



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

MODALIDAD CLÁSICA

ESCUELA DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

Diseño constructivo de un sistema de iluminación de energía mixta fotovoltaica-eléctrica convencional para el edificio de aulas Virginia Riofrío de la UTPL

Trabajo de fin de carrera previa a la obtención del título de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones

AUTORES: David Andrés Aguirre Burneo
José Junior Carpio Jiménez
Esteban Andrés Gutiérrez Novillo

DIRECTOR: Ing. Jorge Luis Jaramillo

Loja-Ecuador 2011





ESCUELA DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

**DISEÑO CONSTRUCTIVO DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN DE ENERGÍA
MIXTA FOTOVOLTAICA-ELÉCTRICA CONVENCIONAL PARA EL EDIFICIO DE
AULAS VIRGINIA RIOFRÍO DE LA UTPL**

AUTORES: David Andrés Aguirre Burneo
José Junior Carpio Jiménez
Esteban Andrés Gutiérrez Novillo

Trabajo de fin de carrera previa a la obtención
del título de Ingeniería en Electrónica y
Telecomunicaciones

DIRECTOR: Ing. Jorge Luis Jaramillo

Loja - Ecuador

2011



CERTIFICACIÓN: ACEPTACIÓN DE PROYECTO DE FIN DE CARRERA

Loja, Noviembre de 2011

Ing. Jorge Luis Jaramillo Pacheco
Escuela de Electrónica y Telecomunicaciones

Dejo constancia de haber revisado y estar de acuerdo con el proyecto de fin de carrera, titulado: “Diseño Constructivo de un sistema de iluminación de energía mixta fotovoltaica – eléctrica convencional para el edificio de aulas Virginia Riofrío de la UTPL”.

Presentado por:

David Andrés Aguirre Burneo
José Junior Carpio Jiménez
Esteban Andrés Gutiérrez Novillo

Particular que comunico para los fines legales pertinentes.

Ing. Jorge Luis Jaramillo Pacheco

<p>Visto Bueno Dirección Escuela</p> <p>F)..... Ing. Susana Arias DIRECTORA DE LA ESCUELA DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES</p> <p>Noviembre de 2011</p>
--



ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS EN TESIS DE GRADO

Nosotros, David Andrés Aguirre Burneo, José Junior Carpio Jiménez, Esteban Andrés Gutiérrez Novillo, declaramos ser autores del presente trabajo y eximimos expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Adicionalmente declaramos conocer y aceptar la disposición del Art. 67 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

David Andrés Aguirre Burneo

José Junior Carpio Jiménez

Esteban Andrés Gutiérrez Novillo



AUTORÍA

Las ideas, opiniones, conclusiones, y contenidos expuestos en el presente informe de investigación son de exclusiva responsabilidad de sus autores.

David Andrés Aguirre Burneo

José Junior Carpio Jiménez

Esteban Andrés Gutiérrez Novillo



DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres Patricio y María Rosa porque creyeron en mi y porque me sacaron adelante, dándome ejemplos dignos de superación y entrega, porque en gran parte gracias a ustedes, hoy puedo ver alcanzada mi meta, ya que siempre estuvieron impulsándome en los momentos más difíciles de mi carrera, y porque el orgullo que sienten por mi, fue lo que me hizo ir hasta el final. Va por ustedes, por lo que valen, porque admiro su fortaleza y por lo que han hecho de mí.

A mis hermanos, tíos, primos, abuelos y amigos.

Gracias por haber fomentado en mí el deseo de superación y el anhelo de triunfo en la vida.

David

De manera especial y principal a mis padres José Carpio y Macrina Jiménez, gracias a su esfuerzo y apoyo incondicional he podido cumplir mis objetivos, igualmente agradezco a mis hermanos, que me han impulsado a seguir adelante, a mis primos, tíos, abuelos amigos y compañeros por su apoyo y con los cuales se ha podido compartir experiencias que han dejado grandes enseñanzas en mi vida.

Junior

En primer lugar dedico este trabajo a Dios; en segundo lugar a cada uno de los que son parte de mi familia a mi padre Marco Gutiérrez, mi madre María Novillo; que siempre me han dado su apoyo incondicional y a quienes debo este triunfo profesional, por todo su trabajo y dedicación para darme una formación académica y sobre todo humanista y espiritual. De ellos es este triunfo y para ellos es todo mi agradecimiento. Por último a mis compañeros de tesis que me ayudaron a salir adelante en la culminación de este trabajo y a mi director de tesis quién nos ayudó en todo momento.

Esteban



AGRADECIMIENTO

Agradecemos primeramente a Dios por otórganos la oportunidad, capacidad y sabiduría durante el transcurso de nuestras vidas, a nuestros queridos padres por todo su incondicional apoyo y esfuerzo otorgado en el transcurso de nuestra vida.

Agradecemos al Ing. Jorge Luis Jaramillo, por ser un participe de suma importancia en la elaboración de este proyecto, por compartir sus conocimientos, por su perseverancia, por ser un apoyo incondicional y por dedicar su tiempo para el éxito del mismo; a cada uno de los docentes de la UTPL que a través de nuestro proceso de formación nos han ido formando intelectual y moralmente, para poder lograr nuestro objetivo de ser los excelentes profesionales que nuestra sociedad necesita.

Por último a nuestros compañeros y amigos de aula con los cuales hemos compartido momentos la gran mayoría de nuestra formación universitaria, y la comunidad web por compartir de formar desinteresada por sus aportes, que nos han sido de gran utilidad para la elaboración del proyecto de fin de carrera.

David Andrés Aguirre Burneo

José Junior Carpio Jiménez

Esteban Andrés Gutiérrez Novillo



INTRODUCCIÓN

El creciente costo económico y ambiental de los combustibles fósiles ha promovido el desarrollo de fuentes renovables como alternativas energéticas. Entre las fuentes de energía renovable de mayor potencial figura la energía solar, disponible en todo el mundo y catalogada como un recurso universal que no tiene costo. Por su ubicación geográfica, el Ecuador es uno de los países cuyo potencial energético solar es considerablemente alto. En respuesta al reto de mejorar la tecnología para el aprovechamiento de la energía solar y su aplicación en actividades concretas, la UTPL ha propuesto una línea de I+D+I, iniciándose con proyectos piloto como el Diseño Constructivo de un sistema de iluminación de energía mixta fotovoltaica – eléctrica convencional para el edificio de aulas Virginia Riofrío de la UTPL, considerando que la zona de Loja posee un alto nivel de radiación solar.

La arquitectura básica del sistema se definió al aplicar los paradigmas de isomorfismo y determinismo de la Teoría General de Sistemas [1], [2], [3], [4] en un sistema fotovoltaico para iluminación. Como resultado el sistema fue modelado a través de tres bloques funcionales: *paneles solares*, *sistema eficiente de iluminación*, y *storage de energía*. Como una opción para elevar la fiabilidad del sistema, la arquitectura propuesta incluye un cuarto bloque funcional (Control) – la transferencia- cuyo objetivo principal es garantizar el abastecimiento de energía, transformando la energía del sol o utilizando directamente la energía de la red eléctrica convencional.



OBJETIVOS

Objetivo General.-

Realizar el diseño constructivo a detalle de un sistema de iluminación de energía mixta fotovoltaica – eléctrica convencional para el edificio de aulas Virginia Riofrío de la UTPL, tomando en cuenta los requerimientos y recomendaciones de iluminación establecidos para cada espacio.

Objetivos Específicos.-

- Conocer y ampliar información sobre la línea base de los sistemas de iluminación que nos permita un óptimo diseño del sistema.
- Determinar los requerimientos del sistema y seleccionar los dispositivos óptimos para la implementación de los componentes del sistema de iluminación.
- Determinar las particularidades del balance de energía en un sistema fotovoltaico para iluminación de espacios, considerando los parámetros del clima en la zona de Loja.
- Aproximar un diseño para implementación de sistemas fotovoltaicos para la iluminación de espacios arquitectónicos.



TABLA DE CONTENIDO

ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS EN TESIS DE GRADO.....	II
AUTORÍA	III
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTO	II
INTRODUCCIÓN	II
OBJETIVOS.....	III
TABLA DE CONTENIDO	IV
LISTA DE FIGURAS	VII
LISTA DE TABLAS	VIII
RESUMEN	IX
CAPÍTULO I	1
1. GENERALIDADES DE LOS SISTEMAS DE ILUMINACIÓN	1
1.1 CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE ILUMINACIÓN	1
1.1.1 <i>Sistemas convencionales de iluminación</i>	1
1.1.2 <i>Sistemas no convencionales de iluminación</i>	1
1.1.3 <i>Sistemas convencionales vs sistemas no convencionales</i>	4
1.2 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ILUMINACIÓN.....	7
1.2.1 <i>Esquema general del sistema</i>	7
1.2.2 <i>Paradigma de control para gestión del sistema</i>	8
1.3 GENERALIDADES DE LA ILUMINACIÓN DE EDIFICIOS.....	8
1.4 GENERALIDADES DE LA TECNOLOGÍA FOTOVOLTAICA	9
1.4.1 <i>Historia y tendencias de la energía fotovoltaica</i>	9
1.4.2 <i>Células Fotovoltaicas</i>	10
1.4.2.1 Principio de funcionamiento de una célula fotovoltaica.....	10
1.4.2.2 Tipos de células fotovoltaicas	11
1.4.2.3 Eficiencia, voltaje, corriente y potencia en las células fotovoltaicas.....	13
1.4.2.4 Punto de máxima potencia	13
1.4.2.5 Factor de eficiencia de la conversión	14
1.4.2.6 Factor de forma (Fill Factor).....	14
1.4.2.7 Rendimiento de las células fotovoltaicas	14
1.5 PANELES FOTOVOLTAICOS	15
1.5.1 <i>Estructura de un panel fotovoltaico</i>	15
1.5.2 <i>Voltaje, potencia y número de células de los paneles fotovoltaicos</i>	17
1.5.3 <i>Clasificación de los paneles fotovoltaicos</i>	18
1.5.4 <i>Principales fabricantes de paneles fotovoltaicos</i>	18
CAPÍTULO II	21



2.	DIMENSIONAMIENTO DE LA DEMANDA DE ENERGÍA	21
2.1	NIVELES DE ILUMINACIÓN REQUERIDOS	21
2.1.1	<i>Iluminación de aulas</i>	21
2.1.2	<i>Iluminación de pasillos</i>	23
2.2	SELECCIÓN DE LAS LUMINARIAS ÓPTIMAS PARA EL SISTEMA	23
2.2.1	<i>Luminarias para aulas</i>	23
2.2.2	<i>Luminarias para pasillos</i>	24
2.3	NÚMERO DE LUMINARIAS Y ESQUEMA DE CONEXIÓN.....	25
2.3.1	<i>Dimensionamiento del sistema de iluminación para las aulas de la planta baja y del segundo piso</i>	25
2.3.1.1	Determinación de la constante del salón y del número de puntos de medición	25
2.3.1.2	Determinación del factor de mantenimiento (fm) y coeficiente de utilización (η).....	27
2.3.1.3	Cálculo del flujo luminoso total.....	28
2.3.1.4	Número de luminarias	29
2.3.1.5	Emplazamiento de las luminarias.....	29
2.3.2	<i>Dimensionamiento del sistema de iluminación para las aulas del primer piso</i>	30
2.4	DEMANDA TOTAL DE ENERGÍA	31
CAPÍTULO III		34
3.	DIMENSIONAMIENTO DEL COMPONENTE FOTOVOLTAICO	34
3.1	ENERGÍA REQUERIDA PARA LA CARGA	34
3.2	ELECCIÓN DE UN MODELO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	34
3.3	CÁLCULO DEL NÚMERO DE PANELES FOTOVOLTAICOS.....	36
3.3.1	<i>Número de paneles fotovoltaicos requeridos en 12 V</i>	36
3.3.1.1	CA a CC.....	36
3.3.1.2	Corriente pico del módulo	36
3.3.1.3	Número de módulos requeridos	38
3.3.2	<i>Número de paneles fotovoltaicos requeridos en 24V, 36V, y, 48V</i>	39
3.4	ELECCIÓN DEL ARREGLO ÓPTIMO PARA EL SISTEMA.....	44
3.5	IMPLICACIONES ESTRUCTURALES DEL COMPONENTE FOTOVOLTAICO	44
3.6	CÁLCULO DE LA INVERSIÓN REQUERIDA PARA EL COMPONENTE FOTOVOLTAICO.....	46
CAPÍTULO IV.....		47
4.	DIMENSIONAMIENTO DEL BLOQUE DE STORAGE DE ENERGÍA, REGULADOR DE CARGA E INVERSOR	47
4.1	STORAGE DE ENERGÍA	47
4.2	ESQUEMA GENERAL DEL SISTEMA DE STORAGE A IMPLEMENTAR	47
4.3	CÁLCULO DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE STORAGE DE ENERGÍA	49
4.3.1	<i>Regulador de carga</i>	49
4.3.2	<i>Inversor</i>	52
4.3.3	<i>Arreglo de baterías</i>	54
4.3.4	<i>Implicaciones estructurales del arreglo de baterías</i>	59
4.3.5	<i>Implicaciones ambientales del arreglo de baterías</i>	60
4.4	PRESUPUESTO DE INVERSIÓN.....	60



CAPÍTULO V.....	61
5. DISEÑO DEL BLOQUE DE CONTROL.....	61
5.1 DISEÑO DEL BLOQUE DE CONTROL.....	61
5.1.1 <i>Paradigma de control</i>	61
5.1.2 <i>Variables de control</i>	63
5.2 CÁLCULO DE LOS MÓDULOS DEL BLOQUE DE CONTROL	63
5.2.1 <i>Módulo de medición</i>	63
5.2.2 <i>Módulo de control</i>	65
5.2.3 <i>Módulo de conmutación</i>	67
5.2.4 <i>Contador de energía eléctrica</i>	68
5.3 PRESUPUESTO DE INVERSIÓN.....	69
CAPÍTULO VI.....	70
6. PRESUPUESTO GENERAL	70
CONCLUSIONES.....	73
REFERENCIAS	77
ANEXOS.....	83



LISTA DE FIGURAS

FIG. 1.1 LÁMPARAS DE TECNOLOGÍA LED.....	3
FIG. 1.2 EVOLUCIÓN DE LOS NIVELES DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LOS DISPOSITIVOS LUMÍNICOS DESDE SU INVENCION.	5
FIG. 1.3 COMPARACIÓN DE LOS NIVELES DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LOS DISPOSITIVOS LUMÍNICOS.	5
FIG. 1.4 ÁREAS EFECTIVAS DE ILUMINACIÓN Y NIVELES DE ILUMINACIÓN EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA A UNA LÁMPARA LED .	6
FIG. 1.5 ESQUEMA DE ALIMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA ILUMINACIÓN	7
FIG. 1.6 ESTRUCTURA TÍPICA DE UNA CÉLULA FV	11
FIG. 1.7 GEOMETRÍA DE LAS CÉLULAS FV	12
FIG. 1.8 ELEMENTOS DE UN PANEL FOTOVOLTAICO.	16
FIG. 1.9 EVOLUCIÓN DE EFICIENCIA DE LAS CELDAS SOLARES.....	17
FIG. 2.1 LX-102 MEDIDOR DE LUZ LUXÓMETRO PROFESIONAL.....	22
FIG. 2.2 LÁMPARAS DE TUBO LED. SINOSTAR LIGHTING GROUP	24
FIG. 2.3 LÁMPARA LED PARATHOM PAR16	25
FIG. 2.4 REFERENCIA DE LAS DIMENSIONES DE LAS AULAS PARA DETERMINAR LA CONSTANTE DEL SALÓN (K), A ILUMINAR.....	26
FIG. 2.5 FACTORES DE UTILIZACIÓN (n), ILUMINACIÓN EN INTERIORES.....	28
FIG. 2.6 DISTRIBUCIÓN DE LAS LUMINARIAS PARA LAS AULAS DE LA PLANTA BAJA Y SEGUNDO PISO.....	30
FIG. 2.7 DISTRIBUCIÓN DE LAS LUMINARIAS PARA LAS AULAS DEL PRIMER PISO.....	31
FIG. 3.1 MÓDULO FOTOVOLTAICO ISOFOTON I-100/12 V	35
FIG. 3.2 ESQUEMA DE CONEXIÓN DE LOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS A 12 V.....	39
FIG. 3.3 ESQUEMA DE CONEXIÓN DE LOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS A 24 V	40
FIG. 3.4 ESQUEMA DE CONEXIÓN DE LOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS A 36 V	41
FIG. 3.5 ESQUEMA DE CONEXIÓN DE LOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS A 48 V	43
FIG. 3.6 DIMENSIONES GEOMÉTRICAS DEL MÓDULO FOTOVOLTAICO ISOFOTON I-100/12 V.....	44
FIG. 4.1 ESQUEMA GENERAL DE SISTEMA DE ILUMINACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA –	49
FIG. 4.2 REGULADOR STECA POWER TAROM 4110.....	52
FIG. 4.3 INVERSOR SUNNY BOY 6000TL	53
FIG. 4.4 DIAGRAMA DE CARGA DIARIA EN EL EDIFICIO VIRGINIA RIOFRÍO DE LA UTPL.....	54
FIG. 4.5 BATERÍAS ESTACIONARIAS SONNENSCHN MODELO A512-200	56
FIG. 4.6 ESQUEMA DE CONEXIÓN DEL ARREGLO DE BATERÍAS	58
FIG. 5.1 DIAGRAMA DE MÓDULOS FUNCIONALES DEL BLOQUE DE CONTROL.....	62
FIG. 5.2 ESQUEMA DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN MIXTA FOTOVOLTAICA DEL EDIFICIO VIRGINIA RIOFRÍO DE LA UTPL	62
FIG. 5.3 CIRCUITO DIVISOR DE VOLTAJE	64
FIG. 5.4 CIRCUITO INDICADOR DE NIVEL DE CARGA DE LAS BATERÍAS BATERÍA.	65
FIG. 5.5 CIRCUITO DE CONMUTACIÓN	67
FIG. 5.6 ESQUEMA GENERAL DEL BLOQUE DE CONTROL	68
FIG. 5.7 CONTADOR DE ENERGÍA ELÉCTRICA CIRWATT D 405MT 405MT	69



LISTA DE TABLAS

TABLA 1.1 NIVEL DE ILUMINANCIA RECOMENDADA PARA CADA ACTIVIDAD	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
TABLA 1.2 AHORROS ANUALES GENERADOS POR LA UTILIZACIÓN DE SISTEMAS EFICIENTES DE ILUMINACION.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
MARCADOR NO DEFINIDO.	
TABLA 1.3 TIPOS DE PANELES FOTOVOLTAICOS	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
TABLA 1.4 PANELES FOTOVOLTAICOS DISPONIBLES EN EL MERCADO.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
TABLA 2.1 NIVELES DE ILUMINACIÓN ACTUALES EN LAS AULAS DEL EDIFICIO VIRGINIA RIOFRÍO	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
MARCADOR NO DEFINIDO.	
TABLA 2.2 FACTOR DE MANTENIMIENTO DE LA LUMINARIAS.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
TABLA 2.3 FACTORES DE REFLEXION DE TECHO, PAREDES Y PISO	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
TABLA 2.4 REQUERIMIENTO DE ENERGIA WH/DIA PARA LA PLANTA BAJA DEL EDIFICIO VIRGINIA RIOFRÍO	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
MARCADOR NO DEFINIDO.	
TABLA 2.5 REQUERIMIENTO DE ENERGIA WH/DIA PARA LA PRIMERA PLANTA DEL EDIFICIO VIRGINIA RIOFRÍO.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
MARCADOR NO DEFINIDO.	
TABLA 2.6 REQUERIMIENTO DE ENERGIA WH/DIA PARA LA SEGUNDA PLANTA DEL EDIFICIO VIRGINIA RIOFRÍO	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
MARCADOR NO DEFINIDO.	
TABLA 3.1 PROMEDIO DE RADIACIÓN SOLAR PARA LA ZONA DE LOJA, SEGÚN EL ATLAS SOLAR EDITADO POR EL CONELEC	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
MARCADOR NO DEFINIDO.	
TABLA 3.2 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA A 12 V	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
TABLA 3.3 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA A 24 V	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
TABLA 3.4 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA A 36 V	41
TABLA 3.5 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA A 48 V	42
TABLA 4.1 TECNOLOGÍAS DE STORAGE DE ENERGÍA	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
TABLA 4.2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Y ELÉCTRICAS DE LOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS ISOFOTON-100/12 V	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
MARCADOR NO DEFINIDO.	
TABLA 4.3 DIMENSIONAMIENTO DE CORRIENTE PICO DEL SISTEMA.....	53
TABLA 4.4 ANÁLISIS DE CARGA DIARIA.....	55
TABLA 4.5 RESUMEN DEL CÁLCULO DEL ARREGLO DE BATERÍAS.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
TABLA 6.1 PRESUPUESTO GENERAL PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA	70



RESUMEN

En respuesta al reto de mejorar la tecnología para el aprovechamiento de la energía solar y su aplicación en actividades concretas, se ha realizado el diseño constructivo de un sistema de iluminación de energía mixta fotovoltaica – eléctrica convencional para el edificio de aulas Virginia Riofrío de la UTPL, considerando que la zona de Loja tiene un alto nivel de radiación solar.

Este trabajo contiene seis capítulos. El primero recoge la información disponible sobre las generalidades de los sistemas de iluminación. En el segundo, se realiza el dimensionamiento de la demanda de energía, en el tercer capítulo se realiza el dimensionamiento del componente fotovoltaico. En el cuarto capítulo realizamos el dimensionamiento del bloque de storage de energía, regulador de carga e inversor. En el quinto capítulo se describe el diseño del bloque de control, y por último en el sexto capítulo se realiza el presupuesto general para la implementación del sistema.



CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES DE LOS SISTEMAS DE ILUMINACIÓN

En forma general un sistema de iluminación se considera como un conjunto de luminarias destinadas a proporcionar un nivel de iluminación para la realización de actividades específicas [5] (Ver Tabla 1).

1.1 CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE ILUMINACIÓN

Los sistemas de iluminación se clasifican en dos grupos: *los convencionales y los no convencionales*.

1.1.1 Sistemas convencionales de iluminación

Estos sistemas emplean como luminarias a lámparas incandescentes, lámparas de arco, lámparas de filamentos de carbono, lámparas fluorescentes, etc. Debido a la naturaleza de las luminarias, sólo una parte de la energía eléctrica consumida se transforma en energía luminosa, por lo que los sistemas convencionales se consideran ineficientes.

Sin embargo, existen sistemas convencionales de alta eficacia energética, los mismos que suelen utilizar balastos para mantener un flujo estable de corriente, cuya vida útil es reducida [6].

1.1.2 Sistemas no convencionales de iluminación

Los sistemas no convencionales de iluminación se aplican en iluminación ambiental, decorativa, puntual, funcional, etc. Estos sistemas incorporan luminarias con un alto nivel de eficiencia, de baja potencia y de intensidad lumínica aceptable, alimentadas de voltajes de 12V, 24V, 30V, 64V, entre otros.



Tabla 1.1
Nivel de iluminancia recomendada para
cada actividad

Tipo de Actividad	Nivel de Luminancia (luxes)	Ejemplos
Espacios públicos con alrededores oscuros	20-30-50	Vestíbulos
Simple orientación para visitas temporales	50-75-100	Corredores, cuartos de almacenamiento
Espacios de trabajo donde las tareas visuales son ejecutadas solo ocasionalmente	100-150-200	Salas de espera, escritorios de recepción
Ejecución de tareas visuales de alto contraste o gran tamaño	200-300-500	Material impreso, originales impresos, escritura a mano en tinta, trabajo industrial rudo
Ejecución de tareas visuales de mediano contraste o regular tamaño	500-700-1000	Escritura con lápiz medio, material impreso o reducido pobremente, trabajo industrial medio
Ejecución de tareas visuales de bajo contraste o tamaño muy pequeño	1000-1500-2000	Escritura con lápiz duro de papel de calidad pobre, duplicados decolorados, trabajo industrial difícil
Ejecución de tareas visuales de bajo contraste o tamaño muy medio ejecutadas sobre un periodo de tiempo prolongado	2000-3000-5000	Trabajo industrial fino, inspección difícil
Ejecución de tareas visuales muy prolongadas y de exactitud	5000-7500-10000	Trabajo de banco extrafino, maquinado o trabajo de ensamble
Ejecución de tareas visuales muy especiales de bajo contraste y pequeños	10000-15000-20000	Procedimientos quirúrgicos, costura de trajes

Las luminarias habituales en estos sistemas utilizan tecnología LED (ver Fig. 1.1). Un LED (Light-Emitting Diode) es un diodo semiconductor que emite luz incoherente de espectro reducido cuando se polariza de forma directa y circula por él una corriente eléctrica. El color (longitud de onda), depende del material semiconductor empleado en la construcción del diodo [7]. A diferencia de una bombilla eléctrica que libera CO₂, los LEDs no son dispositivos contaminantes.

Existen algunas tecnologías LED: mini LED, LED edge lite, LED wall washer line type, LED pole 25, LED pane luxury, POOL light 12, etc.

La tecnología Mini LED se conecta al voltaje de la red doméstica, lo que facilita su aplicación, montaje y mantenimiento. La luz emitida por este tipo de LED se basa en la combinación RGB y puede ser de varios millones de colores, y su potencia varía entre 1W y 32W, con una vida útil de 80 mil horas [8].



La tecnología LED edge lite es una solución innovadora en la iluminación de acrílico para letreros. Estos LEDs están disponibles en rojo, amarillo, azul, verde, y blanco. Con una potencia de consumo de 0.8W y una vida útil media de 60 mil horas [8].

La tecnología LED wall washer line type se utiliza en la fabricación de reflectores. LEDs de 1W de potencia proporcionan luz en la gama de los colores RGB. Su vida útil se estima en 80 mil horas.



Fig. 1.1 Lámparas de tecnología LED. C. J. Carrillo. Sistemas de iluminación, eficiencia y sostenibilidad energética en la empresa. Centro Tecnológico de Eficiencia y Sostenibilidad Energética. La Coruña, 2009, [en línea] <http://www.energylab.es/fotos/091105104635_YTi6.pdf, [Consulta 23 Abril 2010]

La tecnología LED pole 25 se emplea en decoración. Se complementa con un avanzado circuito microelectrónico que permite cambio de colores duraderos y de bajo consumo de energía. La potencia estimada es de 25W, con una vida útil media de 100 mil horas.

La tecnología LED pane luxury se utiliza en la iluminación de interiores con colores de la gama RGB. La potencia es de 32 W y la vida útil media de 100 mil horas.



La tecnología POOL light 12 se emplea en iluminación de albercas gracias a la gama de colores RGB y un índice de protección IP 68. La potencia de consumo es de alrededor de 25W y registra una vida útil promedio de 100 mil horas.

1.1.3 Sistemas convencionales vs sistemas no convencionales

Los índices de eficiencia y calidad del espectro luminoso alcanzados por las luminarias compactas fluorescentes (CFL) las han convertido en serias sustitutas de las lámparas incandescentes y halógenas (las lámparas más utilizadas en el sector doméstico). La tecnología LED, por su parte, ha alcanzado valores de eficiencia iguales a las CFL y se espera que alcancen los 150 lm/W en los próximos años. Los CFL y los LEDs pueden llegar a ser del orden de 50 a 90 % más eficientes que una lámpara incandescente típica. Las Fig. 1.2 y 1.3 muestran la evolución de los índices de eficiencia energética de los dispositivos lumínicos y una comparación de los niveles alcanzados en la actualidad.

El área efectiva de iluminación con lámparas LEDs de alta intensidad puede ser de hasta 40m x 16m, si la lámpara está colocada en un poste a una altitud de 12m [6], mientras que la iluminación puede variar de 45 lux (si la lámpara se ubica a 6m de altura) a 11 lux (a 12m), lo que todavía es equivalente a 2.5 veces más que la iluminación proporcionada por las lámparas de vapor de sodio a alta presión [8]. Un esquema del área de efectiva de iluminación y del nivel de iluminación se muestra en la Fig. 1.4.

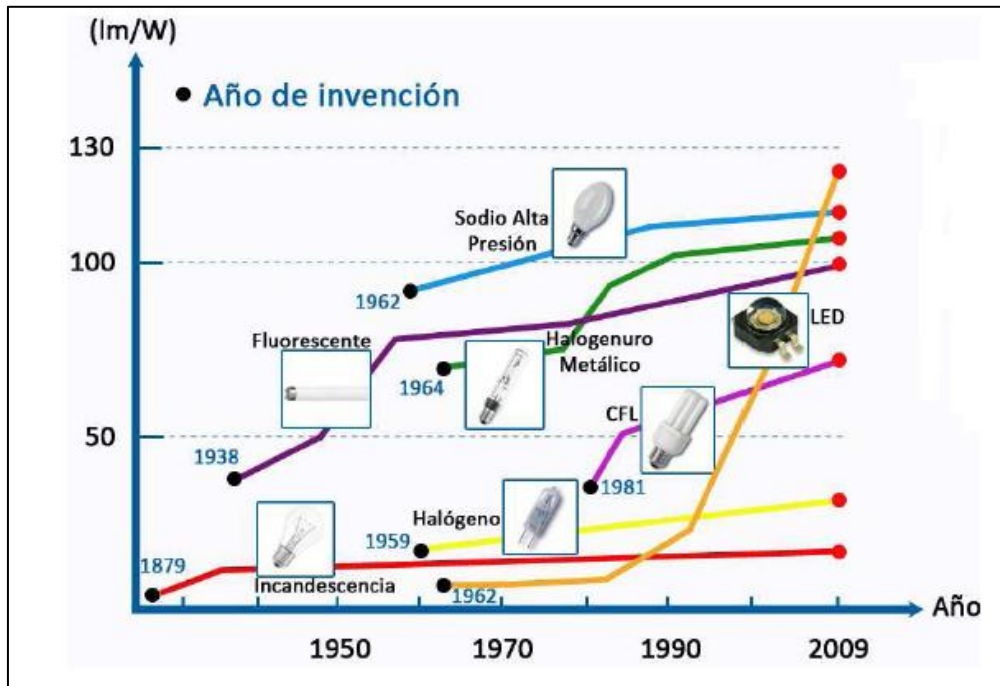


Fig. 1.2 Evolución de los niveles de eficiencia energética de los dispositivos lumínicos desde su invención. Tomado de: Sistemas de iluminación, eficiencia y sostenibilidad energética en la empresa. Centro Tecnológico de Eficiencia y Sostenibilidad Energética. La Coruña, 2009, [en línea] <http://www.energylab.es/fotos/091105104635_YTi6.pdf>, [Consulta 23 Abril 2010]

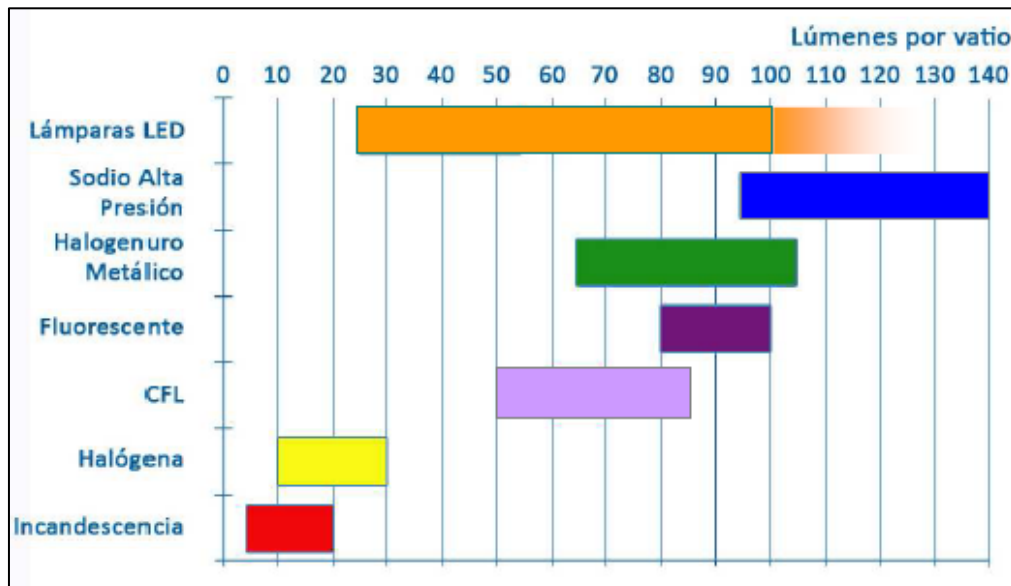


Fig. 1.3 Comparación de los niveles de eficiencia energética de los dispositivos lumínicos. Tomado de: Sistemas de iluminación, eficiencia y sostenibilidad energética en la empresa. Centro Tecnológico de Eficiencia y Sostenibilidad Energética. La Coruña, 2009, [en línea] <http://www.energylab.es/fotos/091105104635_YTi6.pdf>, [Consulta 23 Abril 2010]

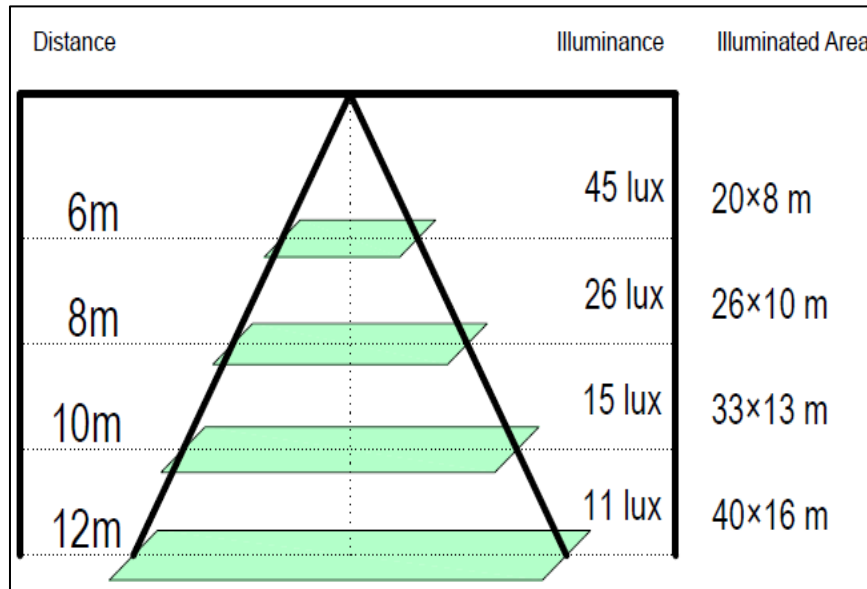


Fig. 1.4 Áreas efectivas de iluminación y niveles de iluminación en función de la distancia a una lámpara LED. Tomado de: Alfredo Olivares Cárdenas, Operating the City Green Lighting Building the Harmonious Society, DMX Tecnologías [en línea] <www.pantallasled.com.mx> [Consulta 23 Abril 2010]

Otro aspecto importante es el ahorro de energía, el mismo que puede expresarse en forma de ahorro de recursos económicos y en reducción de emisión de gases tipo invernadero (Ver Tabla 1.2) [5].

Tabla 1.2
Ahorros anuales generados por la
utilización de sistemas eficientes de
iluminación

Ahorros Anuales en la UE	CO2 (Millones de toneladas)	Ahorros Energéticos (KWh)	Ahorros Económicos (Millones de \$)	USD (KWh)
Iluminación doméstica	23	62.2	13.2	0.21
Iluminación en oficinas	8	21.6	3.1	0.14
Iluminación Industrial	8	21.6	3.1	0.14
Iluminación Pública	3.5	9.5	1.27	0.14
TOTAL	42.5	114.9	20,67	



1.2 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ILUMINACIÓN

La energía fotovoltaica (FV), generada en paneles, puede alimentar sistemas de iluminación de espacios, para estos sistemas es recomendable que en su arquitectura se incluyan luminarias eficientes con tecnología LED.

1.2.1 Esquema general del sistema

El sistema se alimentará en forma base de la energía generada en el panel FV. Durante períodos de mantenimiento del panel FV o ante ausencia de una generación fotovoltaica aceptable, el sistema se alimentará de red eléctrica convencional de la UTPL.

Considerando la necesidad de incluir un bloque de transferencia de energía, se propone un esquema general del sistema como el mostrado en la Fig. 1.5.

El tablero de control gestionará el funcionamiento del sistema, vigilando la conexión y el estado de los equipos auxiliares, estado de carga, de potencia, niveles de corriente, voltaje, etc.

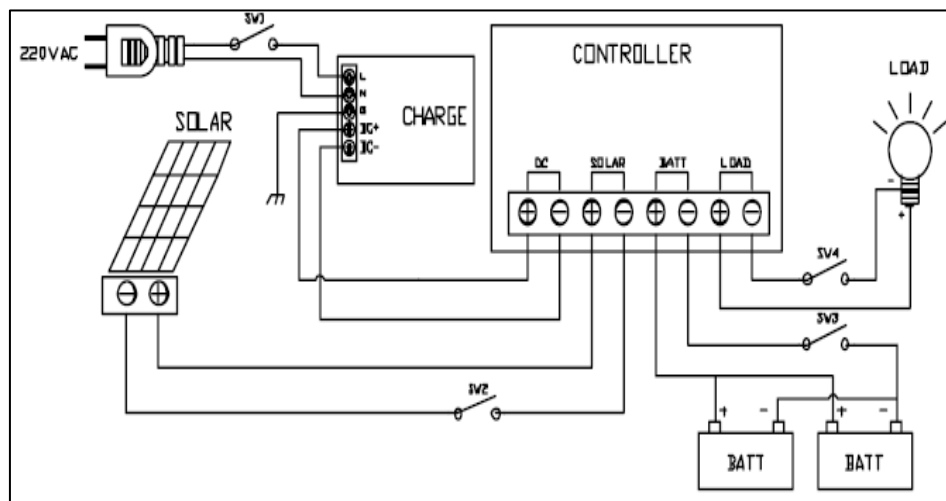


Fig. 1.5 Esquema de alimentación de un sistema fotovoltaico para iluminación. Tomado de : Alfredo Olivares Cardenas, Operating the City Green Lighting Building the Harmonious Society, DMX Tecnologías [en línea] <www.pantallasled.com.mx> [Consulta 23 Abril 2010]



1.2.2 Paradigma de control para gestión del sistema

Los sistemas de iluminación correctamente instalados y gestionados reducen el consumo energético cuando la iluminación es innecesaria [5].

El paradigma típico de control de un sistema de iluminación incluye como criterios al control de presencia, al control de horario, a la regulación del nivel de iluminación, al daylighting o aprovechamiento de la luz natural; a la limitación de la demanda, y a la compensación adaptativa.

1.3 GENERALIDADES DE LA ILUMINACIÓN DE EDIFICIOS

El diseño de sistemas de iluminación de edificios pretende proporcionar:

- Una fuente de iluminación a los entornos cerrados o semicerrados,
- Una fuente de iluminación funcional a todo el edificio,
- Una fuente de iluminación nocturna a todo el edificio.

La iluminación y el consumo de energía eléctrica están íntimamente ligados. En el consumo de energía influyen:

- La potencia de las luminarias, medida en Watts,
- El tiempo de uso del sistema,
- La tecnología de las luminarias.

La iluminación en un edificio de aulas, considerando el nivel óptimo de consumo de energía, debe:

- Proporcionar a los usuarios del edificio, un nivel de iluminación entre 180 y 225 luxes,
- Facilitar el desplazamiento de los usuarios, sin ningún riesgo, cuidando que no se pierdan las cualidades visuales como colores y textura de la mobiliaria, equipos, paredes, etc.



1.4 GENERALIDADES DE LA TECNOLOGÍA FOTOVOLTAICA

La energía solar fotovoltaica se obtiene al captar o receptor la energía del Sol, por medio de módulos fotovoltaicos [6]. El término fotovoltaico proviene de las voces “foto” (luz) y “voltaico” (que guarda relación con la palabra voltaje) [8].

1.4.1 Historia y tendencias de la energía fotovoltaica

Las células o celdas solares eficientes han estado disponibles desde mediados de los años 50, aunque las primeras investigaciones se realizaron alrededor de 1839. Henri Becquerel, científico francés, descubrió que una corriente eléctrica podía ser producida, haciendo brillar una luz sobre ciertas soluciones químicas. Este fenómeno sería descrito por Albert Einstein en 1905, y Schottky en 1930.

Una célula solar de silicio que, convertía el 6% de la luz solar que incidía sobre ella en electricidad, fue desarrollada por Chapin, Pearson y Fuller en 1954. Esta es la clase de célula que fue utilizada en aplicaciones especiales (como satélites orbitales), a partir de 1958 [8].

En la actualidad existen comercialmente celdas solares de silicio con una eficiencia del 18%, con un precio menor de hace treinta años. En abril del 2011, General Electric presentó el panel solar de película delgada más eficiente hasta el momento, con una eficiencia en área de apertura de casi 13%. Este panel supera todas las cifras publicadas anteriormente para equipos de película delgada de telurio de cadmio, que constituye la tecnología solar más asequible del sector en la actualidad [9].

Investigadores del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), crearon un film solar que deja pasar toda la luz al tiempo que recoge la energía solar. Esto significa que, en un futuro cercano las ventanas de cualquier edificio podrán ser utilizadas para generar electricidad, sin perder un ápice de su transparencia. La clave de la tecnología desarrollada en el MIT es una célula fotovoltaica basada en moléculas orgánicas, que aprovecha la energía de la luz infrarroja, mientras que la luz visible pasa a través del film. Colocada en los paneles de cristal de las ventanas, puede producir la energía necesaria para la iluminación y el funcionamiento de cualquier aparato eléctrico y con un coste mucho menor [10].



Se espera que la demanda fotovoltaica mundial crezca en 75 GW en los próximos cinco años, y que una parte importante de ese crecimiento provenga de centrales solares adaptadas a las necesidades de las compañías eléctricas.

1.4.2 Células Fotovoltaicas

La célula fotovoltaica (FV) es el componente que se encarga de captar la energía contenida en la radiación solar y transformarla en energía eléctrica. En general, una célula FV es un diodo elaborado con material semiconductor. Geométricamente tienen un tamaño aproximado de 10cm x 10cm y es de color azul oscuro. Las celdas FV se agrupan y conforman los paneles FV. La mayoría de los paneles FV constan de 36 células FV.

1.4.2.1 Principio de funcionamiento de una célula fotovoltaica

En la Fig.1.6 se muestra la estructura típica de una célula FV. Si la luz solar incidente tiene el espectro y el nivel de energía requerido por el material semiconductor del que está hecha la célula FV, el bombardeo de los fotones crea pares de cargas libres. Algunos de estos pares se recombinan antes de migrar a la zona de juntura, pero un elevado porcentaje de electrones del lado p y de hoyos del lado n son impulsados a través de la juntura. La dirección del campo eléctrico en la juntura hace que estas cargas no puedan volver, alterándose el estado de equilibrio. Las cargas libres están listas para sostener una corriente cuando se conecten al lado n y p a una carga eléctrica externa [11].

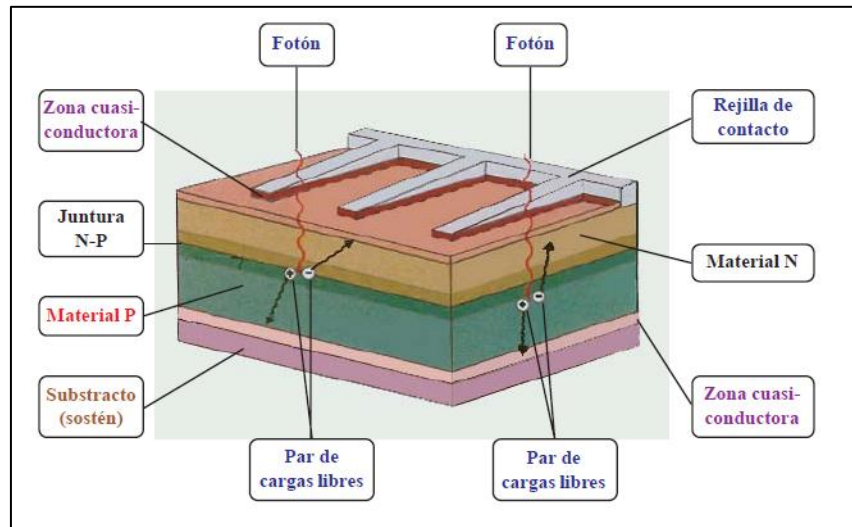


Fig. 1.6 Estructura típica de una célula FV. Gasquet, H. L. Manual de Sistemas Fotovoltaicos. Austin. 2008

1.4.2.2 Tipos de células fotovoltaicas

Un **primer criterio de clasificación** de células FV se refiere al material empleado en su construcción: células monocristalinas, células policristalinas, y células amorfas.

Las *células monocristalinas* (cSi) son formadas por un sólo tipo de cristal y consiguen rendimientos superiores al 30%. Estas células fueron las primeras en ser manufacturadas, ya que se podían emplear las mismas técnicas usadas previamente en la fabricación de diodos y transistores. El proceso de fabricación del cristal de silicio requiere un alto consumo de energía eléctrica, lo que eleva el costo de estas células, aunque estas proporcionan los más altos valores de eficiencia. En el mercado actual se ofertan células monocristalinas con una eficiencia del 20% respecto al máximo teórico aproximado del 25%.

Las *células policristalinas* (pSi) son fabricadas a partir de un agregado de materiales, como silicio mezclado con arsenio y galio, y consiguen rendimientos del 15%. Esta versión se obtiene fundiendo silicio de grado industrial, el que se vierte en moldes rectangulares, de sección cuadrada. Como el costo del material y el procesado se simplifican, estas células alcanzan un valor intermedio entre las cristalinas y las amorfas. La eficiencia ha ido creciendo, llegando a ofrecerse células con eficiencia de conversión del 15%.



Las *células amorfas* no poseen una estructura cristalina. Las células amorfas son una tecnología de lámina delgada y se fabrican depositando silicio sobre un sustrato de vidrio de un gas reactivo, tal como silano (SiH_4). Además, se puede aplicar como película sobre sustratos de bajo costo como cristal o plástico. La eficiencia llega a valores entre 5 y 10%, para paneles comerciales, y de 13% en laboratorios. Existen tecnologías de lámina delgada que incluyen láminas de silicio multicristalino, seleniuro de cobre e indio/sulfuro de cadmio, telurio de cadmio/sulfuro del cadmio y arseniuro de galio. Este tipo de tecnología ofrece una serie de ventajas como la deposición y ensamblado más fácil, la capacidad de ser depositadas en sustratos o materiales de construcción baratos, producción en masa, y conveniencia para grandes aplicaciones. Sus costos son inferiores a las dos tecnologías anteriores.

Un **segundo criterio de clasificación** es la geometría de las células FV (Ver Fig.1.7): redondas y cuadradas. Las células FV originales eran de geometría redonda. Las versiones actuales permiten obtener una geometría cuadrada, que permite mayor compactación de las células en el panel FV.

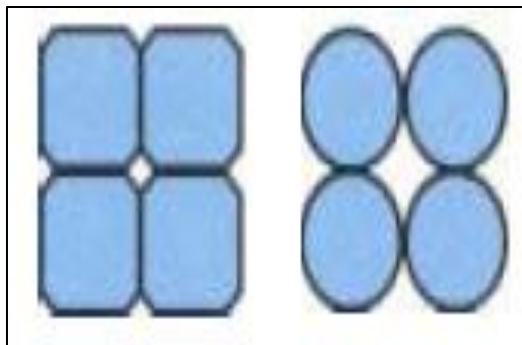


Fig. 1.7 Geometría de las células FV. Gasquet, H. L. Manual de Sistemas Fotovoltaicos. Austin. 2008

La elección de un tipo de célula u otro depende en gran parte del tipo de instalación a realizar, potencia que se espera conseguir, superficie disponible, orientación y cómo no, del presupuesto disponible.



1.4.2.3 Eficiencia, voltaje, corriente y potencia en las células fotovoltaicas

La eficiencia porcentual en las células FV se define como la relación entre el valor de la energía eléctrica a la salida y el valor de la energía luminosa en la entrada. La potencia eléctrica de una célula FV en un instante, se cuantifica como el producto de los valores instantáneos del voltaje y de la corriente de salida.

El voltaje de la célula FV es continuo y depende del material usado. La corriente de la célula FV depende del valor de la carga, la irradiación solar, la superficie de la celda y el valor de su resistencia interna.

1.4.2.4 Punto de máxima potencia

Es la potencia de salida en Watios, que produce un panel fotovoltaico en condiciones de máxima iluminación solar, con una radiación de aproximadamente 1 kW/m^2 (la que se produce en un día soleado al mediodía solar).

Potencia pico (W_p), es la potencia eléctrica máxima que puede suministrar una célula fotovoltaica. La potencia pico está dada por la expresión (1.1), que relaciona la intensidad de corriente máxima y el voltaje máximo dado por la célula.

$$P = V_{max} * I_{max} \quad (1.1)$$

En dónde,

I_{max} es la máxima intensidad de corriente eléctrica en cortocircuito (I_{cc}), es decir aquella que se produce a tensión cero.

V_{max} es la tensión máxima que genera la célula fotovoltaica en circuito abierto

(V_{ca}). representa la tensión máxima que puede dar una célula.



1.4.2.5 Factor de eficiencia de la conversión

Es el porcentaje de luz absorbida por una célula convertida en energía eléctrica útil. Este factor se obtiene al dividir el valor de la potencia máxima (P_m) entre el producto de las condiciones estándares de medida (E , energía de irradiación en W/m^2 , y A_c , superficie de la célula en m^2) (ver expresión 1.2).

$$n = P_m / (E * A_c) \quad (1.2)$$

1.4.2.6 Factor de forma (Fill Factor)

También conocido como factor de relleno (FF). Expresa la razón entre el punto de máxima potencia y el producto entre el voltaje a circuito abierto (V_{ca}) y la corriente en cortocircuito (I_{cc}) (Ver expresión 1.3).

$$FF = P_m / (V_{ca} * I_{cc}) = (n * A_c * E) / (V_{ca} * I_{cc}) \quad (1.3)$$

1.4.2.7 Rendimiento de las células fotovoltaicas

El rendimiento de las células fotovoltaicas, varía entre el 6% y el 40% (Ver Fig. 1.9).

La eficiencia de conversión que se suele obtener en las células disponibles comercialmente (silicio monocristalino) está alrededor del 12%. Las células altamente eficientes no son precisamente las más económicas. Por ejemplo, el 30% logrado por las altamente eficientes células multi-unión, de materiales exóticos como el arseniuro de galio o el seleniuro de indio), producida en pequeña escala, puede costar hasta cien veces más que las menos eficientes de silicio amorfo (8%) producidas en masa.

Aunque pueda parecer que el crecimiento de la eficiencia no es importante, un incremento del 1% en la eficiencia equivale a una variación de aproximadamente el 10% en los costes de los sistemas [9].



1.5 PANELES FOTOVOLTAICOS

Un panel FV es una placa rectangular, formada por un conjunto de células FV protegidas por un marco de vidrio y aluminio anodizados. La función principal de un panel FV es la de soportar mecánicamente a las células FV y de protegerlas de los efectos degradables de la intemperie.

En sistemas aislados, en general, los paneles pueden producir entre 16 y 75 Wp (Vatios pico). La vida útil de un panel FV puede llegar a los 30 años, aunque los fabricantes otorgan garantías de 20 años. El mantenimiento típico consiste de una limpieza del vidrio para prevenir que las células FV no puedan capturar la radiación solar [6]. La tabla 1.3, resume los aspectos más importantes de los paneles solares de mercado.

Tabla 1.3
Tipos de paneles fotovoltaicos

Tipo de Panel	Eficiencia (%)	Costo (USD por Wp)	Vida útil (años)
Monocristalino	12-18	6	20
Policristalino	10-14	5	15
Amorfo	6-10	1-2	5-10

1.5.1 Estructura de un panel fotovoltaico

La forma más común de construir un panel FV es utilizando una estructura tipo “sándwich” [6], en la que ambos lados de las células FV están mecánicamente protegidos (Ver Fig.1.8). La estructura está conformada por algunos elementos:

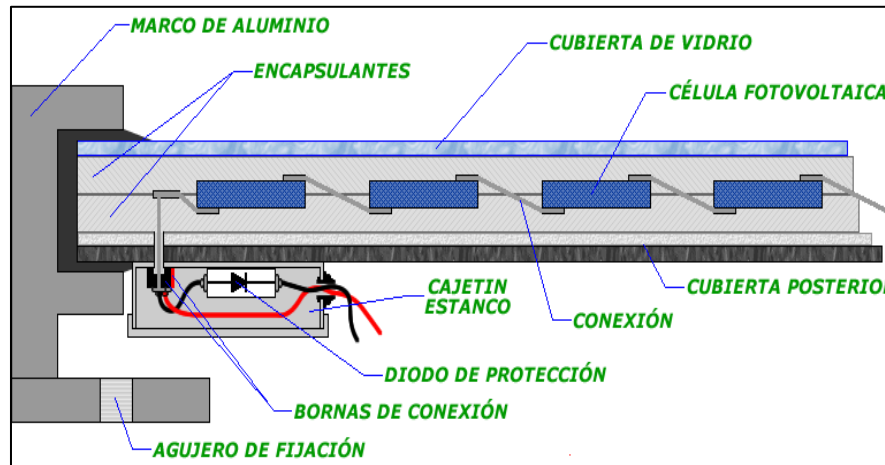


Fig. 1.8 Elementos de un panel fotovoltaico. Tomado de: Curso de Energía Solar Fotovoltaica "CURSOLAR". [En línea]

<http://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/04_componen/01_generador/01_basico/4_gene_01.htm> [Consultada 15 Marzo 2011]

- *Cubierta exterior* de cara al Sol. Es de vidrio para facilitar al máximo la transmisión de la radiación solar. Se caracteriza por su resistencia mecánica, alta transmisividad, y bajo contenido en hierro.
- *Encapsulante*. De silicona o de EVA (etilen-vinil-acetato). Es importante que no quede afectado en su transparencia por la continua exposición al sol, buscándose además un índice de refracción similar al del vidrio protector para no alterar las condiciones de la radiación incidente.
- *Protección posterior*. Proporciona rigidez y protección frente a los agentes atmosféricos. Usualmente se emplean láminas formadas por distintas capas de materiales, de diferentes características.
- *Marco metálico*. De aluminio, lo que asegura una suficiente rigidez al conjunto, incorporando los elementos de sujeción a la estructura exterior del panel.
- *Cableado y bornes de conexión*. Habituales en las instalaciones eléctricas, protegidos de la intemperie por medio de cajas estancas.
- *Diodo de protección*. Su misión es proteger contra sobre-cargas u otras alteraciones de las condiciones de funcionamiento de panel.

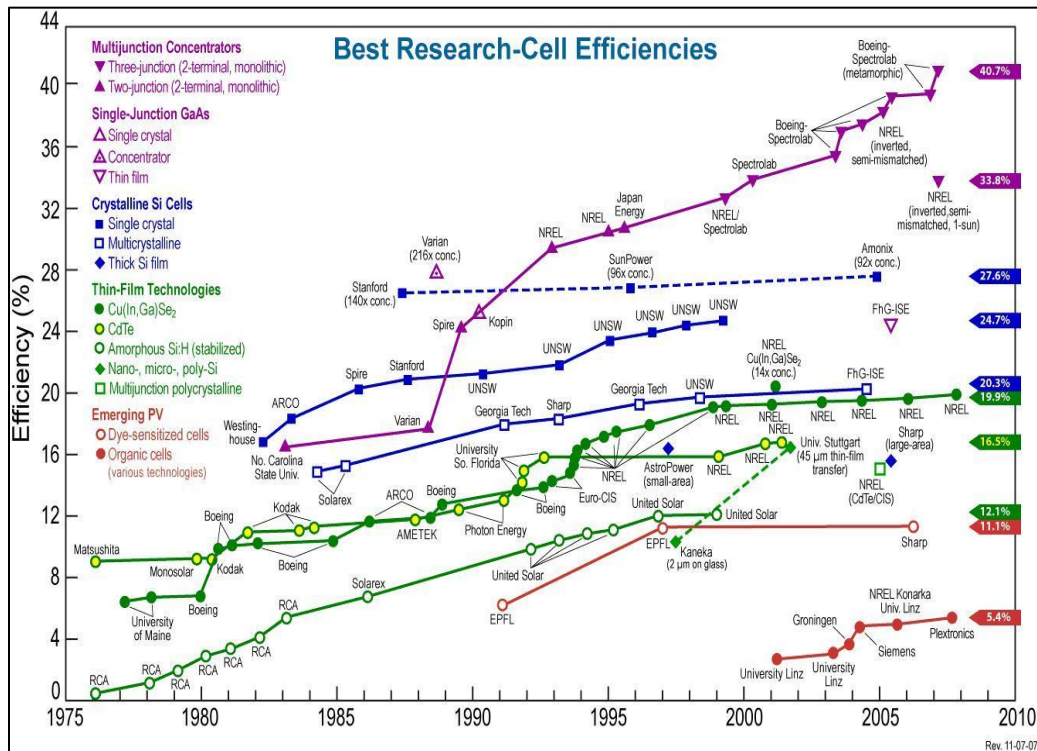


Fig. 1.9 Evolución de eficiencia de las celdas solares. Tomado de: Dr. Yasuhiro Matsumoto - Energía Solar: Uso y evolución de celdas fotovoltaicas. [En línea]
http://gc21.inwent.org/ibt/GC21/area=gc21/main/es/modules/gc21/wsMexico_portal/info/ibt/descargas/eventos/20091120/presentacion_16.pdf [Consulta 16 marzo 2011]

1.5.2 Voltaje, potencia y número de células de los paneles fotovoltaicos

Los paneles FV proporcionan voltajes de salida de 12V, 20V, 24V, y 30V, dependiendo del número de células FV [6]. Se necesita conectar 24 células en serie para alcanzar un voltaje nominal de salida de 12V. La mayoría de paneles FV comerciales contienen alrededor de 36 células fotovoltaicas [12].

La potencia de salida de un panel FV indica la capacidad de generar electricidad en condiciones óptimas de operación. La tendencia de la industria es ofrecer paneles con potencias de salida elevadas, pero se pueden encontrar en el mercado paneles fotovoltaicos de baja potencia (desde 5W), de potencia media (55W), y de alta potencia (hasta 160 W) [6].



1.5.3 Clasificación de los paneles fotovoltaicos

Los paneles FV se clasifican de acuerdo a su forma: con sistema de concentración, de formato teja o baldosa y bifaciales.

En los paneles con sistemas de concentración se usa una serie de superficies reflectantes que concentran la luz sobre los paneles FV [13]. Los paneles de formato teja o baldosa son de pequeño tamaño y están hechos para combinarse en gran número para cubrir las superficies de los tejados y paredes de las viviendas [13].

Los paneles bifaciales están basados en la capacidad de transformar en electricidad la radiación solar que se recibe por cualquiera de las dos caras del panel. Estos paneles se colocan sobre dos superficies blancas que reflejan la luz solar hacia el reverso del panel [13].

1.5.4 Principales fabricantes de paneles fotovoltaicos

La industria de células FV se concentra en Japón (48%), Europa (27%) y en Estados Unidos (11%), pero es en España en donde se encuentran los mayores fabricantes y proveedores.

El costo de un panel FV depende del tipo de panel, del tipo y número de células, de la potencia y del voltaje de salida. La tabla 1.4, recoge información clave sobre los productores y el tipo de paneles disponibles en el mercado [14], [15], [16], [17] y [18].



Tabla 1.4
Paneles Fotovoltaicos disponibles en el
mercado

Fabricante	Modelo	Tipo de célula	Características	Costo (USD)
Paneles Solar Word	SW 170	MONOCRISTALINO	Tensión Máxima 24 V Potencial máxima de salida 170 W Dimensiones 161*810*34 mm	667.00
Paneles Solar Word	SW 175	MONOCRISTALINO	Tensión Máxima 24 V Potencial máxima de salida 175 W Dimensiones 161*810*34 mm	686.00
Paneles Solar Word	SW 200 Texturizado	POLICRISTALINO	Tensión Máxima 20 V Potencial máxima de salida 200 W Dimensiones 1675*1001*34 mm	784.00
Paneles Solar Word	SW 205 Texturizado	POLICRISTALINO	Tensión Máxima 20 V Potencial máxima de salida 205 W Dimensiones 1675*1001*34 mm	804.00
Paneles REC	REC 210AE	POLICRISTALINO	Tensión Máxima 20 V Potencial máxima de salida 210 W Dimensiones 1665*991*43 mm	606.00
KYOCERA	KC85GX-2P	POLICRISTALINO	Tensión Máxima 12 V Potencial máxima de salida 85 W Dimensiones 1007*652*36 mm	424.00
KYOCERA	KC50SC-1P	POLICRISTALINO	Tensión Máxima 12 V Potencial máxima de salida 50 W Dimensiones 544*656*45 mm	287.00
PHAESUN		POLICRISTALINO	Tensión Máxima 12 V Potencial máxima de salida 5 W	22.80
PHAESUN		POLICRISTALINO	Tensión Máxima 12 V Potencial máxima de salida 10 W	45.10
PHAESUN		POLICRISTALINO	Tensión Máxima 12 V Potencial máxima de salida 50 W	178.00
CIS WURTH SOLAR	P.WURTH SOLAR 5,5		Tensión Máxima 12 V Potencial máxima de salida 5,5 W Dimensiones 205*305mm	100.00



Tabla 1.5
Paneles Fotovoltaicos disponibles en el
mercado. Continuación...

Fabricante	Modelo	Tipo de célula	Características	Costo (USD)
FLEXCELL	FLX-MO100	AMORFOS	Tensión Máxima 30 V Potencial máxima de salida 100 W	395.00
SOLARTECHNICS		AMORFOS	Tensión Máxima 30 V Potencial máxima de salida 40 W	94.00
SCHOTT	SCHOTT81W	AMORFOS	Tensión Máxima 12 V Potencial máxima de salida 81 W Dimensiones 1108*1308*50mm	184.00
SOLAR DELL EKO SOLAR		AMORFOS	Tensión Máxima 12 V Potencial máxima de salida 2 W Dimensiones 308*157*8mm	23.80
SOLAR DELL EKO SOLAR		AMORFOS	Tensión Máxima 12 V Potencial máxima de salida 6 W Dimensiones 312*465*25Mm	41.50
SOLAR DELL EKO SOLAR		AMORFOS	Tensión Máxima 12 V Potencial máxima de salida 14 W Dimensiones 312*923*25Mm	72.00
CIS WURTH SOLAR	P.WURTH SOLAR 12		Tensión Máxima 12 V Potencial máxima de salida 12 W Dimensiones 405*305mm	136.00



CAPÍTULO II

2. DIMENSIONAMIENTO DE LA DEMANDA DE ENERGÍA

2.1 NIVELES DE ILUMINACIÓN REQUERIDOS

Para efectos del proyecto, se consideró la demanda de iluminación en horas pico, desde las 18h00 a 21h00, horario en el que se presenta la mayor demanda de energía.

Un sistema de iluminación, debe cumplir con las normas y estándares establecidos en el ámbito de la luminotecnía. Para definir los parámetros luminotécnicos requeridos en cada una de las dependencias del edificio Virginia Riofrío, se aplicó la norma Europea UNE-EN 12464-1, sobre iluminación de los lugares de trabajo en interior [19].

2.1.1 Iluminación de aulas

Según la norma UNE-EN 12464-1, la iluminación recomendada para aulas de enseñanza, debe alcanzar los 300 lux de iluminancia media [19]. El nivel de iluminación media actual, en las aulas del edificio Virginia Riofrío, se midió con un luxómetro profesional tipo LX-102 (Ver Fig. 2.1). Se realizó tres mediciones por aula (sobre el eje del aula en tres puntos: delante PD, centro PC, y posterior PP), en 2 aulas por cada planta. De acuerdo a las mediciones realizadas (Ver Tabla 2.1), el nivel de iluminación media actual se estableció en 182,13 lux.



Fig. 2.1 LX-102 medidor de luz luxómetro profesional, [en línea]
<http://www.kelab.com.hk/newweb/TAIWANequip/LUTRONseries/2007Lutron/LX-102.pdf>

Tabla 2.1
 Niveles de iluminación actuales en las aulas del edificio Virginia Riofrío

Aulas	Medición PD (lux)	Medición PC (lux)	Medición PP (lux)
1ra Aula Planta Baja	185	190	183
2da Aula Planta Baja	180	184	182
1ra Aula Primera Planta	168	179	175
2da Aula Primera Planta	173	182	177
1ra Aula Segunda Planta	186	191	183
2da Aula Segunda Planta	184	192	185
PROMEDIO	179,3	186,3	180,8

El nivel de iluminación medio de diseño, se estableció como media entre lo que dicta la norma y el nivel actual, obteniendo un valor de 225 lux.

El color de la luz emitida por las lámparas también influye en el comportamiento de los usuarios. Las lámparas de luz fría, proporcionan un ambiente similar al aire libre que ayuda a reducir los efectos de la permanencia prolongada en un espacio cerrado. Las lámparas de colores cálidos, proporcionan ambientes más sociables y relajados [20].



2.1.2 Iluminación de pasillos

La iluminación recomendada para pasillos y gradas es de 125 lux de iluminancia media [19]. En estos espacios, los requerimientos del alumbrado no son tan exigentes como en las aulas u otros lugares en los que se desarrollan actividades visuales altas o normales.

2.2 SELECCIÓN DE LAS LUMINARIAS ÓPTIMAS PARA EL SISTEMA

La selección de las luminarias depende de los requerimientos hacia el sistema de iluminación, descritos en el apartado anterior. Los dispositivos necesarios, se seleccionaron entre la oferta de la empresa Highlights [21], distribuidora en el mercado ecuatoriano.

2.2.1 Luminarias para aulas

Como solución óptima para las aulas, se seleccionó la lámpara tipo tubo SMD T8 LED 12W de Sinostar Lighting Group [25], por cuanto cumple con todos los requerimientos necesarios (Ver Fig. 2.2).

La lámpara SMD T8 LED 12W, tiene las siguientes características:

- 216 leds
- Fuente de luz: Epistar SMD3528 LED
- Tamaño: D26 x L900 mm
- Peso: 330g
- Temperatura de operación: -20 ~ 40 ° C
- Consumo: 12W
- Sustitución sugerida: tubo fluorescente de 36W
- Eficiencia energética: > 85%
- Voltaje de entrada: 85-265V CA
- Vida útil: > 50.000 horas
- Eficiencia luminosa LED: 90 a 100 lm /w



Fig. 2.2 Lámparas de tubo LED. Sinostar Lighting Group, [en línea] <http://www.duxlite.com> [Consulta mayo 2010]

2.2.2 Luminarias para pasillos

Como opción para la iluminación de los pasillos, se seleccionó a la lámpara LED PARATHOM PAR16 [21] (Ver Fig. 2.3). Esta lámpara se caracteriza por:

- Potencia aproximada: 3W
- Duración: hasta 15.000 horas
- Longitud de onda: 590nm
- Intensidad luminosa: 140 cd
- Voltaje nominal: 100 – 240 V
- Ángulo de radiación: 20°
- Corriente nominal: 30 mA
- Tiempo de vida promedio: 15000 horas.
- Peso neto: 64 g.
- Material de carcasa: metal/plástico



Fig. 2.3 Lámpara LED PARATHOM PAR16, [en línea]
<http://www.highlights.com.ec/site2/images/PDF/parathom%205w.pdf> [Consulta mayo 2010]

2.3 NÚMERO DE LUMINARIAS Y ESQUEMA DE CONEXIÓN

En el edificio Virginia Riofrío, existen 2 tipos de aulas, de diferentes dimensiones. Las aulas de la planta baja y segunda planta, tienen un área de 10m x 7.37m. Las aulas de la primera planta, por su parte, tienen un área de 7,37m x 5m. Es por esto que, se realizó cálculos diferenciados para cada tipo de aula.

2.3.1 Dimensionamiento del sistema de iluminación para las aulas de la planta baja y del segundo piso

2.3.1.1 Determinación de la constante del salón y del número de puntos de medición

La constante del salón a iluminar, permite definir el número de puntos de medición necesarios para determinar la iluminancia promedio del espacio. Para mediciones de precisión, el área debe ser dividida en cuadrados con lados de aproximadamente un metro, y la iluminancia medida en el centro de cada cuadrado y a la altura del plano de trabajo. La iluminancia promedio del área total se puede obtener al promediar todas las mediciones.



Dado el tipo de luminarias propuestas, nos encontramos con un caso de iluminación directa [23], en el que la constante del salón se determina por la expresión (2.1).

$$\kappa = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)} \quad (2.1)$$

En dónde:

- a es largo del aula
- b es ancho del aula
- h es la distancia del plano de trabajo a las luminarias

Para efectos de diseño, se considera un aula promedio de 10m de largo x 7.37m de ancho x 2.7m de altura. La altura del plano de trabajo, es de 1 m sobre el nivel del suelo (Ver Fig. 2.4).

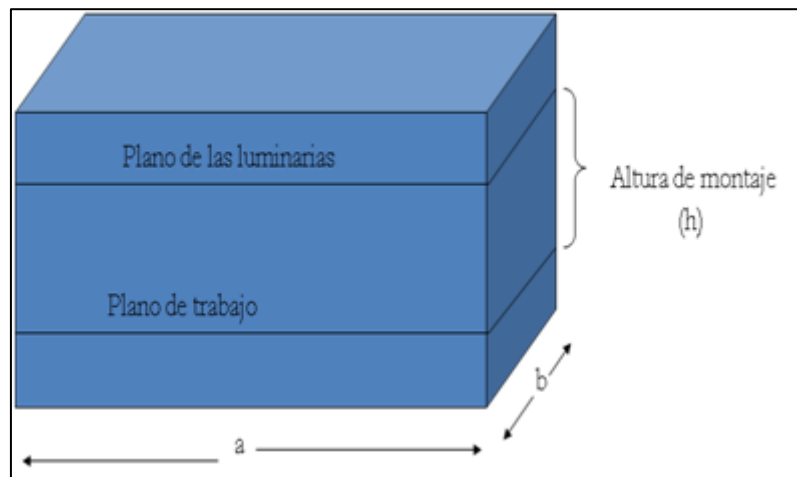


Fig. 2.4 Referencia de las dimensiones de las aulas para determinar la constante del salón (K), a iluminar.

Por lo tanto, la constante del salón es de:

$$\kappa = \frac{10 \cdot 7,37}{1,7(10 + 7,37)} = 2.49$$



De acuerdo al valor obtenido, el número mínimo de puntos de medición [20] es de 16. El número mínimo de puntos a considerar, requiere un reparto cuadrulado lo más simétrico posible. Por lo tanto, para este tipo de aulas, el reparto simétrico de 16 puntos, implica una organización de luminarias en una matriz de 4x4.

2.3.1.2 Determinación del factor de mantenimiento (fm) y coeficiente de utilización (η)

Las lámparas sufren pérdidas en el flujo luminoso emitido, ya sea por envejecimiento, acumulación de polvo sobre su superficie, efectos de la temperatura, etc. El factor de mantenimiento de luminaria LMF (Luminaire Maintenance Factor) dependerá del grado de suciedad ambiental, y de la frecuencia de la limpieza del local [24].

Tabla 2.2
Factor de mantenimiento de las luminarias

Ambiente	Factor de mantenimiento (fm)
Limpio	0,8
Sucio	0,6

Considerando la limpieza periódica anual de las aulas, el factor de mantenimiento para las luminarias se fijó en 0.8.

Según los factores de reflexión (p) para techo, paredes y piso (Ver Tabla 2.3), se determina los coeficientes de reflexión para las aulas. El techo de las aulas tiene un coeficiente de reflexión de 0.7; las paredes un coeficiente de reflexión de 0.5, y el piso de 0.1.

Tabla 2.3
Factores de reflexión de techo, paredes y piso

Superficie	Color	Factor de Reflexión (p)
Techo	Blanco	0,7
	Claro	0,5
	Medio	0,3
Paredes	Claro	0,5
	Medio	0,3
	Oscuro	0,1
Piso	Claro	0,3
	Oscuro	0,1



El índice del salón (local) y los valores de los coeficientes de reflexión, permiten obtener el factor de utilización (η) en 0.55, a través de la tabla 2.5.

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (η)												
		Factor de reflexión del techo												
		0.8			0.7			0.5			0.3			0
		Factor de reflexión de las paredes												
		0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.3	0.1	0	
	0.6	.30	.26	.25	.29	.26	.23	.29	.26	.23	.25	.23	.22	
	0.8	.36	.32	.29	.35	.32	.29	.35	.31	.29	.31	.29	.27	
	1.0	.43	.40	.37	.43	.40	.37	.42	.39	.37	.39	.37	.36	
	1.25	.47	.44	.42	.47	.44	.41	.46	.43	.41	.43	.41	.40	
	1.5	.50	.47	.44	.50	.47	.44	.49	.46	.44	.46	.44	.43	
	2.0	.53	.50	.49	.53	.50	.48	.51	.50	.48	.49	.47	.46	
	2.5	.55	.53	.51	.55	.53	.51	.54	.52	.50	.51	.50	.49	
	3.0	.57	.54	.53	.56	.54	.52	.55	.53	.51	.52	.51	.50	
	$D_{max} = 0.8 H_m$	4.0	.59	.57	.55	.58	.56	.55	.56	.55	.54	.54	.53	.52
	f_m	.65	.70	.75	5.0	.60	.58	.57	.59	.57	.56	.57	.56	.56

H_m : altura luminaria-plano de trabajo

Fig. 2.5 Factores de Utilización (η), Iluminación en Interiores [en línea] <http://edison.upc.edu/curs/llum/interior/luint3.html> [Consulta junio 2011]

2.3.1.3 Cálculo del flujo luminoso total

El cálculo del flujo luminoso total se realiza en base a la expresión (2.2):

$$\Phi_T = \frac{E_m \cdot S}{\eta \cdot f_m} \quad (2.2)$$

En donde:

Φ_T	es el flujo luminoso total, lum
E_m	es la iluminancia media deseada, lux
S	es la superficie del plano de trabajo, m ²
η	es el coeficiente de utilización
f_m	es el factor de mantenimiento

De esta forma, el flujo luminoso de la luminaria seleccionada, es de:



$$\Phi_T = \frac{225 \cdot 10 \cdot 7,37}{0,55 \cdot 0,8} = 37687,5 \text{ lm}$$

2.3.1.4 Número de luminarias

El número mínimo de luminarias necesarias, se calculó con ayuda de la expresión (2.3):

$$N = \frac{\Phi_T}{n \cdot \Phi_L} \quad (2.3)$$

En dónde:

Φ_T	es el flujo luminoso total, lum
N	es el número de luminarias
Φ_L	es el flujo luminoso de una lámpara
η	es el número de lámparas por luminaria

Por lo tanto, el número de luminarias requeridas es de:

$$N = \frac{37687,5}{2 \cdot 1200} = 15,7 \approx 16$$

2.3.1.5 Emplazamiento de las luminarias

Considerando las dimensiones del aula, y la geometría de las lámparas, la distribución espacial de las luminarias en cada aula, se muestra en la Fig. 2.6.

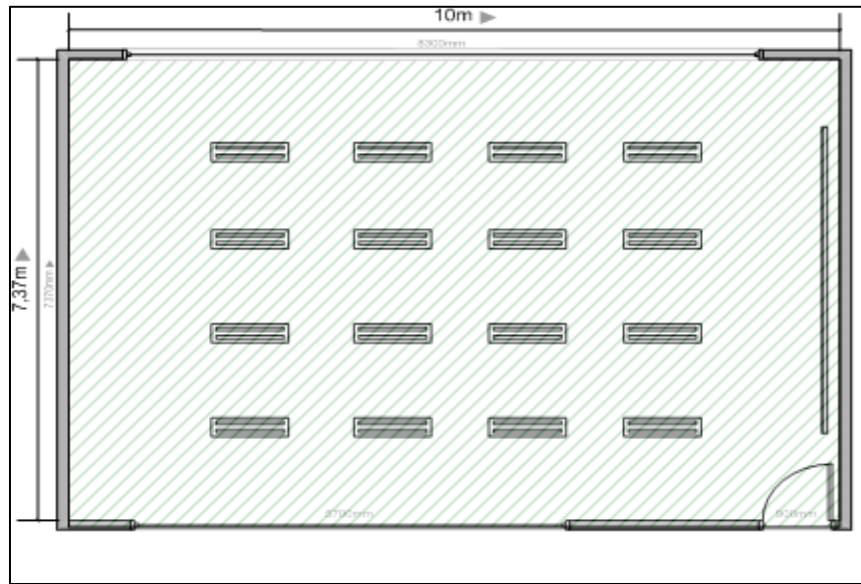


Fig. 2.6 Distribución de las luminarias para las aulas de la planta baja y segundo piso

2.3.2 Dimensionamiento del sistema de iluminación para las aulas del primer piso

La metodología de cálculo es similar a la explicada en el apartado anterior, considerando las diferencias geométricas y constructivas de las aulas. El aula promedio del primer piso, tiene un área de 37m^2 , y sus dimensiones son 5 m de largo, 7.37 m de ancho, y 2.7 m de alto. La altura del plano de trabajo es de 1 m sobre el nivel del suelo.

La constante del salón (κ) se calculó con la ayuda de la expresión 2.1.

$$\kappa = \frac{5 \cdot 7,37}{1,7(5 + 7,37)} = 1.75$$

Se mantienen los mismos valores de factor de mantenimiento como los coeficientes de reflexión. Con la ayuda de la Fig.2.5, se determinó el factor de utilización de $\eta = 0.52$.



Con la expresión (2.2), se calculó el flujo luminoso total.

$$\Phi_T = \frac{225 \cdot 5 \cdot 7,37}{0,52 \cdot 0,8} = 19930 \text{ lm}$$

Con la expresión (2.3), se calculó el número de luminarias para el flujo total.

$$N = \frac{19930}{2 \cdot 1200} = 8,3 \approx 9$$

En estas aulas, se requiere un total de 9 luminarias, con 2 lámparas cada una, en un arreglo uniforme de 3x3. Un esquema del emplazamiento de luminarias para el aula tipo se muestra en la Fig. 2.7.

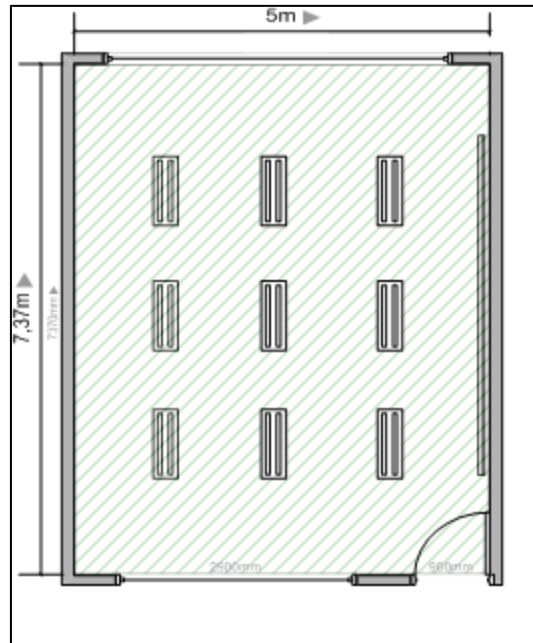


Fig. 2.7 Distribución de las luminarias para las aulas del primer piso

2.4 DEMANDA TOTAL DE ENERGÍA

La potencia requerida por cada piso, se calculará en base al número de luminarias, al requerimiento de potencia de cada una de ellas, y al tiempo promedio de uso diario. En la planta baja del edificio, existe un total de 5 aulas con 16 luminarias cada una,



además de baños, y corredor. Los requerimientos de energía para la planta baja se especifican en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4
Requerimiento de energía en Wh/día
para la planta baja del edificio Virginia
Riofrío

Artefacto (CA)	U	P, (W)	Uso (hora s/día)	Energía (Wh/día)
Lámpara SMD T8 LED (aulas)	160	12	3	5760
Lámpara SMD T8 LED (baños)	8	12	3	288
Lámpara LED PARATHOM PAR16 (pasillo)	10	3	3	90
TOTAL				6138

En la primera planta del edificio, existen 7 aulas (con 9 luminarias cada una), una oficina, y, el pasillo. Los requerimientos de energía para este piso se especifican en la Tabla 2.5.

Tabla 2.5
Requerimiento de energía en Wh/día
para la primera planta del edificio
Virginia Riofrío

Artefacto (CA)	U	P, (W)	Uso (hora s/día)	Energía (Wh/día)
Lámpara SMD T8 LED (aulas)	126	12	3	4536
Lámpara SMD T8 LED (asoc. de profesores,	8	12	3	288
Lámpara LED PARATHOM PAR16 (pasillo)	10	3	3	90
TOTAL				4914

En la segunda planta, existen 5 aulas (con 9 luminarias cada una), y, un corredor. Además, el primero y el segundo piso del edificio comparten el Auditorio Virginia Riofrío. Los requerimientos de energía para este piso se especifican en la Tabla 2.6.



Tabla 2.6
 Requerimiento de energía en Wh/día
 para la segunda planta del edificio
 Virginia Riofrío

Artefacto (CA)	U	P, (W)	Uso (horas /día)	Energía (Wh/día)
Lámpara SMD T8 LED (aulas)	160	12	3	5760
Lámpara SMD T8 LED (auditorio)	21	12	1	252
Lámpara LED PARATHOM PAR16 (pasillo)	10	3	3	90
TOTAL				6102

Para los 3 pisos, en las horas pico de iluminación (18h00 a 21h00), se requiere cubrir una demanda de 17154 Wh por día. Considerando el 10% de reserva para posibles ampliaciones, el requerimiento de energía llega a 18870 Wh por día.

Es importante mencionar que, de acuerdo a mediciones realizadas, con las luminarias actuales, el edificio Virginia Riofrío tiene un gasto en iluminación de alrededor de 29416 Wh por día. Esto significa que con luminarias LED se tiene un ahorro aproximado de 42% de energía.



CAPÍTULO III

3. DIMENSIONAMIENTO DEL COMPONENTE FOTOVOLTAICO

En el diseño de los sistemas fotovoltaicos, hay varios aspectos que pueden afectar el desempeño del sistema: el consumo racional de energía, la ubicación y el ángulo del colector, las pérdidas internas, la sombra, la temperatura del entorno, etc.

Los valores eléctricos que caracterizan a los módulos fotovoltaicos, se obtienen en condiciones estándares de medida (una irradiancia de 1000 W/m², y, una temperatura de la célula de 25°C). Las condiciones de trabajo reales de los módulos, una vez instalados, pueden ser muy diferentes a las del laboratorio, por lo que conviene conocer las variaciones que pueden producirse, a fin de efectuar las pertinentes correcciones en los cálculos. Así por ejemplo, mientras la corriente generada por un módulo es proporcional a la intensidad de la radiación solar, la tensión varía con la temperatura de las células [27].

3.1 ENERGÍA REQUERIDA PARA LA CARGA

Para cuantificar la demanda de energía eléctrica en el edificio Virginia Riofrío, se tomó en cuenta las características eléctricas de la carga y el tiempo de uso, considerando posibles ampliaciones futuras de la instalación [28]. Para efectos del proyecto, se consideró la demanda de energía para iluminación en horas pico, desde las 18h00 a 21h00.

3.2 ELECCIÓN DE UN MODELO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Como módulos fotovoltaicos para el sistema, se seleccionaron los del modelo ISOFOTON i-100/12 V (Ver Fig. 1) [29].

Los módulos seleccionados utilizan células pseudocuastradas de silicio monocristalino de alta eficiencia para transformar la energía de la radiación solar en energía eléctrica de corriente continua [29], y, tienen las siguientes características técnicas:



- Tipo de célula: 103 mm MonoCristalina
- Número de celdas: 72
- Largo: 1,31m
- Ancho: 0,654m
- Profundidad: 0,395m
- Peso: 11.5kg
- Tipo de terminal de salida: J-caja con cables MC
- Voltaje Nominal: 12 V
- Máxima Potencia: 110 W
- Corriente pico del módulo: 5.74 A

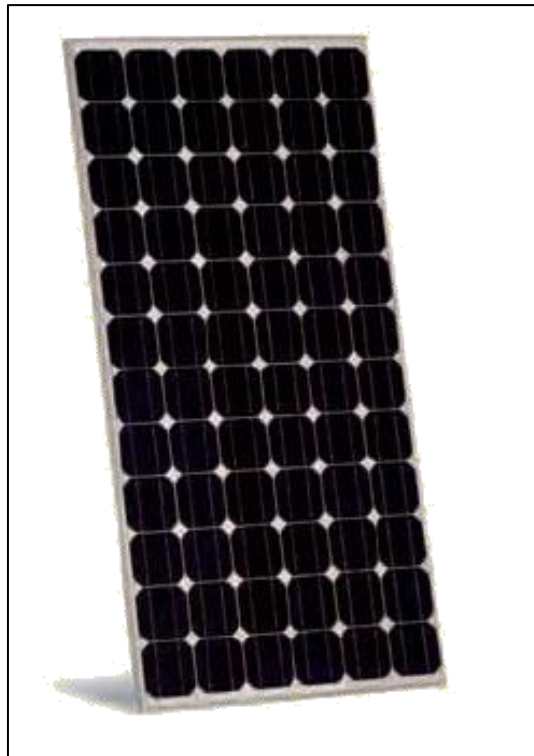


Fig. 3.1 Módulo fotovoltaico ISO FOTON i-100/12 V



3.3 CÁLCULO DEL NÚMERO DE PANELES FOTOVOLTAICOS

Con la intención de definir el número óptimo de paneles solares, que por una parte garantice el abastecimiento de la energía requerida, y, por otra minimice el esfuerzo de carga estructural sobre el edificio, se realizó este cálculo para cuatro niveles distintos de voltaje: 12V, 24V, 36V, y, 48V.

La metodología del cálculo se basó en las ecuaciones y consideraciones contenidas en el Atlas Solar del Ecuador, editado por el CONELEC [28].

3.3.1 Número de paneles fotovoltaicos requeridos en 12 V

3.3.1.1 CA a CC

Como primer paso, se realizó la transformación de la corriente requerida de CA a CC - carga total en CC (CTcd)-, multiplicando la carga total en CA (CTca) por un factor de 1,05 que cubre un 5% de pérdidas en el proceso de conversión, con la ayuda de la expresión (3.1):

$$CT_{cc} = CT_{ca} * 1,05 \quad (3.1)$$

$$CT_{cc} = 18862 \frac{Wh}{dia} * 1,05$$

$$CT_{cc} = 19805,1 \frac{Wh}{dia}$$

3.3.1.2 Corriente pico del módulo

Conociendo la carga total diaria y la tensión del sistema fotovoltaico, se puede estimar la intensidad de corriente diaria Icc en formato CC, como (3.2):



$$I_{cc} = \frac{CT_{cc}}{V_{cc}} \quad (3.2)$$

$$I_{cc} = \frac{19805,1Wh/día}{12V}$$

$$I_{cc} = 1650,425Ah$$

La carga de corriente corregida I_{cc_a} , se obtiene al multiplicar el valor de I_{cc} por un factor de seguridad del sistema, equivalente al 5% (3.3):

$$I_{cc_a} = I_{cc} * 1,05 \quad (3.3)$$

$$I_{cc_a} = 1650,425Ah * 1,05$$

$$I_{cc_a} = 1732,9Ah$$

Tabla 3.1

Promedio de radiación solar para la zona de Loja, según el atlas solar editado por el CONELEC [28]

Meses año	Nivel de radiación aproximado (Wh/m ² /día)
Enero	4750
Febrero	4925
Marzo	4575
Abril	4050
Mayo	4275
Junio	4400
Julio	4575
Agosto	5100
Septiembre	5275
Octubre	5450
Noviembre	5450
Diciembre	5275
Promedio anual	4841,67



De acuerdo al Atlas Solar del Ecuador, editado por el CONELEC [28] (ver tabla 3.1), la radiación solar media I_{cc_m} , en Loja, es del orden de 4,84 KWh/m²/día. Por lo tanto, la corriente pico I_p del sistema es (3.4):

$$I_p = \frac{I_{cc_a}}{I_{cc_m}} \quad (3.4)$$

$$I_p = \frac{1732,9Ah}{(4,84KWh/m^2)/día}$$

$$I_p = 358,046A$$

3.3.1.3 Número de módulos requeridos

Conociendo la corriente pico (I_p) del sistema, y, la corriente pico del módulo ISOFOTON i-100/12 V [29], (I_{p_m}), se calcula el número o arreglo de módulos fotovoltaicos N_{mf} , de acuerdo a (3.5):

$$N_{mf} = \frac{I_p}{I_{p_m}} \quad (3.5)$$

$$N_{mf} = \frac{358,046A}{5,74A}$$

$$N_{mf} = 62,38 \text{ módulos}$$

Por lo tanto, el número de módulos fotovoltaicos (en paralelo), necesarios para cubrir la carga actual del edificio, es de 63.

La tabla 3.2, resume los resultados obtenidos al dimensionar el sistema para 12 V, y el esquema de conexión de los paneles fotovoltaicos se observan en la figura (3.2), en donde se indica cómo se conectarán los paneles fotovoltaicos para que el sistema



funcione con una tensión de 12 V y la intensidad de corriente que proporcionaran es de 1732,9 A.

Tabla 3.2
Dimensionamiento del sistema a 12 V

DIMENSIONAMIENTO A 12 V		
Carga total en alterna (Wh por día)	CTca (Wh)	18862
Carga total en continua (Wh por día)	CTcc (Wh)	19805,1
tensión del sistema	Vcc (V)	12
intensidad de Corriente del sistema	Icc (Ah)	1650,425
intensidad de Corriente corregida	Icca (Ah)	1732,946
Radiación solar	KWh/m ² /día	4,84
corriente pico del sistema	I _p (A)	358,046
corriente del panel fotovoltaico	I _{p_m} (A)	5,74
Número de paneles	(u)	62,38

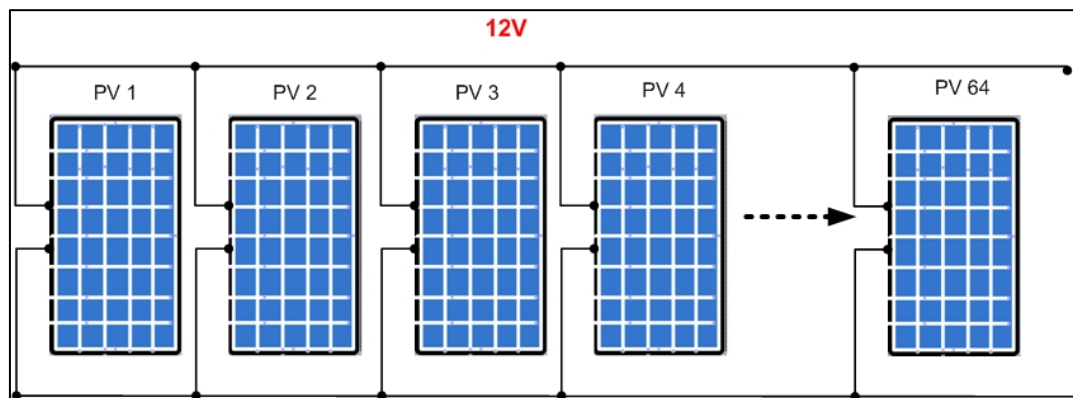


Fig. 3.2 Esquema de conexión de los módulos fotovoltaicos a 12 V

3.3.2 Número de paneles fotovoltaicos requeridos en 24V, 36V, y, 48V

Para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico a 24 V, 36V, 48V se realizara un resumen de los cálculos efectuados para cada tensión considerando los mismos pasos que los realizados en el sistema a 12V, por lo cual se presenta a continuación diferentes tablas que resumen los resultados para las diferentes tensiones. La tabla 3.3, resume los cálculos efectuados para dimensionar el sistema en 24V. Con el fin de cubrir la corriente I_{cca} requerida de 866,47 Ah, es necesario conectar un grupo de 32



módulos en paralelo, y, para obtener los 24V de tensión, es necesario conectar dos grupos en serie, lo que da un total de 64 módulos que sería necesario para cubrir la demanda de energía, en la figura (3.3) se muestra un esquema de conexión de los módulos fotovoltaicos.

Tabla 3.3
Dimensionamiento del sistema a 24 V

DIMENSIONAMIENTO A 24 V		
Carga total en alterna (Wh por día)	CTca (Wh)	18862
Carga total en continua (Wh por día)	CTcc (Wh)	19805,1
tensión del sistema	Vcc (V)	24
intensidad de Corriente del sistema	Icc (Ah)	825,21
intensidad de Corriente corregida	Icca (Ah)	866,47
Radiación solar	KWh/m2/día	4,84
corriente pico del sistema	I _p (A)	179,02
corriente genera el panel fotovoltaico	I _{p_m} (A)	5,74
Número de paneles en paralelo	(u)	31,19
Número total de paneles necesarios	(u)	62,38

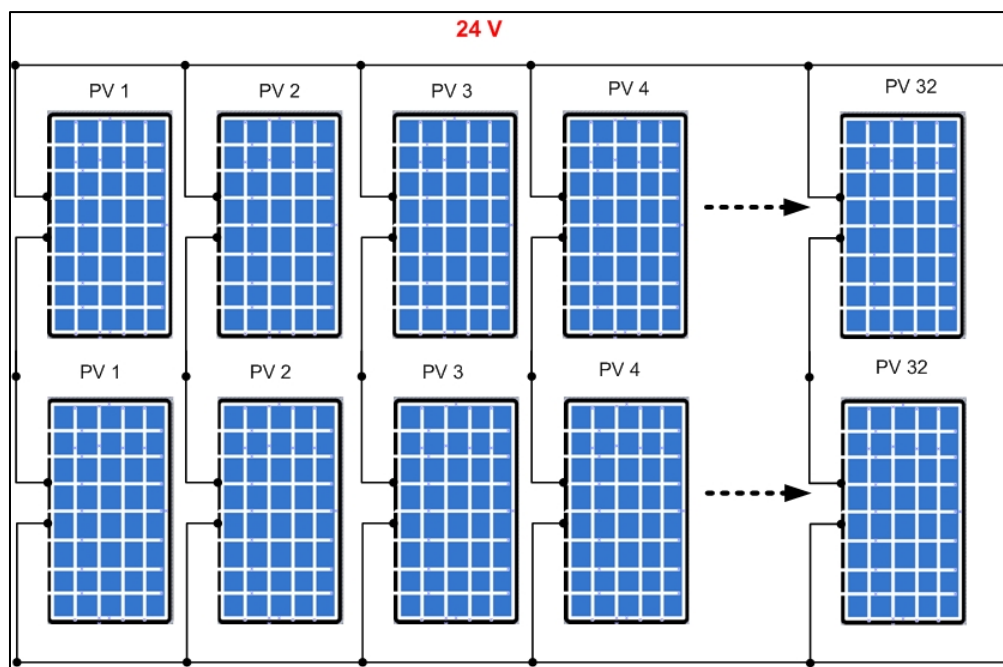


Fig. 3.3 Esquema de conexión de los módulos fotovoltaicos a 24 V

La tabla 3.4, resumen los resultados de dimensionar el sistema en 36V. En este dimensionamiento la corriente del sistema corregida (I_{cca}) es de 577.65 Ah



aproximadamente, y, la tensión de 36V, que es lo requerido por el sistema, por lo cual se dispondrá de un arreglo en serie de 3 grupos, con 21 módulos en paralelo en cada grupo, lo que nos da un total 63 módulos, en la figura (3.4) se dispone un esquema de conexión de los módulos fotovoltaicos para este dimensionamiento.

Tabla 3.4
Dimensionamiento del sistema a 36 V

DIMENSIONAMIENTO A 36 V		
Carga total en alterna (Wh por día)	CTca (Wh)	18862
Carga total en continua (Wh por día)	CTcc (Wh)	19805,1
tensión del sistema	Vcc (V)	36
intensidad de Corriente del sistema	Icc (Ah)	550,14
intensidad de Corriente corregida	Icca (Ah)	577,65
Radiación solar	KWh/m ² /día	4,84
corriente pico del sistema	I _p (A)	119,35
corriente genera el panel fotovoltaico	I _{p_m} (A)	5,74
Número de paneles en paralelo	(u)	20,79
Número total de paneles necesarios	(u)	62,38



Fig. 3.4 Esquema de conexión de los módulos fotovoltaicos a 36 V



La tabla 3.5, resumen los resultados del dimensionamiento del sistema en 48V. Se obtuvo una corriente total del sistema (I_{cca}) de 433.24 Ah, y, la tensión de 48V, requeridos, por tal se dispondrá de un arreglo en serie de 4 grupos, con 16 módulos paralelos en cada grupo, con una total de 64 módulos, en la figura (3.5) se muestra un esquema de conexión de los módulos fotovoltaicos.

Tabla 3.5
Dimensionamiento del sistema a 48 V

DIMENSIONAMIENTO A 48 V		
Carga total en alterna (Wh por día)	CTca (Wh)	18862
Carga total en continua (Wh por día)	CTcc (Wh)	19805,1
tensión del sistema	Vcc (V)	48
intensidad de Corriente del sistema	Icc (Ah)	412,61
intensidad de Corriente corregida	Icca (Ah)	433,24
Radiación solar	KWh/m ² /día	4,84
corriente pico del sistema	I _p (A)	89,51
corriente genera el panel fotovoltaico	I _{p_m} (A)	5,74
Número de paneles en paralelo	(u)	15,59
Número total de paneles necesarios	(u)	62,38

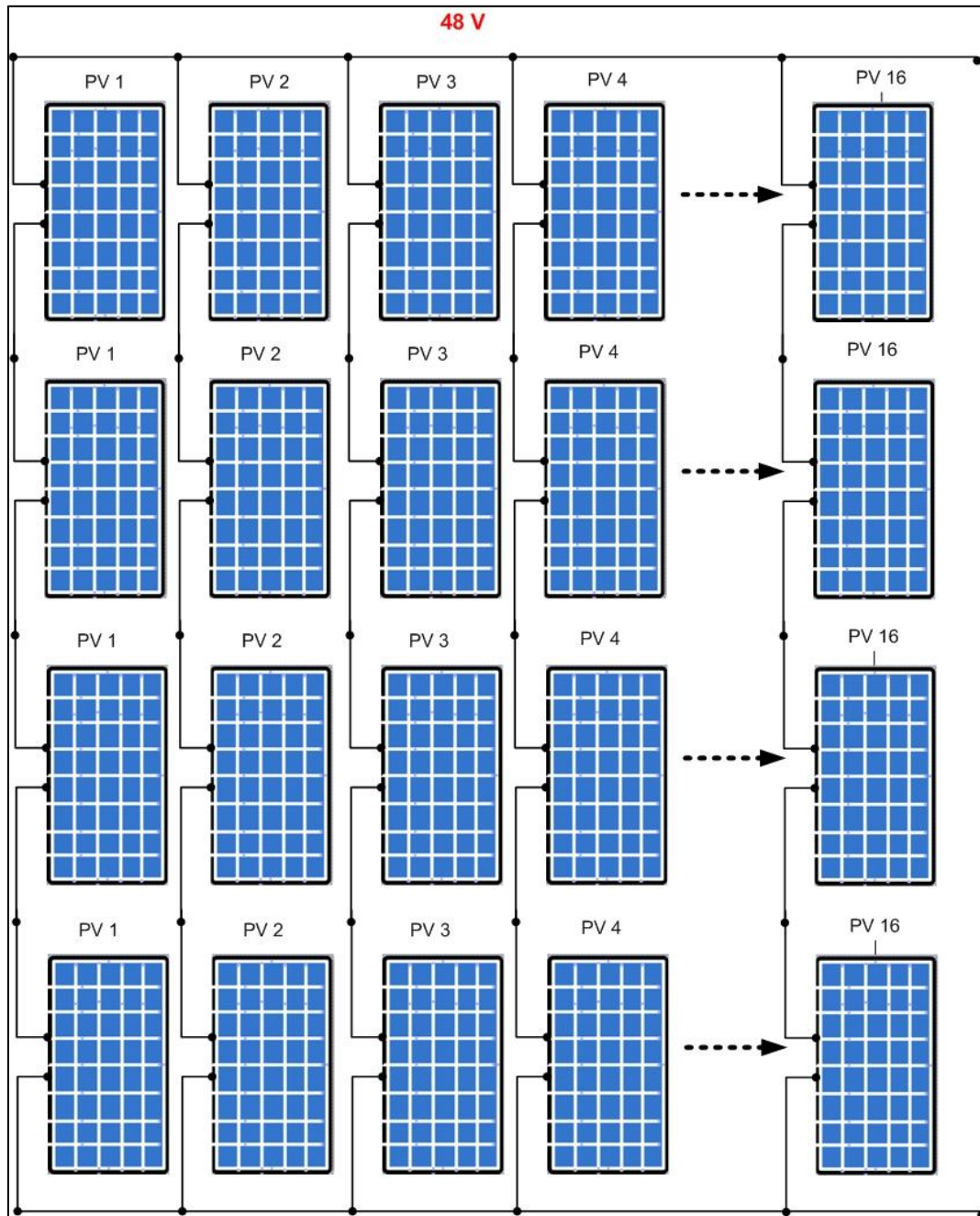


Fig. 3.5 Esquema de conexión de los módulos fotovoltaicos a 48 V



3.4 ELECCIÓN DEL ARREGLO ÓPTIMO PARA EL SISTEMA

De acuerdo a los cálculos realizados, el arreglo óptimo es el de 4 grupos en serie, con 16 módulos paralelos en cada grupo, con una total de 64 módulos.

Debido a que con este arreglo logramos reducir la corriente total a almacenar de 1732 A a 433 A y además la corriente pico del sistema inicialmente fue de 358 A esto con una tensión de 12 V mientras que con una tensión de 48 V la corriente pico del sistema es de 89.5 A por tal motivo este arreglo es más eficiente y conveniente ya que nos permite trabajar con menores corrientes con el fin de evitar posibles descargas y evitar cortocircuitos dentro del sistema.

3.5 IMPLICACIONES ESTRUCTURALES DEL COMPONENTE FOTOVOLTAICO

La Fig. 3.6., muestra las dimensiones geométricas de un módulo fotovoltaico ISOFOTON i-100/12 V. Conocida la superficie de cada módulo fotovoltaico, se calculó la superficie total requerida para albergar a los 64 módulos fotovoltaicos, para lo que se estableció una zona de servicio de 60cm entre cada módulo. El área final requerida por cada módulo (Ácu), se cuantificó con ayuda de la expresión (3.6).

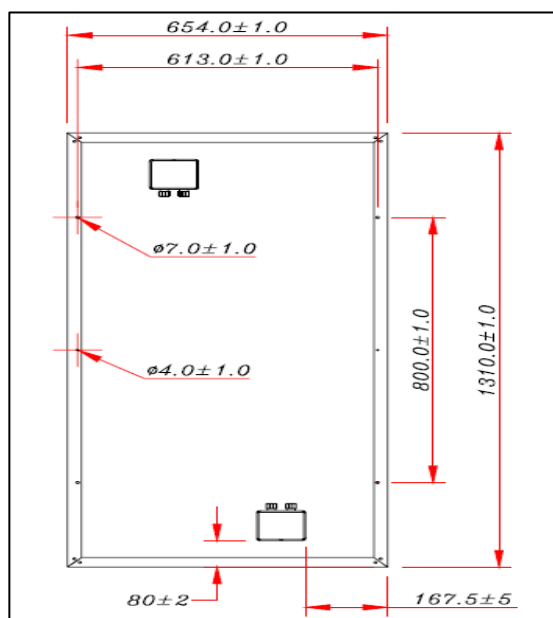


Fig. 3.6 Dimensiones geométricas del módulo fotovoltaico ISOFOTON i-100/12 V



$$Acu = Largo * Ancho \quad (3.6)$$

$$Acu = (1,31m + 0,30m) * (0,654m + 0,30m)$$

$$Acu = 1.53m^2$$

El área total que ocuparán los módulos se determinó a través de la expresión (3.7):

$$At = 64 * Acu \quad (3.7)$$

$$At = 64 * 1.53m^2$$

$$At = 97.92m^2$$

En el anexo 1 se muestra el esquema de conexión del sistema fotovoltaico a 48 V, en estos planos se indica la superficie a utilizar sobre la superficie de la terraza del edificio Virginia Riofrío.

Los datos de catálogo del módulo seleccionado [29], muestran que cada módulo pesa 11.5 Kg, razón por la cual el peso de todo el componente será (3.8):

$$Pmf = 11,5 Kg * 64 \quad (3.8)$$

$$Pmf = 736 Kg$$

La carga estructural del componente será entonces de 7.51 Kg/m².



3.6 CÁLCULO DE LA INVERSION REQUERIDA PARA EL COMPONENTE FOTVOLTAICO

El presupuesto general para la implementación del componente fotovoltaico para el sistema mixto fotovoltaico – eléctrico convencional para iluminación del edificio de aulas Virginia Riofrío del Campus San Cayetano de la Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador, se presenta en la Tabla.6.1



CAPÍTULO IV

4. DIMENSIONAMIENTO DEL BLOQUE DE STORAGE DE ENERGÍA, REGULADOR DE CARGA E INVERSOR

4.1 STORAGE DE ENERGÍA

Como bloques de storage de energía, se pueden utilizar los denominados vectores energéticos, sustancias o dispositivos que almacenan energía de tal manera que, ésta pueda liberarse posteriormente de forma controlada [35]: baterías, pilas, aplicaciones con hidrógeno, aplicaciones de aire comprimido, etc. La tabla 4.1, muestra algunas de las características de las tecnologías de almacenamiento de energía disponibles en el mercado [36].

El storage de energía no implica necesariamente el almacenamiento de energía en formato eléctrico, ya que se puede almacenar energía en el formato cinético (volantes de inercia), potencial (agua ubicada a una cierta altura), etc. El storage de energía, se ha convertido en un componente clave en la visión de la red inteligente ó smart grid, que se refiere a una red de distribución de energía eléctrica en la que se optimizan la producción y distribución de electricidad, con el fin de equilibrar la oferta y la demanda, entre productores y consumidores [37],[38].

Para efectos de este proyecto, y, considerando la alta fiabilidad y la posibilidad de almacenar directamente la energía generada por los módulos fotovoltaicos, se utilizará como bloque de storage a un arreglo de baterías.

4.2 ESQUEMA GENERAL DEL SISTEMA DE STORAGE A IMPLEMENTAR

Se plantea que el sistema de iluminación se abastezca prioritariamente de la energía proporcionada por el sistema fotovoltaico, y, que cuando la reserva de energía en las baterías sea menor a una cota dada, el sistema de iluminación se abastezca de la energía proveniente de la red pública. Se prevé además que, en medida de las posibilidades, la energía generada por el sistema fotovoltaico pueda ser enviada al



sistema eléctrico de la UTPL para atender pequeñas demandas en DC o AC. La Fig. 4.1, muestra un esquema general de la instalación de generación, regulación, almacenamiento, transformación, e, inserción de energía.

Tabla 4.1
Tecnologías de storage de Energía

Tecnología	Tipo de Energía Primaria	Funcionamiento y Características	Etapa de Desarrollo
Hidroelectricidad Bombeada	Potencial	Se Bombea agua hasta un depósito ubicado a una cierta altura para almacenarla como energía potencial, esta puede ser aprovechada a medida que el agua baja en el campo gravitacional de la Tierra accionando una turbina, que acoplada a un generador, permite obtener electricidad.	Madura
CAES (Almacenamiento de Energía con Aire Comprimido):	Potencial	Los sistemas CAES utilizan la energía compresiva asociada al aire presurizado contenido en depósitos subterráneos consistente en cavidades naturales o antiguas minas o en acuíferos porosos que están geológicamente contenidos. El almacenamiento se realiza comprimiendo el aire durante horas de baja demanda de energía. Durante las horas pico el aire comprimido se utiliza para producir potencia al expandirlo en una turbina de gas con relativamente alta eficiencia.	Desarrollo Inicial
Flywheel (Volante de Inercia)	Inercia mecánica	Un disco pesado que rota es acelerado por un motor eléctrico, que actúa como generador en reversa, retrasando el disco y produciendo electricidad. La electricidad se almacena como energía cinética. La fricción se debe mantener al mínimo para prolongar el tiempo de almacenamiento. Esto se logra colocando la rueda volante en el vacío y usando cojinetes magnéticos, lo cual hace que el método sea costoso.	Desarrollo Inicial
Baterías	Electroquímica	En las baterías la energía eléctrica es almacenada (cargada) o liberada (descargada) mediante reacciones electroquímicas que transportan electrones a los electrodos (cátodo y ánodo), conectados por un electrolito	Madura
Hidrógeno		La energía se almacena produciendo hidrógeno, a partir del reformado de gas natural o por electrólisis del agua. El hidrógeno tiene potencial uso en plantas de energía solar y energía eólica ya que se podría almacenar la energía excedente que se produce durante las horas pico de generación, para luego utilizarla en horas pico de consumo. El hidrógeno, en comparación con los hidrocarburos (como la gasolina o el propano), es mucho más difícil de almacenar y transportar con la tecnología actual. El gas de hidrógeno tiene buena densidad por volumen, pero mala comparada con la de los hidrocarburos, por lo tanto requiere de un tanque más grande para ser almacenado.	Desarrollo Inicial

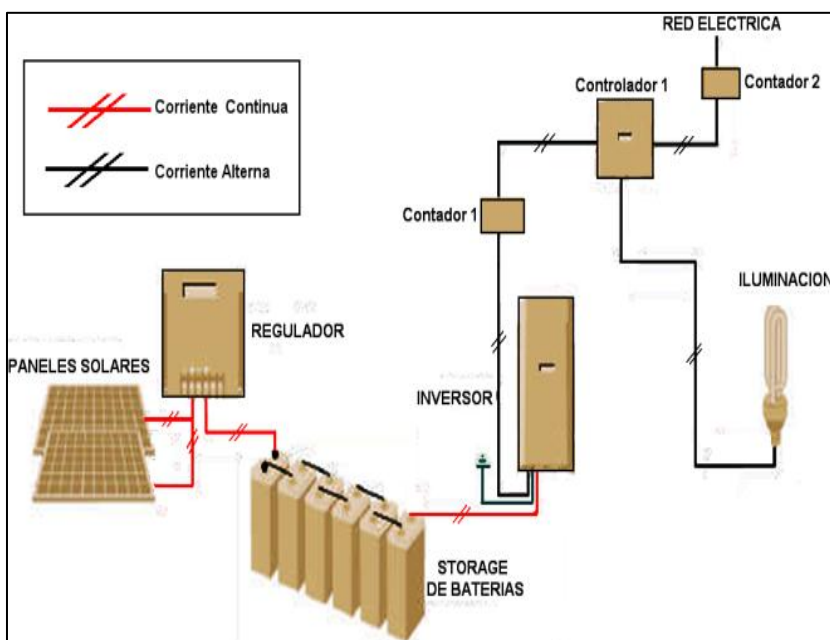


Fig. 4.1 Esquema general de sistema de iluminación mixta fotovoltaica –energía eléctrica convencional, del edificio Virginia Riofrío de la UTPL

El bloque de storage de energía consta de un arreglo de baterías, un regulador de carga, un inversor, y, contadores de carga para el registro de energía aportada o consumida. La mayor parte de los componentes se aloja en un cuarto de control y mantenimiento, ubicado en la terraza del Edificio Virginia Ríofrío. Las dimensiones previstas para el cuarto de control son de 3 m de largo, 5 m de ancho, y, 2.5 m de altura.

4.3 CÁLCULO DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE STORAGE DE ENERGÍA

4.3.1 Regulador de carga

El regulador evita sobrecargas en las baterías, impide la descarga de la batería en periodos de luz solar escasa, asegura el funcionamiento del sistema en el punto de máxima eficiencia, y, garantiza una tensión constante en la salida facilitando el buen funcionamiento de todos los receptores que se conecten al sistema [39].



Los parámetros más importantes del regulador son la corriente máxima, I_{REG} , y la tensión de trabajo. Para calcular la máxima corriente que debe soportar el regulador, se utiliza la expresión (4.1):

$$I_{REG} = 1,05 * I_{SC} * N_p \quad (4.1)$$

Donde:

I_{REG}	corriente máxima que debe soportar el regulador
I_{SC}	corriente de cortocircuito del panel fotovoltaico
N_p	número de paneles conectados en paralelo
1,05	factor de sobredimensionamiento (5%)

Anteriormente se determinó la necesidad de utilizar 16 PFV (en grupos de 4 conectados en serie), del tipo Isofoton I-100/12, cuya hoja de especificaciones técnicas se muestra en la tabla 4.2.

Tabla 4.2
Especificaciones técnicas y eléctricas de los módulos Fotovoltaicos isofoton i-100/12 v

Características Técnicas	Valor
Voltaje Nominal	12V
Máxima Potencia	100 $w_p \pm 10\%$
Corriente de Cortocircuito	6,54 A
Voltaje en Circuito Abierto	21,6 V
Corriente de máxima potencia	5,74 A
Tensión de máxima potencia	17,4 V

La corriente máxima del regulador se determinó entonces como:

$$I_{REG} = 1,05 * I_{SC} * N_p$$

$$I_{REG} = 1,05 * 6,54A * 16$$

$$I_{REG} = 109,88A$$



La tensión nominal del regulador será la misma del arreglo fotovoltaico, es decir 48 V. La tensión máxima que tiene que soportar el regulador, se presenta en los días de irradiación máxima o cuando las baterías están completamente cargadas y sin consumo de energía [39]. La tensión máxima en el regulador, se calcula de acuerdo a la expresión (4.2):

$$V_{REG} = 1,05 * V_{DC} * N_s \quad (4.2)$$

Donde:

V_{REG}	voltaje máximo que debe soportar el regulador
V_{DC}	Voltaje en corriente continua en circuito abierto del panel fotovoltaico
N_s	Número de módulos conectados en serie
1,05	factor de sobredimensionamiento (5%)

El voltaje máximo del regulador se calculó como:

$$V_{REG} = 1,05 * V_{DC} * N_s$$

$$V_{REG} = 1,05 * 12V * 4$$

$$V_{REG} = 50,4 V$$

Los valores obtenidos permiten seleccionar el regulador adecuado. El equipo óptimo es un regulador Steca Power Tarom 4110 (Ver Fig.4. 2), cuyas características técnicas más importantes son [40]:

- Tensión nominal: 48 V
- Corriente máxima del módulo : 110 A
- Corriente máxima durante 5s: 200 A
- Potencia nominal: 6.72 KW
- Temperatura de Servicio: -100 C a 500 C
- Autoconsumo 14 mA



- Peso 10 Kg
- Dimensiones 36x33x19 cm
- Clase de protección: IP65



Fig. 4.2 Regulador Steca Power Tarom 4110, [en línea]
<http://www.stecasolar.com/index.php?Steca_Power_Tarom_en> [Consulta: 5 de agosto 2011]

4.3.2 Inversor

El inversor transforma la DC de baja tensión (12, 24, 32, 36, o, 48 V) generada por los PFV y acumulada en las baterías, a AC de una magnitud y frecuencia necesaria [41]. Los inversores son menos eficientes si se utilizan en un porcentaje bajo de su capacidad. Por esta razón no es conveniente sobredimensionarlos, y, deben ser elegidos con una potencia lo más cercana posible a la de la carga de consumo [43]. Para determinar la capacidad requerida del inversor, es necesario determinar la carga pico del sistema. La tabla 4.3 resume el cálculo de la carga pico del sistema, estimada en 5.89 KW.



Tabla 4.3
Dimensionamiento de corriente pico del sistema

Piso	Artefacto (CA)	U	P (W)	Carga Pico (W)
Planta baja	Lámpara SMD T8 LED (aulas)	160	12	1920
	Lámpara SMD T8 LED (baños)	8	12	96
	Lámpara LED PARATHOM PAR16 (pasillo)	10	3	30
Primera planta	Lámpara SMD T8 LED (aulas)	126	12	1512
	Lámpara SMD T8 LED (asoc. de profesores,	8	12	96
	Lámpara LED PARATHOM PAR16 (pasillo)	10	3	30
Segunda planta	Lámpara SMD T8 LED (aulas)	160	12	1920
	Lámpara SMD T8 LED (auditorio)	21	12	252
	Lámpara LED PARATHOM PAR16 (pasillo)	10	3	30
TOTAL				5886

El inversor que cumple con las características necesarias es el SUNNY BOY 6000TL de SMA Sunny Family (ver Fig. 4.3) [42], cuyas principales características técnicas son:

- Potencia máxima de CC 6000 W
- Tensión máxima de CC 550 V
- Rango de tensión fotovoltaica 125 V – 440 V
- Potencia nominal de salida 6000 W
- Frecuencia de la red 60Hz / +- 5 Hz
- Conexión monofásica, bifásica, trifásica a la red.



Fig. 4.3 Inversor SUNNY BOY 6000TL [en línea]
<<http://www.tritecenergy.com/tritec/popup/language/es/pid/97/aid/5014>> [Consulta: 13 de julio 2011]



El inversor seleccionado facilita la distribución de carga por cada planta del edificio, debido a sus características trifásicas de conexión a la red, y, está disponible en el mercado ecuatoriano a través de CODESOLAR Cía. Ltda.

4.3.3 Arreglo de baterías

La función prioritaria de las baterías, en un sistema de generación fotovoltaica, es la de acumular energía producida durante las horas de Sol, para poderla utilizar en la noche o durante periodos de mayor demanda de energía. La selección de baterías, se basa en parámetros como:

- Vida útil
- Temperatura ambiente de funcionamiento
- Mantenimiento
- Capacidad de almacenamiento
- Profundidad de carga y descarga
- Presupuesto disponible

Para este proyecto, es importante que las baterías garanticen una alta capacidad de almacenamiento, una vida útil aceptable, y, mantenimiento mínimo. Para determinar la reserva de energía requerida en el sistema, se parte de la gráfica temporal de demanda de carga en el edificio (Ver Fig.4. 4). También se considera la carga máxima, calculada anteriormente, en la cual se obtuvo un valor de 433.24 Ah.

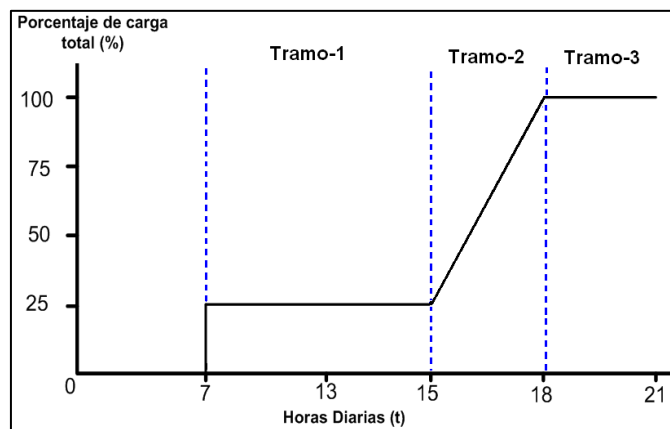


Fig. 4.4 Diagrama de carga diaria en el edificio Virginia Riofrío de la UTPL



Entre las 0h00 y las 7h00, no se registra demanda de energía. Entre las 7h00 y 15h00, la demanda alcanza un 25% de la demanda total. Entre las 15h00 y las 18h00, la demanda crece desde el 25% al 100%. De 18h00 a 21h00 la demanda de carga se mantiene en el 100%. Luego de las 21h00, la demanda se vuelve prácticamente nula. Estos datos son resumidos en la tabla 4.4.

Tabla 4.4
Análisis de carga diaria

Porcentaje de carga máxima	Horario	Carga(Ah)
25%	De 7 a 8	108.31
25%	De 8 a 9	108.31
25%	De 9 a 10	108.31
25%	De 10 a 11	108.31
25%	De 11 a 12	108.31
25 %	De 12 a 13	108.31
25%	De 13 a 14	108.31
25%	De 14 a 15	108.31
50%	De 15 a 16	216.6
50%	De 16 a 17	216.6
75%	De 17 a 18	324.93
100%	De 18 a 19	433.24
100%	De 19 a 20	433.24
100%	De 20 a 21	433.24
0%	De 21 a 22	0
0%	De 22 a 23	0
0%	De 23 a 24	0
0%	De 24 a 1	0
0%	De 1 a 2	0
0%	De 2 a 3	0
0%	De 3 a 4	0
0%	De 4 a 5	0
0%	De 5 a 6	0
0%	De 6 a 7	0
	TOTAL	2924,33

La profundidad de descarga de las baterías, se calcula utilizando la expresión (4.3):

$$CC_{bb} = \frac{CN_{bb}}{Pd} \quad (4.3)$$



Donde:

CC_{bb}	capacidad corregida del banco de baterías Ah
CN_{bb}	capacidad nominal de las baterías Ah
P_d	profundidad de descarga (0,75)

$$CC_{bb} = \frac{2924,33 \text{ Ah}}{0.75} = 3899,1 \text{ Ah}$$

Como batería base se seleccionó a la versión estacionaria Sonnenschein, modelo A512-200 (Ver Fig. 4.5), entre cuyas principales características se anota [45]:

- Tensión nominal, 12V
- Capacidad a 100h, 200 Ah
- Peso, 42 Kg
- Dimensiones 242*274*518 mm



Fig. 4.5 Baterías estacionarias Sonnenschein modelo A512-200 [en línea]
 <<http://www.codesolar.com/EnergiaSolar/Energias/Renovables/Baterias-SonnenSchein-12V-6V.html>>[Consulta: 15 de agosto 2011]

Para determinar el número requerido de baterías en cada arreglo en paralelo, se emplea la expresión (4.4):

$$N_{bp} = \frac{C_s}{C_b} \quad (4.4)$$



En dónde:

N_{bp} es el número requerido de baterías en paralelo
 C_S es la capacidad de carga del sistema, Ah
 C_b es la capacidad de carga de la batería, Ah

$$N_{bp} = \frac{3899,1Ah}{200Ah} = 19,49 \approx 20$$

Para determinar el número requerido de arreglos paralelos de baterías a conectar en serie, se emplea la expresión (4.5):

$$N_{bs} = \frac{T_s}{T_b} \quad (4.5)$$

En donde:

N_{bs} número de baterías en serie
 T_s tensión del sistema V
 T_b tensión de la batería V

$$N_{bs} = T_s/T_b$$

$$N_{bs} = 48V/12V$$

$$N_{bs} = 4$$

Como resultado, el arreglo de baterías está conformado por 4 grupos de 20 baterías en paralelo, conectados en serie. La Fig. 4.6 muestra un esquema de conexión del arreglo de baterías, y, la tabla 4.5 resume el cálculo.

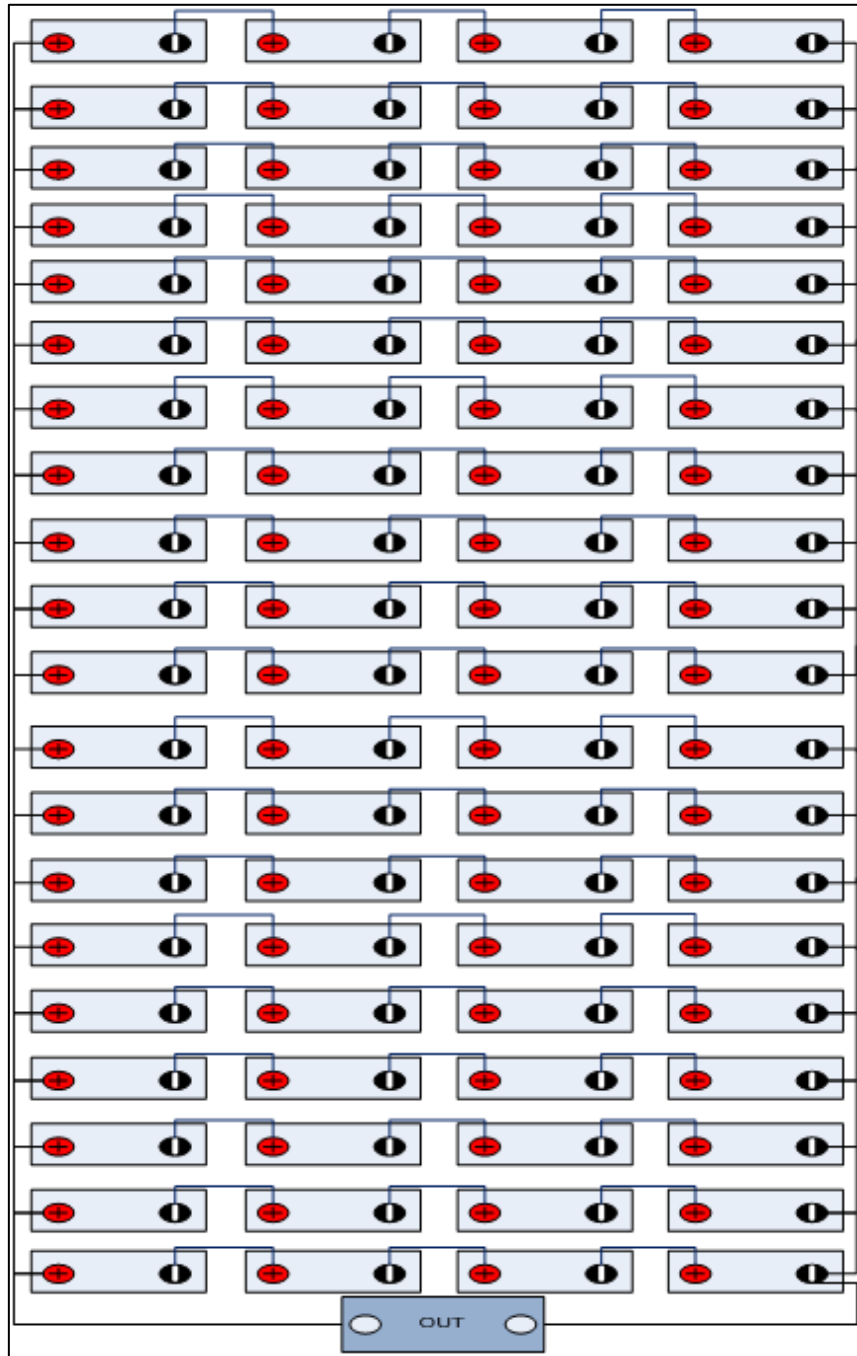


Fig. 4.6 Esquema de conexión del arreglo de baterías



Tabla 4.5
Resumen del cálculo del arreglo de
baterías

VARIABLE	UNIDAD	VALOR
Capacidad nominal (CNbb)	Ah	2924,33 Ah
Capacidad corregida (CCbb)	Ah	3899,1Ah
Número de baterías en paralelo (Nbp)	u	20
Número de baterías en serie (Nbs)	u	4
Número de baterías en total	u	80

4.3.4 Implicaciones estructurales del arreglo de baterías

Los datos de catálogo de las baterías seleccionadas [45], muestran que cada módulo pesa 42 Kg, razón por la cual el peso de todo el componente será:

$$Pt = Pu * 80 \quad (4.6)$$

$$Pt = 42Kg * 80$$

$$Pt = 3360Kg$$

Considerando una reserva del 30% para espaciar las baterías entre sí, el área ocupada por una batería Ab , se estima con ayuda de la expresión (4.7):

$$Ab = (lado * 1.30) * (ancho * 1.30) \quad (4.7)$$

$$Ab = (0,242m * 1.30) * (0,274m * 1.30)$$

$$Ab = 0,112m^2$$

Cada arreglo paralelo de baterías se colocará en un estante a razón de cuatro filas de 5 baterías cada una. El área a ser ocupada por el estante Aeb , es de:



$$A_{eb} = A_b * 5 \quad (4.8)$$

$$A_{eb} = 0,112m^2 * 5$$

$$A_{eb} = 0,56m^2$$

Dejando un espacio de 1 m entre cada estante, cuatro estantes de baterías ocuparán un área de $5.24 m^2$. Por lo tanto, la carga estructural del arreglo total de baterías será de $641.22 Kg/m^2$. Este valor es muy importante para determinar la ubicación final del storage de energía en el edificio.

4.3.5 Implicaciones ambientales del arreglo de baterías

Es importante prever un tratamiento adecuado a las baterías a desechar, puesto que más del 30 por ciento de los materiales utilizados en las baterías, pueden causar daños a la salud y al medio ambiente. Con el paso de tiempo, y, por descomposición, los elementos de las baterías se oxidan, y, se derraman diferentes tóxicos en el suelo, agua, y, aire. Lo mismo sucede cuando se queman en basureros o se incineran [46].

En el mercado ecuatoriano la empresa Fabribat, en la ciudad de Quito, está facultada para la recolección, almacenamiento y reciclaje de baterías chatarra [47]. El servicio de reciclaje de baterías tiene un costo de 3 dólares por kilogramo. Dado el peso total del arreglo de baterías de 3360 Kg, el costo por el reciclaje de las mismas, una vez culminada su vida útil, sería del orden de los 10.080 dólares.

4.4 PRESUPUESTO DE INVERSIÓN

El presupuesto general para la implementación del bloque de storage en el edificio Virginia Riofrío, se presenta en la Tabla 6.1.



CAPÍTULO V

5. DISEÑO DEL BLOQUE DE CONTROL

5.1 DISEÑO DEL BLOQUE DE CONTROL

5.1.1 Paradigma de control

En el sistema implementado, la energía solar se convierte en energía eléctrica en los PFV, se deriva al regulador de carga, y, posteriormente se almacena en un arreglo de baterías. Bajo demanda, la energía almacenada, va al inversor, transformándose de DC (a 48 V) a AC de magnitud y frecuencia requerida. En caso de que la energía almacenada sea menor a una cota dada, el bloque de control, realiza la alimentación de la carga desde el sistema eléctrico doméstico de la Empresa Eléctrica Regional del Sur (EERSSA), proveedor de energía eléctrica en el sur del Ecuador.

Un módulo de medición de cantidad de carga, verifica la disponibilidad en el arreglo de baterías. El valor medido se compara con una cota predeterminada en el módulo microcontrolador del bloque. Si la carga disponible es mayor al 25% del valor máximo esperado, la salida del módulo microcontrolador adopta un estado de “alto o 1”, e indica al módulo de conmutación que el sistema se alimentará del arreglo de baterías. Caso contrario, la salida adopta un estado de “bajo o 0”, y, el módulo de conmutación alimenta al sistema de la red pública de energía eléctrica. La Figura.5. 1, muestra el diagrama de módulos funcionales del bloque de control.

El bloque de control, se complementa con instrumentación de medición a fin de registrar el aporte y consumo de energía en el sistema (Ver Fig. 5.2). El contador 1, mide la energía aportada por el sistema fotovoltaico. El contador 2, registra la energía que se consume desde la red pública.

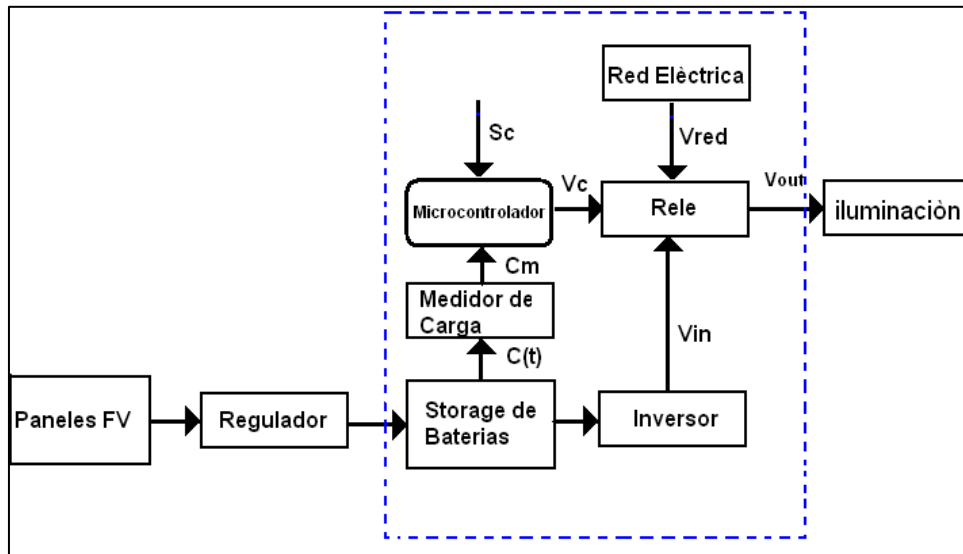


Fig. 5.1 Diagrama de módulos funcionales del bloque de control

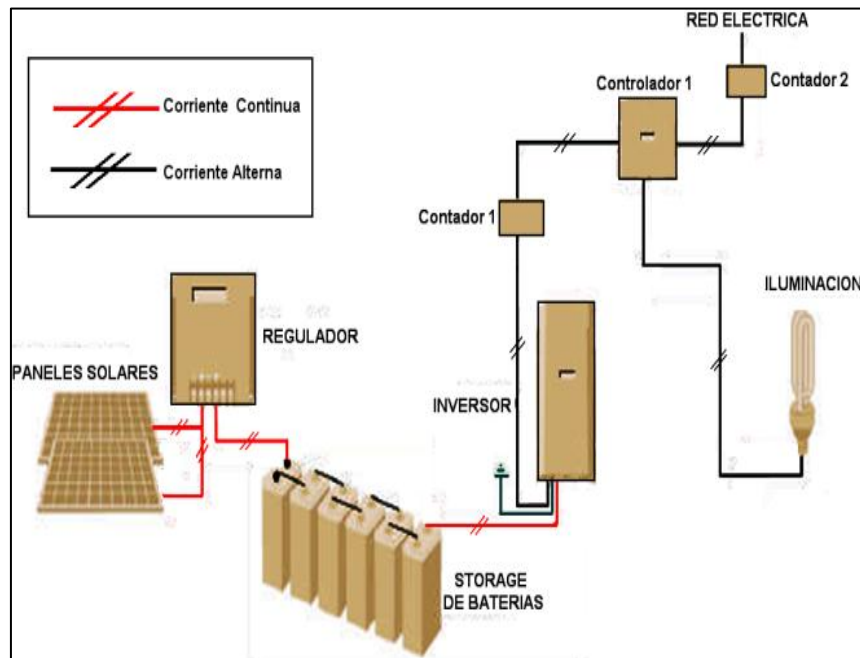


Fig. 5.2 Esquema del sistema de iluminación mixta fotovoltaica



5.1.2 Variables de control

El bloque de control diseñado, responde a un criterio de control del tipo lógico. Las variables de entrada están representadas por el nivel mínimo de carga en las baterías establecido para que el sistema se alimente de energía solar, y, el valor medido de carga en las baterías (C_m). La señal de salida del bloque está representada por el nivel lógico que el microcontrolador envía al módulo de conmutación (V_c).

Si consideramos que la carga medida es exactamente la carga presente en el arreglo de baterías ($C_m = C(t)$); que la carga nominal (C_{nom}) de las baterías corresponde a la carga máxima; y, que la carga mínima para operar desde el sistema PFV es del 25% de la carga máxima, entonces el funcionamiento del bloque de control se describe por el sistema de ecuaciones (5.1):

$$C_m \geq C_{min} \rightarrow V_c = 1 \quad (5.1)$$

$$C_m \leq C_{min} \rightarrow V_c = 0$$

5.2 CÁLCULO DE LOS MÓDULOS DEL BLOQUE DE CONTROL

5.2.1 Módulo de medición

Antes de la fase de medición de la carga disponible en el bloque de storage de energía, se requiere acoplar los voltajes de salida del arreglo de baterías (48V) y del circuito de medición (12V). Este acople se logra a través de un esquema divisor de voltaje, montado como muestra la Fig. 5.3 [49].

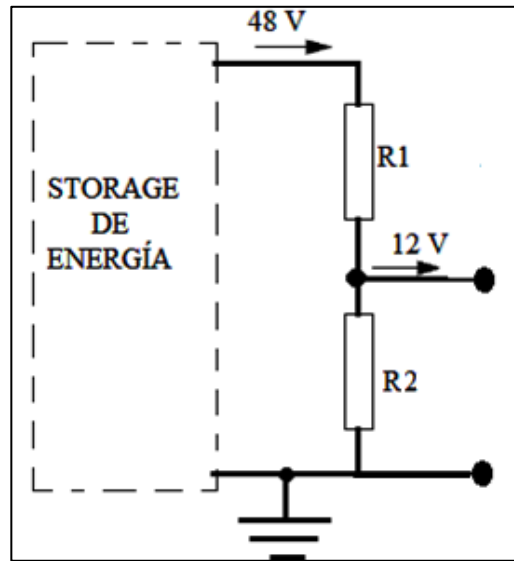


Fig. 5.3 Circuito divisor de voltaje

Los valores requeridos para los resistores, se calculan utilizando las leyes de Kirchoff y Ohm [49]:

$$V_s(t) = V_1(t) + V_2(t) \quad (5.2)$$

$$V_s(t) = i(t) * (R_1 + R_2) \quad (5.3)$$

Los cálculos permiten determinar el valor de R1 en 3 KΩ y R2 en 1 KΩ. La Fig.5.4, muestra el esquema electrónico del indicador de 4 niveles, que se utilizó como base del circuito medidor de carga. El esquema se monta sobre el integrado LM339, que contiene cuatro comparadores de tensión (A1 – A4), una red resistiva de 5 resistores (R1 – R5), y, un preset (Pot). El esquema se conecta a la salida del circuito de acople.

En el circuito medidor de carga, la red resistiva logra que la tensión en las entradas negativas de los comparadores sea próxima a los 5V. Esta tensión es comparada con la tensión de referencia positiva de 5V, y, como respuesta de los comparadores se encienden los LEDs. El número de LEDS encendidos determina el nivel de carga restante en el arreglo de baterías (100, 75, 50, o, 25% de carga). La señal de la salida



de los comparadores, se envía al microprocesador para servir de base al paradigma de conmutación Fig. 5.4.

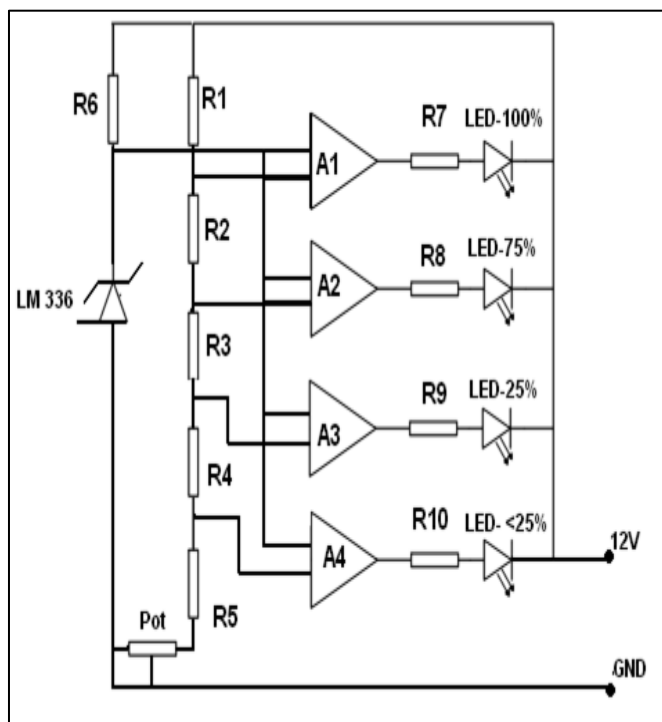


Fig. 5.4 Circuito indicador de nivel de carga de las baterías [En línea], <http://electronica.tecnoface.com/alimentacion/10-indicador-de-nivel-de-carga-de-una-bateria>, [Consultado: 10 de agosto del 2011].

5.2.2 Módulo de control

El módulo de control está montado sobre un microcontrolador modelo ATTiny2313, de 8-Bit, de Atmel [51], cuyas principales características técnicas son:

- 2K de memoria de programa
- 18 líneas E/S.
- Número de pines: 20
- Max. frecuencia de operación: 20MHz
- CPU: 8-bits AVR
- Rango de temperatura (° C): -40 a 85



- Voltaje de funcionamiento: 1,8 a 5,5 V

Los estados lógicos de salida del microcontrolador corresponden a 5 V para un “uno lógico”, y, 0 V para un “cero lógico”. El algoritmo de control y programación del microcontrolador, se lo realizó en Codevision AV, lenguaje basado en C++. La estructura del algoritmo para realizar el paradigma de control, fue la siguiente:

```
#include <tiny2313.h>

void main(void)

{#pragma optimize-

CLKPR=0x80;

CLKPR=0x00;

#ifdef _OPTIMIZE_SIZE_

#pragma optimize+

#endif

PORTA=0x00;

DDRA=0xFF;

PORTB=0x00;

DDRB=0x02;

while (1)

{ if ((PINB.0==1)&(PINB.1==1)&(PINB.2==1)&(PINB.3==1))

{ PORTA.1=1; };

if ((PINB.0==1)&(PINB.1==0)&(PINB.2==0)&(PINB.3==0))

{ PORTA.1=0; };

if ((PINB.0==0 & PINB.1==0 & PINB.2==0 & PINB.3==0))

{ PORTA.1=0; };}}
```



5.2.3 Módulo de conmutación

La Fig.5. 5, muestra el esquema del módulo de conmutación, montado sobre un relé de dos posiciones [52], [53]. La señal de entrada al circuito es la señal de salida del microcontrolador. Cuando el arreglo de baterías tiene una reserva de capacidad mayor o igual al 25%, la salida del microcontrolador es equivalente a “1”. Caso contrario la salida es equivalente a “0”. Los valores “1” y “0” en la salida del microcontrolador, actúan de comando de control del relé, el cual realiza la conmutación de la alimentación de la carga, ya sea desde el sistema fotovoltaico o desde la red pública convencional.

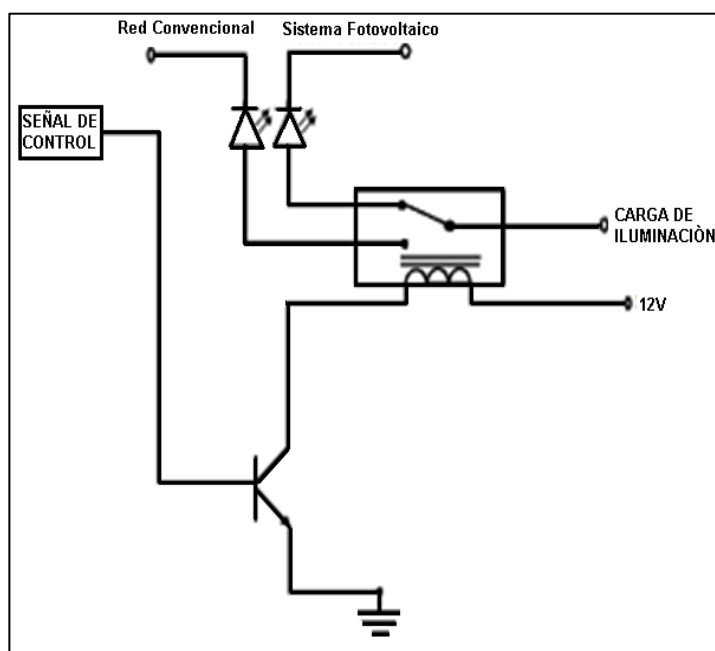


Fig. 5.5 Circuito de conmutación

En la Fig.5.6 se muestra el esquema general del bloque de control, incluido el bloque de medición, bloque de control y bloque de conmutación.

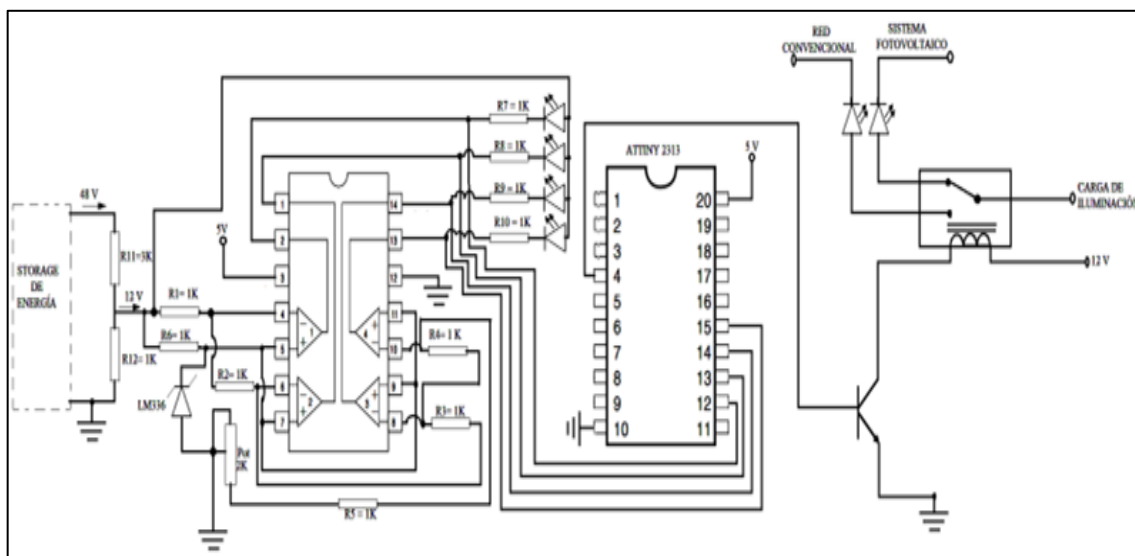


Fig. 5.6 Esquema general del bloque de control

5.2.4 Contador de energía eléctrica

La función de un contador de energía es integrar en el tiempo la potencia eléctrica consumida, por tal razón que es impropio el nombre de medidor de energía, ya que no mide si no que cuenta la cantidad de energía [54]. El contador que cumple con las características necesarias es el CIRWATT D 405MT de de la empresa Circutor Sudamericana S.A. (Ver Fig. 5.7) [55], este posee las siguientes características técnicas:

- Puerto óptico, RS 232, RS 485
- 4 salidas digitales, 2 curvas de carga
- Energía activa consumida y generada
- Tensión promedio
- Alimentación auxiliar 110/220 Vac/Vdc
- Conformación de archivos en .prn
- Protocolos de comunicación IEC 870-5-102, modbus RTU y Z módem
- Incluye software de lectura y programación softwatt.

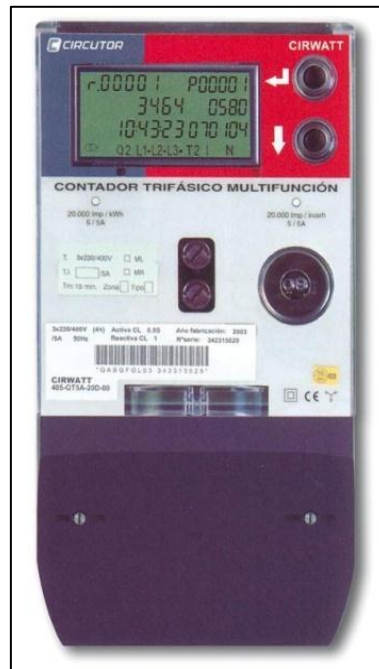


Fig. 5.7 Contador de energía eléctrica CIRWATT D 405MT 405MT [En línea], < <http://www.circutor.com/#>> [Consultado: 5 de agosto del 2011].

5.3 PRESUPUESTO DE INVERSIÓN

El presupuesto general para la implementación del bloque de control en el edificio Virginia Riofrío, se presenta en la Tabla 6.1.



CAPÍTULO VI

6. PRESUPUESTO GENERAL

El presupuesto general para la implementación de un sistema de iluminación de energía mixta fotovoltaica-eléctrica convencional para el edificio de aulas Virginia Riofrío del Campus San Cayetano de la Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador, se presenta en la Tabla.6.1.

Tabla 6.1
Presupuesto General para la implementación de un sistema de iluminación de energía mixta fotovoltaica-eléctrica convencional para el edificio de aulas Virginia Riofrío.

MATERIALES					
	Producto	Unidad	Cantidad	Valor unitario (USD)	Valor total (USD)
Implementación de las nuevas luminarias	Lámpara dicroica LED PARATHOM PAR16 de 3W	u	30	35,16	1054,8
	Lámpara de tubo T8 LED SMD de Sinostar Lighting Group	u	446	22,6	10079,6
	Carcasa para Luminaria ITALIGHT con Difusor Acrílico	u	223	7,89	1759,47
	Canaleta con base adhesiva	m	200	0,5	100
	Cable Unipolar #14 de 2.08 mm2	m	200	0,5	100
Implementación de los módulos fotovoltaicos	Módulo Fotovoltaico ISOFOTON I-100/12	u	64	429	27456
	Estructura metálica acero galvanizado	u	32	50	1600
	transporte de los módulos fotovoltaicos	u	64	35	2240
Implementación del bloque de storage	Batería estacionaria Sonnenschein modelo A512-200	u	80	640.00	51200
	Inversor SUNNY BOY	u	1	3118.00	3118
	Regulador Steca Power Tarom 4110	u	1	2898,5	2898,5
	Aire Acondicionado Tekno	u	1	160	160



Implementación del bloque de control	Contador de energía eléctrica CIRWATT D 405MT	u	2	48.68	97.36
	Amplificador operacional LM 339	u	1	0.55	0.55
	Resistencias de 1 K	u	4	0.5	0.20
	Resistencias de 1 ohm	u	3	0.05	0.15
	Resistencia de 7.5 K	u	1	0.05	0.05
	Resistencias de 470 ohm	u	1	0.05	0.05
	LM336-5V0	u	1	0.65	0.65
	Leds (verde-amarillo-rojo- blanco)	u	4	0.10	0.40
	Preset 2K	u	1	0.90	0.90
	Bakelita	u	2	1.50	3
	Percloruro de Hierro	u	1	0.45	0.45
	Estructura de Circuito indicador de nivel de carga de una batería	u	1	5	5
	Microcontrolador ATTiny 2313	u	1	3	3
	Relé	u	1	12	12
	Diodo 1N4007	u	1	0.45	0.45
	Borneras	u	8	0.35	2.80
	transistor 2n222	u	1	0.45	0.45
	Resistencia 1000 ohm	u	1	0.25	0.25
	Resistencia de 3000 ohm	u	1	0.25	0.25
Estructura del bloque de control	u	1	15	15	
SUBTOTAL					101804,37
MANO DE OBRA					
	Descripción	Unidad	Cantidad	Valor unitario (USD)	Valor total (USD)
Implementación de las nuevas luminarias	Colocación de las Luminarias LED PARATHOM PAR16	u	30	0,3	9
	Colocación de las Luminarias de tubo T8 LED SMD	u	446	5	2230
	Tendido de cables	m	200	0,3	60
Implementación de los módulos fotovoltaicos	Colocación del Módulo Fotovoltaico ISOFOTON	u	64	20	1280
	Colocación de la Estructura Metálica	u	16	10	160



Implementación del bloque de storage	Instalación del arreglo de baterías estacionarias Sonnenschein modelo A512-200	u	80	10	800
	Instalación de regulador Steca Power Tarom 4110	u	1	15	15
	Instalación del inversor SUNNY BOY	u	1	15	15
Implementación del bloque de control	Instalación del Aire Acondicionado Tekno	u	1	15	15
	Instalación del sistema eléctrico (Iluminación y tomacorrientes)	u	1	120	120
	Elaboración del Circuito indicador de nivel de carga de una batería	u	1	20	20
	Elaboración del Circuito de control	u	1	50	50
	Instalación del bloque de control	u	1	20	20
SUBTOTAL					4794
OBRA FÍSICA					
Producto		Unidad	Cantidad	Valor unitario (USD)	Valor total (USD)
Construcción de caseta de control (Incluida mano de obra y materiales)		u	7,5 m ²	125	937,5
SUBTOTAL					937,5
TOTAL DE PRESUPUESTO (MATERIALES + MANO DE OBRA + OBRA FÍSICA)					107535,87
DIRECCIÓN TÉCNICA Y ADMINISTRACIÓN (15%)					16130,3805
IMPREVISTOS					5000
RECICLADO FUTURO DE BATERÍAS					10080
UTILIDADES (5%)					5376,7935
TOTAL PRESUPUESTO GENERAL					144123,044



CONCLUSIONES

- El uso de fuentes de energías alternativas alivia el uso de las energías convencionales, lo que permite alcanzar cierta independencia energética, disminuir los niveles de contaminación, etc.
- La iluminación es uno de los sectores de mayor consumo de energía, razón por la cual es importante trabajar en la optimización energética de estos sistemas.
- La diferencia fundamental entre los sistemas de iluminación convencional y los de iluminación no convencional radica en la relación entre la energía eléctrica total consumida en las luminarias y la energía luminosa producida en ellas.
- Como estrategia para cubrir la fluctuación de la disponibilidad de energía eléctrica de naturaleza fotovoltaica, los sistemas fotovoltaicos de iluminación incluyen o bien un componente de storage de energía o bien un componente de transferencia a una red eléctrica pública convencional (o los dos componentes a la vez).
- La selección de luminarias LED para los sistemas no convencionales de iluminación se basa en los niveles de iluminación y en el espectro requerido (color) de la luz.
- El sistema se alimentará en forma base de la energía generada en el panel FV, pero durante los períodos de mantenimiento del panel FV o ante ausencia de la energía radiada por el sol, el sistema se alimentará de red eléctrica convencional, evitando así que el sistema completo quede sin energía eléctrica.
- Uno de los principales componentes del sistema es el tablero de control, este gestionará el funcionamiento del sistema, vigilando la conexión y el estado de los equipos auxiliares, estado de carga, de potencia, niveles de corriente, voltaje, etc.
- La utilización de iluminación eficiente con luminarias de alto rendimiento (alta relación lumen/watio), permite obtener una buena eficiencia energética sin sacrificar confort.
- Para diseño del sistema de iluminación eficiente del edificio Virginia Riofrío, se definió un nivel de iluminación media de 225 lux, un factor de mantenimiento para las luminarias de 0.8; un coeficiente de reflexión del techo de 0.7, un



coeficiente de reflexión de las paredes de 0.5, un coeficiente de reflexión del suelo de 0.1.

- De acuerdo a los requerimientos de iluminación para las aulas, se seleccionó una lámpara LED tipo SMD T8 LED 12W, de Sinostar Lighting Group, cuya instalación corresponderá a los esquemas de emplazamiento explicados en este trabajo.
- Para los corredores del edificio Virginia Riofrío, se definió un nivel de iluminación media de 125 lux.
- De acuerdo a los requerimientos de iluminación los corredores, se seleccionó bombillas LED tipo PARATHOM PAR16, de la empresa de luminarias Highlights.
- El requerimiento de energía para iluminación del edificio Virginia Riofrío, en las horas pico de 18h00 a 21h00, considerando la reserva del caso, se estima en 18,8 KWh por día.
- El costo total de inversión requerida para implementar el sistema de iluminación eficiente es del orden de los USD 19000.
- Una vez cuantificada la demanda de energía en el edificio de aulas Virginia Riofrío, del Campus San Cayetano de la UTPL, se dimensionó el componente fotovoltaico en función del gasto energético que se debe cubrir.
- De acuerdo a los requerimientos, se seleccionó el módulo fotovoltaico ISOFOTON i-100/12 V, de la empresa ISOFOTON S.A, cuya instalación corresponderá a los esquemas de emplazamiento explicados en este trabajo.
- De acuerdo a los cálculos realizados y mediante las comparaciones del dimensionamiento, se determinó que el arreglo óptimo para el sistema es de 4 grupos en serie, con 16 módulos paralelos en cada grupo, el total de número a usarse de módulos fotovoltaicos es de 64 , que permitirá obtener una corriente pico de 433.24 Ah, y, una tensión de 48V.
- El área total para albergar los 64 módulos fotovoltaicos requeridos, con un área de servicio de 30 cm entre cada uno de ellos, es del orden de los 97.92 m², con un peso total de 736 Kg, y, una carga de de 7.51 Kg/m².
- El costo total de inversión requerida para la implementación de los módulos fotovoltaicos es de USD 39983,2 el precio de los paneles fotovoltaicos son otorgados por la empresa ecuatoriana CODESOLAR Cía. Ltd. [8]



- Para efectos de este proyecto, se decidió utilizar como vector energético a un arreglo de baterías considerando la alta fiabilidad y la posibilidad de almacenar directamente la energía generada por los módulos fotovoltaicos.
- El dimensionamiento del módulo de storage se realizó la bajo la consigna de mantener la iluminación del edificio Virginia Riofrío, por 24 horas, eficientemente y sin necesidad de recarga.
- Se determinó la necesidad de implementar un arreglo de baterías, conformado por 4 grupos de 20 baterías en paralelo, conectados en serie, para proporcionar los 3899,1 Ah y los 48V exigidos por la carga.
- El tipo de batería óptima para este sistema es del tipo estacionaria Sonnenschein modelo A512-200, escogido principalmente por su gran capacidad de almacenamiento.
- De acuerdo a las exigencias del proyecto, se seleccionó un regulador Power Tarom 4110, de la empresa Steca y un inversor SUNNY BOY 6000TL, de la empresa Sunny.
- El costo total de inversión requerida para implementación del bloque de storage es del orden de los USD 76000 dólares.
- El microcontrolador seleccionado que cumple con todos los requerimientos necesarios para el presente diseño es el microcontrolador ATTiny2313 de 8-Bit de la empresa Atmel.
- El circuito de conmutación a utilizar permite, de acuerdo a los valores obtenidos por el microcontrolador, alimentar al sistema desde el sistema fotovoltaico o desde la red pública convencional.
- El contador seleccionado que cumple con las características necesarias es el CIRWATT D 405MT de de la empresa Circutor Sudamericana S.A., cuyas características se describen en el presente trabajo.
- Los dispositivos seleccionados para el sistema cumplen con los rangos de trabajos preestablecidos, requeridos para un óptimo funcionamiento del sistema.
- Los parámetros requeridos por nuestro sistema, dependen de las condiciones a las cuales van a operar los dispositivos del sistema, estos parámetros deben ser lineales en estos rangos predeterminados.



- El costo total de inversión requerida para implementación del bloque de control es del orden de los USD 350.



REFERENCIAS

- [1] A. Giddens, The constitution of society, outline of the theory of structuration. Paperback. Berkeley and Los Angeles: University of California Press, 1986.
- [2] R. Espejo, The viable system model, a briefing about organizational structure. Aston Science Park, Birmingham: SYNCHO Limited, 2003.
- [3] S. Beer, Diagnosing the system for organization Chichester : Wiley, 1985
- [4] W. R. Ashby, An introduction to cybernetics. [en línea]. Chapman & Hall <<http://pcp.vub.ac.be/books/IntroCyb.pdf>> [Consulta: 4 abril 2010].
- [5] C. J. Carrillo. Sistemas de iluminación, eficiencia y sostenibilidad energética en la empresa. Centro Tecnológico de Eficiencia y Sostenibilidad Energética. La Coruña, 2009, [en línea] <http://www.energylab.es/fotos/091105104635_YTi6.pdf>, [Consulta 23 Abril 2010]
- [6] D. Alleguiry. Luminaria fotovoltaica con tecnología led. [en línea]<<http://www.e2energias.com/images/EspecificacionTecnicaLuminaria.pdf>> [Consulta 23 Abril 2010]
- [7] Energía solar fotovoltaica. [en línea] <http://www.miliarium.com/monografias/energia/E_Renovables/Fotovoltaica.htm> [Consulta: 15 de Marzo 2011]
- [8] <http://www.solener.cl/index.php?option=com_content&view=article&id=51&Itemid=14>[Consulta 15 de marzo 2011]
- [9] Ecoticias, Noticias de Medioambiente, [en línea] <http://www.ecoticias.com/energias-renovables/46577> > [Consultada 13 abril 2011]
- [10] Massachusetts Institute of Technology, [en línea] <<http://web.mit.edu/newsoffice/2011/transparent-solar-windows-0415.html>> [Consultada 20 abril 2011]
- [11] Gasquet, H. L. Manual de Sistemas Fotovoltaicos. Austin. 2008
- [12] Curso de Energía Solar Fotovoltaica "CUROLAR". [en línea] <http://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/04_componen/01_generador/01_basico/4_gene_01.htm> [Consultada 15 Marzo 2011]



- [13] Manual sobre energía renovable, Solar fotovoltaica. Primera edición. Puerto Rico, 2002.
- [14] Editores, “KYOCERA” [en línea]. Google: fabricantes de paneles fotovoltaicos. Marzo 2010, <www.kyocera.com/panelesfotovoltaicos.html> [Consultada: 20 de abril 2010]
- [15] Editores, “Asociación de la Industria Fotovoltaica” [en línea]. Google: ASIF. Enero 2010, <www.sitiosolar.com/paneles%20fotovoltaicos.html> [Consultada: 21 de abril 2010]
- [16] Editores, “SITOSOLAR” [en línea]. Google: paneles fotovoltaicos. Febrero 2010, <www.sitiosolar.com/paneles%20fotovoltaicos.html> [Consultada: 16 de abril 2010]
- [17] Editores, “JH ROERDEN” [en línea]. Google: proveedores de paneles fotovoltaicos. Febrero 2010
- [18] Editores, “JH ROERDEN” [en línea]. Google: proveedores de paneles fotovoltaicos. Febrero 2010, <www.asif.org/files/lista_precios_2010.pdf> [Consultada: 21 de abril 2010]
- [19] Norma Europea UNE EN 12464-1 [en línea]. [http://www.taoiluminacion.com/Ficheros/Normativa%20Aumbrado%20Interior%20UNE-EN%2012464-1%5B1%5D\(1\).pdf](http://www.taoiluminacion.com/Ficheros/Normativa%20Aumbrado%20Interior%20UNE-EN%2012464-1%5B1%5D(1).pdf) [Consulta mayo 2011]
- [20] Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación. Centros docentes”, 2001 [Consulta mayo 2011]
- [21] Highlights Iluminación Decorativa [en línea]. <http://www.highlights.com.ec/site2/> [Consulta mayo 2011]
- [22] Datasheet LED PARATHOM PAR16, 110V, 5W [en línea]. <http://www.highlights.com.ec/site2/images/PDF/parathom%205w.pdf> [Consulta mayo 2011]
- [23] Calculo del número de luminarias. [en línea]. <<http://edison.upc.es/curs/llum/interior/iluint2.html>> [Consulta mayo 2011]
- [24] ERCO. Manual - Cómo planificar con luz. pdf [Consulta mayo 2011]
- [25] SINOSTAR. Fabricante de iluminación LED. [en línea]. <http://www.duxlite.com/20W-LED-Tube-T8-150-336-20W-SMD-69.html> [Consulta mayo 2011]



- [26] Iluminación en Interiores [en línea]
<http://edison.upc.edu/curs/llum/interior/iluint3.html> [Consulta junio 2011]
Luxómetro Profesional tipo LX-102 [en línea]
<http://www.kelab.com.hk/newweb/TAIWANequip/LUTRONseries/2007Lutron/LX-102.pdf> [Consulta junio 2011]
- [27] Manual de instalación uso y mantenimiento de los módulos fotovoltaicos ISOFOTON Gama Estándar [en línea]
<http://www.isofoton.com/technical/material/pdf/productos/fotovoltaica/módulos/Manual-instalacion-módulos-fotovoltaicos_esp.pdf> [Consulta: 20 de mayo 2011]
- [28] Atlas Solar del Ecuador con fines de Generación Eléctrica, CONELEC [en línea] <<http://www.conelec.gob.ec/> > [Consulta: 20de mayo 2011]
- [29] Módulos Fotovoltaicos ISF- 230/ 235/ 240, Módulos Solares Monocristalinos. ISOFOTON [en línea]
<http://www.isofoton.com/technical/material/pdf/productos/fotovoltaica/módulos/grupos/ISF_230-240_esp.pdf> [Consulta: 23 de mayo 2011]
- [30] Capitulo 12, Tecnologías Alternativas. [en línea]
<http://www.bae.uky.edu/energy/residential/guide/spanish/CAPITULO_12.pdf> [Consulta: 20 de mayo 2011]
- [31] Energía solar fotovoltaica AGUIDROVERT SOLAR [en línea]
<http://www.aguidrovert.com/documentos/Tarifa_Precios_Fotovoltaica_04_2004.pdf> [Consulta: 06 de julio 2011]
- [32] Instalación solar fotovoltaica de 100KW de conexión a la red en Lorca Murcia. Universidad Pontificia Comillas Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI) Ingeniero Industrial Francisco de Delás de Mazarredo Madrid, junio del 2009. [en línea] <<http://www.iit.upcomillas.es/pfc/resumenes/4a44ef1fa2d91.pdf>> [Consulta: 06 de julio 2011]
- [33] Elaboración de una normativa para el diseño y el diagnostico de sistemas fotovoltaicos residenciales autónomos para el Ecuador. Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Eléctrica Y Electrónica. [en línea] <<http://biblioteca.epn.edu.ec/catalogo/fulltext/CD-2992.pdf>> [Consulta: 07 de julio 2011]



- [34] Equipos fotovoltaicos. CODESOLAR Cía. Ltda. [en línea] <<http://www.codesolar.com/>> [Consulta: 07 de julio 2011]
- [35] Vector Energético. Portal de Sostenibilidad. [en línea] <http://portalsostenibilidad.upc.edu/detall_01.php?numapartat=3&id=72> [Consulta: Julio 2011]
- [36] Electric Power Storage. Stan Mark Kaplan Specialist in Energy and Environmental Policy September 8, 2009 [Consulta: Julio 2011]
- [37] ECOPERIODICO. El periódico medioambiental participativo y global Smart Grid: la última frontera de Obama [en línea] <<http://www.ecoperiodico.com/smart-grid-la-ultima-frontera-de-obama/>> [Consulta: 25 de julio 2011]
- [38] Redes Smart Grid: Eficiencia energética total. Data.Ti [en línea] <<http://www.datati.es/2485/redes-smart-grid-eficiencia-energetica-total.html>> [Consulta: 25 de Julio 2011]
- [39] Energía solar fotovoltaica Autor: Marcos Tosatado [en línea] <<http://www.mailxmail.com/curso-energia-solar-fotovoltaica/introduccion>> [Consulta: 25 de mayo 2011]
- [40] Steca Elektronik. Power Taron 4110 [en línea] www.steca.com [Consulta: 5 de Agosto 2011]
- [41] Proyecto SIMEC CHILE SRL [en línea] <http://www.unglobalcompact.org/system/attachments/8146/original/Proyecto_Simec_Chile.pdf?1287789602> [Consulta: 13 de julio 2011].
- [42] INVERSOR SUNNY BOY 4000TL de SMA Sunnyfamily [en línea] <<http://www.codesolar.com/Energia-Solar/Energias-Renovables/SMA-Sunny-Boy-4000TL.html>> [Consulta: 14 de Julio 2011]
- [43] Solartronic Foros Energía Solar [en línea] http://www.solartronic.com/Ayuda/Preguntas_Frecuentes/#Preg6 [Consulta: 5 de Agosto 2011]
- [44] Diseño simplificado de una instalación fotovoltaica autónoma. [en línea]<<http://www.tecnofilos.org/Alumnos/InstalacionAutonoma.pdf>> [Consulta: 5 de junio de 2011]



- [45] Baterías estacionarias Sonnenschein modelo A512-200 [en línea] <<http://www.codesolar.com/Energia-Solar/Energias/Renovables/Baterias-SonnenSchein-12V-6V.html>>[Consulta: 15 de julio 2011]
- [46] Greenpeace Contaminación de baterías [en línea] <<http://www.greenpeace.org/argentina/es/campanas/contaminacion/basura-electronica/Pilas-y-Baterias1/Preguntas-frecuentes-sobre-pilas-y-baterias/>> [Consulta: 5 de agosto 2011]
- [47] Reciclaje de las baterías – protección activa del medio ambiente Fabribat CIA. Ltda. [en línea] <<http://www.bateriasecuador.com/proyecto.html>> [Consulta: 5 de agosto 2011]
- [48] 48LM339 datasheet [En línea], <http://www.datasheetcatalog.net/es/datasheets_pdf/L/M/3/3/LM339.shtml>, [Consultado: 15 de Julio del 2011].
- [49] Divisores de voltaje y corriente [en línea] <http://pesquera.tel.uva.es/tutorial_cir/tema2/divisor.htm> [consulta: 9 de Agosto 2011]
- [50] Tensión, corriente y resistencia eléctrica. Ley de Ohm. [en línea] <<http://www.terra.es/personal2/equipos2/tcr.htm>> [consulta: 9 de Agosto 2011]
- [51] ATTiny2313 datasheet [En línea], <http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2543S.pdf>, [Consultado: 21 de Julio del 2011].
- [52] Control de potencia con relés [En línea], <http://Circuito_conmutador/Circuito_conmutador/circuito_conmutador.html>, [Consultado: 03 de Agosto del 2011]
- [53] Circuitos de conmutación. SCR o TIC 106. Relé [En línea], <<http://www.mailxmail.com/curso-electronica-basica/circuitos-conmutacion-scr-tic-106-rele>>, Consultado: 9 de Agosto del 2011]
- [54] Contadores energía eléctrica. [En línea] <http://www.frm.utn.edu.ar/medidase1/teoria/Unidad%209_ver1.pdf> [Consultado: 5 de Agosto del 2011].
- [55] Contador de Energía Eléctrica CIRWATT D 405MT [En línea], <<http://www.circutor.com/#>> [Consultado: 5 de agosto del 2011].



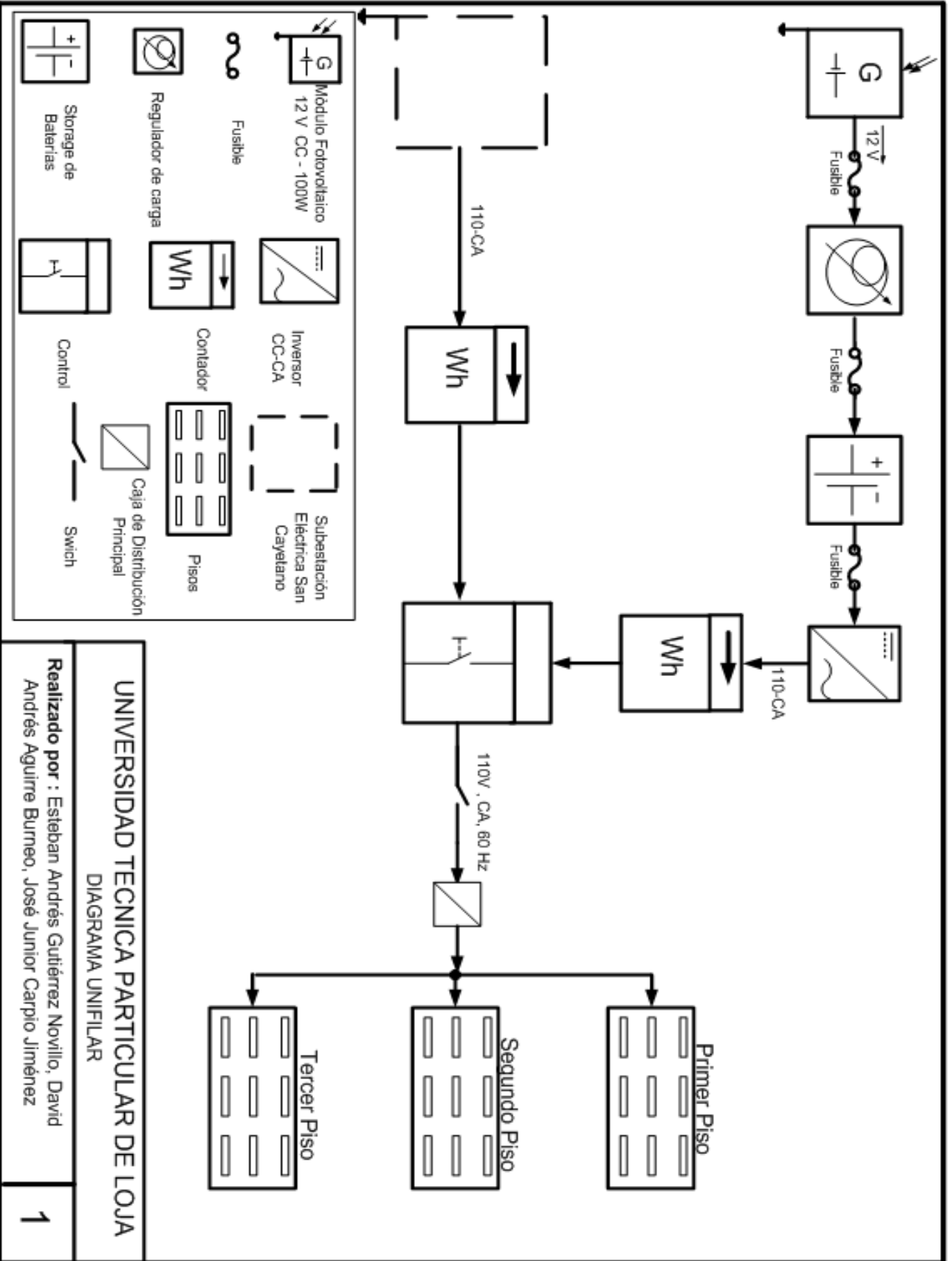
- [56] Indicador de nivel de carga de una batería [En línea], <<http://electronica.tecnoface.com/alimentacion/10-indicador-de-nivel-de-carga-de-una-bateria>>, [Consultado: 15 de Julio del 2011].



ANEXOS



DIAGRAMA UNIFILAR



UNIVERSIDAD TECNICA PARTICULAR DE LOJA

DIAGRAMA UNIFILAR

Realizado por : Esteban Andrés Gutiérrez Novillo, David Andrés Aguirre Burneo, José Junior Carpio Jiménez



DIAGRAMA DE CONEXIÓN

