17.- Módulo de casquillo de lámpara XTP130810

- **Micromódulos X-10:** Forman parte del sistema domótico X-10 para control de luces y aparatos. Reciben comandos de encendido, apagado y/o regulación a través de la red eléctrica por lo que no es necesario ningún cableado adicional en la vivienda. Diseñados para colocar en el fondo

de una caja para empotrado eléctrica. Convierte un enchufe convencional en un enchufe domotico controlado por X-10.

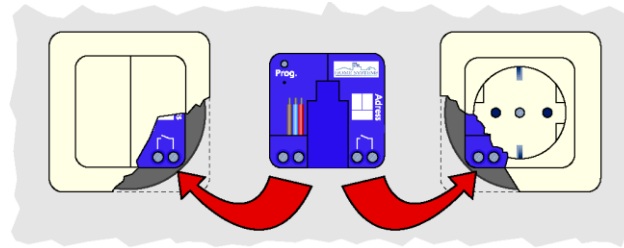


Figura 18.- Interruptores y enchufes con micromódulos X-10

- **Micromódulo Aparato Unidireccional XTP130408:** Es un módulo increíblemente pequeño con un relé incorporado. Utilizan comunicación X-10 y están diseñados para ser situados al “fondo de los cajetines de mecanismos” detrás de cualquier mecanismo de interruptor o enchufe. El módulo responde al estándar X-10 las instrucciones individuales como: “On” (encendido), “Off” (apagado), “All Lights On”, “All Lights Off”, “All Units Off” enviadas desde cualquier controlador X-10 que coincida con el Código de Casa del modulo.

El Micromódulo reconoce la acción de un pulsador o de un interruptor. Todos los cierres de contacto momentáneo o continuo deben realizarse a la Fase. Si se emplea un pulsador, el relé cambia de estado cada vez que se realiza una pulsación,

siempre y cuando el tiempo del contacto dure menos de 2 segundos.



Figura 19.- Micromódulo aparato unidireccional XTP130408

Si se emplea un conmutador, se asume que el tiempo de contacto tendrá una duración superior a 2 segundos. En este caso el relé cambia de estado al abrir el contacto (OFF) y al cerrarlo (ON). Este tipo de respuesta permitirá a la unidad realizar un control mediante “llaves conmutadas” si se dispone de dos conmutadores.

- **Controlador receptor IR/RF XTR040804:** Mediante este Controlador se puede gobernar hasta un 128 grupos de módulos manualmente (8 por código de casa). Incluye receptor de Infrarrojo para mandos universales, es compatibles con la tecnología X-10. También incluye un receptor de Radiofrecuencia para el Mando Multimedia XTR080504. Fácil funcionamiento, simplemente se enchufa a 220V.



Figura 20.- Controlador Receptor IR/RF XTR040804

2.8. Descripción de la Vivienda de Interés Social

El diseño domótico que se va a ejecutar está dirigido a una Vivienda de Interés Social (VIS) o de clase media. Este tipo de viviendas están dirigidas a las personas menos favorecidas económicamente en nuestro país y las cuales devengan menos de 4 salarios mínimos vitales legales vigentes (SMVLV). Cuenta con un subsidio de vivienda otorgado por el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI).

2.8.1. Estructura de la vivienda

La casa en consideración es una vivienda unifamiliar de interés social, que cuenta con dos plantas en las que se tienen:

- **Planta Baja:** Sala – Comedor, Cocina, Patio, Baño (para visitas) y Baño 3 (ubicado en el patio).
- **Planta Alta:** .Dormitorio 1, Baño 1, Baño 2, Dormitorio 2 y Dormitorio 3.

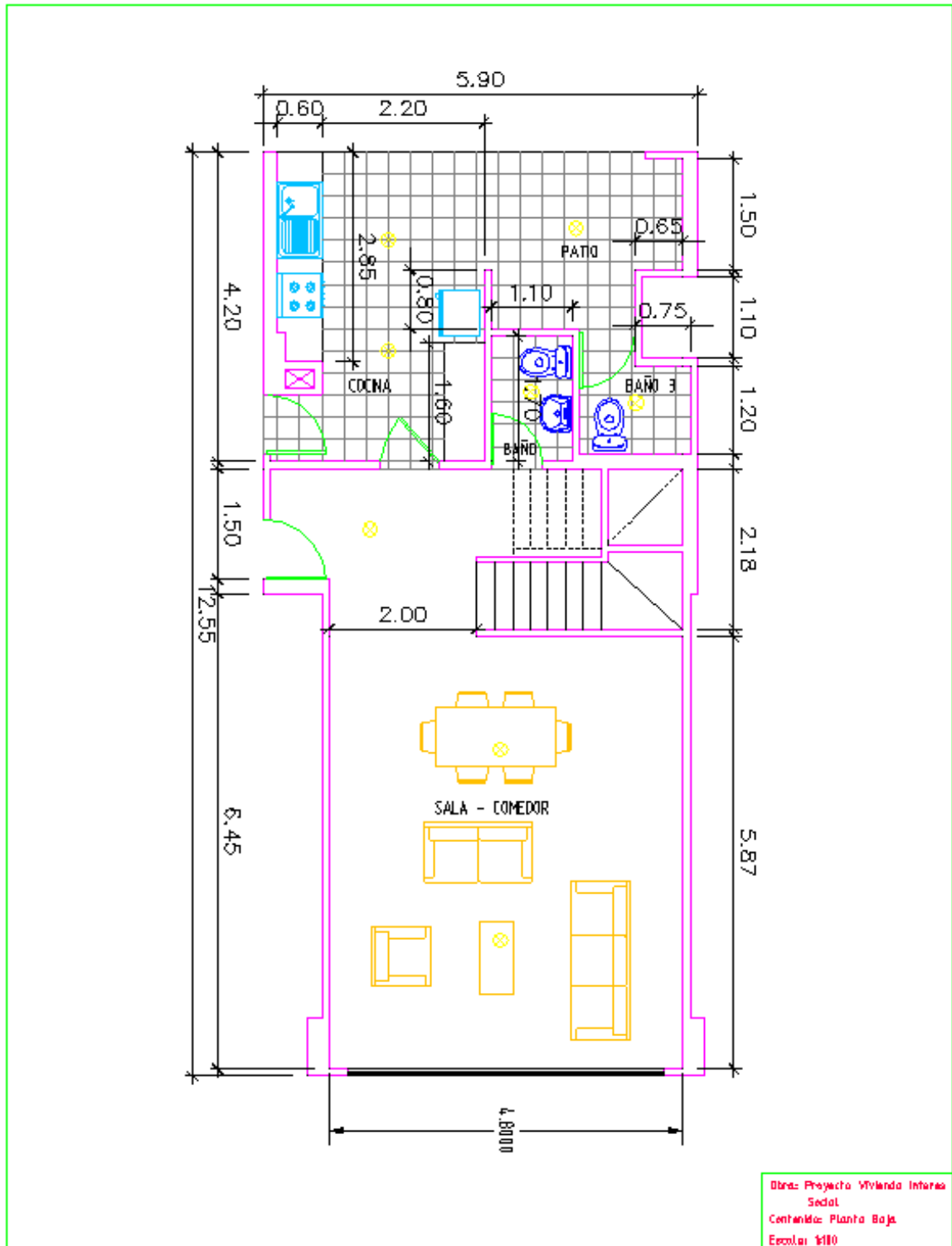


Figura 21.- Planta Baja

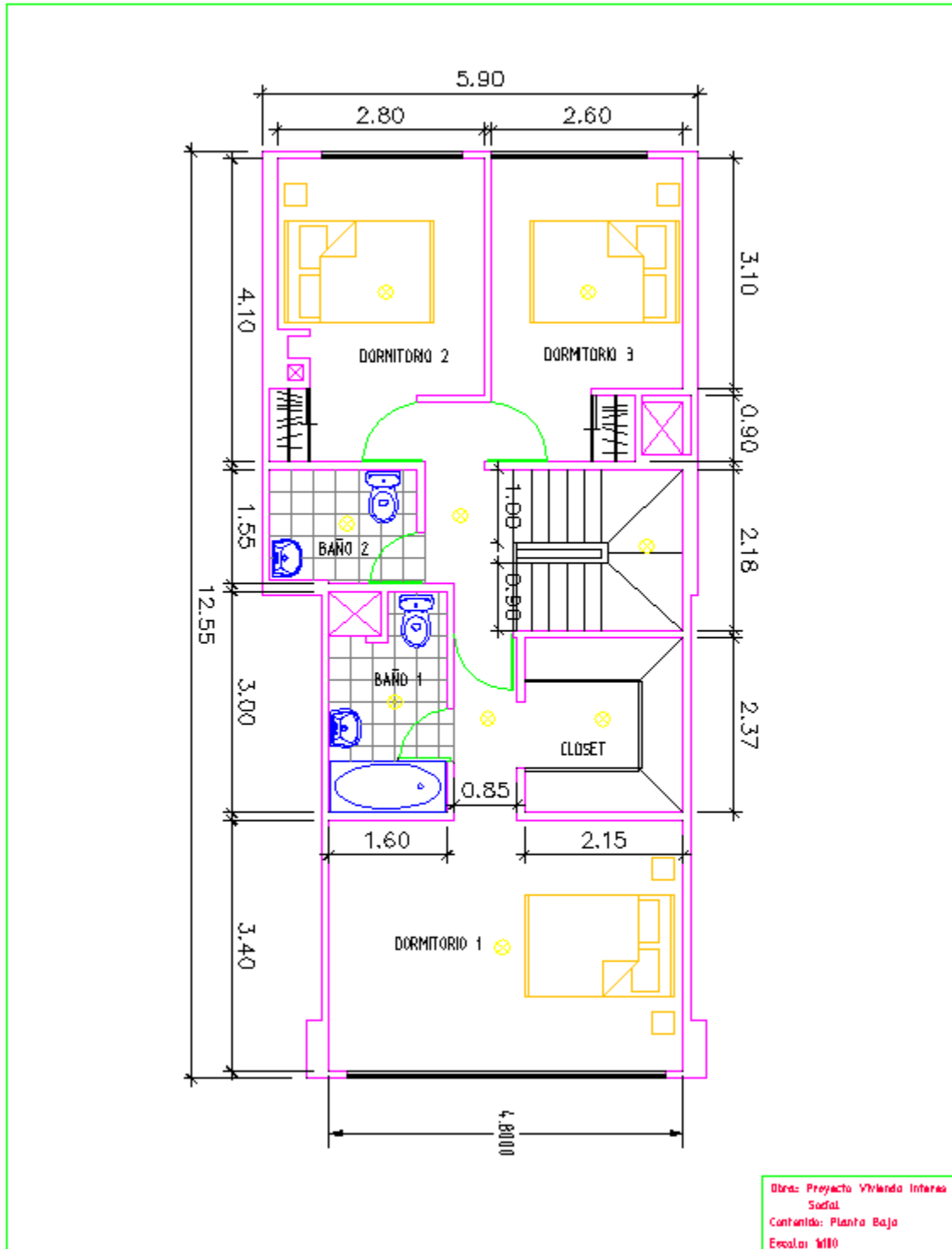


Figura 22.- Planta Alta

Para ver la ubicación y superficie útil de las diferentes estancias de nuestra VIS podemos consultar las figuras 21 y 22 y la tabla 4.

Estancia <i>Planta alta</i>	Superficie Útil (m²)	Estancia <i>Planta baja</i>	Superficie Útil (m²)
Dormitorio 1	16.32	Sala-comedor	28.18
Dormitorio 2	9.96	Hall	6.30
Dormitorio 3	9.71	Baño	1.87
Baño 1	4.24	Baño 3	2.17
Baño 2	3.00	Jardín	6.45
Pasillos	4.60	Patio	5.60
Escaleras	5.00	Cocina	11.40
Cuarto Closet	1.81	Escaleras	5.00
Total	54.64	Total	67.59

Tabla 4.- Dimensiones de las estancias de la vivienda

CAPÍTULO 3

3. PROCESOS EN LA PRODUCCIÓN Y ALMACENAMIENTO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES

El ser humano transforma, transmite y usa la energía. Al realizar sus actividades como caminar, conversar, reír, correr e incluso al dormir, desprendemos energía. La vida se da gracias al almacenamiento de energía dentro de nuestro cuerpo. Una persona puede desarrollar una potencia de 70W , aproximadamente el décimo de un caballo fuerza ($1 \text{ HP} = 746 \text{ W}$).

El avance de la humanidad se mide con respecto el consumo de energía que tiene una determinada nación, sin embargo, la combustión indiscriminada de los hidrocarburos, nos ha conducido a tener efectos negativos en el medio ambiente. Entonces estamos llamados a realizar un consumo eficiente de energía mediante el uso de tecnologías adecuadas que se adapten a la cultura y al medioambiente de cada sitio.

La energía se produce a partir del empleo de la leña, carbón, gas, petróleo, residuos agrícolas, viento, agua y el sol.

La energía generada a partir de recursos convencionales y su consumo desembocan en la contaminación del suelo, agua, medio ambiente y en general de los sistemas ecológicos. La utilización descontrolada de los combustibles fósiles han producido daños irreparables al medio ambiente debidos a la emisión de gases contaminantes de efecto invernadero.

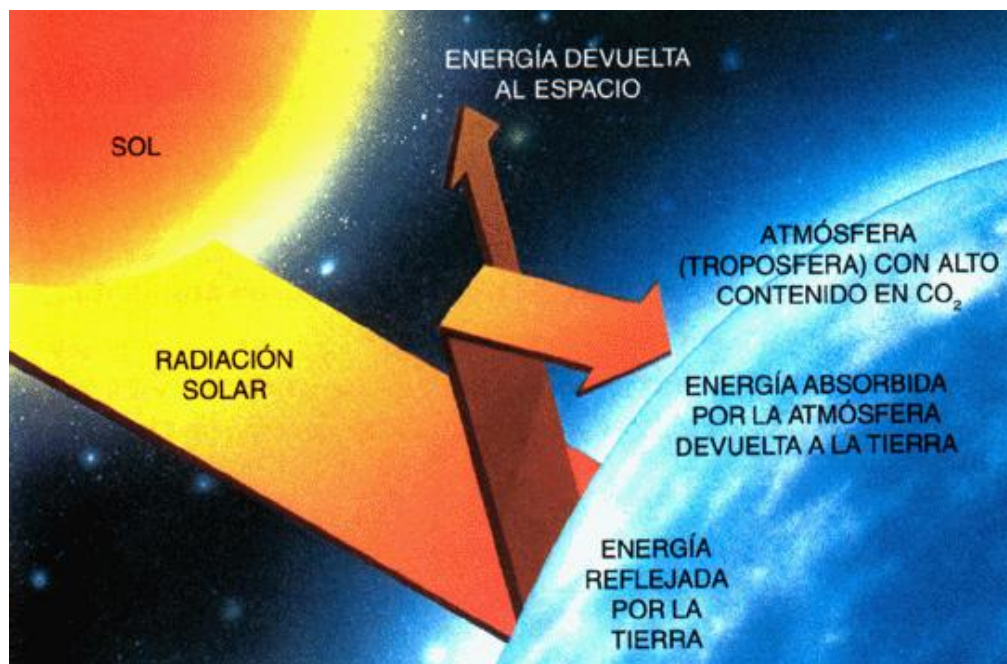


Figura 23.- El Sol como mayor fuente de energía renovable

Según estudios realizados por expertos los combustibles fósiles tendrán un tiempo de vida corto agotándose en el presente siglo, no así el de los yacimientos de carbón, entonces el pronóstico de la emisión de los gases de efecto invernadero por el uso de combustibles fósiles aumentará, debido a que la demanda de energía aumentará, cuyas causas serán el aumento

poblacional mundial o el desarrollo de los países. El consumo de energía por año es de alrededor de 500 EJ (500×10^{18} Joules), siendo triplicada en el 2050.

Las razones expuestas son suficientes para fomentar el uso de fuentes alternativas de energía siendo las energías renovables, limpias y disponibles las que representen prioridad de los gobiernos de todos los países.

Se han propuesto varios combustibles para ayudar a disminuir la contaminación ambiental y proporcionar la demanda de energía requerida por la humanidad. Estos combustibles incluyen gasolinas con nuevas fórmulas, metanol, etanol, líquidos sintéticos como el dimetil éter extraído del gas natural, gas natural comprimido e hidrógeno. Entre todas las alternativas citadas, el hidrógeno ofrece el más grande potencial para disminuir la contaminación ambiental y complementar la energía demandada.

3.1. Alternativas de producción de energías renovables

Las energías renovables tales como la solar, hidráulica, eólica y la geotérmica, han constituido parte importante de la energía utilizada por los humanos desde siempre.

En general, las fuentes de energía renovables son distintas a los combustibles fósiles o centrales nucleares, debido a su diversidad y abundancia. Se espera que durante los próximos cinco mil millones de

años, el Sol seguirá abasteciendo de forma directa la radiación solar, e indirecta al viento y las lluvias. Por tanto, sería conveniente transformar las diversas manifestaciones naturales de la energía solar a energía eléctrica por ser esta una energía de utilidad versátil.

Todas las fuentes de energía renovables incluso la energía de los combustibles fósiles (excepto la mareomotriz y la geotérmica), son creadas por el Sol. Éste irradia una energía constante equivalente a 177 billones (millón de millones) de Kilowatts (KW) sobre la atmósfera terrestre. Debemos recordar que el tiempo necesario para que se formen los hidrocarburos en la corteza terrestre va en el orden de 60 millones de años para petróleo o el gas natural, mientras que el carbón demora unos 400 millones de años.

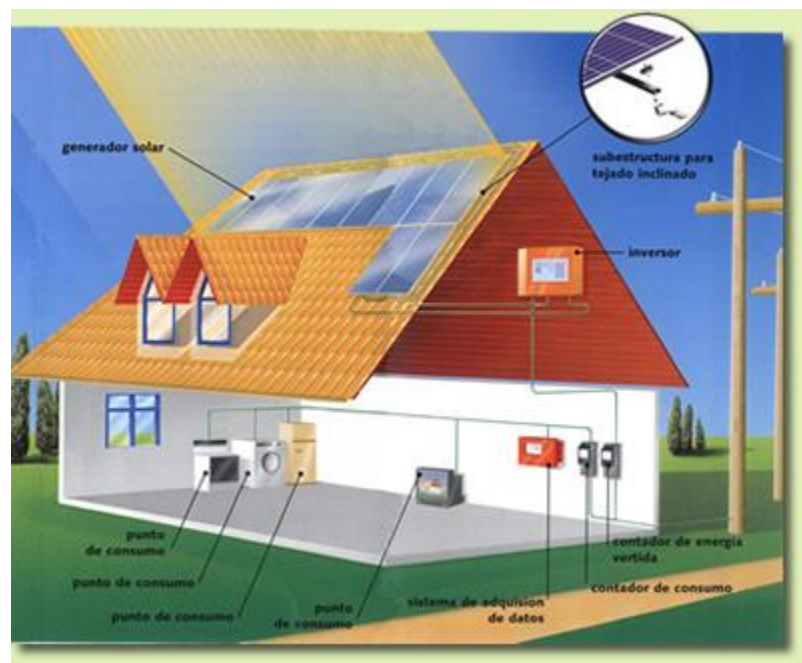


Figura 24.- Aprovechamiento de la energía solar

El impulso para apuntar a las energías renovables se debe principalmente a la necesidad de evitar el cambio climático global. El Panel Intergubernamental del Cambio Climático patrocinado por las Naciones Unidas, da a conocer que las temperaturas medias del planeta aumentarán hasta 5.8°C durante este siglo. Los sistemas eólicos y las tecnologías que usan energías renovables generan electricidad sin producir contaminantes asociados a los combustibles fósiles y a la energía nuclear.

A partir de 1997 con el Protocolo de Kyoto, se promulga el requerimiento de realizar una reducción global de las emisiones de gases de invernadero del 5.2% para el periodo 2008-2012 tomando a 1990 como año base.

Para alcanzar estos objetivos, los países a nivel mundial han adoptado una serie de mecanismos de apoyo al mercado que van desde simples primas por unidad eléctrica producida por las plantas de energía renovable a mecanismos más complejos que obligan a los generadores eléctricos a obtener un porcentaje creciente de su suministro a partir de energías renovables.

3.2. Sistemas solares fotovoltaicos

La radiación solar puede aprovecharse ya sea por el calor que produce (energía solar térmica), o bien a través de la absorción de la

radiación que se empleara para generar energía eléctrica (energía solar fotovoltaica).

El término Fotovoltaico es el resultado de la unión de dos palabras, foto (luz) y voltaico (electricidad). Un Sistema fotovoltaico es aquel que obtiene energía eléctrica por medio de la conversión de la energía solar a partir de la luz. La energía solar fotovoltaica se da por el efecto fotovoltaico que se produce cuando la luz del sol incide sobre materiales semiconductores, los cuales liberan electrones, constituyéndose así la electricidad. El silicio es el material semiconductor más común empleado en las células fotovoltaicas.

3.2.1. Fundamentos Físicos de las Celdas Solares

La celda solar es un dispositivo electrónico constituido por una unión p-n que convierte directamente la energía de la radiación solar en energía eléctrica. Al incidir la luz sobre una celda solar genera un voltaje entre sus terminales y al mismo tiempo una corriente que circula por un circuito externo, produciendo una potencia $P = I \cdot V$ que puede ser empleada para energizar cualquier equipo, aparato o accesorio eléctrico.

Nótese que en la celda solar no hay elementos móviles necesarios para la transformación como en los métodos

convencionales, que ocurren en una central eléctrica, la transformación de la energía se da entonces de manera directa.

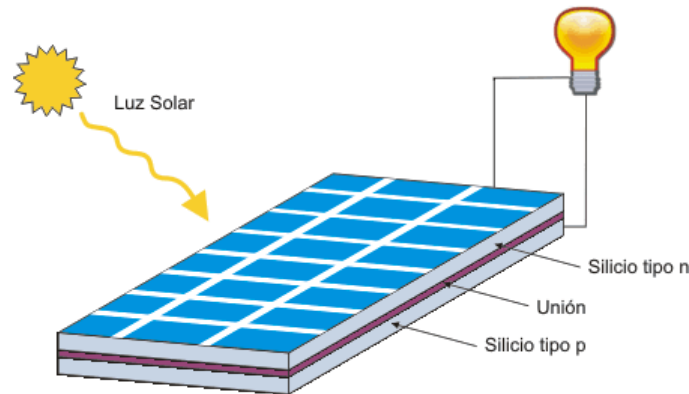


Figura 25.- Celdas solares

A temperatura ambiente la red cristalina de un sólido cristalino tiene una energía térmica determinada, provocando que los electrones oscilen con mayor amplitud, causando que algunos electrones adquieran energía excedente que les permita poder escapar del enlace que los mantienen unidos a los átomos, convirtiéndose en electrones libres que participan en la conducción eléctrica. Dependiendo de la energía propia que se necesita en cada cristal para que un electrón de valencia pueda estar libre del enlace, los sólidos cristalinos, éstos se dividen en conductores, semiconductores y aislantes.

Los átomos que conforman los elementos semiconductores son aquellos que se encuentran en el grupo IV de la tabla periódica, fundamentalmente el Si y el Ge.

También existen compuestos semiconductores, formados por la combinación de elementos del grupo III y V (llamados semiconductores III-V, como el GaAs, el GaP, el GaSb, el InP, y otros) y por la combinación de los elementos del grupo II y VI (llamados semiconductores II-VI, como el ZnSe, el CdTe, el CdS, el ZnS, etc.).

Otros compuestos semiconductores han sido obtenidos a través de la combinación de elementos de la tabla periódica, agrupándose bajo la denominación de compuestos IV-IV como el SiC, IV-VI como el PbS, V-VI como el Bi₂Te₃ y compuestos ternarios como el CuInSe₂, o el HgCdTe lo cual haría interminable esta relación y cuyas propiedades permiten utilizarlos en una amplia gama de aplicaciones como detectores infrarrojos, diodos emisores de luz, sensores de gases y por supuesto, en celdas fotovoltaicas.

El silicio es el material semiconductor más común en la naturaleza. Se emplea en toda la microelectrónica con el cuál se fabrican los circuitos integrados y se ha logrado un gran progreso en la producción casi perfecta de estos cristales.

El rasgo más distintivo de un semiconductor es su representación en los llamados esquemas de bandas. Estas bandas se muestran esquemáticamente a continuación:

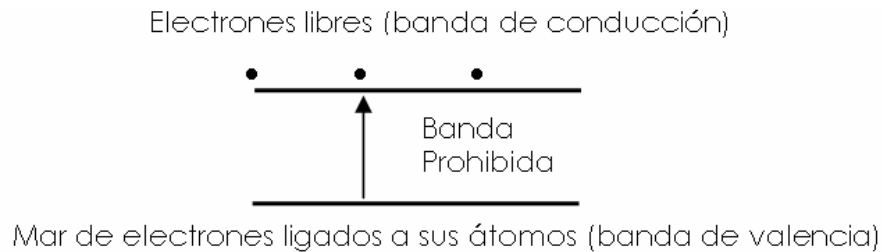


Figura 26.- Representación esquemática del diagrama de bandas de un semiconductor

Cuando un electrón de valencia rompe su enlace y pasa a la banda de conducción deja atrás un enlace suelto que puede ser ocupado por otro electrón que se encuentra en la banda de valencia. Este movimiento es equivalente al movimiento de una carga positiva a través del cristal. Es mucho más conveniente analizar este espacio vacío, al cual se le llama hueco, que el conjunto total de los electrones restantes. El hueco es así similar al electrón pero con carga positiva. A continuación se muestra esquemáticamente el movimiento de electrones y huecos libres bajo la acción de un campo eléctrico externo.

Nótese que el electrón se mueve hacia el potencial positivo en tanto el hueco lo hace hacia el potencial negativo.

El concepto de banda prohibida o “Gap” de energía es fundamental para el funcionamiento de una celda solar. Para una eficiente operación de una celda solar las propiedades esenciales de los materiales semiconductores están caracterizadas por los siguientes parámetros:

- La banda prohibida
- El número de portadores de carga libre que contribuyen a la conducción
- Los procesos de generación y recombinación de los portadores libres cuando incide la luz.

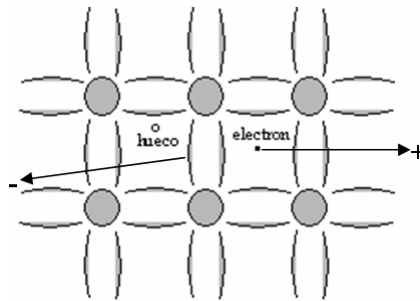


Figura 27.- Representación esquemática del movimiento de electrones y huecos libres bajo la acción de un potencial aplicado.

La unión p-n es el elemento base de una celda solar. La formación de una unión p-n requiere la existencia de una región de conductividad tipo-p (huecos mayoritarios) y otra de conductividad n (electrones mayoritarios). Por lo general un semiconductor de conductividad tipo-p o tipo-n se obtiene mediante un proceso de dopaje o impurificación del material, que consiste en introducir en la red cristalina del semiconductor elementos de otros grupos de la tabla periódica. El Silicio adquiere conductividad tipo-p, dopándolo con elementos del grupo III (por ejemplo B) y conductividad tipo-n dopándolo con

elementos del grupo V (por ejemplo As). En compuestos semiconductores las

conductividades tipo-p y n pueden lograrse por deficiencias estequiométricas. Por ejemplo el CdTe es un compuesto semiconductor que puede obtenerse con conductividad tipo-p por exceso de Te en la red cristalina y el CdS con conductividad tipo-n, por exceso de Cd.

Una unión p-n se obtiene “uniendo” semiconductores con conductividades tipo p y tipo n. Si las regiones p y n son hechas del mismo material, decimos que se ha formado una homounión. En el caso de que las regiones n y p sean de materiales distintos, decimos que se ha formado una heterounión. Las celdas solares son fabricadas tanto con homouniones, como con heterouniones. El rasgo más distintivo en una unión p-n para la transformación fotovoltaica es la existencia de un campo eléctrico, que es el responsable de separar las cargas libres creadas por la absorción de los fotones provenientes de la radiación incidente. El valor de este campo eléctrico es del orden de 10^5 V/cm, que representa un valor inmenso, únicamente como comparación para el rompimiento dieléctrico del aire se requieren 3×10^3 V/cm, lo que es una magnitud de campo eléctrico 33 veces menor que el que existe entre las uniones semiconductoras n y p.

Obviamente en una unión p-n no existe un voltaje de 105 V, pero la distancia entre las regiones p y n, tampoco es de 1 cm. Un valor típico de voltaje en una unión p-n es de 1 V, siendo la distancia entre las regiones p y n de unas 0.1 micra (1 micra = 10^{-4} cm.), por lo que 1 V aplicado a una distancia de 0.1 micra entre dos placas, produce el mismo campo que el de 105 V aplicado a una distancia de 1 cm entre dos placas.

La radiación solar incidente es absorbida por el semiconductor en dependencia del valor de su banda prohibida, creando pares electrón-hueco fuera del equilibrio. En la región-p los huecos, fuera del equilibrio, creados por la absorción de la luz, no modificarán el número de huecos en equilibrio sustancialmente, sin embargo en la misma región-p, los electrones originados por la radiación solar experimentarán un cambio en la concentración respecto a su concentración de equilibrio. Análogamente ocurre con los huecos fuera del equilibrio en la región-n, de manera que los portadores minoritarios (electrones en la región-p y huecos en la región-n) son los que gobiernan el mecanismo de conducción. Los pares electrón-hueco que arriban a la región del campo eléctrico de la unión p-n son separados por este, contribuyendo a la corriente. Los pares que no alcanzan la región de la unión p-n se recombinan y transforman su energía en calor.

Los pares electrón-hueco creados por la luz no generan en sí mismo una potencia eléctrica, porque para ello se necesita que aparezca un voltaje entre los terminales de la unión el cual surge mediante un proceso conocido como efecto fotovoltaico. La separación de huecos y electrones debido al campo eléctrico de la unión p-n provoca que los electrones se muevan hacia la región-n y los huecos hacia la región-p. Bajo la condición de corto circuito ($V = 0$) la corriente que fluye por el circuito exterior es la corriente generada por la luz I_L . Bajo condición de circuito abierto, aparecerá un voltaje en los extremos de la unión.

De esta manera los mecanismos físicos básicos en la operación de una celda solar son:

- a) creación en el semiconductor de pares electrón-hueco generados por la absorción de la radiación solar (absorción de fotones)
- b) separación de los pares electrón-hueco por el campo de la unión p-n generando una corriente I_L
- c) aparición de un voltaje entre los terminales de la celda solar.
- d) utilización de la potencia eléctrica a través de una carga exterior

A continuación se muestra el esquema general de una celda solar, fabricada con silicio.

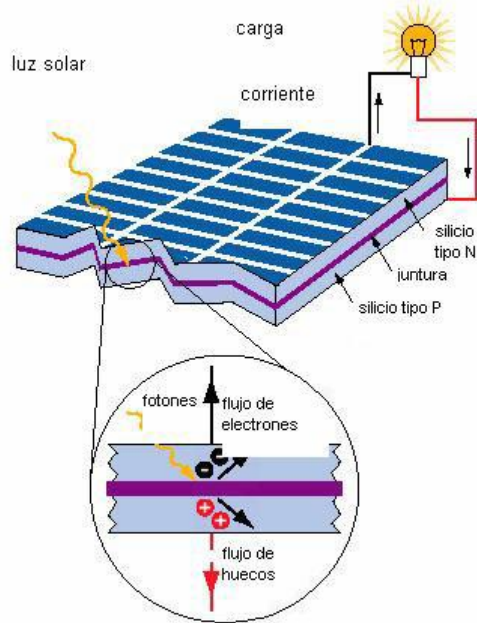


Figura 28.- Estructura de una celda solar de silicio

A partir de una curva I-V (corriente vs. voltaje), los parámetros importantes para caracterizar a una celda solar son: la corriente de corto circuito I_{sc} , el voltaje a circuito abierto V_{oc} , el factor de llenado o de forma FF y la eficiencia η .

La corriente de corto circuito es la corriente que atraviesa la celda solar cuando el voltaje entre sus terminales es nulo, esto es, cuando la celda solar está cortocircuitada.

El valor de I_{sc} depende de la generación y recolección de los portadores creados por la luz. La corriente de corto circuito es proporcional a la intensidad de la luz incidente sobre la celda solar.

El voltaje a circuito abierto es el máximo voltaje que aparece entre los terminales de la celda solar y ocurre para valores de corriente nulo. El voltaje a circuito abierto es consecuencia de la polarización positiva o directa de la unión p-n cuando la luz incide sobre la celda solar.

La corriente de cortocircuito y el voltaje a circuito abierto son los máximos valores de corriente y voltaje que se pueden extraer de una celda solar, sin embargo en estos puntos de operaciones la potencia $P = I \cdot V = 0$. Por ello es necesario encontrar un punto de la curva I-V en donde el producto $I \cdot V$ tenga un máximo valor. En la Figura siguiente se muestra que este punto corresponde a (I_{mp}, V_{mp}) . El factor de llenado se define como la razón entre la potencia máxima obtenida y el producto $I_{sc} \cdot V_{oc}$

$$FF = \frac{I_{mp} \times V_{mp}}{I_{sc} \times V_{oc}} \quad (1)$$

La eficiencia de conversión de energía solar en eléctrica es la figura de mérito de toda celda solar. La eficiencia de conversión o simplemente eficiencia se define como la razón de la potencia eléctrica máxima que suministra la celda entre la potencia (P) de la radiación solar que incide sobre esta:

$$\eta = \frac{I_{mp} \times V_{mp}}{P} = \frac{I_{sc} \times V_{oc}}{P} FF \quad (2)$$

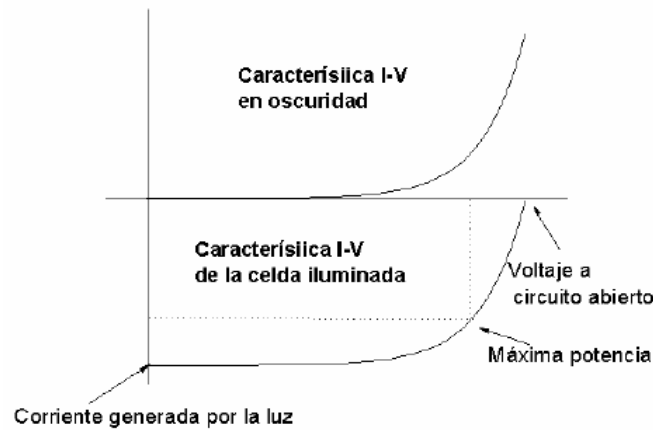


Figura 29.- Dependencia I-V de una celda solar en oscuridad y bajo iluminación

La eficiencia depende de muchos factores. Por ejemplo el espectro de radiación solar no es el mismo en el espacio extraterrestre, que en un país del trópico o uno nórdico.

También la eficiencia depende de la temperatura a la cual está sometida la celda solar, de la intensidad de la radiación, de los mecanismos de recombinación, en fin de la suma de factores de los cuales dependen I_{sc} , de V_{oc} y FF . Por ello, se ha establecido un conjunto de normas para poder comparar el funcionamiento de unas celdas con otras. En general, se trata de obtener altos valores de corriente de corto circuito, voltaje a circuito abierto y factor de llenado para alcanzar elevados valores de conversión de energía solar en eléctrica.

3.2.2. Ventajas de un sistema solar fotovoltaico

Son entre otros:

1. No hay piezas móviles que puedan desgastarse, romperse o sustituirse.
2. Se requiere un mínimo mantenimiento para que funcione el sistema.
3. Es libre de ruido, emisiones nocivas y gases contaminantes.
4. La materia prima o combustible es la energía solar que no tiene costo alguno.
5. Las células fotovoltaicas se adquieren con facilidad y son de rápida instalación.
6. La electricidad que genera es elevada en relación a la iluminación provista por leds.

3.2.3. Variables que afectan al diseño de un sistema solar fotovoltaico.

Para el diseño de un sistema solar fotovoltaico se debe tomar en cuenta ciertas variables que afectan al diseño de una instalación fotovoltaica:

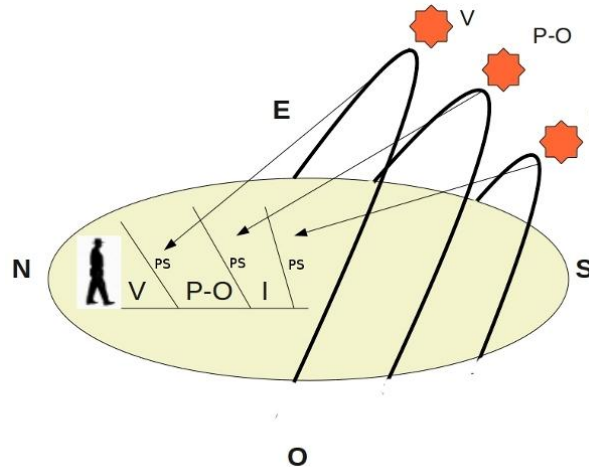


Figura 30.- Diferentes inclinaciones del panel dependiendo de la estación

- **Ángulo de inclinación:** Ángulo que forma la superficie de los módulos con el plano horizontal. Su valor es 0° para módulos horizontales y 90° para verticales. El valor estimado depende del ángulo de diseño del tejado de la vivienda que se va a beneficiar con este servicio.
- **Área disponible:** Es el espacio libre de sombras y bien orientado donde se ubicará el módulo fotovoltaico. Los cálculos del área disponible, se deben realizar basándose en el techo de la vivienda a construir.
- **Nivel de radiación solar:** Es la energía procedente del sol en forma de ondas electromagnética. Cuantifica la capacidad de producción de un sistema en una zona determinada.

- **Radiación Solar Global media diaria anual:** Es la energía procedente del sol que llega a una determinada superficie (global), tomando el valor anual como suma de valores medios diarios.
- **Ángulo de azimut:** Es el ángulo entre la proyección sobre el plano horizontal de la normal a la superficie del módulo y el meridiano del lugar. Valores típicos son 0° para módulos orientados al sur, -90° para módulos orientados al este y $+90^\circ$ para módulo orientados al oeste.

3.2.4. Módulo fotovoltaico.

El módulo fotovoltaico es la constitución o grupo de varias células que se conectan en serie para aumentar la tensión de salida de nuestro sistema. El tipo de electricidad que proporciona el módulo fotovoltaico es de corriente continua, que es la empleada por los diodos led que se podrían usar en el sistema de iluminación de una vivienda. La vida útil media a máximo rendimiento de los módulos o paneles fotovoltaicos se sitúa en torno a los 20 a 25 años, luego de lo cual la potencia entregada disminuye. Es decir, que aunque el coste de adquisición de las células inicialmente pueda resultar algo elevado, podemos estar utilizándolas durante mucho tiempo. Es importante acotar que las células solares se pueden reciclar

para construir nuevas células solares, aspecto fundamental en los sistemas fotovoltaicos reales.

Otro aspecto que no podíamos dejar de destacar, es que los sistemas fotovoltaicos generan a lo largo de su vida útil más energía que la que se requiere para producirlos. Según estadísticas, en unos dos años, un sistema fotovoltaico basado en tecnología cristalina en el sur de Europa habrá generado la misma energía que se necesitó para producir e instalar todos sus componentes (tasa de retorno energético). Un sistema fotovoltaico producirá en su tiempo de vida de más de 30 años mucha más energía que la que se necesitó para crearlo. Actualmente con los nuevos avances tecnológicos, la energía empleada en la producción de sistemas fotovoltaicos se reduce constantemente.



Figura 31.- Instalación solar integrada en tejadas de viviendas

El impacto ambiental de los sistemas solares fotovoltaicos en edificaciones es poco significativo, ya que son instalaciones

alejadas de espacios naturales, situadas en paisajes muy humanizados y alterados, lejos de yacimientos arqueológicos, geológicos y vías pecuarias. Además con la potenciación de este tipo de sistemas sobre viviendas, naves industriales, colegios, hospitales, evitaríamos la ocupación de terrenos agrícolas, la desaparición del paisaje rural tradicional, evitaríamos la afección de los sistemas acuíferos, la construcción de caminos de acceso, procesos erosivos, pérdida de vegetación natural, pérdida de hábitat para la fauna, terreno de campeo, alteración del paisaje, construcción de líneas eléctricas, pérdidas de referentes culturales rurales, etc.

En los módulos típicos Fotovoltaicos de silicio, las múltiples celdas solares individuales están casi siempre conectadas en serie, para aumentar el voltaje. Normalmente el voltaje del módulo se escoge que sea compatible con una batería de 6 ó 12 volts. Una celda solar de silicio de manera individual tiene un voltaje de sólo 0.6V bajo iluminación AM1.5 y 25°C. Teniendo en cuenta una reducción esperada del voltaje debido al incremento de la temperatura y al hecho de que una batería puede exigir voltajes de 15 V o más, la mayoría de los módulos contienen 36 celdas solares en serie. Esto da un voltaje de circuito abierto de aproximadamente 21 volts bajo condiciones normales de prueba, y un voltaje de operación a máxima

potencia y temperaturas de trabajo de aproximadamente 17 ó 18 V. El voltaje en exceso restante es incluido para considerar las caídas de voltaje causadas por otros elementos del sistema Fotovoltaicos, incluidas el funcionamiento lejos del punto de máxima potencia y reducciones de la intensidad de la luz. Mientras que el voltaje del módulo está determinado por el número de celdas solares conectadas en serie, la corriente que circula a través del módulo, depende principalmente del área de las celdas solares y de su eficiencia de conversión. A AM1.5, esto es a una intensidad de insolación de 1000 W/m^2 y bajo condiciones óptimas de inclinación del módulo, la densidad de corriente de una celda solar comercial es entre 20 ó 30 mA/cm^2 . Las celdas solares de silicio monocristalino son a menudo de 100 cm^2 , dando una corriente total del módulo entre 2 y 3A. Los módulos de silicio policristalino que tienen celdas solares individuales de mayor área pero más baja densidad de corriente pueden llegar a tener corrientes de corto circuito de hasta 4A.

3.3. Diseño de un sistema solar fotovoltaico

Para diseñar un sistema solar fotovoltaico es necesario conocer las necesidades eléctricas de la vivienda, la ubicación y posición de los paneles, así como las características de los demás elementos en función de la futura instalación.

Se necesita contar con un sistema de almacenamiento de la energía para poder hacer uso de ésta cuando sea necesaria y no sólo en el día o cuando esté presente la luz solar. Para esto podemos utilizar acumuladores o baterías de un voltaje apropiado.

Para proteger los paneles de cargas excesivas o de descargas, también necesitaremos de un dispositivo de regulación. Además, si requerimos de una corriente alterna a 110 ó 220V_{ac}, los paneles generan una continua a 12 ó 24V_{dc}. Luego, se necesita de un inversor o convertidor de voltaje dc/ac.

En la figura 38 se muestra la conexión de todos los elementos que conforman el sistema tanto para cargas de corriente continua como de corriente alterna.

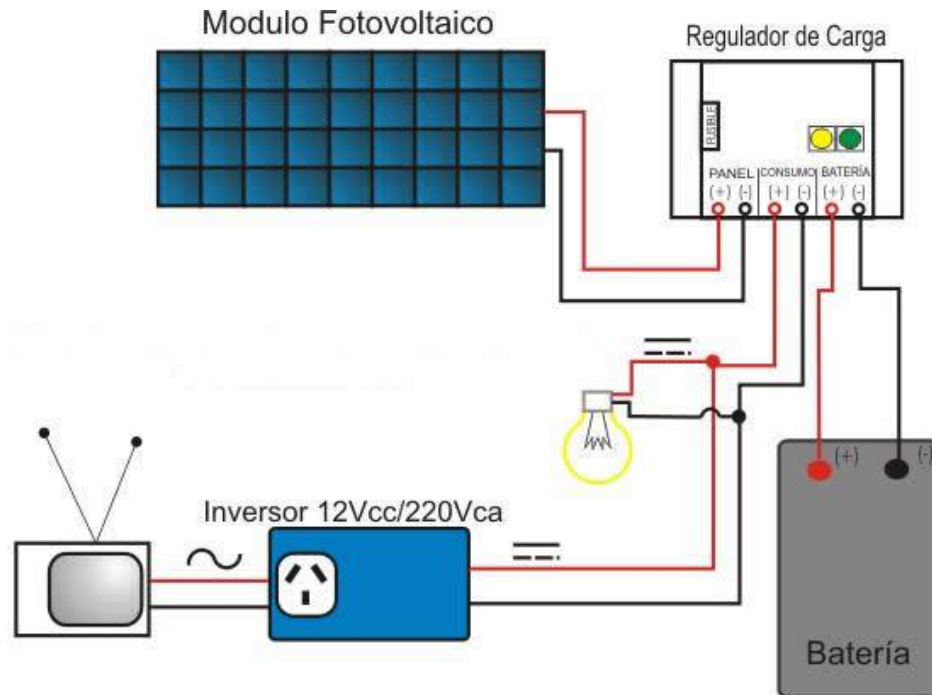


Figura 32.- Sistema solar fotovoltaico

3.4. Características de los elementos utilizados en la implementación

A continuación se detallarán las características técnicas de los elementos que utilizaremos en el diseño de alimentación eléctrica con energía fotovoltaica: Módulo fotovoltaico de 235W - 12V; regulador de voltaje de 12/24V – 30A; inversor de 12V a 110/220V; y baterías de 12V – 70Ah

3.4.1. Panel Módulo fotovoltaico KD235GX-LPB

Usaremos 2 módulos fotovoltaicos KD235GX-LPB marca Kyocera ^[6] con las siguientes características eléctricas:

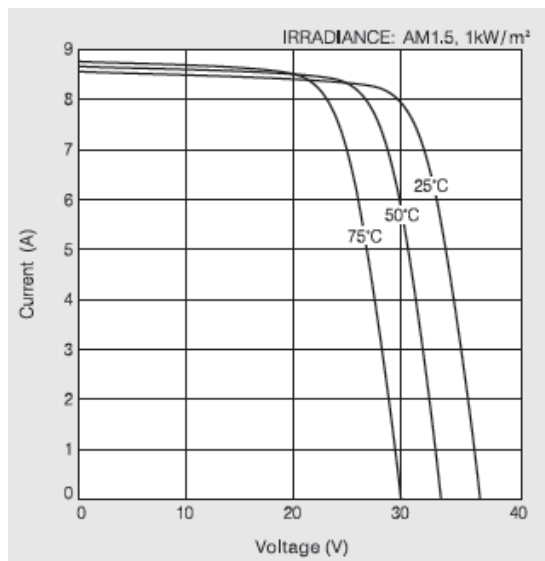


Figura 33.- Intensidad vs Voltaje a varias temperaturas de la celda.

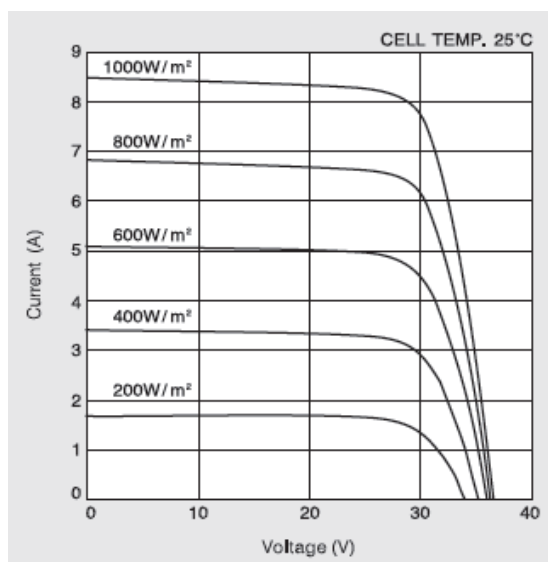


Figura 34.- Intensidad vs Voltaje a varios niveles de irradiancia.

■ Specifications	
■ Electrical Performance under Standard Test Conditions (*STC)	
Maximum Power (P _{max})	225W (+5% / -3%)
Maximum Power Voltage (V _{mpp})	29.8V
Maximum Power Current (I _{mpp})	7.55A
Open Circuit Voltage (V _{oc})	36.9V
Short Circuit Current (I _{sc})	8.18A
Max System Voltage	600V
Temperature Coefficient of V _{oc}	-1.33x10 ⁻¹ V/°C
Temperature Coefficient of I _{sc}	4.91x10 ⁻³ A/°C
*STC : Irradiance 1000W/m ² , AM1.5 spectrum, cell temperature 25°C	
■ Electrical Performance at 800W/m ² , *NOCT, AM1.5	
Maximum Power (P _{max})	159W
Maximum Power Voltage (V _{mpp})	26.4V
Maximum Power Current (I _{mpp})	6.04A
Open Circuit Voltage (V _{oc})	33.3V
Short Circuit Current (I _{sc})	6.63A
*NOCT (Nominal Operating Cell temperature): 47.9°C	
ISO 9001 and ISO 14001 Certified and Registered Kyocera reserves the right to modify these specifications without notice.	
www.kyocerasolar.com 800-223-9580 toll free 800-523-2329 fax	
■ Cells	
Number per Module	60
■ Module Characteristics	
Length □ Width □ Depth	1662mm (65.43in) x 900mm (38.98in) x 46mm (1.81in)
Weight	21.0kg (46.3 lbs)
Cable	(+1030mm (40.55in),-)830mm (32.68in)
■ Junction Box Characteristics	
Length □ Width □ Depth	105mm (4.13in) x 108mm (4.25in) x 20mm (0.79in)
IP Code	IP65
■ Others	
*Operating Temperature	-40 °C ~ 90 °C
Maximum Fuse	15A
*This Temperature is based on cell	



Tabla 5.- Especificaciones del módulo fotovoltaico

3.4.2. Regulador de Voltaje

El regulador de voltaje será de la marca Isofoton. El *ISOLER 10*, capaz de aportar una corriente máxima de 10A y soportar una sobrecarga del 25% con un auto consumo menor a 40 mA. Tiene una pérdida máxima de generación menor a 168mV y la pérdida máxima de consumo menor a 130mV.^[5]



Figura 35.- Regulador de voltaje ISOLER 10 Digital

ALARMAS LOCALES MEDIANTE LCD, LEDS Y ACÚSTICO (ISOLER D); LEDS Y ACÚSTICO (ISOLER)	Alta y baja tensión de batería, sobrecarga y cortocircuito, línea de sensing, sonda de temperatura, inversión polaridad
PROTECCIÓN CONTRA CORRIENTE INVERSA DE BATERÍA	Mediante diodo inteligente tipo MOSFET
PROTECCIÓN CONTRA POLARIDAD INVERSA	Sí (líneas de generación, batería, consumo y sensing)
PROTECCIÓN CONTRA SOBRECARGA	Sí, en línea de consumo y generación ($I > 25\%$ de I nominal)
PROTECCIÓN CONTRA CORTOCIRCUITO	Sí, instantánea (línea consumo)
PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIONES	Sí, mediante varistores (líneas de generación, batería y consumo)
PROTECCIÓN CONTRA DESCONEXIÓN DE LÍNEA DE SENSING	Sí

Tabla 6.- Alarmas y Protecciones del regulador

TIPO DE REGULACIÓN	Serie controlada por microprocesador, con relé de estado sólido Funcionamiento ON / OFF o PWM mediante jumper interno
SELECCIÓN DE BATERÍA	AGM / SLI MOD / TUBULAR ABIERTA / TUBULAR GEL
LÍNEA DE SENSING DE BATERÍA	Sí
SELECCIÓN DE IDIOMA	Castellano / Inglés
SISTEMA DE REGULACIÓN	Carga profunda / flotación / igualación ⁽¹⁾
VISUALIZACIÓN DEL ESTADO DE CARGA	Profunda, flotación e igualación mediante LEDs y LCD (Isoler D); LEDs (Isoler)
COMPENSACIÓN POR TEMPERATURA	Sí, -2mV / °C / V (mediante sonda exterior)
DESCONEXIÓN DEL CONSUMO POR BAJA TENSIÓN	Sí (con rearme automático)
INDICADORES DE ESTADO DE CARGA	Batería llena, media y vacía
RELÉ CREPUSCULAR	Sí, configurable modo ON- OFF o ON- OFF- ON
PARÁMETROS EN LCD ALFANUMÉRICO	Tensión de batería, valores instantáneos de corrientes de generación y consumo, temperatura, Wh consumidos, etc.
TROPICALIZACIÓN DE LOS CIRCUITOS	Sí
RANGO DE TEMPERATURA DE FUNCIONAMIENTO	0 – 50° C a plena carga
REARME DESCONEXIÓN CORTOCIRCUITO / SOBRECARGA	Sí, reset manual

Tabla 7.- Características Funcionales del regulador

3.4.3. Inversor

El inversor a utilizar será el *ISOVERTER 700/12V*. Es un inversor de CC/CA de onda senoidal pura diseñado para aplicaciones fotovoltaicas, controlado por microprocesador.

Está construido en configuración de puente completo y con control PWM. Posee alarma acústica, Leds de señalización y una pantalla digital que indica parámetros tales como tensión de batería, intensidad de corriente de entrada, etc.

El inversor se auto protege contra inversión de polaridad, cortocircuito, sobrecarga, sobre temperatura, batería baja y alta. El *ISOVERTER* se reconecta automáticamente cuando las causas que lo hicieron desconectarse desaparecen (batería baja o alta, sobre temperatura). En situaciones de cortocircuito o sobrecarga se produce una desconexión del equipo, siendo necesario su rearme manual tras la eliminación del problema.

El inversor dispone de un sistema de búsqueda de carga (stand-by) que reduce el autoconsumo cuando no existen cargas conectadas al mismo. La búsqueda de carga es un estado de detección mediante el cual el inversor reduce su consumo al mínimo, en espera de un consumo igual o mayor al fijado para su activación. Cuando dicho consumo es conectado, el inversor arranca con una rampa suave pasando a su funcionamiento normal. Si el consumo cae por debajo del límite fijado, pasados 5 segundos el inversor pasa de nuevo al estado de búsqueda. La carga mínima es ajustable por menú.

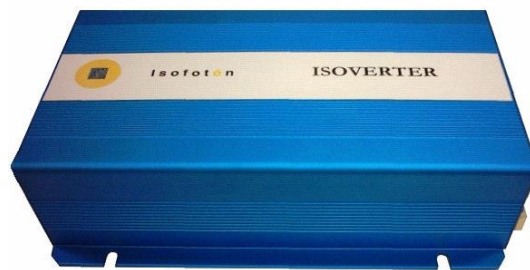


Figura 36.- ISOVERTER 700/12V

	ISOVERTER 700 / 12	ISOVERTER 700 / 24	ISOVERTER 700 / 48
FORMA DE ONDA DE SALIDA	Senoidal pura		
TENSIÓN NOMINAL DE ENTRADA	12 V	24 V	48 V
RANGO DE TENSIÓN DE ENTRADA	10,5 - 15 V	21 - 30 V	42 - 60 V
POTENCIA NOMINAL DE SALIDA	700 W		
TENSIÓN NOMINAL DE SALIDA	230 ó 120 V AC		
VARIACIÓN DE LA TENSIÓN DE SALIDA	+/- 3 %		
FRECUENCIA NOMINAL	50 / 60 Hz selectable por switch		
VARIACIÓN DE LA FRECUENCIA	≤ 0,1 %		
RENDIMIENTO CON CARGA	Aproximadamente 90 %		
DISTORSIÓN ARMÓNICA CON CARGA RESISTIVA	< 3 %		
FUNCIONAMIENTO EN STAND-BY	Detección ajustable (cargas ≥ 7 W)		
POTENCIA PICO ADMISIBLE	800 W (3 min.); 1400 W (3 seg.)		
AUTOCONSUMO	< 3 W		

Tabla 8.- Características físicas y eléctricas del inversor

3.4.4. Acumulador o Batería

HOPPECKE ha desarrollado una batería especial para energía solar, ha sido pensada para resistir y ofrecer la máxima eficacia en un continuo ciclo de carga (durante el día) y descarga (durante la utilización de la energía).^[3]

Este tipo de batería trabaja en condiciones mucho más duras que la de arranque de un automotor.



Figura 37.- Batería Hoppecke Energy 12V 250Ah

Las principales ventajas frente a una batería de arranque son:

- Gran resistencia cíclica, alargando la vida.
- Mejora del rendimiento eléctrico.
- Baja autodescarga.
- Mínimo mantenimiento. Alta resistencia a la descarga profunda.
- Sencillez de carga.

El largo período de vida de estas baterías da por consiguiente, un ahorro económico muy importante.

Aplicaciones fotovoltaicas:

- Electrificación de viviendas.
- Bombeo y riego.
- Balizas luminosas

Propiedades

- Baterías estacionarias especialmente diseñadas para instalaciones fotovoltaicas.
- Placas de rejilla especialmente reforzadas y con aislamiento especial para empleo cíclico medio.
- Larga vida en ciclos de carga y descarga.
- Reducido consumo de agua.

- Reducida autodescarga.
- Recarga mejorada tras largo tiempo en reposo.
- Mayor tensión de descarga mediante conexiones interiores más cortas.
- Menor resistencia interna.
- Material plástico con alta resistencia a impactos.
- Duración útil sin esfuerzo cíclico de unos 7 años.

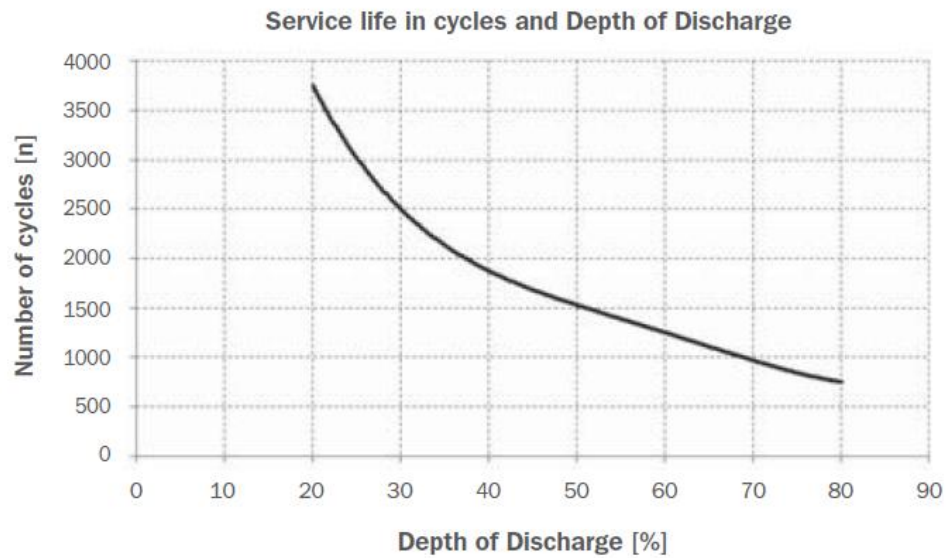


Figura 38.- Curva de profundidad de descarga y tiempo de vida en ciclos

CAPÍTULO 4

4. VALORACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA

En el presente capítulo se hará un análisis técnico y económico considerando los costos de los módulos domóticos, paneles fotovoltaicos, bancos de baterías, lámparas de inducción, ahorro por tarifas de consumo eléctrico, costos de mantenimiento que se ahorrará con el nuevo sistema.

Para poder justificar la inversión del proyecto nos basaremos en las herramientas más utilizadas para análisis de rentabilidad que son el VAN (Valor actual neto) y TIR (Tasa interna de retorno).

VAN.- Consiste en actualizar a valor presente los flujos de caja que va a generar el proyecto, descontados a un cierto tipo de interés (tasa de descuento) y compararlos con el importe inicial de la inversión.

$$VAN = - A + [FC1 / (1+r)^1] + [FC2 / (1+r)^2] + \dots + [FCn / (1+r)^n]$$

Donde:

A: Desembolso inicial

FC: Flujos de caja

n: Número de años

r: Tipo de interés

$1/(1+r)^n$: factor de descuento para ese tipo de interés y ese número de años

El criterio es el siguiente

Si $VAN > 0$: El proyecto es rentable.

Si $VAN < 0$: El proyecto no es rentable.

Como tasa de descuento utilizaremos el 10% y el periodo será a 20 años

TIR.- Se define como la tasa de descuento o tipo de interés que iguala el VAN a cero.

$$VAN = - A + [FC1 / (1+r)^1] + [FC2 / (1+r)^2] + \dots + [FCn / (1+r)^n] = 0$$

El criterio es el siguiente:

Si $TIR >$ tasa de descuento (r): El proyecto es aceptable.

Si $TIR <$ tasa de descuento (r): El proyecto no es aceptable.

Este método se utiliza como complemento del VAN

4.1. Análisis técnico del proyecto

Primero debemos calcular las cargas de alumbrado para la vivienda, las mismas que serán alimentadas por nuestro sistema de energía renovable. Las otras cargas serán conectadas a un circuito diferente que es alimentado por la red pública.

4.1.1. Cálculo de la carga de alumbrado

Se considerará el reemplazo de las luminarias incandescentes de 100W las cuales tiene una eficiencia lumínica de aproximadamente 14Lm/W, lo que nos da un flujo luminoso de 1400Lm. Para calcular la potencia necesaria de una LVD que nos dé el mismo flujo luminoso tomamos en cuenta la eficiencia lumínica de 80Lm/W:

$$P_{LVD} = 1400 / 80 = 17,5W$$

De acuerdo a este valor, usaremos la lámpara de inducción para interiores de la serie Venus modelo LVD-ZWJY-23 con un flujo luminoso de 1400Lm, de 23W de potencia y un consumo de corriente de 0.21/0.12A para (110/220V_{ac})

Éstos nos da un consumo total aproximado por día de 1,26KWh para las lámparas de inducción teniendo en cuenta un uso controlado por domótica y una potencia máxima de 437W.

El consumo con lámparas incandescentes y sin el control de encendido-apagado, como se ve en la tabla 9, es de 7.58KWh. Éste valor nos servirá para calcular el valor de energía eléctrica que nos vamos a ahorrar con el sistema fotovoltaico.

El siguiente paso es calcular la corriente máxima de consumo para ambos valores de voltaje:

$$I_{\text{máx}} = 19 \times 0.21 = 3,99\text{A (110V}_{\text{ac}})$$

$$I_{\text{máx}} = 19 \times 0.12 = 2.28\text{A (220V}_{\text{ac}})$$

Estancia	Cant. Lámp	Pot. Total (W)	Horas Uso Diario* (H/día)	EAC' (KWH/día)	Pot. Total (usando incandesc) (W)	Horas Uso Diario (H/día)	Energía (usando incandesc) (KWh/día)
Planta alta							
Dormitorio 1	1	23	4	0.092	100	6	0.6
Dormitorio 2	1	23	4	0.092	100	6	0.6
Dormitorio 3	1	23	3	0.069	100	6	0.6
Baño 1	1	23	0.5	0.0115	100	1	0.1
Baño 2	1	23	1	0.023	100	1.5	0.15
Pasillo	2	46	5	0.230	200	6	1.2
Escaleras	1	23	5	0.115	100	6	0.6
Cuarto Closet	1	23	0.2	0.0115	100	0.5	0.05
Planta baja							
Sala-comedor	2	46	6	0.276	200	8	1.6
Hall	1	23	1.5	0.0345	100	2	0.2
Baño	1	23	0.5	0.0115	100	0.5	0.05
Baño 3	1	23	0.1	0.0023	100	0.25	0.025
Jardín	1	23	6	0.138	100	8	0.8
Patio	2	46	0.5	0.023	200	1	0.2
Cocina	2	46	3	0.138	200	4	0.8
Totales	19	437		1.2604	1900		7.575

Tabla 9.- Cuadro de cargas de alumbrado para la vivienda.

(*) Tiempo de uso considerando control domótico.

4.1.2. Cálculo de los elementos del sistema fotovoltaico

Con los valores eléctricos calculados anteriormente seleccionamos los diferentes elementos de nuestro sistema de alimentación para las lámparas.

En primer lugar calculamos el valor del inversor que puede soportar la carga máxima de 437W, considerando un factor del 1.5 para proteger el equipo. Así tendremos:

Potencia de las cargas de alumbrado: 437W

Factor de seguridad (50%): $437W * 1.5 = 655.5W$

Por lo tanto escogemos el inversor de la marca Isofoton, modelo ISOVERTER de 700W que se puede ver en la figura 36 y sus especificaciones en la tabla 8.

Para cubrir la potencia máxima de 437W se utilizarán paneles solares fotovoltaicos de la marca Kyocera de 225W, modelo KD225GX-LPB, cuyas especificaciones se pueden ver en la tabla 5.

El regulador de voltaje es el ISOLER 10 de la marca Isofoton, de 10A y 12V de salida y cuyas características se pueden ver en las tablas 6 y 7, y en la figura 35.

Para calcular el número de paneles:

$$E_{AC} = E_{AC'} / \eta_{inversor} = 1.26 / 0.9 = \mathbf{1.40 \text{ KWh}}$$

$$E_D = (E_{AC} + E_{DC}) * 1.25$$

Donde E_D es la energía demandada, E_{AC} y E_{DC} son las energías de consumo en ac y dc respectivamente.

$$E_D = (1.4 + 0) * 1.25 = \mathbf{1.75 \text{ KWh}}$$

El ángulo de inclinación de los paneles será el mismo del techo de las viviendas el cual es de 12°. Entonces de acuerdo a la tabla de exposición promedio mensual de radiación solar, escogemos el valor para 15° de inclinación, y el del mínimo mes del año.

$$P_{\text{máx}} = (E_D / E_{\text{Disponible}}) * 0.8 \text{ KW/m}^2 * \text{FS}$$

FS es el factor de simultaneidad que va entre 0 y 1. Nosotros escogeremos en el peor de los casos el valor de 1. De los datos del fabricante (ver tabla 5) utilizamos una constante de prueba de 0.8 KW/m²

$$P_{\text{máx}} = (1.75 \text{ KWh} / 3.90 \text{ KWh/m}^2) * 0.8 \text{ KW/m}^2 = \mathbf{0.359 \text{ KW}}$$

Para hallar el número de paneles sabemos por el fabricante (tabla 5) que la potencia pico del panel, C es 159W

$$N_{\text{paneles}} = 1.1 * P_{\text{máx}} / C$$

$$N_{\text{paneles}} = 1.1 * 0.359 \text{ KW} / 0.159 \text{ KW} = 2.48$$

Entonces usaremos 3 paneles fotovoltaicos.

Para hallar el número de baterías:

El número de días de autonomía escogido, D, es de 5 por las condiciones climáticas q se tienen. El voltaje de la batería es de

12V. La profundidad de descarga máxima Pb, tomado de la característica de nuestra batería, figura 38, es de 0.8 ó del 80%.

Este valor debido a sus 7 años de vida útil y para aproximadamente 511 descargas en ese lapso de tiempo.

$$Cb = (1.1 * E_D * D) * 1000 / (V * Pb)$$

$$Cb = 1.1 * 1.8535 * 5 * 1000 / (12 * 0.8)$$

$$Cb = 10194.25 / 9.6 = 1061.90 \text{ Ah}$$

$$N_{\text{baterías}} = 1061.90 \text{ Ah} / 250 \text{ Ah} = 4.2$$

Entonces usaremos 5 baterías de 12V y 250 Ah para nuestro proyecto.

4.2. Costos de los elementos

Costos elementos domésticos y luminarias				
Dispositivos	Modelo	Precio Unidad (USD)	Cantidad	Precio Total (USD)
Módulo de lámpara	XTP130803	27.52	2	55.04
Módulo casquillo de lámpara	XTP130810	18.73	19	355.87
Controlador Receptor IR/RF	XTR040804	83.30	1	83.30
Lampara de induccion 23W	LVD-ZWJY-23	43.57	19	827.83
TOTAL		173.12	41	1322.04

Tabla 10.- Costos de elementos domésticos y luminarias

Costos elementos sistema de energías renovables				
Dispositivos	<i>Modelo</i>	<i>Precio Unidad (USD)</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio Total (USD)</i>
Panel solar marca KYOCERA 225W 20V	KD225GX-LPB	411.68	3	1235.04
Bateria marca HOPPECKE	ENERGY 250	237.37	5	1186.85
Inversor marca ISOFOTON	ISOVERTER 700/12V	978.79	1	978.79
Regulador marca ISOFOTON	ISOLER 10	76.15	1	76.15
TOTAL				3476.83

Tabla 11.- Costos de los elementos del Sistema de Energías Renovables

Los costos de los elementos a utilizar se los ha obtenido en base a información suministrada por diferentes proveedores y canalizando siempre al tipo de vivienda social, es decir escogiendo lo más económicos sin dejar de lado el asunto técnico-calidad de los mismos, con el fin de tener productos garantizados y lograr que sea rentable a lo largo de los años, que para nuestro caso va a ser de 20 años.

Al igual que los elementos domóticos anteriores la información obtenida para los equipos de energías renovables fue en base a la calidad y durabilidad de los mismos, cuya implementación deberá ser tan confiable que los elementos no sufrirán cambios durante el periodo estimado de rentabilidad, dando energía segura y constante al menos durante ese tiempo.

4.3. Análisis de consumo eléctrico

Para realizar el cálculo del consumo eléctrico y del ahorro que vamos a tener al cambiar el tipo de lámparas, debemos saber cuánto nos cuesta cada KWh de energía.

Para esto debemos saber cuál es nuestro consumo total en la vivienda, lo que vemos en la siguiente tabla:

Artefacto	Cant	P (W)	Horas de Uso Diario (H/día)	Energía (WH/día)	Energía (KWH/día)
Lámp. Incandescentes	19	100	-	7575	7.575
Licuadora	1	250	0.1	25	0.025
Plancha	1	1500	0.12	180	0.180
Televisor	1	150	4	600	0.600
Refrigerador	1	-	-	1425	1.425
DVD Player	1	15	1	15	0.015
Radio	1	100	0.1	10	0.010
Ventilador	2	50	2	200	0.200
Lavadora	1	395	0.5	197.5	0.1975
Computador	1	110	1	110	0.110
Totales				10337.5	10.3375

Tabla 12.- Carga total de la vivienda para cálculo del precio del KWh

Para un mes de consumo vemos que

$$10.3375 * 30 = \mathbf{310.13KWh}$$

De la tabla de Cargos Tarifarios del Sector Residencial calculamos el valor a pagar en el mes de consumo:

$$\text{Precio} = 50*8.1 + 50*8.3 + 50*8.5 + 50*8.7 + 50*8.9 + 50*9.1 +$$

$$10.13*90.3 = \mathbf{USD \$26.74}$$

RANGO DE CONSUMO (kWh)	CARGOS TARIFARIOS (¢USD/kWh)				
	E.E. QUITO	PERIODO JUNIO - NOVIEMBRE (*)		PERIODO DICIEMBRE - MAYO	
		ELECTRICA DE GUAYAQUIL	SIERRA	COSTA	ELÉCTRICA DE GUAYAQUIL
0 - 50	6.80	6.80	8.10	6.80	8.10
51 - 100	7.10	7.10	8.30	7.10	8.30
101 - 150	7.30	7.30	8.50	7.30	8.50
151 - 200	8.00	8.00	8.70	8.00	8.70
201 - 250	8.70	8.60	8.90	8.60	8.90
251 - 300	8.90	9.30	9.10	9.30	9.10
301 - 350	8.90	9.30	9.30	9.30	9.30
351 - 500	8.90	9.30	9.50	9.30	9.50
501 - 700				9.30	9.50

(*) Aplica para las empresas distribuidoras de la Región Sierra en el período diciembre-mayo.

Tabla 13.- Cargos Tarifarios del Sector Residencial. Fuente: CONELEC

Al alimentar la carga de alumbrado con los paneles solares fotovoltaicos sólo nos queda el resto de artefactos como carga. El consumo será entonces de 2.7625 KWh/día y al mes 82.88KWh

Calculando el nuevo valor con ayuda de la tabla 13 tenemos:

$$\text{Precio}^* = 50 \cdot 8.1 + 32.88 \cdot 8.3 = \text{USD } \$6.78$$

Lo que indica que tendremos un ahorro al mes en costo por energía eléctrica de:

$$\text{USD } \$26.74 - \text{USD } \$6.78 = \text{USD } \$19.96$$

Y al año:

$$\text{USD } \$19.96 \cdot 365 / 30 = \text{USD } \$242.85$$

El siguiente paso será crear una tabla con la cantidad de lámparas incandescentes que se deberían cambiar por año y obtener el ahorro por lámparas no cambiadas en 20 años.

Año	Cant. Inic.	Cantidad de lámparas incandescentes por año																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Planta alta																					
Dormitorio 1	1	1	2	2	2	2	3	2	2	2	2	3	2	2	2	2	3	2	2	2	2
Dormitorio 2	1	1	2	2	2	2	3	2	2	2	2	3	2	2	2	2	3	2	2	2	2
Dormitorio 3	1	1	2	2	2	2	3	2	2	2	2	3	2	2	2	2	3	2	2	2	2
Baño 1	1			1			1			1			1		1			1			1
Baño 2	1		1		1		1		1		1	1		1		1		1		1	
Pasillo	2	2	4	4	4	4	6	4	4	4	4	6	4	4	4	4	6	4	4	4	4
Escaleras	1	1	2	2	2	2	3	2	2	2	2	3	2	2	2	2	3	2	2	2	2
Closet	1						1					1						1			
Planta baja																					
Sala-comedor	2	4	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	4	6	6	6	6	6
Hall	1		1	1		1	1	1		1	1	1		1	1		1	1	1		1
Baño	1						1					1						1			
Baño 3	1											1									
Jardín	1	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3
Patio	2			2			2			2			2		2			2			2
Cocina	2	2	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	2	4	2	4	2	4	2	4
Totales	19	14	25	29	24	26	36	26	24	29	25	36	26	25	26	24	32	30	26	24	29

Tabla14.- Cantidad de lámparas incandescentes para reemplazar en tiempo del proyecto

En base a todos nuestros datos anteriores ya podemos realizar los cálculos necesarios para saber si nuestro proyecto de vivienda social resulta rentable o no (VAN y TIR) para el periodo antes mencionado:

4.4. Flujo de caja

De los cálculos realizados considerando una tasa de retorno del 10%, y ahorros anuales de mantenimiento por no utilizar focos incandescentes, asumiendo según tabla 14 (cantidad de lámparas a ser reemplazados por año), cuyo costo promedio de cada unidad es de USD \$1, tenemos como resultados finales valores negativos de VAN (USD\$-3.412.87) y TIR (-3.91%) con lo que se concluye que el proyecto no es rentable.

En vista de que los costos de inversión son considerablemente altos para esta clase de generación lo conveniente sería aplicarlos a conjuntos habitacionales muy grandes.

	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8
Inversion equipos domótica	\$-1,322.04								
Inversión equipos energía renovable	\$-3,476.83							\$-1.186,85	
Ahorro por consumo energía		\$242.85	\$242.85	\$242.85	\$242.85	\$242.85	\$242.85	\$242.85	\$242.85
Ahorro por mantenimiento	\$19.00	\$14.00	\$25.00	\$29.00	\$24.00	\$26.00	\$36.00	\$26.00	\$24.00
FLUJO DE CAJA	\$-4,779.87	\$256.85	\$267.85	\$271.85	\$266.85	\$268.85	\$278.85	\$-918.00	\$266.85

AÑO 9	AÑO 10	AÑO 11	AÑO 12	AÑO 13	AÑO 14	AÑO 15	AÑO 16	AÑO 17	AÑO 18	AÑO 19	AÑO 20
					\$-1.186,85						
\$242.85	\$242.85	\$242.85	\$242.85	\$242.85	\$242.85	\$242.85	\$242.85	\$242.85	\$242.85	\$242.85	\$242.85
\$29.00	\$25.00	\$36.00	\$26.00	\$25.00	\$26.00	\$24.00	\$32.00	\$30.00	\$26.00	\$24.00	\$29.00
\$271.85	\$267.85	\$278.85	\$258.85	\$267.85	\$-918.00	\$266.85	\$264.85	\$272.85	\$268.85	\$266.85	\$271.85

VAN	\$-3,412.87
TIR	-3.91%

Tabla 15.- Flujo de caja para 1 vivienda

RADIACION SOLAR DIARIA INCLINADA (KWH / m ²)												
B(grados)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
Enero	4.40	4.30	4.18	4.05	3.90	3.73	3.55	3.35	3.15	2.94	2.73	2.51
Febrero	4.64	4.57	4.49	4.38	4.25	4.11	3.94	3.76	3.57	3.36	3.15	2.92
Marzo	5.08	5.06	5.02	4.95	4.85	4.74	4.6	4.44	4.26	4.06	3.84	3.62
Abril	4.96	5.01	5.03	5.03	5.00	4.95	4.87	4.76	4.63	4.48	4.31	4.12
Mayo	4.55	4.65	4.72	4.77	4.79	4.79	4.76	4.71	4.63	4.53	4.4	4.26
Junio	3.99	4.09	4.16	4.22	4.26	4.27	4.26	4.23	4.17	4.10	4.00	3.89
Julio	3.88	3.96	4.02	4.07	4.09	4.09	4.07	4.03	3.97	3.89	3.79	3.67
Agosto	4.22	4.27	4.31	4.32	4.31	4.28	4.23	4.15	4.06	3.94	3.81	3.66
Septiembre	4.47	4.48	4.46	4.42	4.36	4.28	4.18	4.06	3.92	3.77	3.60	3.41
Octubre	4.07	4.03	3.97	3.90	3.81	3.70	3.57	3.43	3.28	3.12	2.94	2.76
Noviembre	4.49	4.40	4.29	4.16	4.01	3.84	3.66	3.47	3.27	3.05	2.83	2.62
Diciembre	4.47	4.36	4.22	4.07	3.91	3.73	3.53	3.32	3.11	2.88	2.66	2.44
Promedio	4.44	4.43	4.41	4.36	4.29	4.21	4.10	3.98	3.84	3.68	3.51	3.32
HSP	4.44	4.43	4.41	4.36	4.29	4.21	4.1	3.98	3.84	3.68	3.51	3.32

Tabla 16.- Tabla de radiación solar promedio para diferentes inclinaciones

CONCLUSIONES

- 1) Estos tipos de proyectos los cuales utilizan paneles solares como fuentes de energía renovables, lámparas de inducción como único elemento de carga no resulta rentable para viviendas únicas ni a corto ni a largo plazo.
- 2) En el análisis no se ha tomado en cuenta la retribución de parte del gobierno por la no emisión de CO₂ a la atmosfera debido a que nuestro proyecto es para alimentar a una sola vivienda y no de generación de excedentes para alimentar al Sistema Nacional Interconectado, en cuyo caso si aplicaría ese 1 rubro.
- 3) Luego de los cálculos realizados podemos observar que el costo de la energía eléctrica generada con paneles solares fotovoltaicos es muy elevado comparado con el obtenido por medio de fuentes convencionales. Esto se debe al alto costo de los equipos ya que esta tecnología en nuestro entorno esta recién en sus primeras etapas, además de que pocas son las empresas que ofertan los suministros necesarios para la implementación de proyectos como el descrito en este trabajo.
- 4) Otro factor que perjudica al proyecto es el costo de las luminarias LVD o lámparas incandescentes, el cual es muy elevado aunque su tiempo de vida útil oscila entre las cincuenta y ochenta mil horas.

RECOMENDACIONES

- 1) En vista de que no es favorable aplicar esta tecnología actualmente (costos todavía son altos), se sugiere otras fuentes de energía renovables, así también a pesar de que las luminarias de inducción tienen una larga vida útil (alrededor de 25 a 30 años) podrían ser reemplazadas por la tecnología led que actualmente se está imponiendo abaratando los costos y tienen también un buen rendimiento además de una vida útil extensa y no requiere para su implementación de inversores y otros equipos costosos como el proyecto propuesto.
- 2) Otro tipo de luminarias de bajo costo que se pueden utilizar son las de tipo fluorescentes compactas. Además el equipo domótico encarece el proyecto y una alternativa sería prescindir de éste y permitir al usuario controlar por sí mismo el consumo de la electricidad.

BIBLIOGRAFÍA

[1]. Junestrand Stefan, Passaret Javier y Vázquez Daniel, “Domótica y Hogar Digital”, Editorial Paraninfo, 2005

[2]. Martín Chivelet, Nuria, “Integración de la energía fotovoltaica en edificios”, Progensa, 1ª Edición, 2011.

[3]. Fernández Salgado, José, “Compendio de energía solar: Fotovoltaica, Térmica y Termoeléctrica”, Ediciones Mundiprensa, 2010.

[4]. Roldán Vilorio, José “Instalaciones solares fotovoltaicas”, Ediciones Paraninfo, 1ª Edición, 2010..

[5]. Madrid Vicente, Antonio, “Curso de energía solar. fotovoltaica, térmica y termoeléctrica”, Mundiprensa, 2009.

[6]. Fernández Salgado, José, “Guía completa de la energía solar fotovoltaica y termoeléctrica”, Mundiprensa, 2ª Edición, 2008

[7]. Wordpress, Lámparas de inducción electromagnética,
<http://unmundodeluzacostecero.wordpress.com/2011/01/23/lamparas-de-induccion-elctromagnetica/>, fecha de consulta agosto 2011.

[8]. LVD, La nueva generación de luminaria por ahorro de energía, Lámparas de inducción, <http://www.lvd.cc/es1/lvd/venus.html>, fecha de consulta agosto 2011

- [9]. Tu Tienda Solar, Baterías de 12V Victron Energy,
<http://www.tutiendasolar.es/Gel-Batería-12V-110Ah-GEL-Deep-Cycle-Batt.-Victron-Energy.html>, fecha de consulta septiembre 2011
- [10]. Energy Futur, Catálogos y precios de baterías,
<http://www.energyfutur.com/>, fecha de consulta septiembre 2011
- [11]. Distribuciones Solares del Principado, Reguladores de carga ISOLER,
http://www.distribucionessolares.com/productos/REGULADOR~DOMESTICO~ISOLER~~ISOLER~D30_751777.html, fecha de consulta septiembre 2011
- [12]. Codeso, Paneles solares Kyocera,
<http://codeso.info/Solar-Energia/Kyocera-Solar-Panele.html>, fecha de consulta septiembre 2011.
- [13]. Acceso Solar, Paquetes Solares,
<http://www.accesosolar.com/paquete275.html>, fecha de consulta septiembre 2011