 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

# **ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO DE UN SISTEMA DE AUTOCONSUMO FOTOVOLTAICO, PARA SUPLIR EL CONSUMO BÁSICO DE SUBSISTENCIA ELÉCTRICO, EN UNA VIVIENDA TÍPICA FAMILIAR**

Julián David Jaramillo Duque

Ingeniería Electromecánica

Andrés Camilo Montoya Sepúlveda

Ingeniería Electrónica

Asesores:

Bonie Johana Restrepo Cuestas

Luis Fernando Grisales Noreña

**INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO**

**23 de Febrero de 2017**

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## RESUMEN

---

En Colombia hay gran número de zonas no interconectadas (ZNI), como es el caso de Capurganá, donde las condiciones del servicio eléctrico no son óptimas y los costos de la energía eléctrica son elevados. Por tanto, este proyecto propone el diseño y la evaluación económica de un sistema fotovoltaico que supla la necesidad básica de consumo eléctrico para una vivienda en esta región del país, trabajando en corriente directa. Para este fin, se realizó inicialmente el análisis de las cargas eléctrica o electrodomésticos que hacen parte de las necesidades básicas, luego se dimensionó un sistema fotovoltaico de autoconsumo, posteriormente se desarrollaron los planos eléctricos y finalmente, se realizó el análisis económico de la propuesta para determinar su viabilidad. El estudio determinó que es posible recuperar la inversión durante el tiempo de vida útil del proyecto.

*Palabras clave:* sistema fotovoltaico, consumo básico de subsistencia, autoconsumo, análisis económico.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## RECONOCIMIENTOS

---

En primer lugar, queremos darle un reconocimiento especial al creador de la ciencia: Dios, por darnos la oportunidad de explorar, crearnos metas y seguir aprendiendo cada día.

También con la realización de este trabajo queremos agradecer el apoyo que tuvimos por parte de los docentes de ITM que con sus ideas hicieron posible que se despertara esta incógnita que hoy es una realidad que se puede hacer posible.

Agradecemos a nuestros asesores por la paciencia y colaboración en la realización de este proyecto.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

# ACRÓNIMOS

---

SFV: sistema fotovoltaico

ZNI: Zonas no interconectadas

SIN: Sistema Interconectado Nacional

PD: Profundidad de descarga

W: Vatio

kWp: kilo Vatio pico

MWp: Mega Vatio pico

Wh: Vatio hora

V: Voltio

R: Resistencia

A: Amperio

AC: corriente alterna

DC: corriente directa

DAC: Conversión analógica digital (del inglés *Digital to Analogue Converter*)

Vref: Tensión de referencia

Nd: Número de días de autonomía

Vbat: Voltaje de las baterías

Ah: Amperio-hora

Pg: Potencia del generador

VIS: Vivienda de Interés Social

HSP: horas sol pico

Ec: Ecuación

NP: Número de paneles en paralelo

Imod,SC: la corriente unitaria del módulo fotovoltaico en condiciones de cortocircuito

PDC: Potencia de las cargas en continua

PAC: Potencia de las cargas en alterna.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

# TABLA DE CONTENIDO

---

1.	INTRODUCCIÓN .....	6
2.	MARCO TEÓRICO .....	8
3.	METODOLOGÍA.....	15
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	16
5.	CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO .....	38

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

# 1. INTRODUCCIÓN

---

## 1.1 Generalidades

Colombia tiene gran cantidad de zonas no interconectadas (ZNI), las cuales ascienden a aproximadamente al 60% del territorio nacional. Dentro de estas zonas se pueden encontrar municipios, corregimientos, localidades y caseríos que no hacen parte del Sistema Interconectado Nacional (SIN), como es el caso de Capurganá, donde se paga uno de los servicios de energía más altos del país, ya que al no pertenecer al SIN, deben utilizar generadores electrógenos, lo cual incrementa considerablemente el costo de la energía eléctrica (IPSE, febrero 2014).

Conociendo las necesidades y problemáticas anteriormente mencionadas, se debe realizar un cambio en el esquema de producción y consumo de energía eléctrica a nivel mundial, modificando la forma en que tradicionalmente es generada y transmitida la energía eléctrica, y adicionalmente creando una cultura de ahorro en el consumo de esta.

Dada la importancia de suplir las necesidades básicas de subsistencia de la población, sobre todo en zonas aisladas, que concuerdan con situaciones de pobreza y pocos recursos; en este proyecto se propone dar solución al suministro de electricidad basado en un sistema de autoconsumo fotovoltaico (Ulianov & Orozco, 2012), que provea el consumo básico de subsistencia en términos eléctricos a través de sistemas fotovoltaicos e iluminación led, utilizando como caso de estudio una vivienda en Capurganá.

Para esto se realizó un análisis técnico-económico de un sistema de autoconsumo fotovoltaico, para suplir el consumo básico de subsistencia eléctrica, en una vivienda típica familiar. Entendiendo esta por el contenido de una serie de electrodomésticos que se relacionan más adelante.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Se analizó el consumo energético de las cargas a ser alimentadas, con base a lo indicado en la definición de consumo básico de subsistencia, bajo la norma RETIE y RETILAP. Se diseñó el sistema fotovoltaico necesario, para suplir la demanda del consumo básico de subsistencia. Se realizó el análisis económico del sistema propuesto, que permitiera evaluar su viabilidad.

## 1.2 Objetivos

### General:

Realizar el análisis técnico y económico de un sistema de autoconsumo fotovoltaico, para suplir el consumo básico de subsistencia eléctrico, en una vivienda típica familiar.

### Específicos:

- Analizar el consumo energético de las cargas que serán alimentadas, con base a lo indicado en la definición de consumo básico de subsistencia, bajo la norma RETIE y RETILAP.
- Diseñar el sistema fotovoltaico necesario, para suplir la demanda del consumo básico de subsistencia.
- Realizar el análisis económico del sistema propuesto.

## 1.3 Organización del trabajo:

Este proyecto se realiza mediante un trabajo escrito donde el marco teórico abarca una serie de conceptos que fueron claves y prácticos para el desarrollo del mismo. La metodología utilizada se desarrolla en tres etapas, planteamiento de los elementos de consumo basado en el consumo básico de subsistencia con su análisis de cargas, diseño del sistema fotovoltaico y evaluación económica del sistema. Finalizando con el numeral de conclusiones, investigaciones y proyectos futuros.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Sistema fotovoltaico

Es un conjunto de dispositivos semiconductores que aprovechan la energía producida por el sol y la convierte en energía eléctrica (Striatum Energy, 2010). Las partes que conforman el sistema de generación fotovoltaico se presentan en la Figura 1 y se describen a continuación.

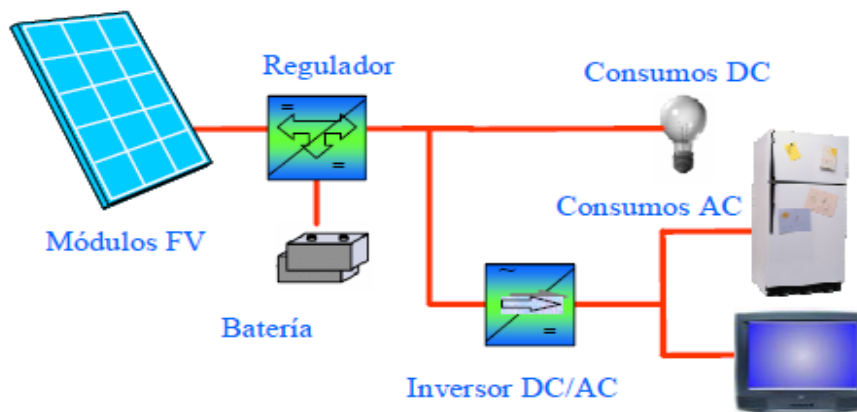


Figura 1. Estructura básica de un sistema fotovoltaico autónomo. Tomado de (Striatum Energy, 2010).

*Módulos fotovoltaicos:* Los paneles solares fotovoltaicos son celdas que convierten la radiación proveniente del sol en electricidad. Dichas celdas se aprovechan del efecto fotovoltaico, mediante el cual la energía luminosa produce cargas positivas y negativas en dos semiconductores próximos de distinto tipo, por lo que se produce un campo eléctrico con la capacidad de generar corriente. El rendimiento de un módulo fotovoltaico, depende de algunas variables externas, como la intensidad de la radiación solar, la temperatura de funcionamiento, la orientación del panel con respecto al sol, suciedad y envejecimiento de los componentes (IDAE, 2009).



	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

*Regulador de carga:* es el encargado de la protección de los acumuladores frente a sobrecargas y descargas profundas, ya que puede ocurrir que la potencia requerida por el usuario no sea proporcional a la energía acumulada en la batería o a la radiación solar incidente sobre los módulos fotovoltaicos sea insuficiente (IDAE, 2009).

*Batería:* Es un sistema de acumulación formado por un conjunto de baterías recargables, dimensionadas de forma que garantizan la suficiente autonomía del sistema. Las características que identifican una batería solar respecto a las baterías comunes utilizadas en otros sistemas son su mayor profundidad de descarga (PD) y su alto valor para el ciclaje. A continuación se detallan los requisitos que deben cumplir las baterías para uso fotovoltaico:

- Larga vida útil.
- Bajo mantenimiento
- Bajo valor de auto descarga.
- Elevado número de ciclos de carga-descarga

*Inversor:* Es un dispositivo de potencia encargado de la transformación de la energía continua, producida por los módulos fotovoltaicos, en energía alterna para consumo; debe poseer ciertas características técnicas que evitarán inconvenientes de funcionamiento e incompatibilidad con el sistema y debe estar dimensionado y ser capaz de alimentar directamente los consumos que pretendan conectarse al sistema (IDAE, 2009).

*Ventajas de la energía solar fotovoltaica:*

- Proviene de una fuente de energía inagotable (sol).
- No contamina, no produce ruido, ni emisiones de CO<sub>2</sub>.
- La mayor producción va acorde con las horas de mayor consumo.
- Los sistemas no son complejos y son fáciles de instalar.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Su mantenimiento se limita a una simple limpieza.
  - Los sistemas resisten condiciones climáticas extremas: granizo, fuertes vientos, y climas fríos, entre otros.
  - Es un sistema de aprovechamiento de energía idóneo para zonas donde el tendido eléctrico no llega o es dificultoso y costoso su traslado.
  - tienen un riesgo de avería muy bajo.
  - Los precios de los componentes disminuyen a medida que avanza la tecnología.
- (Energía Integral Andina S.A, 2015).

En el mundo cada día se avanza en la normatividad asociada a sistemas de autoconsumo (Brasil, Italia, España y México) , con el fin de permitir y controlar dicha tecnología, además de aprovechar su ahorro económico (SunEdison, 2014). Finalizando el 2010, la potencia acumulada en el mundo era de aproximadamente 40.000 MWp según datos de la EPIA (*European Photovoltaic Industry Association*) (Lecue, 2011).

## **2.2. Autoconsumo Fotovoltaico**

El autoconsumo fotovoltaico es la producción de electricidad a través de paneles solares fotovoltaicos, el cual se consume en el instante o se almacena en baterías eléctricas para un posterior uso, tanto en casas, empresas o particulares (Swanson, 2009). Los sistemas fotovoltaicos pueden clasificarse de la siguiente manera (Soluciones Solares, 2008):

- Por su estructura: sistemas autónomos, sistemas híbridos, sistemas conectados a la red.
- Por su forma de uso: sistemas para uso doméstico, sistemas para servicios sociales básicos, sistemas para usos productivos.
- Por el periodo de uso: diurno, nocturno y continuo.

A continuación se definirán los sistemas de autoconsumo que son útiles para el desarrollo del proyecto:

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Sistema Fotovoltaico conectado a la red (Sin batería): Este tipo de sistemas no almacenan la energía producida en baterías; esta se puede consumir directamente y/o ser entregada a la red eléctrica de distribución. Ambas funciones se realizan conectando un inversor, que transforma la corriente directa generada a corriente alterna. La desventaja de un sistema sin baterías es que el sistema es para consumo instantáneo y dependerá de las horas de mayor irradiación. (Cabrera Martínez, 2005).

Sistema Fotovoltaico Autónomo (Con batería): Es el de uso más común ya que es el que mejor se adapta a la mayoría de las aplicaciones. En estos sistemas se almacena la energía producida en baterías u acumuladores que permiten alimentar la carga, incluso cuando el sistema fotovoltaico no se encuentra operando; es decir, durante periodos de tiempo en los cuales los niveles de irradiación son bajos o nulos. La conexión entre los módulos FV y la batería se debe realizar a través de un regulador de carga (Aguilera, Hontoria, & Muñoz, 2011).

Sistema fotovoltaico interconectado a la red con batería: En estos sistemas se utilizan baterías, intercalando cuando trabaja con baterías y cuando con la red, (Circutor, n.d.), debido a que en horas de fuerte insolación las baterías alcanzan buen nivel de carga, se permite utilizar un porcentaje de la energía del generador de forma directa; de esta forma, el sistema auto consume de forma directa durante el día, almacena los excedentes diurnos en la batería y en horas de baja insolación o en la noche utiliza netamente la carga almacenada en baterías.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### **2.3. Normatividad en Colombia sobre sistemas fotovoltaicos.**

Para el Gobierno Nacional es prioridad mejorar las condiciones de energización en las ZNI a partir de soluciones viables financieramente y que sean sostenibles a largo plazo. Por lo tanto, la política energética nacional tiene como objetivo: ampliar la cobertura y aumentar las horas de prestación del servicio, asegurando un suministro de energía confiable y de bajo costo para los usuarios. La formulación de la política energética nacional se encuentra plasmada en el Plan Energético Nacional; en los Documentos CONPES, que tienen como objetivo direccionar la aplicación de las políticas y plantear estrategias, mediante las cuales se adoptan las decisiones de política de cumplimiento de estas. (Gómez & Hurtado, 2011).

En el desarrollo del presente proyecto se tuvieron en cuenta las disposiciones presentadas en la Norma NTC2050 (Ministerio de Desarrollo Económico, 1998), además se revisó que todas las disposiciones tenidas en cuenta permitieran el cumplimiento del Reglamento técnico de instalaciones Eléctricas RETIE (Ministerio de Minas y Energía, 2014), comprendidas en la sección 690, pág. 627 a 635, y el tema de las seguridades y las baterías en la sección 480 comprendido entre las páginas 384 a 386.

Según el literal 690-31b, en la instalación de sistemas fotovoltaicos se deben usar cables unipolares tipo SE, UF y USE, siendo este último el más adecuado para resistir la exposición a la luz del sol por su recubrimiento resistente al calor y a la humedad, Sin embargo, se recomienda el uso de cable flexible monopolar debido al esfuerzo mecánico cuando se instalen seguidores fotovoltaicos. Su recubrimiento debe cumplir las mismas funciones de los inicialmente mencionados, para ello se ha de revisar la sección 400 de la NTC-2050 (Cordones y cables flexibles).

En general, para el cálculo de conductores se debe tener presente lo indicado en la sección 310 de la NTC-2050, así como su apéndice B (Capacidad de corriente de

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

conductores), la determinación de los conductores se realiza conforme a su capacidad amperimétrica y al nivel de regulación de tensión que ofrezcan.

#### **2.4. Consumo básico de subsistencia.**

Es aquel que está designado a suplir las necesidades básicas de los usuarios de menores recursos. Para los servicios públicos domiciliarios de energía eléctrica y gas combustible distribuido por red física, el consumo de subsistencia será el que de acuerdo con la ley establezca la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). En caso de que ambos servicios se encuentren disponibles, la CREG definirá el consumo de subsistencia equivalente máximo a subsidiar (Ministerio de Desarrollo Económico, 1996).

La ley 143 (artículo 11), define el consumo de subsistencia como la cantidad mínima de electricidad utilizada en un mes por un usuario típico para satisfacer necesidades básicas, que solamente puedan ser satisfechas mediante esta forma de energía final (Energía, 1994).

Desde entonces la estructura tarifaria de los servicios públicos domiciliarios – energía eléctrica, gas por red, acueducto y alcantarillado – comprende dos clases de consumo que para efectos de facturación se liquidan con diferentes tarifas. A los rangos de consumo básico se aplica una tarifa subsidiada en el caso de los estratos 1, 2 y 3. Por encima de estos, la tarifa aplicada es igual al costo total del servicio. La definición empírica de esta cantidad es un tanto difícil de calcular, pues involucra variables físico-biológicas, culturales, climáticas, tecnológicas y económicas. Un rango de consumo básico excesivo trae dos consecuencias indeseadas: incrementa el monto de los subsidios y propicia consumos elevados.

Los rangos de consumo vigentes en los servicios de acueducto, alcantarillado, electricidad y gas combustible fueron establecidos a mediados de 1990. El único que desde entonces

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

se ha modificado es el de electricidad. En 1996 se había fijado en 200 KWh-mes (Comisión de Regulación de Energía y Gas, 1996; Plan Nacional de Desarrollo e Inversiones, 1995) y para el 2004 se redujo a 173 KWh-mes, para climas calientes, y 130 KWh-mes, para climas templados y fríos (Flórez Piedrahíta, 2004).

Los cambios demográficos, tecnológicos, culturales y el aumento en el ingreso alteran las cantidades requeridas para la satisfacción de los consumos mínimos necesarios. Como el consumo básico subsidiable está definido por suscriptor o unidad familiar, es evidente que la reducción del tamaño medio de las familias debe traducirse en una reducción de consumo mínimo necesario. En el censo de 1993 el tamaño medio de los hogares era de 4.6 personas, en el censo de 2005 de 3.9, y en 2014 en 3.4 (DANE, 2015). Adicionalmente, debe considerarse la introducción de dispositivos hidráulicos y eléctricos de bajo consumo. La masificación del consumo de alimentos preparados fuera de casa reduce las necesidades de electricidad o gas combustible para la cocción de alimentos. Finalmente, las mejoras en el ingreso se traducen en una mayor dotación de electrodomésticos y gasodomésticos que amplían las posibilidades de consumo de las familias (Vélez, 2014).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### 3. METODOLOGÍA

---

Para el desarrollo del proyecto, inicialmente se recopiló información asociada a los sistemas de autoconsumo fotovoltaicos, partes que lo conforman y los requerimientos necesarios para su diseño. Adicionalmente, se revisó con detalle el concepto de consumo básico de subsistencia, sobre todo enfocado los electrodomésticos necesarios en una vivienda en Capurganá.

Luego, se definieron cuáles de los electrodomésticos que se encuentran en una vivienda típica de la región seleccionada, están asociados al consumo de subsistencia. Es importante aclarar que el diseño del sistema de iluminación se basó en luminarias LED. Posteriormente, se realizó un análisis de cada una de las cargas y su comportamiento en un día típico, que permitió estimar su consumo mensual, con el fin de evaluar la potencia total requerida.

A partir del análisis de cargas eléctricas, se realizó el diseño del sistema de generación fotovoltaico. Se plantearon dos posibles soluciones, un sistema de autoconsumo instantáneo y otro con acumulación, seleccionando como el más adecuado para las condiciones de una ZNI, el sistema por acumulación. Por último diseñó el sistema eléctrico de la vivienda y se evaluaron los costos del sistema planteado, a partir de información obtenida a través de proveedores locales. Lo anterior hizo parte de las entradas para valorar la viabilidad del proyecto.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

---

### 4.1. Estimación de consumos eléctricos

Los electrodomésticos tenidos en cuenta al momento de calcular el consumo básico de subsistencia dependen de: la altura al nivel del mar donde se ubica la vivienda de interés y el estrato socioeconómico (Flórez Piedrahíta, 2004; upme, 2010). Para el caso de estudio, Capurganá se encuentra al nivel del mar y se seleccionó una vivienda de estrato socioeconómico 2. Es decir, que los usos finales que harán parte del consumo básico de subsistencia para la vivienda seleccionada serán los siguientes:

- Iluminación
- Refrigeración
- Televisión
- Ventilación
- Purificación de agua
- Carga de dispositivos electrónicos (tablet o celulares)

El ozonizador de agua (purificador), fue tenido en cuenta porque las ZNI se caracterizan por ser aisladas, de bajos recursos y carecer de sistemas de tratamientos de aguas (CONPES, 2014). Por otra parte, se consideró el ventilador como electrodoméstico de necesidad básica, debido a que la ubicación donde se plantea la instalación presenta una temperatura promedio de 30°C (Almar, 2016).

A partir de los usos finales de la energía eléctrica definidos para la vivienda, se realizó el cálculo de las luminarias con el software Dialux y el dimensionamiento de las cargas (Tabla 2), utilizando elementos con las siguientes características:

- Bombillo Led de 6W, 12VDC, banda luminosa 300mm. (LG Electronics, 2016).
- Nevera de 285 litros, 11 pies. 2.85A, 24VDC (Amigos energía Natural, 2014).



	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Televisor Led 23.6", 48W, 12VDC (Thesaver,2015).
- Ozonizador de agua 25W, 12VDC. (Autocentro Servivillas, 2015).
- Ventilador 25W, 12VDC. Aspas de 1050mm. (Joyo Technology, 2015).
- Cargador celular puerto USB, con salida 5V, 1.2 y/o 2.4 A.(Beston, 2016).

#### 4.2. Análisis de la vivienda (caso de estudio)

Este proyecto fue planteado para una vivienda perteneciente al estrato socio económico 2, ubicada en el corregimiento de Capurganá. Allí se presenta una irradiación de 4 - 4.5 KWh/m<sup>2</sup> día, donde 4 KWh/m<sup>2</sup> día es el mes del año de menor irradiación y 4.5 el mes más alto. Por tanto, los cálculos se realizaron con la irradiación más baja (IDEAM, 2014). Se tomó como caso de estudio, una vivienda básica de interés social, que se define como una vivienda dirigida a hogares en donde se devengan menos de cuatro (4) salarios mínimos mensuales legales vigentes (Zully, 2010). Según la normatividad de vivienda para Colombia, una casa perteneciente a los estratos 1, 2 y 3 debe contar con un área de 35 m<sup>2</sup> hasta 70 m<sup>2</sup> (ver Figura 2), donde se menciona también que el área mínima suficiente para 4 personas es de 32.5 m<sup>2</sup>, tomando 8.13 m<sup>2</sup> por persona (Suárez Pérez, 2004). Para el caso de estudio, se tomó un área total de 37 m<sup>2</sup>.



Figura 2. Plano de la vivienda. (Autores)

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### 4.3. Sistema de iluminación

Para la iluminación, se realizó un análisis de la norma RETILAP y se encontró que los diodos emisores de luz (led), oled o (Lep), no tienen una normatividad técnica que aplique, por tal razón se pueden usar siempre y cuando se cumpla con los requisitos generales de iluminación eficiente y segura (Ministerio de minas y energía, 2010). Según el espacio habitable, se deben tener en cuenta la luminancia mínima establecida por ley (ver Tabla 1):

Espacio habitable	Iluminancia media en servicio (lux)		
	Mínimo	Recomendado	Óptimo
Dormitorios	100	150	200
baños	100	150	200
Cuarto de estar (sala)	200	300	500
Cocinas	100	150	200

Tabla 1. Niveles de iluminación o iluminancias y distribución de luminancias. Tomado de (Asensio, 2010; Ministerio de minas y energía, 2010)

Teniendo los planos de la casa modelo (ver Figura 2) y la iluminancia requerida para cada sección de la misma (Tabla 1), se puede proceder a diseñar el sistema de iluminación. Para este fin, se utilizó el *software Dialux* (Airfal, n.d.), este software permite crear proyectos de iluminación profesionales, y facilita la tarea de diseñar sistemas de iluminación tanto para interiores como exteriores. Para efectuar el estudio lumínico de los diferentes espacios se consideraron los factores que competen el cálculo, como son:

- Medidas de espacios habitables.
- Altura de la casa, que se tomó de 2.4 m (Ministerio de Vivienda, n.d.).
- Color de paredes y techo, se seleccionó blanco.
- Color del suelo, se tomó de color cemento.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Factor de mantenimiento. Se tomó de 0.80. (valor predeterminado por el software que indica que se le realizará limpieza a las luminarias cada 2 años).

Una vez ingresadas las entradas requeridas, el software entrega una vista 3D del área que se desea analizar. Estos modelos se pueden observar desde la Figura 3 hasta la Figura 15. Para el cálculo se empezó con el baño (ver figura 3).

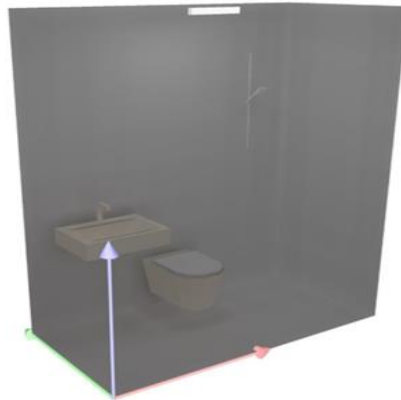


Figura 3. Modelado en 3D del baño.

El software entrega un diagrama del flujo lumínico del área (figura 4), donde las líneas azules indican elementos incluidos en ese espacio. Por ejemplo para el caso del baño se pueden observar de izquierda a derecha: una puerta, un lavamanos, un inodoro y una ducha. Los recuadros rojos representan las luminarias, para este caso una sola. Las líneas negras, representan el diagrama Isolux. Estas curvas dependen de la altura seleccionada para el plano de trabajo, que para este caso se tomó de 2.4 metros (Ministerio de Vivienda, n.d.). El diagrama Isolux indica también con claridad el flujo luminoso en todo el espacio mostrando las áreas de menor y mayor flujo, donde se muestra también que no existe un espacio en la habitación que tenga un nivel de iluminancia menor que lo establecido por la norma.

Dialux también entrega una tabla, con valores de iluminancia mínima ( $E_{min}$ ), iluminancia media ( $E_m$ ) e iluminancia máxima ( $E_{m\max}$ ), dadas en luxes, relacionadas con las isolineas.

(Figura 5) Para la aplicación de la norma se tomó como referencia el valor de la iluminancia media  $E_m$ , con base en el valor recomendado de la tabla 1.

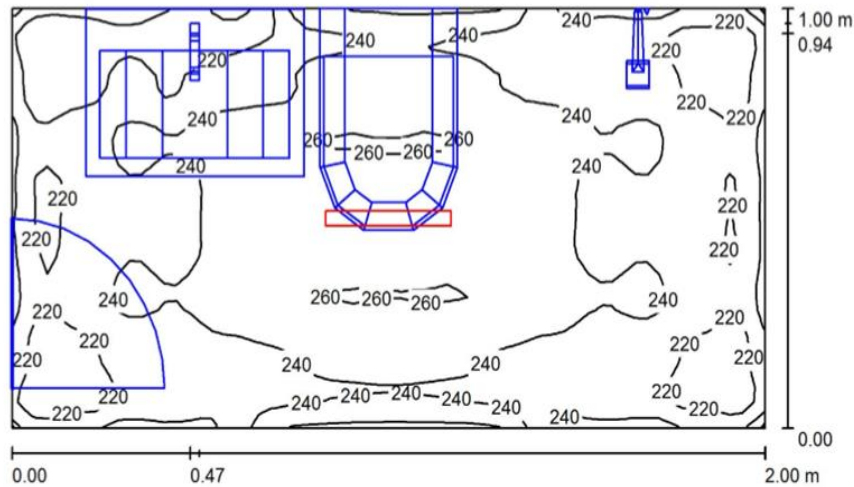


Figura 4. Diagrama de flujo lumínico del baño

Altura del local: 2.400 m, Altura de montaje: 2.400 m, Factor mantenimiento: 0.80 Valores en Lux, Escala 1:15

Superficie	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Plano útil	/	237	193	267	0.815
Suelo	90	169	118	199	0.696
Techo	90	249	193	1749	0.775
Paredes (4)	90	208	6.89	344	/

**Plano útil:**  
 Altura: 0.850 m  
 Trama: 64 x 32 Puntos  
 Zona marginal: 0.000 m

**Lista de piezas - Luminarias**

Nº	Pieza	Designación (Factor de corrección)	$\Phi$ (Luminaria) [lm]	$\Phi$ (Lámparas) [lm]	P [W]
1	1	LG E0630SA6N3A CE LG Essentials LED Batten 300mm 6W 3000K (1.000)	575	600	6.0
Total:			575	600	6.0

Valor de eficiencia energética:  $3.00 \text{ W/m}^2 = 1.27 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Base:  $2.00 \text{ m}^2$ )

Figura 5. Resultados de luminancia baño.

Finalmente el programa muestra los datos técnicos de la luminaria utilizada (Figura 6), los cuales vienen dados en el plug-in , descargado directamente de la página web del fabricante, los cuales toma Dialux para la realización de los cálculos. Para este caso se

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

seleccionó una luminaria Led tipo batten o listón. Cabe mencionar que para todas las áreas habitables de la casa, se utilizó la misma referencia de luminaria.

**LG E0630SA6N3A CE\_LG Essentials LED**  
**Batten 300mm 6W 3000K**  
N° de artículo: E0630SA6N3A  
Flujo luminoso (Luminaria): 575 lm  
Flujo luminoso (Lámparas): 600 lm  
Potencia de las luminarias: 6.0 W  
Clasificación luminarias según CIE: 80  
Código CIE Flux: 40 69 89 80 95  
Lámpara: 1 x CE\_LG Essentials LED Batten  
300mm 6W 3000K (Factor de corrección 1.000).

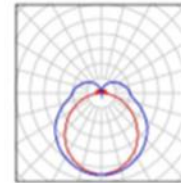


Figura 6. Luminarias utilizadas.

A continuación se presentan los cálculos de una alcoba, cabe mencionar que son 2 alcobas de medidas y características iguales:

- **Alcobas**

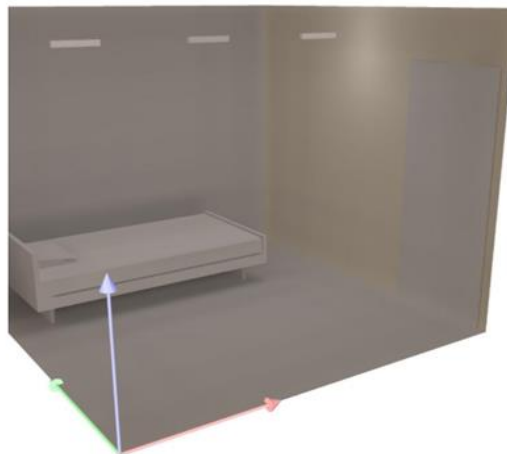


Figura 7. Modelado 3D alcobas

En el diagrama de flujo lumínico podemos apreciar que cada alcoba lleva 3 luminarias (Figura 8). Los resultados de la Figura 9 muestran que la luminancia promedio de la alcoba es de 219lx, cuando la norma recomienda 150lx; en total hay un flujo luminoso de 1725lumen con un consumo de 18W por alcoba.

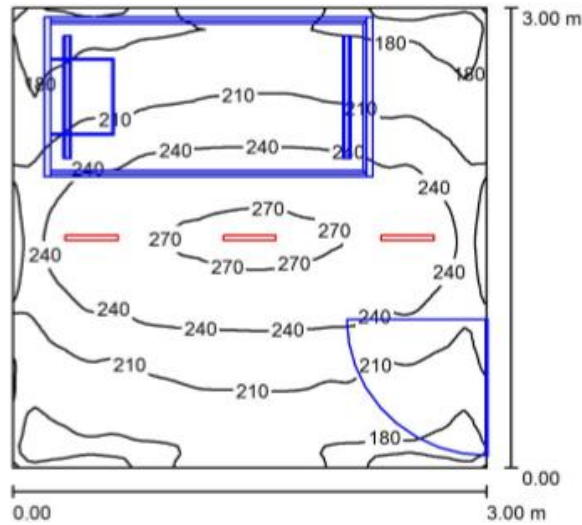


Figura 8. Diagrama de flujo lumínico de alcoba.

Altura del local: 2.400 m, Altura de montaje: 2.200 m, Factor mantenimiento: 0.80 Valores en Lux, Escala 1:39

Superficie	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Plano útil	/	219	152	275	0.697
Suelo	90	146	15	207	0.102
Techo	86	175	129	292	0.738
Paredes (4)	87	173	31	392	/

**Plano útil:**  
 Altura: 0.850 m  
 Trama: 64 x 64 Puntos  
 Zona marginal: 0.000 m

**Lista de piezas - Luminarias**

Nº	Pieza	Designación (Factor de corrección)	$\Phi$ (Luminaria) [lm]	$\Phi$ (Lámparas) [lm]	P [W]
1	3	LG E0630SA6N3A CE LG Essentials LED Batten 300mm 6W 3000K (1.000)	575	600	6.0
			Total: 1725	Total: 1800	18.0

Valor de eficiencia energética:  $2.00 \text{ W/m}^2 = 0.91 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Base:  $9.00 \text{ m}^2$ )

Figura 9. : Resultados de luminancia alcoba.

- Cocina**

En el diagrama de flujo lumínico podemos apreciar que la cocina lleva 2 luminarias y el flujo es muy uniforme, siendo la parte más baja de 240lx. (Figura 11)

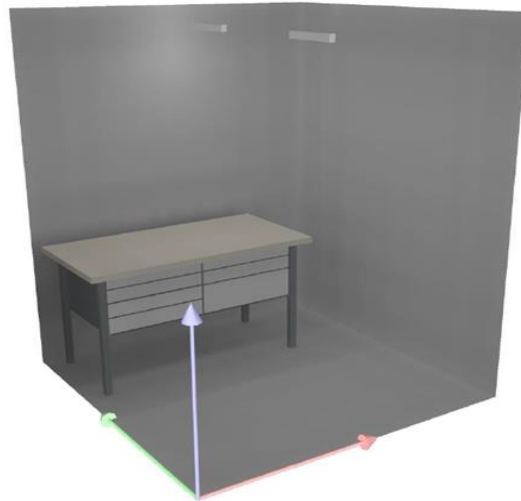


Figura 10. Modelado en 3D cocina

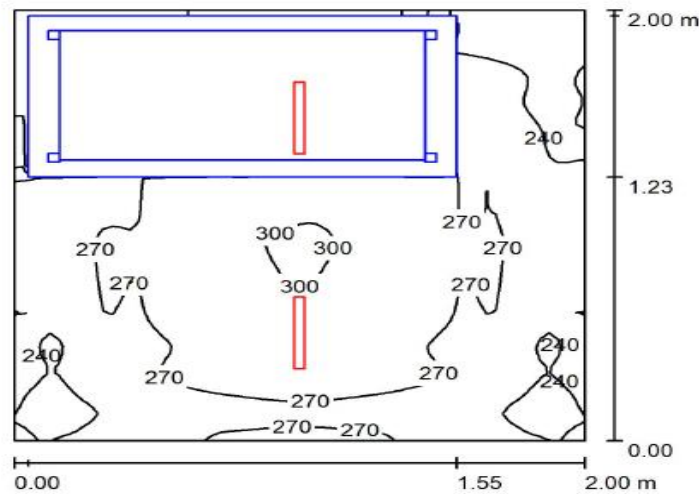


Figura 11. Diagrama de flujo lumínico de la cocina.

En la figura 12 se observa que el valor promedio supera el valor óptimo de la tabla 1, debido a que la iluminación de la cocina es muy importante porque en esta se realizan actividades que requieren de concentración y que pueden comprometer la seguridad y salud de las personas.

Altura del local: 2.400 m, Altura de montaje: 2.300 m, Factor mantenimiento: 0.80 Valores en Lux, Escala 1:26

Superficie	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Plano útil	/	264	164	302	0.621
Suelo	87	156	47	222	0.303
Techo	90	234	180	483	0.771
Paredes (4)	90	203	32	441	/

**Plano útil:**  
 Altura: 0.850 m  
 Trama: 64 x 64 Puntos  
 Zona marginal: 0.000 m

**Lista de piezas - Luminarias**

N°	Pieza	Designación (Factor de corrección)	$\Phi$ (Luminaria) [lm]	$\Phi$ (Lámparas) [lm]	P [W]
1	2	LG E0630SA6N3A CE_LG Essentials LED Batten 300mm 6W 3000K (1.000)	575	600	6.0
			Total: 1150	Total: 1200	12.0

Valor de eficiencia energética:  $3.00 \text{ W/m}^2 = 1.14 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Base:  $4.00 \text{ m}^2$ )

Figura 12. Resultados de luminancia cocina.

A continuación se presenta el modelado 3D del comedor:

- Comedor

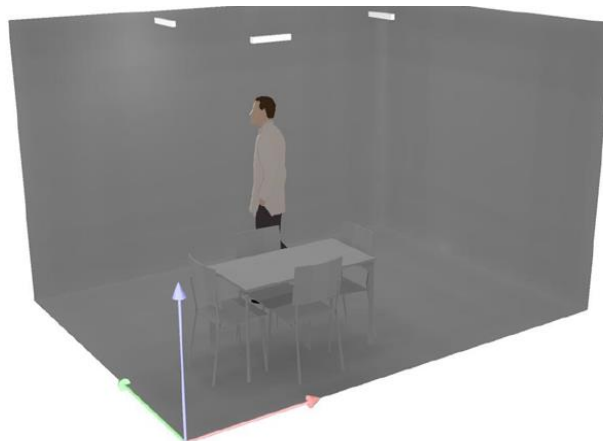


Figura 13. Modelado en 3D comedor.

En el diagrama de flujo lumínico podemos apreciar que la sala o comedor lleva 3 luminarias. (Figura 14)



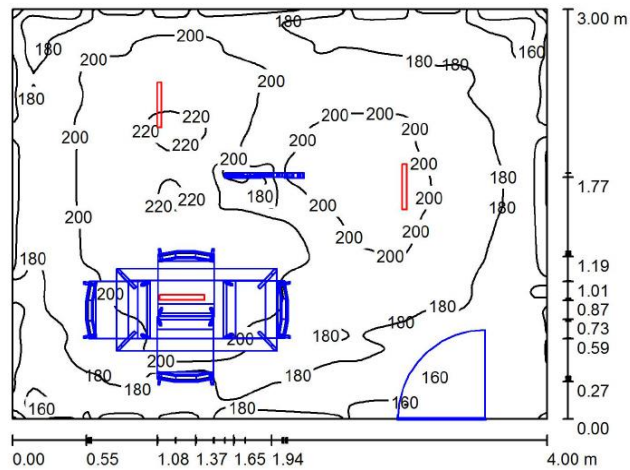


Figura 14. Diagrama de flujo lumínico del comedor.

En los resultados del comedor (Figura 15), al este ser el espacio más grande de la casa se trabajó con el mínimo permitido, porque las personas se mantienen más tiempo en las alcobas que en la sala.

Altura del local: 2.400 m, Altura de montaje: 2.400 m, Factor mantenimiento: 0.80 Valores en Lux, Escala 1:39

Superficie	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Plano útil	/	190	141	224	0.739
Suelo	87	156	81	188	0.522
Techo	90	163	127	1981	0.779
Paredes (4)	90	161	97	274	/

**Plano útil:**  
 Altura: 0.850 m  
 Trama: 128 x 128 Puntos  
 Zona marginal: 0.000 m

**Lista de piezas - Luminarias**

N°	Pieza	Designación (Factor de corrección)	$\Phi$ (Luminaria) [lm]	$\Phi$ (Lámparas) [lm]	P [W]
1	3	LG E0630SA6N3A CE_LG Essentials LED Batten 300mm 6W 3000K (1.000)	575	600	6.0
			Total: 1725	Total: 1800	18.0

Valor de eficiencia energética:  $1.50 \text{ W/m}^2 = 0.79 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Base:  $12.00 \text{ m}^2$ )

Figura 15. Resultados de luminancia comedor.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

#### 4.4. Dimensionamiento de las cargas

En la Tabla 2, se pueden encontrar las horas de uso de cada carga y con base en la potencia de los mismos se realiza el cálculo del consumo diario de la vivienda. Para el consumo diario se tomara un margen de seguridad del 20% sobre el consumo real por concepto de pérdidas y seguridad de la instalación (Click Renovables, 2015). En dicha tabla, el resultado total del consumo diario del proyecto es de 1.920Wh-día, es decir, 57.600Wh-mes, lo que indica que está muy por debajo del consumo básico de subsistencia permitido para clima caliente que es de 173kWh-mes. Lo que permitiría incluir más elementos de consumo y/o posibles ampliaciones del sistema.

Cantidad	Carga	Potencia unitaria (W)	Horas de uso diarias	Consumo diario (Wh/día)	Consumo diario con margen (Wh/día)
12	Bombillos Led	6	5	360	432
1	Nevera solar	70	13	910	1092
1	Televisor	50	7	350	420
1	Ozonizador de agua	25	1	25	30
1	Ventilador	25	8	200	240
2	Cargador de celular	12	3	72	86.4
<b>Total</b>		<b>254</b>		<b>1917</b>	<b>2300</b>

Tabla 1. Consumo energético promedio diario

#### 4.5. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico.

Para calcular la capacidad del generador fotovoltaico se requiere conocer la irradiación solar de Capurganá, la cual según el atlas solar colombiano es de 4 - 4.5 kWh/m<sup>2</sup> día. Promedio anual (IDEAM, 2014). La potencia estimada de consumo por día según Tabla 1), es de 2.3 kWh/día. Se trabajará con un sistema que trabaje a 24V (tabla 3). Para la realización de los cálculos, se basó en la metodología presentada por el manual SunFields

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

(Lorenzo, 2014). La capacidad del generador fotovoltaico, se calcula a partir de la ecuación (1):

$$P_g = \frac{(Wh/día)}{(HSP * K_s)} \quad Ec (1)$$

Dónde:

**P<sub>g</sub>**: potencia del generador (W).

Wh/día: Consumo (Wh día)

**HSP**: horas sol pico, es el número de horas equivalente que tendría que brillar el sol a una intensidad de 1000 W/m<sup>2</sup> para obtener la insolación total de un día, ya que en realidad el sol varía la intensidad a lo largo del día. Esta radiación solar viene dada en KWh/m<sup>2</sup>.

**K<sub>s</sub>**: Coeficiente de seguridad. El rendimiento de trabajo tiene en cuenta pérdidas producidas por el posible ensuciamiento y/o deterioro de los paneles fotovoltaicos (normalmente 0,7 – 0,8) tomado de metodología (SunFields Europe).

Para el caso de estudio se tiene una carga estimada de 2300Wh/día, una irradiación de 4KWh/m<sup>2</sup>., por tanto desarrollando la formula, P<sub>g</sub> es igual a 718W. Se requiere un sistema fotovoltaico que entregue una potencia mínima de 718W. Por tanto se han seleccionado 3 paneles de 250W (Click Renovables, 2015).

#### 4.6. Dimensionamiento del sistema de acumulación

Los tipos de baterías más recomendadas para uso en instalaciones fotovoltaicas son las de tipo estacionaria de plomo ácido y de placa tubular, que se pueden disponer en serie y/o paralelo para alcanzar una tensión de suministro de 12, 24 ó 48 V.

La tensión de trabajo depende de la potencia del sistema (ver Tabla 3).

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

<b>Tensión de trabajo del sistema fotovoltaico</b>	
<b>Potencia demandada</b>	<b>Tensión de trabajo del sistema fotovoltaico</b>
< de 1500 W	12V
Entre 1500 W y 5000 W	24V ó 48V
> 5000 W	120V ó 300V

Tabla 1. Tensión de trabajo del sistema fotovoltaico. (Lorenzo, 2014)

Por lo cual el voltaje utilizado será de 24V debido que, la potencia demandada por el proyecto es de 2300W. La capacidad de las baterías  $B$ , que se da en Ah, se calcula a partir de la ecuación (2) (Lorenzo, 2014):

$$B = \frac{(C) * (Nd)}{(V_{bat}) * PD_{max,d}} \quad Ec (2)$$

Dónde:

**C:** consumo estimado en vatios (W)

**Nd:** Números de días de autonomía

**V<sub>bat</sub>:** voltaje de las baterías (V)

**PD<sub>max,d</sub>:** (porcentaje útil de las baterías) Es la capacidad que deben ofrecer como mínimo las baterías, permitiendo un % de descarga máxima diaria para el cuidado y vida útil de las mismas. Este viene dado por el fabricante, para este caso 70%. (PD<sub>max,d</sub> = 0.70).

En este proyecto se consideraron 3 días de autonomía teniendo en cuenta que hay días donde la irradiación será muy baja por condiciones climáticas, como por ejemplo los días de lluvia, además es lo establecido para sistemas con acumulador (ETSI, 1998; IDAE, 2009).

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Desarrollando la ecuación 2, se obtiene que el banco de baterías debe tener una capacidad mínima de 410 Ah.

#### 4.7. Dimensionamiento del Regulador

Para calcular la corriente de entrada del regulador tomamos la corriente de cortocircuito de un módulo, en este caso 8.6 A (tomado de ficha técnica del panel) y multiplicamos por el número de paneles (Lorenzo, 2014), para este caso 3:

$$I_{entrada} = 1.25 * I_{mod,sc} * NP \quad \text{Ec (3)}$$

Siendo:

**I<sub>mod,sc</sub>**: la corriente unitaria del módulo fotovoltaico en condiciones de cortocircuito, en este caso es de I<sub>sc</sub> = 8.6 A. Se usa la corriente de cortocircuito para el cálculo de la corriente de entrada al regulador por que será la máxima corriente que podría ser generada por el módulo fotovoltaico y ha de ser esa la que tengamos en cuenta para evitar pérdidas de rendimiento.

**NP**: el número de panel en paralelo, en este caso 3.

La constante 1,25 es un factor de seguridad, tenido en cuenta para evitar daños ocasionales al regulador. Así la corriente de entrada será de 32.25A. Para el cálculo de la corriente de salida se deben valorar las potencias de las cargas DC y AC. En este diseño no se consideraron cargas AC. Por tanto PAC=0 (Lorenzo, 2014).

$$I_{salida} = 1.25 * \frac{PDC + \left(\frac{PAC}{\eta_{inv}}\right)}{V_{bat}} \quad \text{Ec (4)}$$

Dónde:

**PDC**: Potencia de las cargas en continua (W).

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

**PAC:** Potencia de las cargas en alterna (W).

$\eta_{inv}$ : Rendimiento del inversor, entre 90-95%. (No se consideró, dado que no existen cargas en AC)

Así pues, el regulador deberá soportar una corriente máxima de entrada 33A, que está dada por el pico máximo de generación de los paneles y de 27A de salida que es el consumo máximo, es decir, si todas las cargas estuvieran en funcionamiento (Lorenzo, 2014).

#### **4.8. Diseño eléctrico domiciliario**

*Dimensionado del cableado:*

En el presente proyecto se tuvieron en cuenta las disposiciones presentadas en la Norma NTC 2050, Comprendidas en la sección 690, el tema de las seguridades y las baterías fueron tomadas de la sección 480 comprendido entre las páginas 384 a 386. Además se revisó que todas las disposiciones tenidas en cuenta permitieran el cumplimiento del Reglamento técnico de instalaciones Eléctricas RETIE.

En general, para el cálculo de los conductores se tiene en cuenta lo indicado en la sección 310 de la NTC-2050, así como su apéndice B (Capacidad de corriente de conductores).

La determinación de los conductores se realiza de acuerdo a su capacidad amperimétrica (Sección 310-16) y al nivel de regulación de tensión que ofrezcan. Dado que en la NTC-2050 no se precisan porcentajes definidos de regulación para los diferentes tramos de este tipo de sistemas, y considerando que el tamaño de la casa no alcanza a superar los 100 metros, no se tuvieron en cuenta porcentajes de caída de tensión, como lo que está expuesto en el literal 210-19d, donde se indica que la regulación entre el alimentador y la carga final no debe ser superior al 5% (Ministerio de Desarrollo Económico, 1998).

Para mejorar o contrarrestar la situación de la caída de tensión, en el caso de que esta se hubiera llegado a presentar; se pueden adoptar las siguientes medidas:

- Disminuir el consumo
- Reducir la longitud de los cables
- Aumentar la sección de los conductores

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Aumentar la tensión de la fuente para compensar las pérdidas.

*Consideraciones para los cálculos:*

El sistema se compone de 3 circuitos ramales los cuales son:

- Circuito 1: nevera (se trabaja con el 125% de la potencia nominal, por ser un motor eléctrico).
- Circuito 2: iluminación.
- Circuito 3: televisor, ventilador, ozonizador y cargador de dispositivos electrónicos. (Con tomas de 12V tipo encendedor de cigarrillos)

Según la tabla 310-16 NTC 2050 (Pág. 154), los calibres de cada elemento (Tabla 4). Calibres para los elementos de consumo (Autores) a una temperatura de trabajo 75°C deben ser:

Circuito	Elemento de consumo	(A)	$I_T$	Voltaje	Positivo AWG	Negativo AWG	Protección (A)
1	Iluminación	6	6	12	14	14	20
2	Televisor	4					
	Ozonizador	2,1	10,2	12	14		20
	Ventilador	2,1				14	
	Cargador	1					
3	Nevera	3	3.75	24	14	14	20

Tabla 4. Calibres para los elementos de consumo (Autores).

A continuación se muestra el plano eléctrico de la vivienda, donde se pueden observar: en color rojo el circuito 1 (iluminación), circuito 2 en azul (televisor, ozonizador, ventilador y carga de dispositivos electrónicos), y circuito 3 en color verde para la nevera.

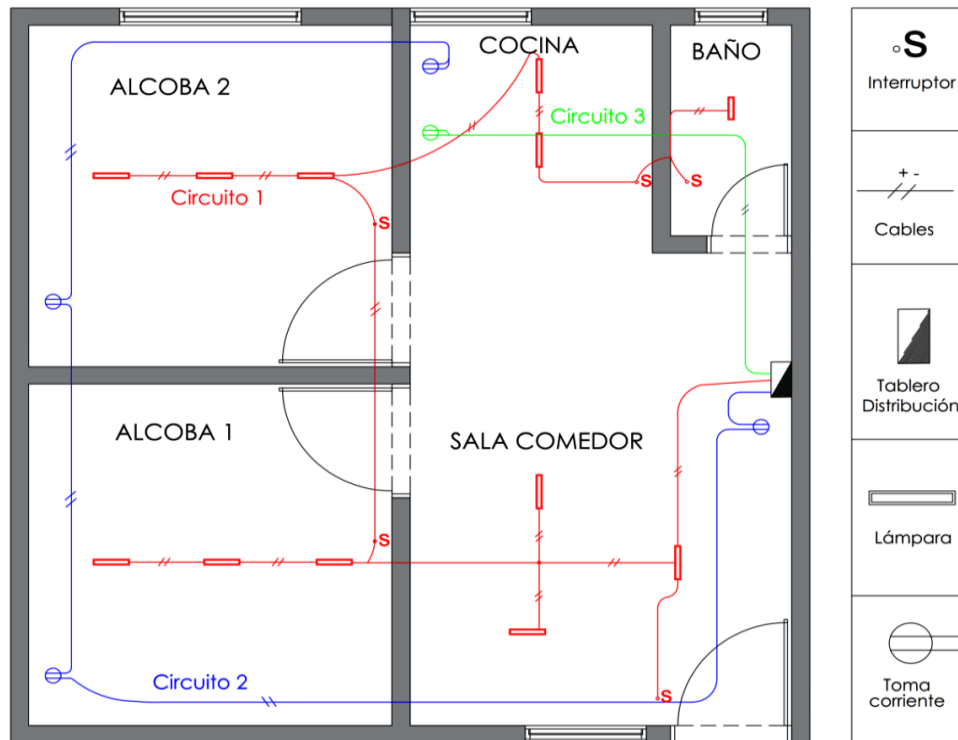


Figura 16. Plano eléctrico (autores)

Para el cálculo del alimentador principal, se parte de la potencia demandada, que es de 2300W, y dado que según la norma para cargas inferiores a 3000 W se toma el 100% de la demanda (NTC 2050, sección 310). La corriente necesaria es de 30A, por lo cual el calibre del alimentador es 2X8 AWG a 75°C.

Según literal 690-31b, en sistemas fotovoltaicos se debe usar cables unipolares tipo SE, UF y USE, siendo el USE el recomendado para casos de exposición a la luz del Sol por su recubrimiento resistente al calor y a la humedad (Ministerio de Desarrollo Económico, 1998). Por tanto el cable que va al exterior, teniendo en cuenta que el generador fotovoltaico es de 720W a 24V, lo que representa una corriente de 30A, se seleccionó un calibre 10AWG a 75°C. (NTC tabla 310-16). La Figura 17 presenta el diagrama unifilar de la instalación, utilizado para indicar de manera sencilla la estructura del sistema eléctrico y sus conexiones, permitiendo de esta forma una rápida interpretación del mismo, los elementos que lo componen y secuencia de conexiones.



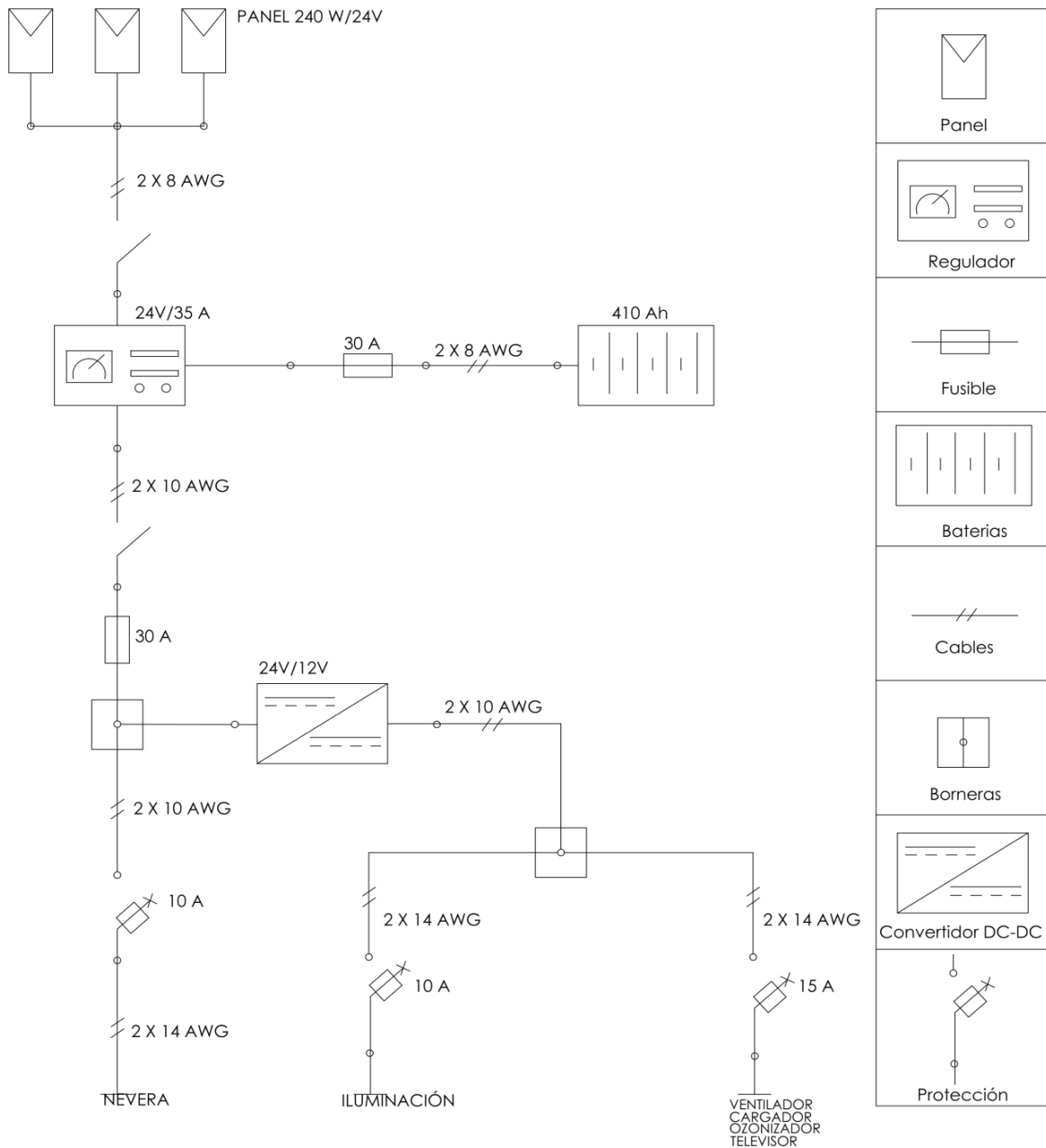


Figura 17. Diagrama unifilar (autores).

#### 4.9. Evaluación económica del sistema

El factor económico es tenido en cuenta con el fin de emitir un concepto de viabilidad sobre la implementación del proyecto, y observar de alguna forma una aproximación de los costos, que pueda ayudar a evaluar si se puede llegar a librar la inversión.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

La determinación de la viabilidad financiera del proyecto dependerá de la proyección a mediano y largo plazo del sistema, con respecto a los costos de energía, donde se tendrán en cuenta la vida útil de los componentes y la construcción de un conjunto de indicadores para medir el proyecto.

Para determinar los costos de energía se revisó la forma como se factura el consumo eléctrico en Capurganá, donde la empresa prestadora del servicio eléctrico EMSELCA E.S.P., cobra \$2277 por 1 KWh. Se debe considerar un subsidio del 52% para estrato 1, 26.5% para estrato 2 y finalmente 21% para estrato 3. Por lo tanto, el valor final para el usuario será: de \$1092 para estrato 1, \$1673 para estrato 2 y de \$1798 para estrato 3. (Departamento Nacional de Planeación, 2016; Superintendencia de servicios Públicos Domiciliarios, 2016).

Los indicadores más importantes para observar las bondades del proyecto en general son el Valor Actual Neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR), los cuales se describen a continuación:

**VAN:**

Es el valor actual neto de una inversión, es el valor actualizado de todos los cobros (ingresos) menos el valor actualizado de todos los pagos (costo de la inversión). En el caso del VAN, los resultados pueden ser, menor a 0: El proyecto no es rentable. El retorno del proyecto no alcanza a cubrir la tasa de costo de oportunidad. VAN mayor a 0: El proyecto es rentable. El proyecto da un retorno mayor a la tasa de costo de oportunidad. VAN igual a 0: Indiferente. Significa que el proyecto está rindiendo lo mismo que la tasa de costo de oportunidad.

**TIR:**

Sus siglas significan Tasa Interna de Retorno, esta puede utilizarse como un indicador de rentabilidad de un proyecto, a mayor TIR, mayor rentabilidad, por eso es tenido en cuenta como uno de los criterios para decidir sobre la aceptación o no de un proyecto de inversión. El cálculo de esta es algo dificultoso, por lo que normalmente se realiza con la ayuda de una calculadora financiera o con Excel, debido a que Excel maneja una fórmula predeterminada para calcular la TIR.

Para el cálculo se compara la TIR con una tasa mínima del costo de oportunidad de la inversión. Si la tasa de rendimiento del proyecto expresada por la TIR supera la tasa mínima o tasa de corte, se acepta la inversión, de lo contrario, se rechaza.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### Costos del Proyecto:

Materiales directos: son los materiales que comprometen únicamente el sistema fotovoltaico y no la instalación, porque la acometida es muy similar a la de un sistema en AC, por lo que se podría utilizar la misma acometida que había en AC, según el caso.

Material	Cantidad	Total
Panel solar de 250W	3	\$ 1.905.000
Convertidor DC	1	\$ 224.000
Regulador 24V-30A	1	\$ 180.000
Baterías	6	\$ 3.250.000
Estructura para módulos solares	1	\$ 130.000
Protección para DC (Breaker)	1	\$ 50.000
Mano de obra	1	\$ 1.300.000
<b>TOTAL</b>		<b>\$ 7.039.000</b>

Tabla 6. Costos directos sistema fotovoltaico (autores).

Materiales indirectos: son los cables, tubería, canaletas, en general es la acometida y electrodomésticos que podrían llegar a utilizarse del sistema anterior que funciona en AC.

Material	Cantidad	Total
Bombillo Led	11	\$ 264.000
Nevera	1	\$ 2.000.000
Ventilador	1	\$ 70.000
Ozonizador	1	\$ 490.000
Televisor	1	\$ 460.000
Cargador celular	1	\$ 15.000
Cableado según medidas , 14 AWG	41 m	\$ 30.000
Cable # 8 AWG	10 m	\$ 21.000
Conectores tipo regleta	3	\$ 15.000
Toma corriente 12v. tipo encendedor de cigarrillo	6	\$ 60.000
Interruptores para la iluminación	5	\$ 30.000
Fusibles con porta fusibles. (20A)	5	\$ 20.000
<b>Total</b>		<b>\$ 3.475.000</b>

Tabla 7. Costos indirectos sistema fotovoltaico (autores).

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Para realizar la evaluación financiera con respecto a la compra de energía eléctrica convencional, se tiene en cuenta como ingreso, el dinero que se ahorra anualmente con el sistema fotovoltaico, y el mantenimiento del mismo, que consiste en reemplazar las baterías cada 5 años. A continuación se definen los parámetros necesarios para los cálculos:

- Precio actual de la energía: \$1092 incluyendo el subsidio
- Incremento medio del precio de la energía: 3.5% (inflación)
- Energía anual consumida: 1.92 KWh x 365 días = 700kWh año
- Tasa de interés: 3%.
- Reinversión en baterías: \$3250000, cada 5 años.
- Años de vida del proyecto: 20 (vida de los paneles).

En la siguiente tabla 8, se presentan los resultados obtenidos en la evaluación financiera. Allí se puede apreciar que a partir del año 13 del proyecto, se recupera el dinero invertido, a pesar de que cada 5 años, se deben renovar las baterías y el costo de estas es elevado. Para todos los costos se tuvo en cuenta el aumento de precios de los equipos, estas alzas se calcularon con un promedio del 3.5%.

Año	Costo Tradicional	Mantenimiento	Flujo De Caja	Tasa 3%	TIR
			-\$7.039.000	VAN	
0	764.400		764.400		-89%
1	791.154		791.154		-61%
2	818.844		818.844		-39%
3	847.504		847.504		-25%
4	877.167		877.167		-15%
5	907.867	3250000	-\$2.342.133		(-%)
6	939.643		939.643		-37%
7	972.530		972.530		-15%
8	1.006.569		1.006.569		-8%
9	1.041.799		1.041.799		-3%
10	1.078.262	3380000	-\$2.301.738		(-%)
11	1.116.001		1.116.001		-8%
12	1.155.061		1.155.061		-3%
13	1.195.488		1.195.488		0%

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

14	1.237.330		1.237.330	2%
15	1.280.637	3515200	-\$2.234.563	(-%)
16	1.325.459		1.325.459	0%
17	1.371.850		1.371.850	2%
18	1.419.865		1.419.865	4%
19	1.469.560		1.469.560	5%
20	1.520.995		1.520.995	5%
			\$1.434.141	5%

<b>Costo Energía Red</b>	<b>Costo Energía Solar</b>	<b>Diferencia</b>
<b>\$23.137.983</b>	<b>\$17.184.200</b>	<b>\$5.953.783</b>

Tabla 8. Análisis financiero (autores).

De los resultados se observa que el proyecto puede ser viable en ZNI de zonas costeras, por los altos costos de la electricidad, lastimosamente este resultado no se puede extrapolar a ciudades como Medellín, porque el precio del KWh es mucho más barato.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

---

### Conclusiones

- Al evaluar la alternativa solar para satisfacer el consumo básico de subsistencia, en una vivienda ubicada en la región de Capurganá, se observa que es factible económicamente, porque se recupera la inversión en un periodo de 13 años. Esto debido en gran medida al alto costo de la energía en las ZNI.
- El cálculo de las cargas eléctricas asociadas al consumo básico de subsistencia, se estimó de 58kWh-mes, muy por debajo de lo establecido por normatividad, lo que permitiría rediseñar el sistema para incluir cargas adicionales.
- Se aprecia que los consumos directamente en DC nos ahorran un poco más de energía, al evitar el uso del inversor, y este a su vez el uso de las fuentes de cada elemento de consumo para volverlas a convertir de AC en DC. En caso de necesitar el uso de un inversor para alimentar cargas en AC, se deberá rediseñar el sistema y además reestimar los días de autonomía del sistema.
- En el desarrollo de los cálculos se observa que la disponibilidad del recurso solar en las ZNI costeras es muy buena, lo que resalta la importancia de tener en cuenta la alternativa solar para las ZNI.
- Se puede observar que el VAN y la TIR para el tiempo de vida del proyecto, alcanzan a ser positivos. Lo que indica que el proyecto alcanza a ser viable, y se

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

observa también que para el año 13 del proyecto ya se ha recuperado el dinero invertido

- El futuro de las energías renovables en la matriz energética, dependerá en gran medida de políticas que favorezcan el uso de las mismas, como es el caso de la reducción de impuestos en la comercialización de los equipos asociados a este tipo de proyectos.

### **Recomendaciones**

Se puede modificar el diseño del sistema, incluyendo los electrodomésticos que generalmente se encuentran en una vivienda, sin ser estrictamente los asociados al consumo básico.

Este análisis se pueda replicar para una casa en otra ciudad, considerando a partir de sus condiciones geográficas y demográficas, que electrodomésticos hacen parte del consumo básico, y adicionalmente considerando el costo de la energía de la región.

### **Trabajo futuro**

Es posible realizar un análisis técnico- económico de una vivienda en la que el sistema eléctrico ya existe de forma convencional (en AC), comparando su costo, versus su implementación de un sistema fotovoltaico que supla la necesidad de carga a través de un sistema inversor.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## REFERENCIAS

---

- Aguilera, J., Hontoria, L., & Muñoz, F. J. (2011). Dimensionado de sistemas fotovoltaicos autónomos. Retrieved from <https://manuelberaun.files.wordpress.com/2011/12/dimensionado-de-sfv-autonomos.pdf>
- Airfal. (n.d.). Programa de cálculo de iluminación Dialux. Retrieved June 12, 2016, from <http://www.airfal.com/programa-calculo-iluminacion-dialux/>
- Almar. (2016). Ubicación de Capurganá. Retrieved June 15, 2016, from <http://www.almar.com.co/almarhot/vp3142/sp/ubicacion-capurgana-colombia-choco-caribe-panama>
- Amigos energía Natural. (2014). Nevera DC. Retrieved May 4, 2016, from [www.amigosenergianatural.com](http://www.amigosenergianatural.com)
- Asensio, M. Á. (2010). Procedimiento para Cálculos de Iluminación. Retrieved April 28, 2016, from <https://ies1cto.wikispaces.com/file/view/Procedimiento+para+c%25C3%25A1lculos+de+Iluminaci%25C3%25B3n.pdf>
- Autocentro Servivillas. (2015). Ozonizador de agua. Retrieved May 4, 2016, from <http://www.servivillas.com/ozonizacion/ozo-hogar/ozonizador-de-agua/>
- Beston. (2016). Cargador de carro BST-M626. Retrieved May 4, 2016, from <http://beston.com.co/cargador-de-carro-bst-m626/>
- Cabrera Martínez, I. (2005). Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red. Cuba. Retrieved from <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Energia/Energia40/HTML/articulo05.htm>
- Circutor, A. (n.d.). Soluciones para autoconsumo. Retrieved from



	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

[http://circuitor.com/docs/Cat\\_Sol\\_Autoconsumo\\_SP.pdf](http://circuitor.com/docs/Cat_Sol_Autoconsumo_SP.pdf)

Click Renovables. (2015). Cómo calcular una instalación solar fotovoltaica en 5 pasos. Retrieved May 2, 2016, from <http://www.clickrenovables.com/blog/como-calculara-una-instalacion-solar-fotovoltaica-en-5-pasos/>

Comisión de Regulación de Energía y Gas. Resolución 114, Pub. L. No. Resolución 114 del 2016 (1996). Colombia. Retrieved from [http://www.creg.gov.co/html/Ncompila/htdocs/Documentos/Energia/docs/resolucion\\_creg\\_0114\\_1996.htm](http://www.creg.gov.co/html/Ncompila/htdocs/Documentos/Energia/docs/resolucion_creg_0114_1996.htm)

CONPES. (2014). Política para el suministro de agua potable y saneamiento básico en la zona rural. Bogotá. Retrieved from <http://www.minvivienda.gov.co/conpesagua/3810-2014.pdf>

DANE. (2015). Pobreza monetaria y multidimensional en Colombia 2014. Bogotá. Retrieved from [http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/condiciones\\_vida/pobreza/bol\\_pobreza\\_14\\_.pdf](http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/condiciones_vida/pobreza/bol_pobreza_14_.pdf)

Departamento Nacional de Planeación. (2016). Energía y gas combustible. Retrieved December 1, 2016, from <http://www.superservicios.gov.co/Energia-y-gas/Energia/Zonas-no-interconectadas>

Energía, M. de M. y. Ley 143 (1994). Colombia. Retrieved from [https://www.minminas.gov.co/documents/10180/667537/Ley\\_143\\_1994.pdf/c2cfbda4-fe12-470e-9d30-67286b9ad17e](https://www.minminas.gov.co/documents/10180/667537/Ley_143_1994.pdf/c2cfbda4-fe12-470e-9d30-67286b9ad17e)

Energía Integral Andina S.A. (2015). Energía Solar Fotovoltaica. Retrieved May 25, 2016, from <https://www.energiaintegralandina.com/productos/unidad-energia/energia-solar-fotovoltaica.html>

ETSI. (1998). Norma Técnica Universal para Sistemas Fotovoltaicos Domésticos. Madrid.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Retrieved from [http://138.4.46.62:8080/ies/ficheros/101Standard\\_EspV2.pdf](http://138.4.46.62:8080/ies/ficheros/101Standard_EspV2.pdf)

Flórez Piedrahíta, C. A. Resolución 355 DE 2004 (2004). Colombia. Retrieved from <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=14315>

Gómez, N. E., & Hurtado, R. Q. (2011). Energización de las zonas no interconectadas a partir de las energías renovables solar y eólica. Bogotá. Retrieved from <http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/eambientales/tesis121.pdf>

IDAE. (2009). Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Aisladas de Red. Madrid. Retrieved from [http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_5654\\_FV\\_Pliego\\_aisladas\\_de\\_red\\_09\\_d5e0a327.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_5654_FV_Pliego_aisladas_de_red_09_d5e0a327.pdf)

Joyo Technology. (2015). Ventilador DC Joyo 1100. Retrieved May 4, 2016, from <http://es.aliexpress.com/item/25W-42-inch-12V-DC-big-scale-Ceiling-fan-1050cm-12v-fan-powerful-12v-dc-ceiling/32608510650.html?spm=2114.10010408.1000022.1.HXluKI&isOrig=true#extend>

Lecue, A. (2011). Situación actual de la energía solar fotovoltaica en el mundo según el Plan de Energías Renovables PER 2011-2020. Retrieved May 23, 2016, from <http://www.suelosolar.com/newsolares/newsol.asp?id=6209>

LG Electronics. (2016). Lámpara 6W. Retrieved December 14, 2016, from <http://www.lg.com/uk/led-lighting/lg-E0640SA6N3A>

Lorenzo, J. A. (2014). Boletín solar fotovoltaico autónomo. Santiago de Compostela. Retrieved from [http://www.sfe-solar.com/wp-content/uploads/2011/09/Sunfields\\_Boletin\\_Fotovoltaica\\_Autonomas.pdf](http://www.sfe-solar.com/wp-content/uploads/2011/09/Sunfields_Boletin_Fotovoltaica_Autonomas.pdf)

Ministerio de Desarrollo Económico. Decreto número 565 de 1996 (1996). Colombia. Retrieved from

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

[https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/1996/dec\\_0565\\_1996.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/1996/dec_0565_1996.pdf)

Ministerio de Desarrollo Económico. (1998). Norma técnica Colombiana 2050 NTC 2050. Bogotá. Retrieved from [http://ingenieria.bligoo.com.co/media/users/19/962117/files/219177/NTC\\_2050.pdf](http://ingenieria.bligoo.com.co/media/users/19/962117/files/219177/NTC_2050.pdf)

Ministerio de Minas y Energía. (2010). RETILAP. Bogotá. Retrieved from [http://www.sic.gov.co/recursos\\_user/reglamentos\\_tecnicos/reglamento\\_tecnico\\_RE\\_TILAP.pdf](http://www.sic.gov.co/recursos_user/reglamentos_tecnicos/reglamento_tecnico_RE_TILAP.pdf)

Ministerio de Minas y Energía. Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE, Pub. L. No. 90795 (2014). Colombia: minminas.

Ministerio de Vivienda. (n.d.). Especificaciones técnicas, vivienda y obras de urbanismo. Bogotá. Retrieved from [http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioVivienda/141127\\_ANEXO\\_TECNICO\\_PVG\\_2.pdf](http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioVivienda/141127_ANEXO_TECNICO_PVG_2.pdf)

Plan Nacional de Desarrollo e Inversiones. Ley 188 (1995). Colombia. Retrieved from [http://www.dmsjuridica.com/CODIGOS/LEGISLACION/LEYES/1995/L0188\\_95.htm](http://www.dmsjuridica.com/CODIGOS/LEGISLACION/LEYES/1995/L0188_95.htm)

Soluciones Solares. (2008). Energía fotovoltaica II: Clasificación de los sistemas fotovoltaicos. Retrieved May 29, 2016, from <http://solucionessolares.blogspot.com.co/2008/05/clasificacin-sistemas-fotovoltaicos.html>

Striatum Energy. (2010). ¿Qué es y cómo funciona un sistema fotovoltaico? Retrieved May 21, 2016, from [http://www.gstriatum.com/energiasolar/articulosenergia/16\\_funciona\\_paneles.html](http://www.gstriatum.com/energiasolar/articulosenergia/16_funciona_paneles.html)

Suárez Pérez. Decreto 2060 (2004). Colombia. Retrieved from <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=14128>

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

SunEdison. (2014). EMEA. Retrieved March 15, 2016, from <http://www.sunedisonemea.com/>

Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. (2016). Junta Administradora de Servicios Públicos de Capurganá. Retrieved December 1, 2016, from <http://www.superservicios.gov.co/Energia-y-gas/Energia/Zonas-no-interconectadas/Choco/JUNTA-ADMINISTRADORA-DE-SERVICIOS-PUBLICOS-DE-CAPURGANA>

Swanson, R. M. (2009). Photovoltaics Power Up. *Science*, 324(5929), 891–892. <http://doi.org/10.1126/science.1169616>

Vélez, L. G. (2014). Sobre el consumo de subsistencia en la tarificación de los servicios públicos domiciliarios. Retrieved April 15, 2016, from <http://luisguillermovelezalvarez.blogspot.com.co/2014/04/sobre-el-consumo-de-subsistencia-en-la.html>

Zully, M. (2010). ¿Qué son viviendas de interés social? Retrieved April 28, 2016, from <http://zullybarraganescontabilidad.blogspot.com.co/2010/04/que-son-viviendas-de-interes-social.html>

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

FIRMA ESTUDIANTES Andrés Emilio Rentería

Julian D. Jaramillo D.

FIRMA ASESOR Rodrigo J. Restrepo C.

Luis Fernando Muñoz N.

FECHA ENTREGA: 22 de febrero de 2017

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD \_\_\_\_\_

RECHAZADO \_\_\_      ACEPTADO \_\_\_      ACEPTADO CON MODIFICACIONES \_\_\_\_\_

ACTA NO. \_\_\_\_\_

FECHA ENTREGA: \_\_\_\_\_

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD \_\_\_\_\_

ACTA NO. \_\_\_\_\_

FECHA ENTREGA: \_\_\_\_\_