

**"ANÁLISIS, MODELADO Y VALIDACIÓN DE  
UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA EL  
ALUMBRADO VIAL DE LA AVENIDA DE LAS  
AMÉRICAS"**

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE CUENCA**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

Trabajo de investigación previo a la obtención del Título de:  
INGENIERO ELÉCTRICO.

**TEMA:**

ANÁLISIS, MODELADO Y VALIDACIÓN DE UN SISTEMA  
FOTOVOLTAICO PARA EL ALUMBRADO VIAL DE LA  
AVENIDA DE LAS AMÉRICAS.

**AUTORES:**

ÁLVARO MIGUEL INGUIL LEMA.  
HERNÁN SANTIAGO ESPINOZA ORTEGA.

**DIRECTOR:**

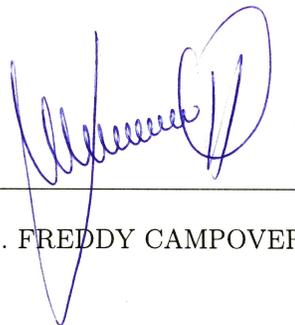
ING. FREDDY CAMPOVERDE.

**Cuenca, mayo de 2014**

# CERTIFICACIÓN

En facultad de Director del trabajo de Tesis "ANÁLISIS, MODELADO Y VALIDACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA EL ALUMBRADO VIAL DE LA AVENIDA DE LAS AMÉRICAS" desarrollado por: Alvaro Miguel Inguil Lema y Hernán Santiago Espinoza Ortega, certifico la aprobación del presente trabajo de tesis, una vez ejecutado la supervisión y revisión de su contenido.

Cuenca, mayo 2014



---

ING. FREDDY CAMPOVERDE

# RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA

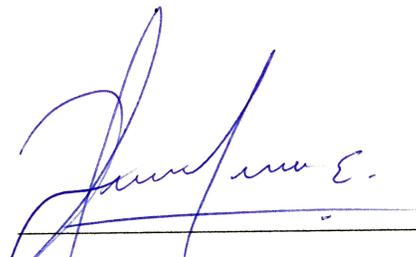
Los autores del trabajo de tesis "ANÁLISIS, MODELADO Y VALIDACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA EL ALUMBRADO VIAL DE LA AVENIDA DE LAS AMÉRICAS" Álvaro Miguel Inguil Lema y Hernán Santiago Espinoza Ortega, en virtud de los fundamentos teóricos y científicos y sus resultados, declaran de exclusiva responsabilidad y otorgan a la Universidad Politécnica Salesiana la libertad de divulgación de este documento únicamente para propósitos académicos o investigativos.

Cuenca, mayo 2014



---

ÁLVARO MIGUEL INGUIL LEMA



---

HERNÁN SANTIAGO ESPINOZA ORTEGA

# DEDICATORIA

**Álvaro Inguil**

*A Dios por darme sabiduría e inteligencia para poder salir adelante en las metas propuestas, ya que esta es una de las primeras metas.*

*A mis padres Luz María y José Miguel por el apoyo incondicional que recibo de ellos, los valores que me enseñan: el luchar día a día, el sacrificio, la perseverancia, ya que gracias por su esfuerzo se está cosechando los frutos.*

*A mi esposa Adriana e hijas: Valentina y Ximena, por el amor que recibo de ellas, a mi hijo que está en el cielo que desde allá me envía sus bendiciones y son la razón de mi vida.*

*A toda mi familia por su apoyo por los consejos que me han brindado para poder salir adelante en las metas propuestas.*

**Hernán Espinoza**

*No te rindas lo mejor esta por venir, todo sacrificio tiene su recompensa.*

*A mis padres que han sido los pilares fundamentales en mi vida han estado en las buenas y en las malas que con su carácter siempre quisieron lo mejor para mi.*

*Mi tía, mis hermanos, mi familia y ha todos aquellos que en algún momento formaron parte de mi vida, colaboraron con ese granito de apoyo y compañía para poder conseguir esta meta tan importante.*

*“De rodillas ante Dios, de pie ante el Mundo”*

# AGRADECIMIENTOS

**Álvaro Inguil**

*Quiero dar un enorme agradecimiento a Dios Padre por darme la vida, sabiduría, inteligencia, conocimientos y enseñanza ya que con el cumplo una meta importante.*

*Agradecer a mi familia por estar siempre ahí en las buenas y en las malas, y saber entender el sacrificio que se hace por conseguir una meta anhelada.*

*A mis amigos amigas de alguna u otra manera me ayudaron en lo que pudiesen, a mi primo Johnny por su apoyo incondicional.*

*A mi tía Manuela que desde el comienzo de mi vida universitaria ha estado siempre a mi lado, para darme consejos y apoyarme en todo lo que hacía, ya que es la promotora de estar cumpliendo un escalón pequeño en la vida pero grande para mi.*

**Hernán Espinoza**

*Primera mente quiero darle gracias a Dios por cumplir una meta mas en mi vida por brindarme esas segundas oportunidades, por su amor y por haber cambiado mi vida.*

*Gracias Marco y Eulalia mis padres que con su carácter y paciencia estuvieron ahí alentándome hasta el final a pesar de que ya me rendía siempre estuvieron a mi lado.*

*A mi tía Nancy que ha sido, es y será esa amiga incondicional, que en ese momento mas difícil de mi vida supo darle sentido y como olvidarme de mis abuelitos que los considero como mis padres que con sus consejos me alentaban a ser una persona de bien.*

# Índice general

|                                                                                                  |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS.</b>                                           | <b>1</b>  |
| 1.1. INFORMACIÓN GENERAL DE LA ZONA Y SISTEMA DE MEDICIÓN. . . . .                               | 1         |
| 1.1.1. INFORMACION GENERAL . . . . .                                                             | 1         |
| 1.1.2. SISTEMA DE MEDICIÓN . . . . .                                                             | 2         |
| 1.2. ESTIMACIÓN DEL NIVEL DE RADIACIÓN SOLAR. . . . .                                            | 7         |
| 1.3. ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS DE LAS ESTACIONES METEORO-<br>LÓGICAS. . . . .              | 9         |
| <b>2. MODELAMIENTO MATEMÁTICO DE LOS DISPOSITIVOS .</b>                                          | <b>28</b> |
| 2.1. MODELAMIENTO DE LOS DISPOSITIVOS DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO<br>PARA ALUMBRADO VIAL. . . . . | 28        |
| 2.1.1. PANEL SOLAR FOTOVOLTAICO. . . . .                                                         | 28        |
| 2.1.2. BATERÍA. . . . .                                                                          | 34        |
| 2.1.3. REGULADOR FOTOVOLTAICO. . . . .                                                           | 39        |
| 2.1.4. CARGA (LUMINARIA LED). . . . .                                                            | 41        |
| 2.1.5. CONDUCTORES ELÉCTRICOS. . . . .                                                           | 42        |
| <b>3. SIMULACIÓN Y VALIDACIÓN MEDIANTE MATLAB/SIMULINK</b>                                       | <b>44</b> |
| 3.1. SIMULACIÓN Y VALIDACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS . . . . .                                       | 44        |
| 3.1.1. PANEL SOLAR. . . . .                                                                      | 44        |
| 3.1.2. BATERÍA . . . . .                                                                         | 50        |
| 3.1.3. REGULADOR . . . . .                                                                       | 53        |
| 3.1.4. CARGA (Luminaria Led). . . . .                                                            | 55        |
| 3.1.5. CONDUCTORES ELÉCTRICOS. . . . .                                                           | 56        |
| 3.2. SIMULACIÓN Y VALIDACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO COMPLETO.                                  | 56        |
| <b>4. DISEÑO LUMÍNICO DE TRAMOS DE LA AVENIDA DE LAS AMÉRICAS. 62</b>                            | <b>62</b> |
| 4.1. CRITERIOS GENERALES DEL ALUMBRADO PÚBLICO VIAL. . . . .                                     | 63        |
| 4.2. DIMENSIONAMIENTO DE LOS DISPOSITIVOS DEL SISTEMA FOTOVOLTAI-<br>CO . . . . .                | 65        |
| 4.2.1. EVALUACIÓN DEL CONSUMO . . . . .                                                          | 65        |
| 4.2.2. DIMENSIONAMIENTO DEL GENERADOR FOTOVOLTAICO. . . . .                                      | 67        |
| 4.2.3. DIMENSIONAMIENTO DEL BANCO DE BATERÍAS. . . . .                                           | 70        |
| 4.2.4. DIMENSIONAMIENTO DEL REGULADOR FOTOVOLTAICO. . . . .                                      | 73        |
| 4.3. DISEÑO LUMÍNICO DE UN TRAMO DE LA AV DE LA AMÉRICAS MEDIANTE<br>DIALUX . . . . .            | 73        |
| 4.3.1. REALIZACIÓN DE LA SIMULACIÓN EN DIALUX. . . . .                                           | 79        |
| <b>5. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES</b>                                                         | <b>95</b> |
| 5.1. CONCLUSIONES: . . . . .                                                                     | 95        |
| 5.2. RECOMENDACIONES: . . . . .                                                                  | 97        |
| <b>Bibliografía</b>                                                                              | <b>98</b> |

*ÍNDICE GENERAL*

II

|                                                             |            |
|-------------------------------------------------------------|------------|
| <b>A. Programas Realizados en MatLab Capitulo 2</b>         | <b>99</b>  |
| <b>B. Programas Realizados en MatLab Capitulo 3</b>         | <b>100</b> |
| <b>C. VALOR k SEGÚN LATITUD INCLINACIÓN Y MESES DEL AÑO</b> | <b>105</b> |



# Índice de figuras

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.1. Equipo Davis Vantage Pro 2. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 4  |
| 1.2. Anemómetro. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 5  |
| 1.3. Pluviómetro. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 5  |
| 1.4. Sensor de Radiación Solar. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 6  |
| 1.5. Sensor UV(Ultravioleta). . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 6  |
| 1.6. Sensor de temperatura y humedad. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 7  |
| 1.7. Consola Vantage Pro 2. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 7  |
| 1.8. Zona De Estudio, Radiación Solar En El Ecuador. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 8  |
| 1.9. Energía solar que llega a la superficie para latitudes selectas en el Hemisferio Norte .                                                                                                                                                                                                                                                           | 26 |
| 2.1. Circuito equivalente de una célula fotovoltaica[?] . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 29 |
| 2.2. Estructura de un diodo . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 30 |
| 2.3. Curva Característica P-V de una célula solar de silicio en Matlab (ver Apéndice A).                                                                                                                                                                                                                                                                | 33 |
| 2.4. Curva Característica I-V de una célula solar de silicio en Matlab (ver Apéndice B) .                                                                                                                                                                                                                                                               | 34 |
| 2.5. La célula electroquímica y una vista de la reacción celular. $S(N)_{red}$ y $S(P)_{ox}$ son los componentes de los electrodos negativo y positivo respectivamente. Estos son oxidados en $S(N)_{red}$ en el negativo y reducidos en $S(P)_{ox}$ en el electrodo positivo, cuando la batería es descargada como se indica en la figura [?]. . . . . | 35 |
| 2.6. Características típicas de descarga de varios sistemas de baterías secundarias de igual peso descargando bajo las mismas condiciones[?] . . . . .                                                                                                                                                                                                  | 37 |
| 2.7. Curvas de Descarga de bateras de ácido - plomo de 2V en varias velocidad de descarga. (Sirve para regular la corriente de descarga) [?] . . . . .                                                                                                                                                                                                  | 38 |
| 2.8. Energía especifica según tipo de Baterías[?]. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 38 |
| 2.9. Característica de carga de una batería de ácido - plomo de tipo sellado marca Yuasa a $25^{\circ}C$ (C es la 20ava parte de su capacidad): Sirve para regular la corriente de carga [?]. . . . .                                                                                                                                                   | 39 |
| 2.10. Modelo Eléctrico Básico De Un Regulador .[?] . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 40 |
| 2.11. Esquema eléctrico básico (ley de ohm) . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 41 |
| 3.1. Curva I-V de célula solar de Panasonic . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 45 |
| 3.2. Comportamiento de un panel solar. (ver Apéndice C) . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 46 |
| 3.3. Acoplamiento y Simulación de dos paneles solares conectados en serie. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                      | 47 |
| 3.4. Acoplamiento y Simulación de dos paneles solares conectados en paralelo. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                   | 47 |
| 3.5. Radiación Promedio Diario Anual 2013 . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 48 |
| 3.6. Temperatura Promedio diario Anual 2013 . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 48 |
| 3.7. Resultado de Simulación de un panel Solar . (ver Apéndice C) . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                             | 49 |
| 3.8. Resultado de Simulación de una Central Fotovoltaica (ver Apéndice C) . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                     | 50 |
| 3.9. Simulación de una batería con proceso de carga y descarga . (ver Apéndice C) . . . .                                                                                                                                                                                                                                                               | 51 |
| 3.10. Almacenamiento de Energía con valor inicial de energía almacenada . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                       | 52 |
| 3.11. Ciclo de carga[?] . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 53 |
| 3.12. Simulación del regulador del Sistema Fotovoltaico. (ver Apéndice C) . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                     | 54 |
| 3.13. Modelamiento de una carga de 300W (ver Apéndice C) . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 55 |
| 3.14. Simulación de los conductores Eléctricos . (ver Apéndice C) . . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                             | 56 |

|                                                                          |     |
|--------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.15. Arreglo de paneles solares . . . . .                               | 58  |
| 3.16. Sistema Fotovoltaico . . . . .                                     | 59  |
| 3.17. Simulacion de la fuente de almacenamiento . . . . .                | 60  |
| 3.18. Simulacion del Regulador Fotovoltaico. . . . .                     | 61  |
|                                                                          |     |
| 4.1. Ángulos sobre una superficie receptora. [?] . . . . .               | 67  |
| 4.2. Curva isolux y Diagrama Polar . . . . .                             | 77  |
| 4.3. Ley del Coseno . . . . .                                            | 78  |
| 4.4. Sector de simulacion. . . . .                                       | 80  |
| 4.5. Rendering 3D sector contro-sur . . . . .                            | 81  |
| 4.6. Rendering 3D Sector El Arenal . . . . .                             | 82  |
| 4.7. Rendering 3D Sector La Catolica . . . . .                           | 82  |
| 4.8. Lista de Luminarias Utilizadas . . . . .                            | 83  |
| 4.9. Ubicaciónde la Luminarias Sector Control-Sur . . . . .              | 84  |
| 4.10. Ubicación de la Luminarias Sector El Arenal . . . . .              | 85  |
| 4.11. Ubicación de la Luminarias Sector La Catolica . . . . .            | 85  |
| 4.12. Rendering Procesado en Colores Falsos Sector Control-Sur . . . . . | 86  |
| 4.13. Rendering Procesado en Colores Falsos Sector El Arenal . . . . .   | 87  |
| 4.14. Rendering Procesado en Colores Falsos Sector La Catolica . . . . . | 88  |
| 4.15. Isolineas de las dos vías del Sector Control-sur 1-2 . . . . .     | 89  |
| 4.16. Isolineas de las dos vías del Sector Control-sur 2-2 . . . . .     | 90  |
| 4.17. Isolineas de las dos vías del Sector El Arenal 1-2 . . . . .       | 91  |
| 4.18. Isolineas de las dos vías del Sector El Arenal 2-2 . . . . .       | 92  |
| 4.19. Isolineas de una vía Sector La Catolica 1-2 . . . . .              | 93  |
| 4.20. Isolineas de una vía Sector La Catolica 2-2 . . . . .              | 93  |
| 4.21. Características utilizadas en la Avenida . . . . .                 | 94  |
| 4.22. Características utilizadas en la Avenida . . . . .                 | 94  |
|                                                                          |     |
| B.1. Celula solar silicio . . . . .                                      | 100 |
| B.2. Sistema Fotovoltaico Autónomo . . . . .                             | 104 |

# Índice de cuadros

|                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.1. Equipos de Medición y Adquisición. . . . .                                                            | 3  |
| 1.2. Tabla De La Consola De Medición. . . . .                                                              | 3  |
| 1.3. Características de todos los elementos de la Antena Davis Vantage pro2. . . . .                       | 4  |
| 1.4. Temperatura Anual Por Hora Diaria Año 2013 . . . . .                                                  | 9  |
| 1.5. Radiación Solar Mensual y Anal por Hora Diaria Año 2013. . . . .                                      | 10 |
| 1.6. Radiación Mensual/hora Enero 2013 . . . . .                                                           | 11 |
| 1.7. Radiación Mensual/hora Febrero 2013 . . . . .                                                         | 11 |
| 1.8. Radiación Mensual/hora Marzo 2013 . . . . .                                                           | 12 |
| 1.9. Radiación Mensual/hora Abril 2013 . . . . .                                                           | 12 |
| 1.10. Radiación Mensual/hora Mayo 2013 . . . . .                                                           | 13 |
| 1.11. Radiación Mensual/hora Junio 2013 . . . . .                                                          | 13 |
| 1.12. Radiación Mensual/hora Julio 2013 . . . . .                                                          | 14 |
| 1.13. Radiación Mensual/hora Agosto 2013 . . . . .                                                         | 14 |
| 1.14. Radiación Mensual/hora Septiembre 2013 . . . . .                                                     | 15 |
| 1.15. Radiación Mensual/hora Octubre 2013 . . . . .                                                        | 15 |
| 1.16. Radiación Mensual/hora Noviembre 2013 . . . . .                                                      | 16 |
| 1.17. Radiación Mensual/hora Diciembre 2013 . . . . .                                                      | 16 |
| 1.18. Temperatura Anual Por Hora Diaria Año 2014 “UPS” . . . . .                                           | 18 |
| 1.19. Radiación Solar Mensual Y Anual Por Hora Diaria Año 2014 “UPS” . . . . .                             | 19 |
| 1.20. Radiación Solar Diaria Enero 2014 . . . . .                                                          | 20 |
| 1.21. Radiación Solar Diaria Febrero 2014 . . . . .                                                        | 20 |
| 1.22. Radiación Solar Diaria Marzo 2014 . . . . .                                                          | 21 |
| 1.23. Temperatura Anual por hora Diaria 2014 “INER” . . . . .                                              | 22 |
| 1.24. Radiación Solar Mensual Y Anual Por Hora Diaria Año 2014 “INER” . . . . .                            | 23 |
| 1.25. Radiación Solar Diaria Enero 2014 . . . . .                                                          | 24 |
| 1.26. Radiación Solar Diaria Febrero 2014 . . . . .                                                        | 24 |
| 1.27. Radiación Solar Diaria Marzo . . . . .                                                               | 25 |
| 1.28. Temperatura Promedio Mensual 2013 y 2014 . . . . .                                                   | 26 |
| 1.29. Radiación Solar mínimos, máximos y promedios año 2013 . . . . .                                      | 27 |
| 2.1. Parámetros para el Panel Solar Fotovoltaico [?]. . . . .                                              | 32 |
| 2.2. Calibres de Conductores y Características AWG . . . . .                                               | 43 |
| 2.3. Sección de Conductores y Características, Corriente y Potencia generada para sistema de 12V . . . . . | 43 |
| 3.1. Valores típicos de los umbrales de tensión de un regulador de carga. [?]. . . . .                     | 53 |
| 4.1. Cuatificación del Consumo . . . . .                                                                   | 67 |
| 4.2. Inclinacion de los paneles fotovoltaicos de acuerdo a su latitud. . . . .                             | 68 |
| 4.3. Radiacion solar cada mes para diferentes inclinaciones . . . . .                                      | 68 |
| 4.4. $E_{md}/G$ . . . . .                                                                                  | 68 |
| 4.5. Mes critico/Maximos cocientes. . . . .                                                                | 69 |
| 4.6. Datos del Dimensionamiento del Generador Fotovoltaico. . . . .                                        | 70 |

|                                                                          |     |
|--------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.8. Factores de Rendimiento de baterías de plomo acido. . . . .         | 71  |
| 4.7. Dias NO-SOL para Cuenca-Azuay [?]. . . . .                          | 71  |
| 4.9. Temperatura Promedio Dia minimo . . . . .                           | 71  |
| 4.10. Capacidad del banco de baterias. . . . .                           | 72  |
| 4.11. Regulador Fotovoltaico. . . . .                                    | 73  |
| 4.12. Niveles de Iluminación para vías de Trafico motorizado 4 . . . . . | 74  |
| 4.13. Niveles de Iluminación para vías peatonales 4 . . . . .            | 74  |
| 4.14. Niveles de Iluminación para zonas de conflicto 4 . . . . .         | 74  |
| 4.15. Parámetros de iluminación según Vp seleccionado. . . . .           | 75  |
| 4.16. Luminaria Led Teceo 2 Lensoflex-Schereder [?] . . . . .            | 76  |
| 4.17. Datos de la Luminaria Led . . . . .                                | 78  |
|                                                                          |     |
| C.1. Valor de k <i>Latitud</i> : $2^0$ . . . . .                         | 105 |
| C.2. Valor de k <i>Latitud</i> : $1^0$ . . . . .                         | 106 |
| C.3. Valor de k <i>Latitud</i> : $0^0$ . . . . .                         | 106 |
| C.4. Valor de k <i>Latitud</i> : $-1^0$ . . . . .                        | 107 |
| C.5. Valor de k <i>Latitud</i> : $-2^0$ . . . . .                        | 107 |
| C.6. Valor de k <i>Latitud</i> : $-3^0$ . . . . .                        | 108 |
| C.7. Valor de k <i>Latitud</i> : $-4^0$ . . . . .                        | 108 |

# INTRODUCCIÓN

El problema sobre el desarrollo de las fuentes renovables de energía con una referencia del entorno nacional es que no se ha ejecutado en su totalidad poniéndole en un plano secundario o descuidado. Las ventajas, la magnitud y la dificultad de los trabajos que se tengan que realizar en el ámbito nacional no son despreciables, pero con una planificación que está regida a un marco legal totalmente apropiado determinara un paso elemental para el desarrollo y afianzamiento en el sistema energético ecuatoriano.

La energía con el pasar del tiempo y la evolución de la humanidad ha sido una pieza esencial en la satisfacción de las obligaciones cotidianas, con una demanda fundamental en lo que respecta a los equipos más básicos.

La invención tecnológica fue el primer cambio que experimento el sistema energético con la creación de la máquina de vapor la cual está alimentada por carbón, esto facilito la posibilidad de que el consumo final sea, en cualquier lugar de origen. La materia prima que era el carbón su traslado y acopio era fácil de almacenar donde se requiera.

La segunda fue la variación de muchas tecnologías de manera energética como las fuentes principales para el suministro de energía. Por medio de la variaciones de las energías se dio un factor muy importante el cual era ya el producir luz atreves de la energía eléctrica, dentro de esta senda etapa de innovación estuvo como punto importante el motor de combustión interna seguido de un incremento notable en el consumo del petróleo ya que se transformaría en la materia prima para generar cualquier tipo de combustible y en base de estos llegar a generar energía eléctrica.

Nos podemos preguntar por qué no ha llegado a desaparecer en su totalidad el uso de ciertas energías renovables ya que con la aparición y fortalecimiento de fuentes como las convencionales, básicamente sería que el avance económico no ha sido notorio en todos los lugares del mundo es decir hay grandes diferencias económicas entre países, muchas comunidades siguen subsistiendo con fuentes elementales y también entra de por medio las costumbres de muchas poblaciones y sus gustos por seguir cocinando y la forma de mantener el calor de un hogar a base de leña.

La posición política en temas como económicos y de razones estratégicas marcan diferencias en el uso de energías con diferentes recursos ya sea petrolíferos o hidráulicos, de esta manera no podemos llegar a descartar el uso de energías renovables a nivel mundial ya que se puede observar un notable crecimiento.

Los impactos ambientales y sociales que producen la explotación de energías han producido diferentes polémicas y discusiones, por esta razón no vamos a considerar a las hidroeléctricas como una fuente netamente renovable ya que su impacto ambiental es bastante amplio.

Con un avance tan rápido en el ámbito tecnológico y científico se ha establecido nuevas maneras de explotar energías renovables (fuentes renovables de energía) que anteriormente en años pasados nunca se podía llegar a pensar en estas nuevas fuentes, como las celdas solares o paneles solares, biocombustibles y fuentes eólicas. Se ha tenido una gran aceptación de las poblaciones ya que se tiene impactos ambientales menores a comparación de las energías ya existentes.

Un análisis mundial sobre las nuevas fuentes de energías renovables ponen en manifiesto el crecimiento de la energía solar y la energía eólica, por su impacto dentro de las naciones que tienen como recursos primarios el sol y el viento han sabido llevar adelante un ingreso económico grande.

Sin embargo en la actualidad el excesivo consumo de petróleo seguido de sus incomparables beneficios económicos para los países explotadores de dicha materia prima, han traído efectos negativos como: la división de países vendedores y compradores y una gran sujeción en el sector vehicular y transporte dependen notablemente del petróleo, un aspecto que cada día tiene un nivel mayor es la contaminación que afecta al medio ambiente y como a la salud de la población, dentro de este aspecto podemos determinar dos puntos que son los de mayor contaminación. La generación termoeléctrica que está sujeta notablemente a tres fuentes naturales como son: carbón, petróleo y gas natural. La segunda es la contaminación proveniente del transporte vehicular ya sea público o privado que están sujetos netamente a los derivados del petróleo.

Esto ha ido generando un problema cada vez mayor con el aumento de emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes de las diferentes fuentes de energía, esto ha dado como resultado que la incidencia del gas natural en la generación eléctrica por su baja emisiones de CO<sub>2</sub> pero el problema se generaría ya que no es un recurso renovable se debería tener otras opciones para enfrentar el efecto invernadero.

Es fundamental que optemos por otras formas de energía que no estén sujetas a una contaminación continua entonces las energías renovables serían las fuentes más idóneas a implementarse.

La radiación solar que diariamente se obtiene sobre nuestra superficie terrestre se puede convertir fácilmente en calor, energía mecánica y electricidad esto dependería de las varias tecnologías existentes para su respectivo aprovechamiento, es un recurso que varía con el pasar de las horas del día ya que podemos disponer por 12 horas del día.

El uso de esta energía renovable nos lleva a tener un campo muy amplio, podemos dividir en dos grupos el activo y pasivo. El campo activo consta de los equipos mecánicos o artefactos que necesitan la radiación solar para su funcionamiento es decir estarían comprendidos por sistemas fotovoltaicos. El campo pasivo son los que no comprenden de artefactos mecánicos estarían más centrados en el calentamiento de hogares o climatización. La única manera que se puede aprovechar al máximo este recurso es utilizando la energía solar para celdas fotovoltaicas y estas convertir en energía eléctrica (luz).

Dentro de la energía solar los sistemas más utilizados y comunes son los fototérmicos y fotovoltaicos, a pesar que los dos captan energía solar la diferencia es que el fototérmico recepta la energía solar en un solo punto para calentar un fluido térmico y este calor ser utilizado para el movimiento de motores o turbinas, el fotovoltaico convierte directamente la radiación que recibe en sus paneles en energía eléctrica, actualmente el uso de estos sistemas está siendo enfocado con una gran aceptación dentro del alumbrado público de parques o vías por su facilidad de colocación dentro de su campo de trabajo.

La biomasa es una materia o un recurso que tiene como origen residuos de animales, residuos orgánicos o de origen vegetal, que al ser estos recursos almacenados producen un combustible que dan como resultado una energía química en el sector transportista se utiliza los biocombustibles conseguidos por la biomasa, las plantaciones energéticas así llamadas por sus amplios cultivos de especies ya sea sólidas, líquida o gaseosa para obtener la producción energética.

El uso de las biomásas tiene un campo muy amplio de servicios como: alumbrado, calefacción, confort etc. En la actualidad la biomasa en estado sólido tiene un mayor impacto debido a su fácil sustitución por la actual producción de combustibles fósiles, una estimación a futuro nos da un margen muy grande de crecimiento porcentual con respecto al suministro de energía.

El impacto ambiental que repercute el uso de la biomasa es favorable ya que se reduce ampliamente las emisiones de gases de efecto invernadero, lo más importante una protección de los paisajes y hábitat natural, la desventaja vendrían en el uso de los biocombustibles es decir del bioetanol tiene una emisión de aldehídos gases tóxicos pero con los beneficios ambientales del uso

de esta energía entra en un debate de temas socioeconómicos que esta ligados a un mejoramiento en la calidad de vida, empleo y unión social.

La energía eólica no muy explotada debido a que el viento es intermitente depende básicamente de dos puntos importantes, el primero la parte estacional engloba la intensidad del viento a lo largo del año, el segundo punto son los efectos diarios del viento dividido en periodos horas, es decir que para llegar a aprovechar al máximo su potencial se debe tener un constante flujo de viento sin variaciones.

La manera más sencilla y precisa de generar energía eléctrica por medio del viento es en base de un aerogenerador montado sobre una torre mientras mayor su altura se aprovecha más las corrientes del viento, una desventaja sería la emisión de ruido acústico producidos por los sistemas instalados por esta razón se trata de ver áreas alejadas de la población lo cual deja en manifiesto que es un condicionante para países que su extensión no es muy amplia, en definitiva tiene un impacto alto en creación de empleos como benéficos ambientales y económicos lo cual es un principio a un desarrollo notable dentro de una región.

Finalmente la energía hidráulica actualmente la más explotada a nivel mundial que es básicamente el embalsamar agua procedente de los ríos conducida hacia una turbina por medio de un movimiento giratorio donde se produce la corriente eléctrica, entonces la potencia varía dependiendo del tamaño de las centrales eléctricas, hablamos de centrales de 15Mw de potencia hasta centrales que superan los 2000Mw, si observamos la parte ambiental estaría dentro de las más limpias pero esto no quiere decir que no implique riesgos, como ventajas es cierto que respecto a costos de mantenimiento y generación son muy bajos.

# Capítulo 1

## ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS.

### 1.1. INFORMACIÓN GENERAL DE LA ZONA Y SISTEMA DE MEDICIÓN.

#### 1.1.1. INFORMACION GENERAL

La ciudad de Cuenca se halla ubicada en el centro sur de la republica de Ecuador, del continente Sur Americano, entre las latitudes 2°52'60" S y las longitudes 78°58'60" W.

Cuenca cuenta con una superficie de 67,72 km<sup>2</sup>, posee una altitud máxima de 2550 m. Es la tercera ciudad con mayor incidencia e importancia del Ecuador , su fundación se dio el 12 de abril de 1557 en ese entonces bautizada con el nombre de “ Santa Ana de los Ríos de Cuenca”, tiene un clima privilegiado por su ubicación céntrica dentro de un valle que se extiende a lo lardo de una cordillera andina, podemos decir que su temperatura es variable dentro de un rango que va desde los 7 a 15 °C en invierno y 12 a 25 °C en verano pero con un promedio anual de 15 °C pero por su ubicación en un mismo día se puede sentir la variación de climas.

En el tema hidrológico es una de las ciudades que se encuentra bañada por cuatro ríos que se extiende a la largo de toda la urbe Cuencana lo que hace que la ciudad hoy por hoy cuente con todos los servicios básicos por esto y todo la UNESCO le declaro como Patrimonio Cultural de la Humanidad, la ciudad a lo largo de los años ha experimentado un crecimiento masivo en el área rural mientras que en el área urbana ha disminuido a pesar de su extensa área.

La industria y su desarrollo básicamente está encaminado a las habilidades propias de los habitantes, por tener un punto neutro entre las dos zonas como es la amazonia y la costa es una ventaja para que su desarrollo baya en subida, las primeras actividades de comercio fue la confección de

productos de arte como por ejemplo: sombreros, vasijas, joyería etc. En la actualidad en estas áreas Cuenca sigue siendo líder en producción, con el avance de la tecnología hizo que cuenca tenga un mayor desarrollo a tal punto de tener la única fábrica de llantas del país, estudios han demostrado que el comercio llega a ser el punto fuerte de cuenca y el cual da más empleo seguido de ingresos en la ciudad, la última década ha marcado un salto importante dentro de la ciudad con un desarrollo total con el ingreso de divisas de parte de emigrantes y la construcción de centros comerciales que en el pasado solían ser solo apreciados en la capital del país.

Un informe emitido por la Agencia Espacial Civil Ecuatoriana (El Tiempo “Cuenca recibe mayor radiación solar” Fecha de Publicación: 2010-03-12 00:00), EXA pone en manifiesto que Cuenca es la ciudad que mayor radiación solar recibe en todo el país con 23 UVI (Índice Ultravioleta), la agencia ha registrado el nivel más alto jamás registrado a nivel nacional es decir que sobre paso por mucho un nivel que se mantenía como máximo es decir tolerable que emite la OMS que es de 11 UVI, pero con otro informe emitido por el INAMHI (Instituto Meteorológico e Hidrológico Nacional del Ecuador ) en el austro del país se registra 26 grados Celsius que con respecto a épocas pasadas es un nivel bastante alto, refiriendonos de otra manera que el aumento masivo de la temperatura incide en el aumento de la radiación solar.

Cuenca por su ubicación geográfica esta entre las dos ciudades que se exponen directamente a los rayos emitidos por el sol más conocidos como UV, por esta razón hay un aumento en el registro de casos con cáncer de piel, entre el 2012 y 2013 se han registrado 50 personas [?] con cáncer a la piel, de esta manera Cuenca es una ciudad indicada para la generación de energía solar por medio de paneles por su alto índice de radiación y su perfecta ubicación geografía pero también sus desventajas son el daño que está produciendo en la población como enfermedades de la piel más conocida como foto envejecimiento prematuro.

### 1.1.2. SISTEMA DE MEDICIÓN

Con los datos ya recopilados por la Universidad Politécnica Salesiana “UPS” y datos facilitados por el Instituto EXA, hemos desarrollado tablas tabuladas con detalles de horas y meses de cada año, se han realizado un promedio de valores picos en cada hora del día.

Debemos detallar cada parte del equipo de medición que se utiliza para obtener los valores de temperatura, rayos UV y radiación solar para el lugar a efectuarse el estudio, de esta manera describiremos las características de los instrumentos.

El Instituto EXA que tiene ubicada una antena en el colegio Rosa de Jesús Cordero, instalada desde el año 2006 por personal del mismo instituto y la (UPS) con una antena instalada desde el

2013 y con 15 antenas distribuidas por la ciudad de Cuenca que entraron en funcionamiento desde el Enero del 2014, en el proyecto UPS-INER (Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables)

El sistema utilizado para la medición y la recopilación de datos está conformado por los siguientes equipos.

| Equipo Davis Vantage Pro2         | Descripción del Equipo                                                                                         |
|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Anemómetro                        | Dirección de viento, Velocidad y recorrido del viento.                                                         |
| Pluviómetro                       | Colector de lluvia cumple con todos los lineamientos de área de recolección                                    |
| Sensor de radiación solar         | Para medir la radiación solar y la energía del sol.                                                            |
|                                   | El elemento difusor y el gabinete están diseñados con sumo-cuidado para lograr una respuesta de coseno exacta. |
| Sensores de temperatura y Humedad | Localizados dentro del protector contra radiación y otras fuentes de calor                                     |
| Consola- receptor                 | Recibe teleméricamente los datos recolectados por el ISS                                                       |

Cuadro 1.1: Equipos de Medición y Adquisición.

Fuente:<http://www.sistemasgps.com.mx/davisvantagepro2.html>

| Características De La Consola General |                                                                               |
|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| Rango de Operación                    | 0° C a 60° C                                                                  |
| Energía                               | Consumo de 0.9 mA promedio, Máximo 30 mA con un Voltaje de 4 - 6 VDC          |
| Adaptador de AC                       | 5 VDC a 300 mA regulado                                                       |
| Baterías                              | Usa 3 baterías tamaño C.-Hasta 9 meses de duración con un juego de Baterías   |
| Puertos                               | (01) RJ11                                                                     |
| Material de construcción              | Plástico ABS contra rayos UV                                                  |
| tipo de Pantalla                      | LCD TFT                                                                       |
| Luz de Fondo                          | Si, LEDs                                                                      |
| Tamaño de Pantalla                    | 5.94" x 3.375" (151 mm x 86 mm)                                               |
| Tamaño de la Consola                  | 10.625" x 6.125" x 1.625" (270 mm x 156 mm x 41 mm) con la antena hacia abajo |
| Peso con baterías                     | 0.85 Kg                                                                       |

Cuadro 1.2: Tabla De La Consola De Medición.

Fuente:<http://www.sistemasgps.com.mx/davisvantagepro2.html>

| Características De Los Sensores |                                                                                                       |
|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Rango de Operación              | -40° C hasta 65° C                                                                                    |
| Energía                         | Consumo de 0.14 mA promedio, Maximo 30 mA con un Voltaje de 4 - 6 VDC                                 |
| Panel Solar                     | 0.5 Watts                                                                                             |
| Baterías / Energía              | Duración de la Batería (3-Volt Litio):<br>8 meses sin luz solar - mas de 2 años si usa la celda solar |
|                                 | Duración de la Batería NiCad ): 1 año                                                                 |
| Puertos                         | RJ11                                                                                                  |
| Cable                           | Tipo conductor, especificación 26 AWG                                                                 |
| Longitud del Cable              | 12 metros (incluido) recomendado 165 metros como máximo                                               |
| Sensor de Direccion del Viento  | Tipo flecha con Potenciómetro                                                                         |
| Tipo de Colector de lluvia      | Tipo cubetilla con una área de colección de 214 cm <sup>2</sup>                                       |
| Sensor de Temperatura           | De DIODO Silicón                                                                                      |
| Sensor de Humedad Relativa      | Capacitor Tipo Film                                                                                   |
| Incluye:                        | Colector de Lluvia (Cubetilla Auto vaciante), Sensor de Temperatura y Humedad,                        |
|                                 | Anemómetro con 12 metros de cable, sensor de Radiación Solar,                                         |
|                                 | Sensor de Rayos UV, Panel Solar, Consola Receptora Vantage Pro 2,                                     |
|                                 | Adaptador de corriente para Consola y material de Montaje                                             |

Cuadro 1.3: Características de todos los elementos de la Antena Davis Vantage pro2.  
Fuente:<http://www.sistemasgps.com.mx/davisvantagepro2.html>



Figura 1.1: Equipo Davis Vantage Pro 2.

Fuente:<http://www.alphaomega-electronics.com/davis-vantage-pro2-inalambrica-p-776.html>

## Sistema “UPS”

### Descripción de los equipos Davis Vantage Pro2

#### Anemómetro

Es un aparato meteorológico que se utiliza para predecir el clima y como también el viento, los componentes están tan bien fabricados que puede llegar a soportar vientos con tan fuerza como de un huracán pero también llega a ser muy sensible a cualquier brisa.

Este equipo está probado para soportar vientos de hasta 290 km/h, esta parte del equipo se puede instalar por separado o directamente con todo el resto de componentes es una pieza fundamental en lo que es la aviación para naves más pesadas que el viento.



Figura 1.2: Anemómetro.

Fuente:<http://www.directindustry.es/prod/ahlborn/anemometros-cazoletas-67890-581126.html>

### Pluviómetro

Es un aparato que sirve para recoger y medir las cantidades de precipitación caída, es decir que la lluvia se mide mediante un método de la caída del agua en milímetros de altura en una zona horizontal que no tenga ningún tipo de filtraciones o fugas.

Está conformado por una cierta cantidad de vasos cilíndricos, todos estos vasos se juntan para al final llegar a una sola salida.



Figura 1.3: Pluviómetro.

Fuente:<http://www.sistemasgps.com.mx/davisvantagepro2.html>

### Sensor de radiación Solar

Este dispositivo mide la radiación solar, los elementos están cuidadosamente diseñados para una respuesta precisa al coseno del ángulo de la inclinación de los rayos solares es decir el difusor

y el montaje. Dentro del sensor se haya colocado una foto diodo de silicio el cual proporciona un buen ajuste con el espectro solar. El montaje de dos piezas minimiza el calentamiento por radiación, permite el enfriamiento por convección del sensor, y previene que el agua o el polvo queden atrapados dentro.



Figura 1.4: Sensor de Radiación Solar.

Fuente:<http://www.msmcomunicaciones.com/index14.htm>

#### **Sensor UV(Ultravioleta).**

Mide la porción del espectro ultravioleta que causa quemaduras en la piel. Le permite mostrar el índice ultravioleta, el índice de dosis, y la dosis diaria y acumulada. Un filtro de varias capas provee una respuesta espectral muy aproximada al espectro de acción de eritema. Un difusor provee excelente respuesta de coseno. El gabinete de dos piezas minimiza el calentamiento por radiación, permite el enfriamiento por convección del sensor e impide que queden agua o polvo atrapados.



Figura 1.5: Sensor UV(Ultravioleta).

Fuente:<http://www.msmcomunicaciones.com/index14.htm>

#### **Sensores de Temperatura y Humedad**

Los sensores utilizados dentro de esta estación meteorológica son perfectos para la temperatura del aire y cualquier líquido, los datos obtenidos se pueden visualizar en tiempo real en la consola Vintage pro2 pero si añadimos a un pc podemos visualizar de mejor manera en la pantalla con un datalogger.

Está conformada por una sonda multipropósito y un termistor de alta precisión ambos ubicados en el interior de la carcasa metálica o pluviómetro anteriormente ya descrito.



Figura 1.6: Sensor de temperatura y humedad.  
Fuente:<http://www.msmcomunicaciones.com/index14.htm>

### Consola-Receptor

Tiene la función de recibir teleméricamente los datos que se obtienen en tiempo real para así procesarlos en el datalogger, su diseño es muy moderno posee una pantalla LCD retro iluminada es decir que en la oscuridad los datos siguen siendo visibles, con un teclado indicativo de todos los factores climáticos.

La consola puede recibir datos de diferentes estaciones a la vez con un máximo de 8 estaciones, toda la información se almacena en el Weatherlink.



Figura 1.7: Consola Vantage Pro 2.  
Fuente:<http://www.sistemasgps.com.mx/davisvantagepro2.html>

## 1.2. ESTIMACIÓN DEL NIVEL DE RADIACIÓN SOLAR.

En nuestro país según los estudios del instituto EXA luego de varios años se estima que la radiación solar global del Ecuador llego a tener registros superiores a 15 UVI algo que nunca ha llegado a darse, estos datos son muy superiores a países de Europa y de Latinoamérica las variaciones van entre un 20 % a un 40 % en todos los lugares.

Tenemos una diversidad de situaciones topográficas y atmosféricas a lo largo de todo el suelo nacional como sus latitudes son muy grandes es decir desde el territorio amazónico hasta lo que

sería las Islas Galápagos, de esta manera la radiación solar tiene un rango amplio de estimaciones altas y bajas centrándose la mayor radiación en la zona austral del país específicamente cuenca, entonces como no se puede tener valores constantes a lo largo del día esto genera problemas para los estudios con fines de creación e instalación de centrales solares o el tratar de generar energía eléctrica a base de la radiación solar es decir que se tendría niveles de potencia variables.

Con los datos ya obtenidos de la radiación, temperatura podemos estimar la característica energética del lugar donde se va realizar el estudio, estos valores deben tener similitud a los valores publicados por el CONELEC (Consejo Nacional de Electricidad).

En la figura 1.8 podemos observar cómo está la radiación solar en la provincia del Azuay, nuestra zona de estudio que sería la ciudad de Cuenca obtiene  $400 \text{ W/m}^2$  este valor nos servirá como nuestra referencia para que al momento de realizar el cálculo matemático no de valores erróneos.

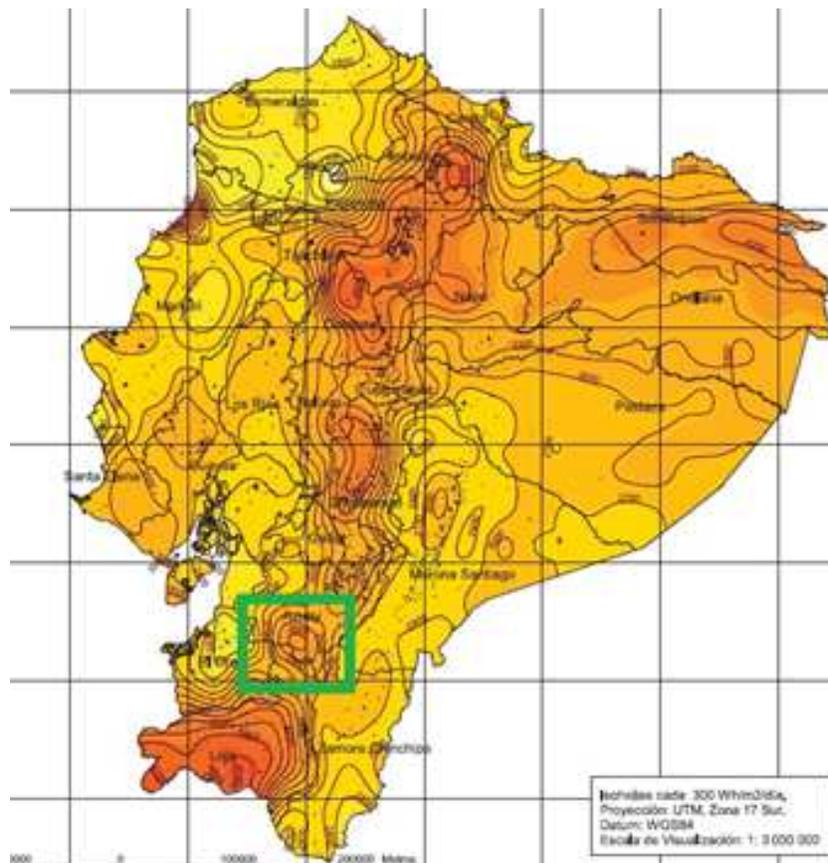


Figura 1.8: Zona De Estudio, Radiación Solar En El Ecuador.  
Fuente:<http://www.conelec.gob.ec>

| TEMPERATURA AÑO 2013 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| HORA TEMP/MES        | ENE   | FEB   | MAR   | ABR   | MAY   | JUN   | JUL   | AGOS  | SEPT  | OCT   | NOV   | DIC   |
| 0:00                 | 13.08 | 12.58 | 12.63 | 13.80 | 13.82 | 13.53 | 12.57 | 12.39 | 12.62 | 13.11 | 13.02 | 14.26 |
| 1:00                 | 12.85 | 12.16 | 12.00 | 13.50 | 13.54 | 13.17 | 12.19 | 12.10 | 11.98 | 12.90 | 12.56 | 13.93 |
| 2:00                 | 12.61 | 11.78 | 11.64 | 13.04 | 13.25 | 12.72 | 11.80 | 11.76 | 11.61 | 12.66 | 12.19 | 13.47 |
| 3:00                 | 12.34 | 11.33 | 11.26 | 12.75 | 13.04 | 12.26 | 11.34 | 11.43 | 11.22 | 12.38 | 11.76 | 13.17 |
| 4:00                 | 12.03 | 10.95 | 10.93 | 12.52 | 12.76 | 12.02 | 11.01 | 11.14 | 10.87 | 12.10 | 11.34 | 12.95 |
| 5:00                 | 11.90 | 10.83 | 10.59 | 12.15 | 12.60 | 11.74 | 10.89 | 10.91 | 10.53 | 11.97 | 10.96 | 12.55 |
| 6:00                 | 11.75 | 10.51 | 10.40 | 11.97 | 12.40 | 11.49 | 10.57 | 10.74 | 10.34 | 11.81 | 10.72 | 12.36 |
| 7:00                 | 12.44 | 10.84 | 11.32 | 12.78 | 12.56 | 11.79 | 11.05 | 11.05 | 11.28 | 12.51 | 12.30 | 13.19 |
| 8:00                 | 14.48 | 12.63 | 13.84 | 15.52 | 14.55 | 13.53 | 12.50 | 12.69 | 13.76 | 14.78 | 15.85 | 16.03 |
| 9:00                 | 17.44 | 15.45 | 16.86 | 19.26 | 17.60 | 15.63 | 15.16 | 15.22 | 16.69 | 17.83 | 19.69 | 20.09 |
| 10:00                | 19.53 | 16.10 | 17.87 | 21.10 | 18.03 | 16.83 | 15.86 | 16.43 | 17.74 | 19.95 | 22.07 | 22.11 |
| 11:00                | 20.22 | 16.92 | 18.86 | 20.51 | 19.96 | 18.26 | 16.77 | 17.96 | 18.70 | 20.64 | 22.13 | 21.34 |
| 12:00                | 21.24 | 17.78 | 19.78 | 21.76 | 20.90 | 19.41 | 17.61 | 18.51 | 19.68 | 21.68 | 23.86 | 22.62 |
| 13:00                | 22.03 | 18.45 | 20.11 | 22.55 | 21.59 | 20.35 | 18.21 | 19.24 | 19.97 | 22.48 | 24.90 | 23.29 |
| 14:00                | 21.91 | 18.68 | 19.95 | 22.57 | 22.25 | 20.65 | 18.51 | 19.53 | 19.94 | 22.08 | 24.60 | 23.44 |
| 15:00                | 21.26 | 18.36 | 19.95 | 22.08 | 21.39 | 20.58 | 18.22 | 19.33 | 19.97 | 21.26 | 22.47 | 22.88 |
| 16:00                | 19.41 | 18.26 | 19.21 | 20.88 | 21.18 | 20.50 | 18.11 | 19.02 | 19.21 | 19.28 | 21.27 | 21.83 |
| 17:00                | 17.89 | 17.58 | 18.50 | 18.97 | 20.22 | 19.20 | 17.43 | 17.64 | 18.50 | 17.87 | 19.34 | 19.71 |
| 18:00                | 16.75 | 16.39 | 17.22 | 17.20 | 17.34 | 17.66 | 16.26 | 16.08 | 17.27 | 16.65 | 17.35 | 17.86 |
| 19:00                | 15.48 | 15.03 | 15.99 | 15.90 | 15.97 | 16.25 | 14.97 | 15.08 | 16.08 | 15.37 | 15.78 | 16.43 |
| 20:00                | 14.75 | 14.36 | 15.02 | 15.09 | 15.37 | 15.40 | 14.31 | 14.26 | 15.09 | 14.65 | 15.10 | 15.58 |
| 21:00                | 14.25 | 13.91 | 14.28 | 14.59 | 14.85 | 14.85 | 13.90 | 13.71 | 14.35 | 14.17 | 14.53 | 15.08 |
| 22:00                | 13.87 | 13.46 | 13.73 | 14.25 | 14.51 | 14.43 | 13.42 | 13.31 | 13.80 | 13.82 | 13.96 | 14.76 |
| 23:00                | 13.48 | 13.11 | 13.10 | 13.94 | 14.13 | 13.89 | 13.09 | 12.85 | 13.16 | 13.48 | 13.56 | 14.45 |

Cuadro 1.4: Temperatura Anual Por Hora Diaria Año 2013

### 1.3. ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS.

En las siguientes tablas se apreciarán los datos obtenidos en los meses del año 2013 y principios del 2014 de radiación, temperatura y rayos UV, se tiene valores promediados en meses buenos, malos y regulares hablando en el tema meteorológico de esta manera los datos serán mas valederos.

La radiación solar puede estar afectada en el transcurso de los días de cada mes por condiciones meteorológicas como de días nublados y lluviosos como también de tiempos claros y secos, estas condiciones son muy importantes ya que al momento de modelar y obtener un cálculo preciso para la potencia de cada panel puede afectar en la estimación correcta.

Las tablas están detalladas con valores por un horario semanal y lo dividiremos mensualmente por los 15 meses de obtención de datos

**Temperatura Anual Año 2013 datos obtenidos por la “UPS”****Radiación Solar Anual Año 2013 “UPS”**

| RADIACION SOLAR AÑO 2013 W/m <sup>2</sup> |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| HORA SOLAR/MES                            | ENE   | FEB   | MAR   | ABR   | MAY   | JUN   | JUL   | AGOS  | SEPT  | OCT   | NOV   | DIC   |
| 0:00                                      | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   |
| 1:00                                      | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   |
| 2:00                                      | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   |
| 3:00                                      | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   |
| 4:00                                      | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   |
| 5:00                                      | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   |
| 6:00                                      | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   |
| 7:00                                      | 43,3  | 9,1   | 34,0  | 41,4  | 16,7  | 15,6  | 9,1   | 19,4  | 33,6  | 44,8  | 62,2  | 40,6  |
| 8:00                                      | 148,7 | 93,9  | 151,4 | 162,0 | 128,6 | 102,4 | 89,3  | 119,1 | 149,2 | 159,9 | 215,8 | 160,4 |
| 9:00                                      | 322,2 | 256,6 | 316,0 | 318,2 | 291,6 | 227,8 | 249,6 | 268,3 | 307,8 | 343,5 | 431,6 | 318,4 |
| 10:00                                     | 526,2 | 382,9 | 483,5 | 508,7 | 404,5 | 399,0 | 375,5 | 385,0 | 473,1 | 556,5 | 656,8 | 512,7 |
| 11:00                                     | 614,3 | 442,9 | 542,6 | 621,1 | 577,6 | 489,6 | 430,3 | 491,8 | 528,9 | 653,8 | 749,0 | 626,6 |
| 12:00                                     | 642,2 | 478,3 | 599,1 | 652,7 | 545,0 | 566,4 | 472,8 | 446,8 | 587,6 | 681,9 | 796,4 | 660,3 |
| 13:00                                     | 615,9 | 493,5 | 533,4 | 600,4 | 559,8 | 564,9 | 476,3 | 462,0 | 520,7 | 648,7 | 722,1 | 610,0 |
| 14:00                                     | 502,7 | 421,9 | 484,5 | 544,2 | 566,8 | 553,3 | 427,1 | 456,5 | 490,7 | 482,8 | 545,7 | 553,8 |
| 15:00                                     | 387,1 | 340,5 | 446,1 | 453,0 | 389,7 | 461,8 | 347,3 | 372,0 | 442,9 | 375,7 | 392,9 | 462,3 |
| 16:00                                     | 208,4 | 300,9 | 292,2 | 385,5 | 303,8 | 345,5 | 292,1 | 283,5 | 290,5 | 191,2 | 241,9 | 391,0 |
| 17:00                                     | 114,3 | 189,8 | 157,3 | 162,3 | 189,1 | 194,8 | 184,4 | 144,2 | 158,0 | 111,5 | 145,7 | 166,1 |
| 18:00                                     | 19,7  | 44,3  | 39,0  | 53,6  | 37,4  | 45,2  | 43,1  | 38,6  | 39,4  | 18,8  | 36,5  | 54,3  |
| 19:00                                     | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   |
| 20:00                                     | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   |
| 21:00                                     | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   |
| 22:00                                     | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   |
| 23:00                                     | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0   |

Cuadro 1.5: Radiación Solar Mensual y Anal por Hora Diaria Año 2013.

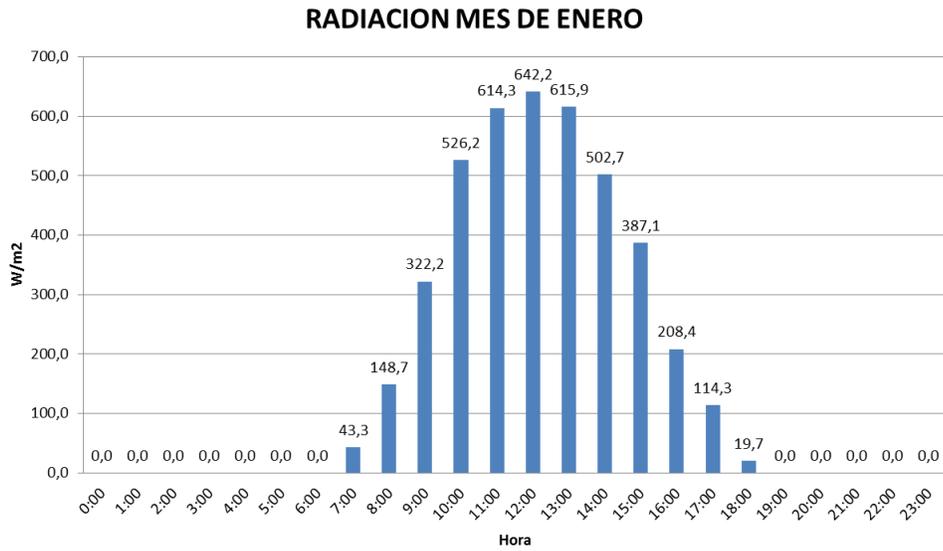
**Radiación Solar mensual y anual mes Año 2013**

Lo primordial es haber contado con datos de todos los meses del año 2013, con esto se analizó los valores pico y los valores más bajos de todo el año, podemos observar en la tabla 17. En la tabla se detalla todos los datos completos que se dieron durante todo el año los valores resultan ser confiables por no existir una gran diferencia en datos recopilados entre meses. Podemos decir que un dato promedio de radiación solar en un día del año es de 489 W/m<sup>2</sup> y con un mínimo promedio de 40.8 W/m<sup>2</sup>, con estos datos podemos asimilar que el año 2013 tiene una radiación solar estándar y justificada para una adecuada implementación de paneles solares.

**Radiación Solar diaria incidente por mes Año 2013**

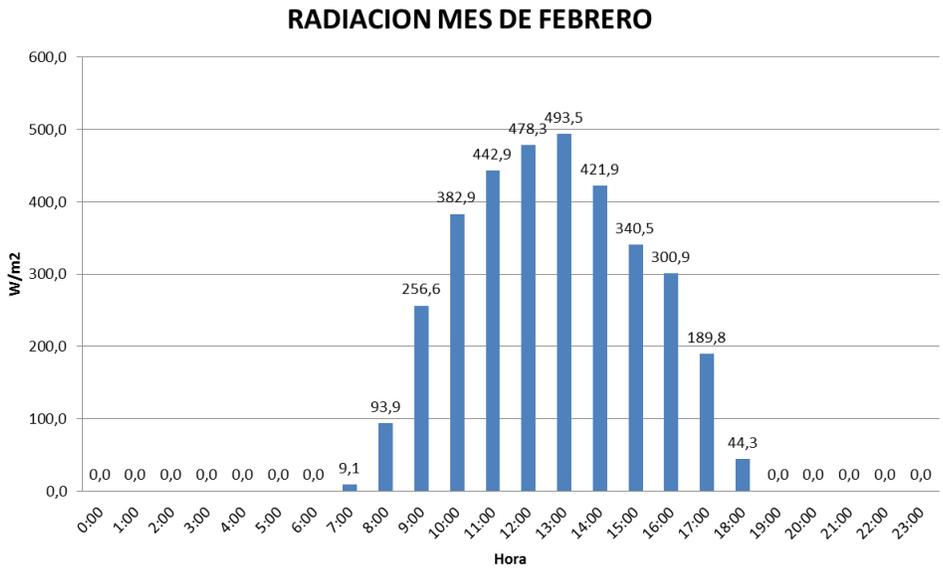
Dentro de la producción de energía eléctrica la radiación solar toma un papel muy cable, por tanto hemos determinado un estudio mensual de cada hora critica según su potencia estimada por los datos recolectados, de esta manera podemos observar su comportamiento diario y observar las horas donde más radiación ha recibido.

- Perfil Mes De Enero 2013



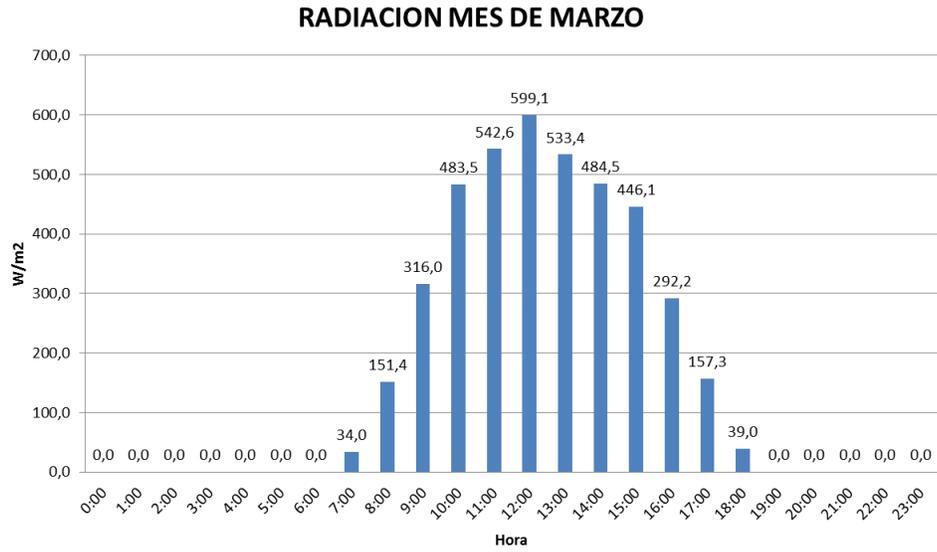
Cuadro 1.6: Radiación Mensual/hora Enero 2013

- Perfil Mes De Febrero 2013



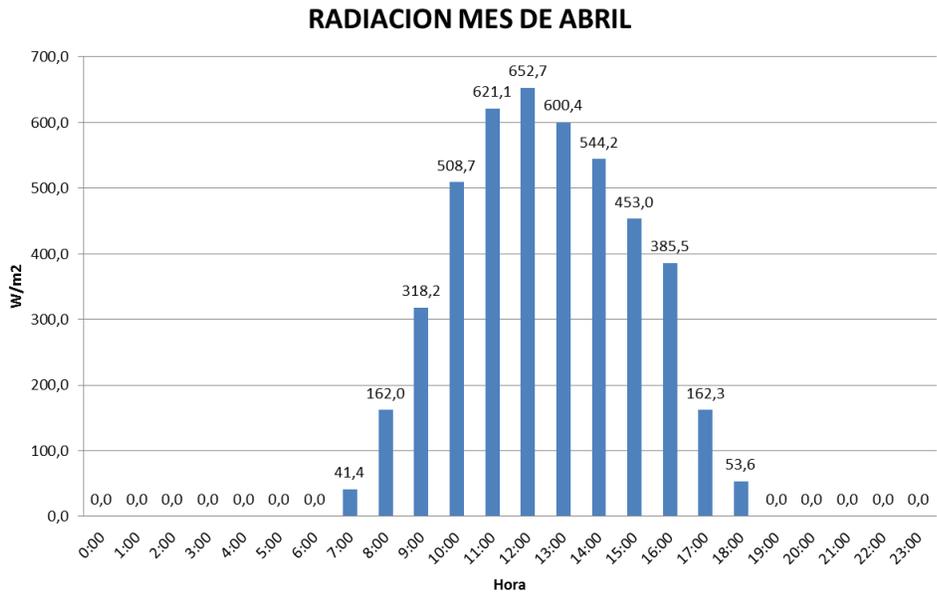
Cuadro 1.7: Radiación Mensual/hora Febrero 2013

- Perfil Mes De Marzo 2013



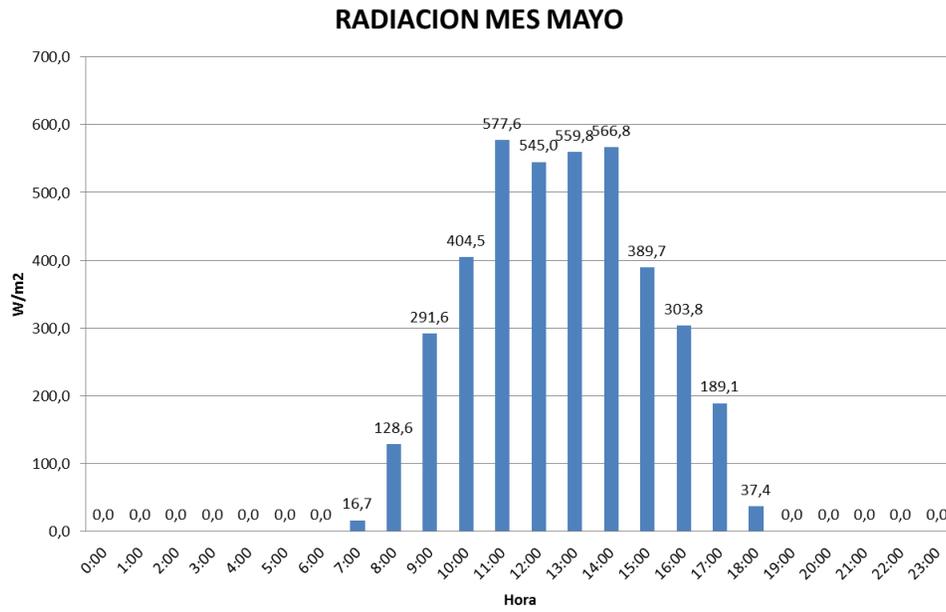
Cuadro 1.8: Radiación Mensual/hora Marzo 2013

- Perfil Mes De Abril 2013



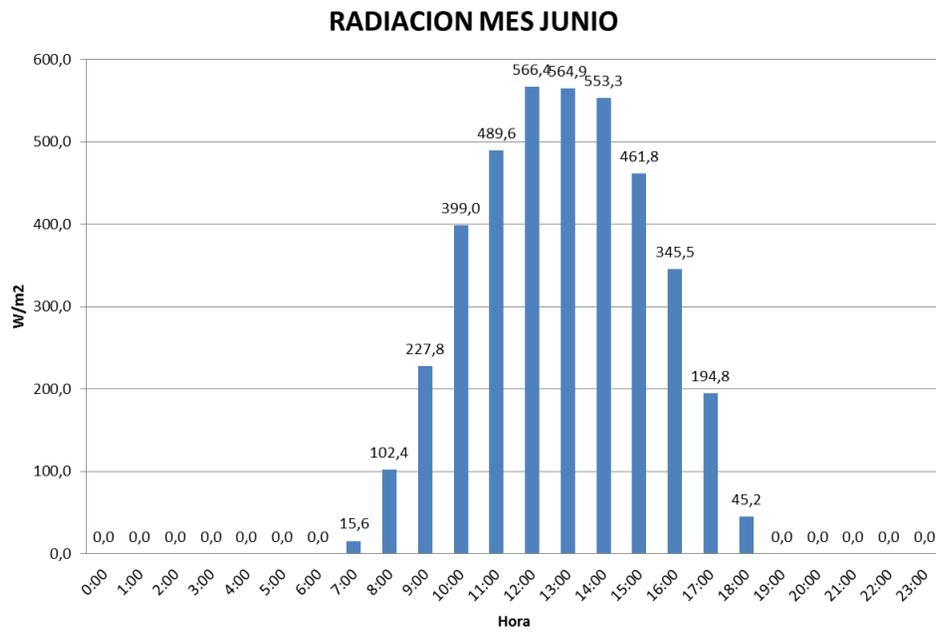
Cuadro 1.9: Radiación Mensual/hora Abril 2013

- Perfil Mes De Mayo 2013



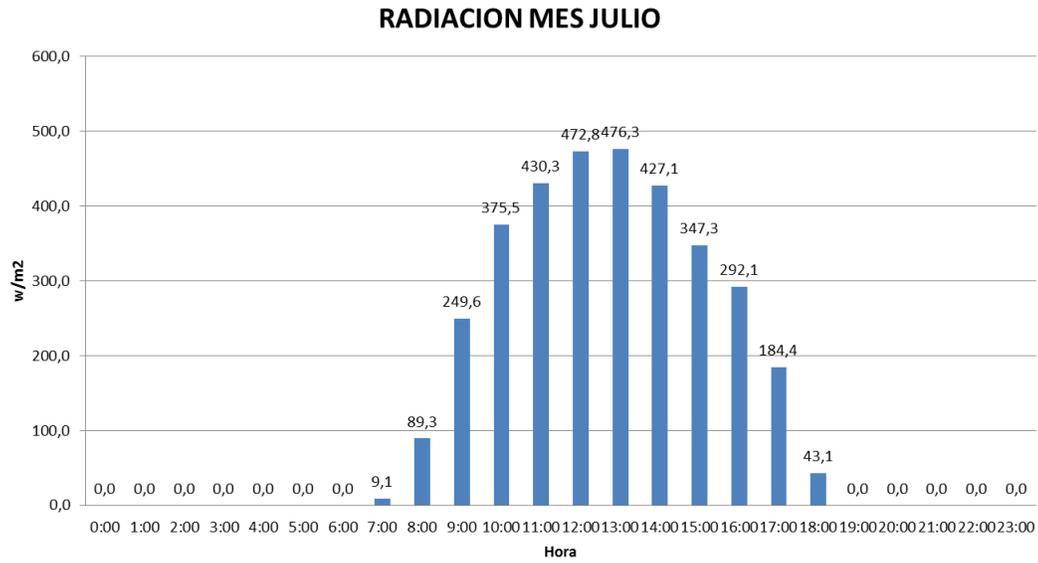
Cuadro 1.10: Radiación Mensual/hora Mayo 2013

- Perfil Mes De Junio 2013



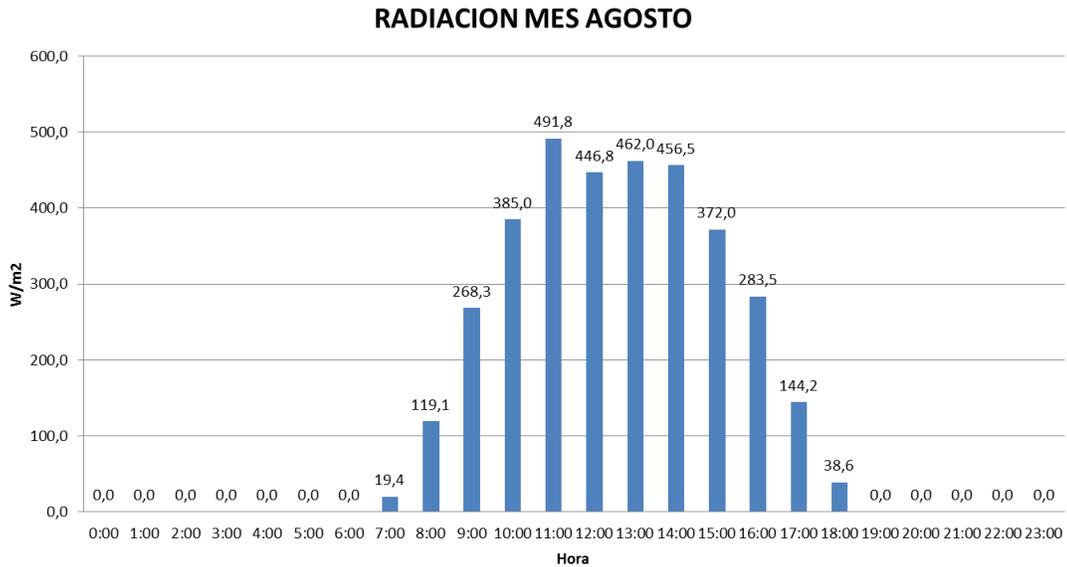
Cuadro 1.11: Radiación Mensual/hora Junio 2013

- Perfil Mes De Julio 2013



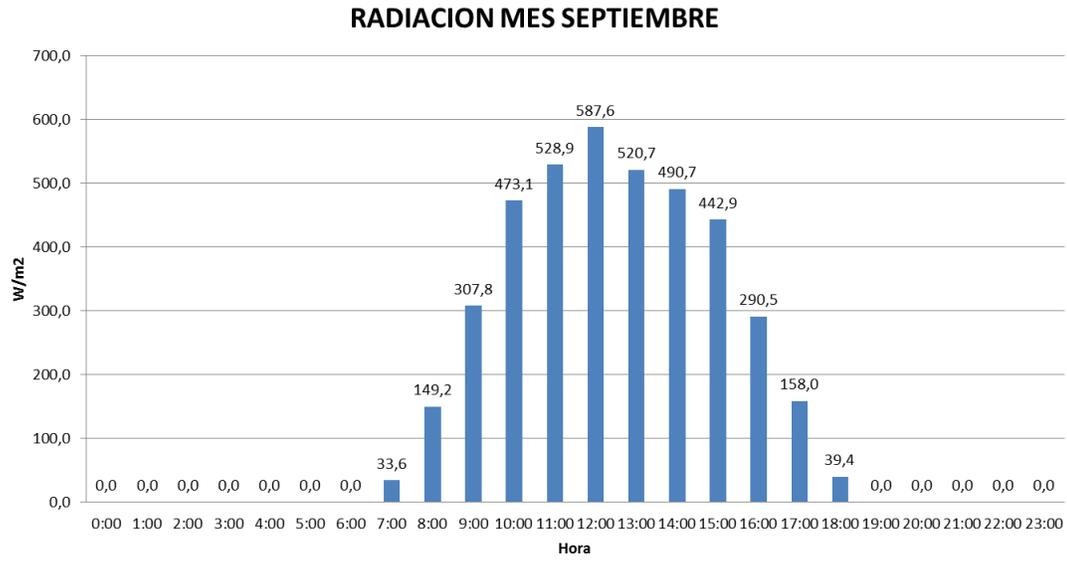
Cuadro 1.12: Radiación Mensual/hora Julio 2013

- Perfil Mes De Agosto 2013



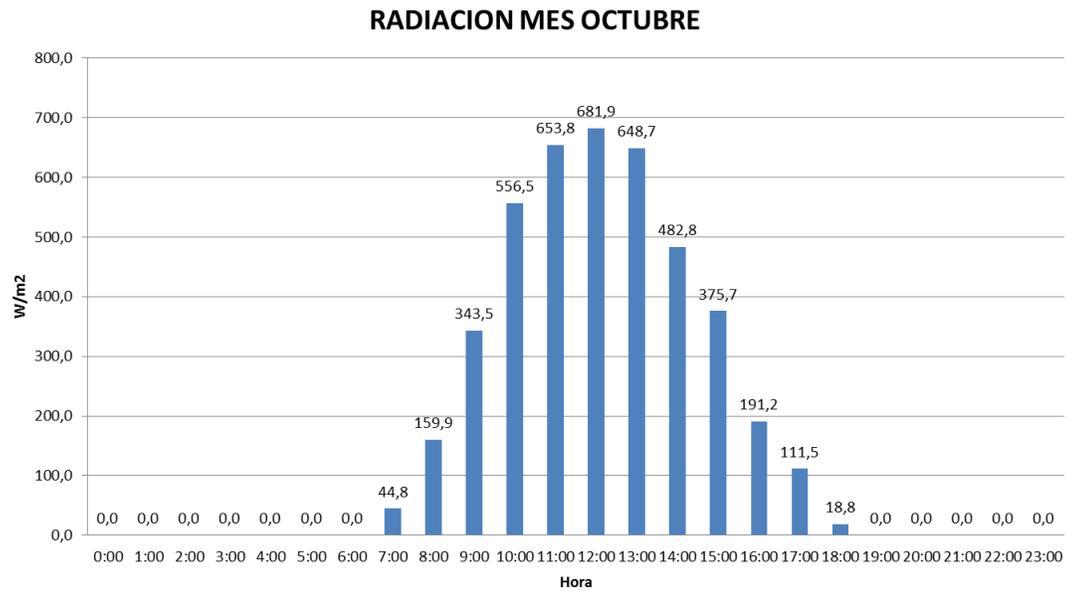
Cuadro 1.13: Radiación Mensual/hora Agosto 2013

- Perfil Mes De Septiembre 2013



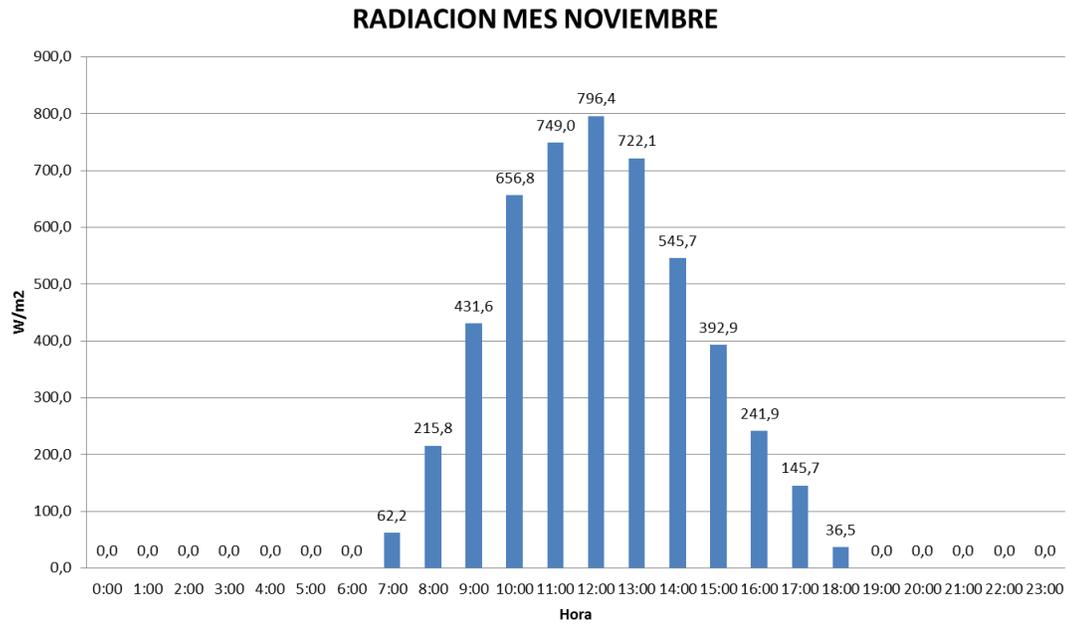
Cuadro 1.14: Radiación Mensual/hora Septiembre 2013

- Perfil Mes De Octubre 2013



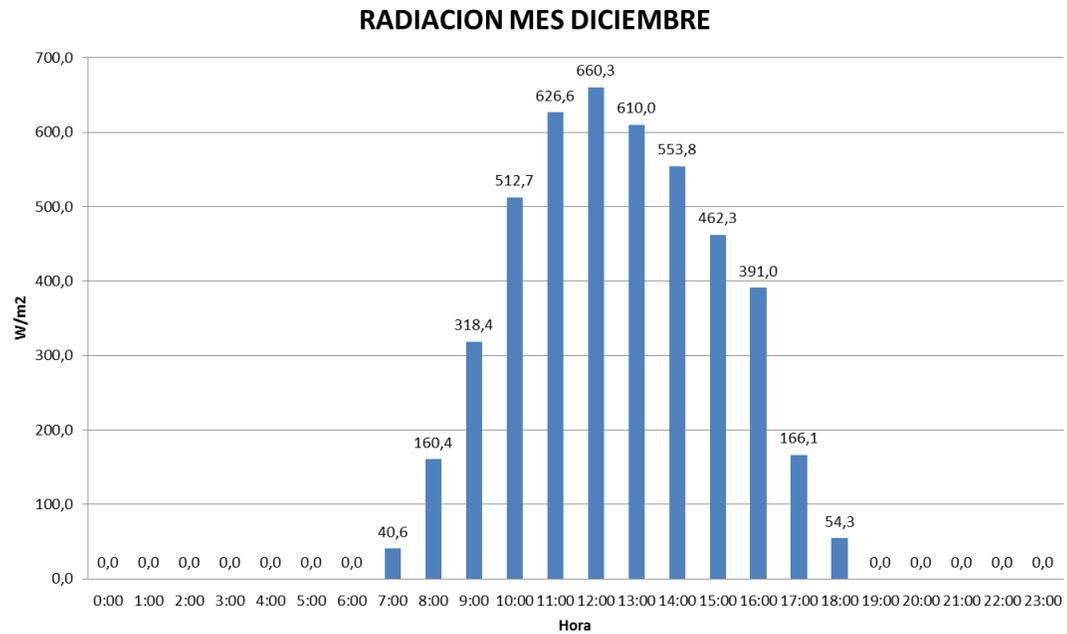
Cuadro 1.15: Radiación Mensual/hora Octubre 2013

- Perfil Mes De Noviembre 2013



Cuadro 1.16: Radiación Mensual/hora Noviembre 2013

- Perfil Mes De Diciembre 2013



Cuadro 1.17: Radiación Mensual/hora Diciembre 2013

**Radiación Solar Mensual y Anual Año 2014**

Durante el año 2014 los únicos datos obtenidos son del mes de Enero, Febrero y Marzo de 2 diferentes estaciones meteorológicas, a diferencia del año 2013 cuyos valores son estimados por una sola antena de la UPS (Universidad Politécnica Salesiana), de esta manera hemos desarrollado un análisis individual de cada estación como es la UPS y el instituto UPS-INER así podemos hacer una comparación de cada valor mediante su fecha/hora y determinar si tienen una similitud y que los valores a utilizar son los correctos.

Las primeras tablas pertenecen a la antena ubicada en la Universidad Politécnica Salesiana sector el Vecino y que ha estado recibiendo datos desde el año 2013, pertenece exclusivamente a la universidad, los datos se actualizan cada 15 minutos a diferencia del instituto UPS-INER que se los actualiza cada hora del día.

| TEMPERATURA AÑO 2014 |       |       |       |
|----------------------|-------|-------|-------|
| HORA TEMP/MES        | ENERO | FEB   | MAR   |
| 0:00                 | 14.3  | 14.52 | 13.83 |
| 1:00                 | 13.9  | 14.10 | 13.64 |
| 2:00                 | 13.6  | 13.71 | 13.29 |
| 3:00                 | 13.3  | 13.58 | 13.10 |
| 4:00                 | 13.2  | 13.56 | 12.94 |
| 5:00                 | 12.9  | 13.29 | 12.69 |
| 6:00                 | 12.8  | 13.06 | 12.51 |
| 7:00                 | 13.2  | 13.16 | 12.50 |
| 8:00                 | 15.2  | 15.15 | 13.75 |
| 9:00                 | 18.6  | 19.35 | 16.66 |
| 10:00                | 20.3  | 20.10 | 18.68 |
| 11:00                | 20.5  | 20.87 | 19.35 |
| 12:00                | 21.7  | 21.37 | 21.04 |
| 13:00                | 22.7  | 22.34 | 20.93 |
| 14:00                | 22.7  | 22.64 | 20.85 |
| 15:00                | 22.0  | 22.83 | 19.49 |
| 16:00                | 20.6  | 22.01 | 18.09 |
| 17:00                | 19.0  | 20.84 | 16.95 |
| 18:00                | 17.8  | 19.10 | 15.93 |
| 19:00                | 16.7  | 17.49 | 15.00 |
| 20:00                | 15.9  | 16.40 | 14.66 |
| 21:00                | 15.4  | 15.66 | 14.37 |
| 22:00                | 15.0  | 15.08 | 14.16 |
| 23:00                | 14.7  | 14.73 | 13.88 |

Cuadro 1.18: Temperatura Anual Por Hora Diaria Año 2014 “UPS”

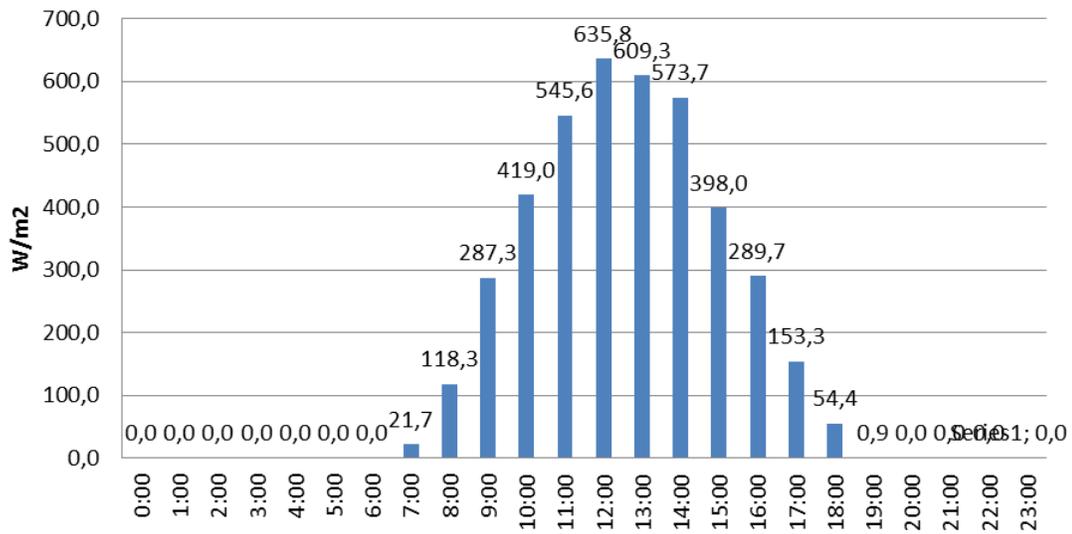
## Temperatura Anual Año 2014 “UPS”

| RADIACION SOLAR AÑO 2014 |       |       |       |
|--------------------------|-------|-------|-------|
| HORA SOLAR/MES           | ENERO | FEB   | MAR   |
| 0:00                     | 0.0   | 0.0   | 0.0   |
| 1:00                     | 0.0   | 0.0   | 0.0   |
| 2:00                     | 0.0   | 0.0   | 0.0   |
| 3:00                     | 0.0   | 0.0   | 0.0   |
| 4:00                     | 0.0   | 0.0   | 0.0   |
| 5:00                     | 0.0   | 0.0   | 0.0   |
| 6:00                     | 0.0   | 0.0   | 0.0   |
| 7:00                     | 21.7  | 18.0  | 12.4  |
| 8:00                     | 118.3 | 119.5 | 93.9  |
| 9:00                     | 287.3 | 333.4 | 258.6 |
| 10:00                    | 419.0 | 467.9 | 444.8 |
| 11:00                    | 545.6 | 597.1 | 589.5 |
| 12:00                    | 635.8 | 583.0 | 745.8 |
| 13:00                    | 609.3 | 633.7 | 631.8 |
| 14:00                    | 573.7 | 633.3 | 551.7 |
| 15:00                    | 398.0 | 559.4 | 325.1 |
| 16:00                    | 289.7 | 391.5 | 216.1 |
| 17:00                    | 153.3 | 266.8 | 131.2 |
| 18:00                    | 54.4  | 107.9 | 38.4  |
| 19:00                    | 0.9   | 4.3   | 0.5   |
| 20:00                    | 0.0   | 0.0   | 0.0   |
| 21:00                    | 0.0   | 0.0   | 0.0   |
| 22:00                    | 0.0   | 0.0   | 0.0   |
| 23:00                    | 0.0   | 0.0   | 0.0   |

Cuadro 1.19: Radiación Solar Mensual Y Anual Por Hora Diaria Año 2014 “UPS”

Radiación Solar Anual Año 2014 “UPS” - Perfil Mes De Enero 2014 UPS

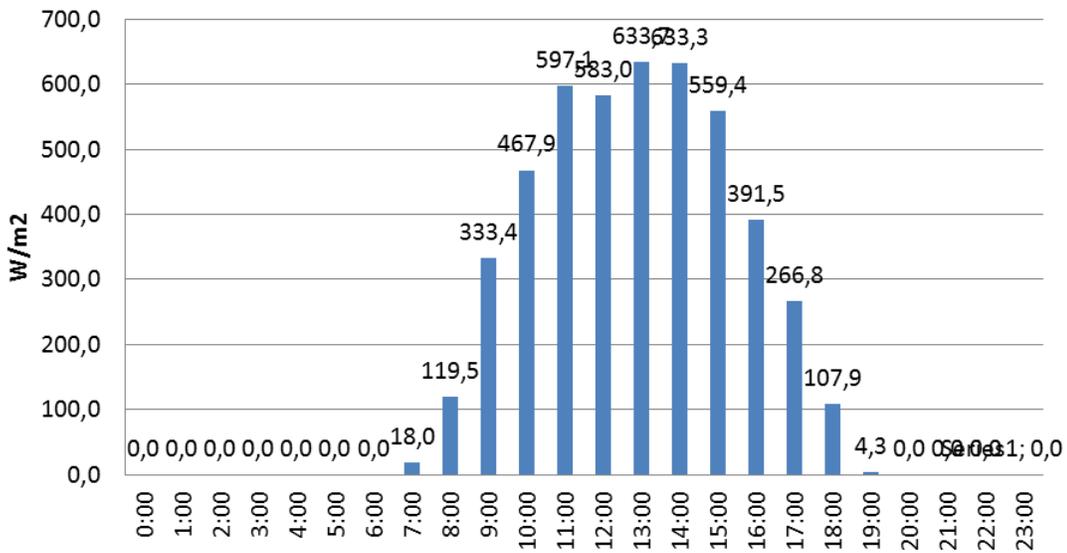
**RADIACION MES DE ENERO 2014 UPS**



Cuadro 1.20: Radiación Solar Diaria Enero 2014

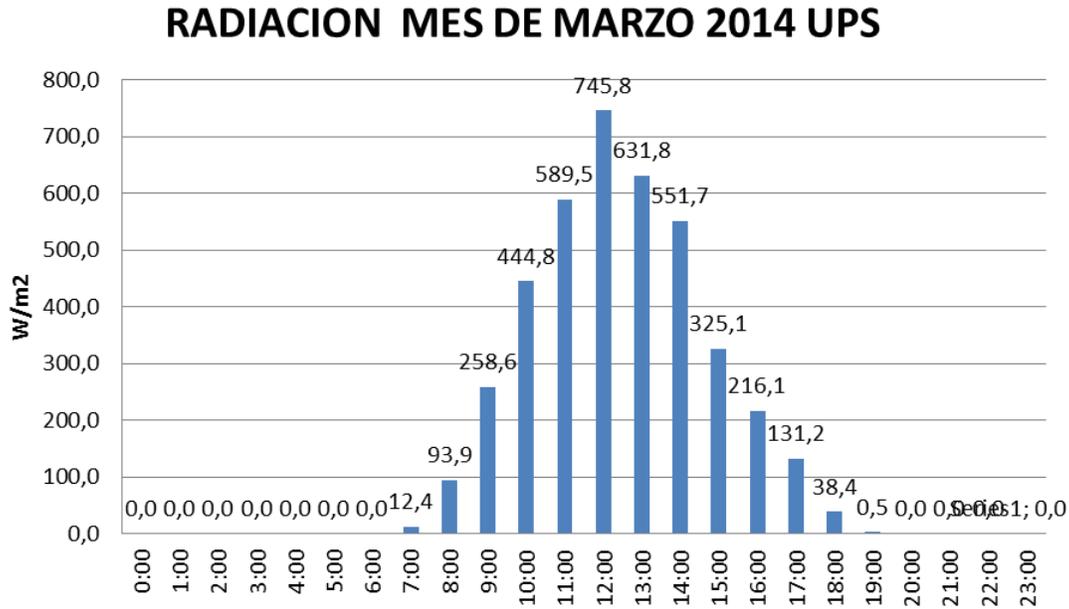
- Perfil Mes De Febrero 2014 UPS

**RADIACION MES DE FEBRERO 2014 UPS**



Cuadro 1.21: Radiación Solar Diaria Febrero 2014

- Perfil Mes De Marzo 2014 UPS



Cuadro 1.22: Radiación Solar Diaria Marzo 2014

Los datos obtenidos por el instituto UPS-INER se desarrollaron de 2 antenas las cuales están ubicadas: la primera en el Colegio Técnico Salesiano sector Yanuncay, la segunda antena ubicada en la Universidad Politécnica Salesiana sector el Vecino, se ha tomado los datos de las 2 antenas para sacar una tabla promedio en base de que su estructura, posición y ubicación dentro de la misma ciudad y un rango no mayor a los 5 km pertenecen a una misma base meteorológica. Los datos si comparamos las 2 antenas son casi semejantes difieren en un mínimo rango es decir de 1% lo cual nos permitió verificar de mejor manera los datos de radiación solar y temperatura.

## Temperatura Anual Año 2014 “INER”

| TEMPERATURA AÑO 2014 |       |       |       |
|----------------------|-------|-------|-------|
| HORA<br>TEMP/MES     | ENERO | FEB   | MAR   |
| 0:00                 | 13.6  | 14.08 | 14.02 |
| 1:00                 | 13.3  | 13.78 | 13.80 |
| 2:00                 | 13.0  | 13.46 | 13.50 |
| 3:00                 | 12.8  | 13.17 | 13.28 |
| 4:00                 | 12.6  | 13.06 | 13.08 |
| 5:00                 | 12.5  | 12.92 | 12.91 |
| 6:00                 | 12.4  | 12.71 | 12.68 |
| 7:00                 | 12.4  | 12.66 | 12.54 |
| 8:00                 | 13.2  | 13.37 | 13.05 |
| 9:00                 | 14.6  | 15.05 | 14.43 |
| 10:00                | 16.2  | 16.83 | 16.15 |
| 11:00                | 17.6  | 18.28 | 17.81 |
| 12:00                | 18.9  | 19.22 | 19.36 |
| 13:00                | 20.1  | 20.04 | 20.04 |
| 14:00                | 20.6  | 20.43 | 19.98 |
| 15:00                | 20.1  | 20.83 | 18.95 |
| 16:00                | 18.9  | 20.58 | 17.56 |
| 17:00                | 17.7  | 19.66 | 16.54 |
| 18:00                | 16.8  | 18.35 | 15.71 |
| 19:00                | 16.0  | 16.88 | 15.07 |
| 20:00                | 15.3  | 15.91 | 14.73 |
| 21:00                | 14.8  | 15.22 | 14.50 |
| 22:00                | 14.4  | 14.67 | 14.27 |
| 23:00                | 14.0  | 14.33 | 14.11 |

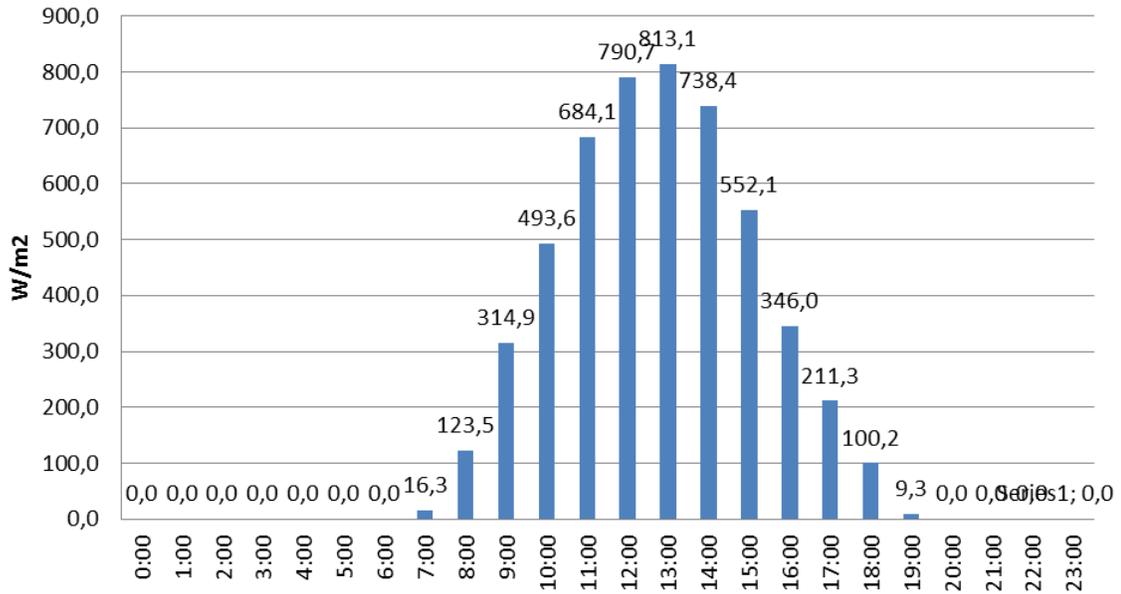
Cuadro 1.23: Temperatura Anual por hora Diaria 2014 “INER”

| RADIACION SOLAR AÑO 2014 |       |       |       |
|--------------------------|-------|-------|-------|
| HORA<br>SOLAR/MES        | ENERO | FEB   | MAR   |
| 0:00                     | 0.0   | 0.0   | 0.0   |
| 1:00                     | 0.0   | 0.0   | 0.0   |
| 2:00                     | 0.0   | 0.0   | 0.0   |
| 3:00                     | 0.0   | 0.0   | 0.0   |
| 4:00                     | 0.0   | 0.0   | 0.0   |
| 5:00                     | 0.0   | 0.0   | 0.0   |
| 6:00                     | 0.0   | 0.0   | 0.0   |
| 7:00                     | 16.3  | 12.3  | 12.0  |
| 8:00                     | 123.5 | 110.4 | 91.3  |
| 9:00                     | 314.9 | 323.2 | 275.1 |
| 10:00                    | 493.6 | 503.9 | 495.0 |
| 11:00                    | 684.1 | 605.9 | 671.8 |
| 12:00                    | 790.7 | 614.3 | 802.1 |
| 13:00                    | 813.1 | 677.1 | 702.6 |
| 14:00                    | 738.4 | 624.6 | 643.9 |
| 15:00                    | 552.1 | 613.3 | 438.3 |
| 16:00                    | 346.0 | 461.7 | 253.8 |
| 17:00                    | 211.3 | 310.6 | 142.5 |
| 18:00                    | 100.2 | 144.0 | 52.5  |
| 19:00                    | 9.3   | 15.9  | 6.0   |
| 20:00                    | 0.0   | 0.0   | 0.0   |
| 21:00                    | 0.0   | 0.0   | 0.0   |
| 22:00                    | 0.0   | 0.0   | 0.0   |
| 23:00                    | 0.0   | 0.0   | 0.0   |

Cuadro 1.24: Radiación Solar Mensual Y Anual Por Hora Diaria Año 2014 “INER”

**Radiación Solar Anual Año 2014 “INER”** - Perfil Mes De Enero 2014 INER

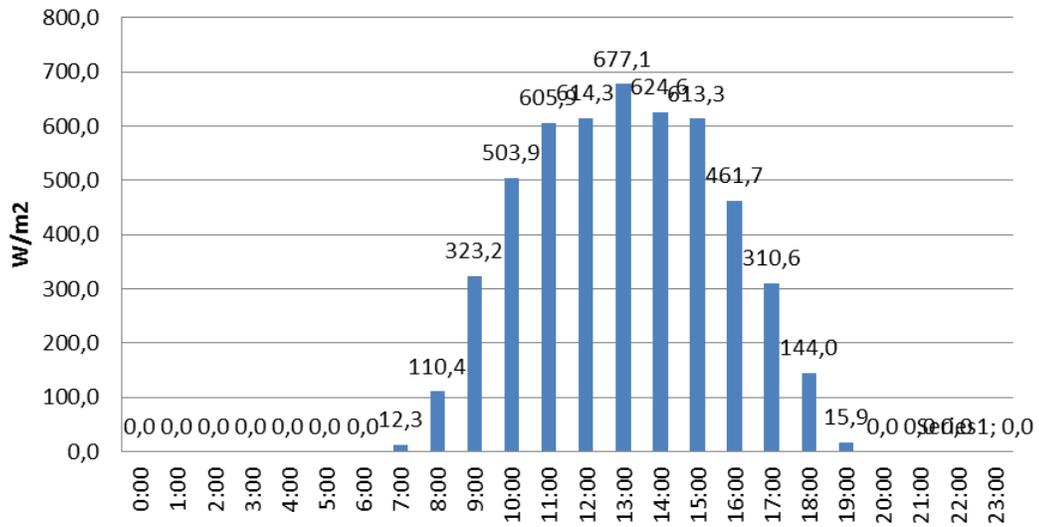
### RADIACION MES ENERO 2014 INER



Cuadro 1.25: Radiación Solar Diaria Enero 2014

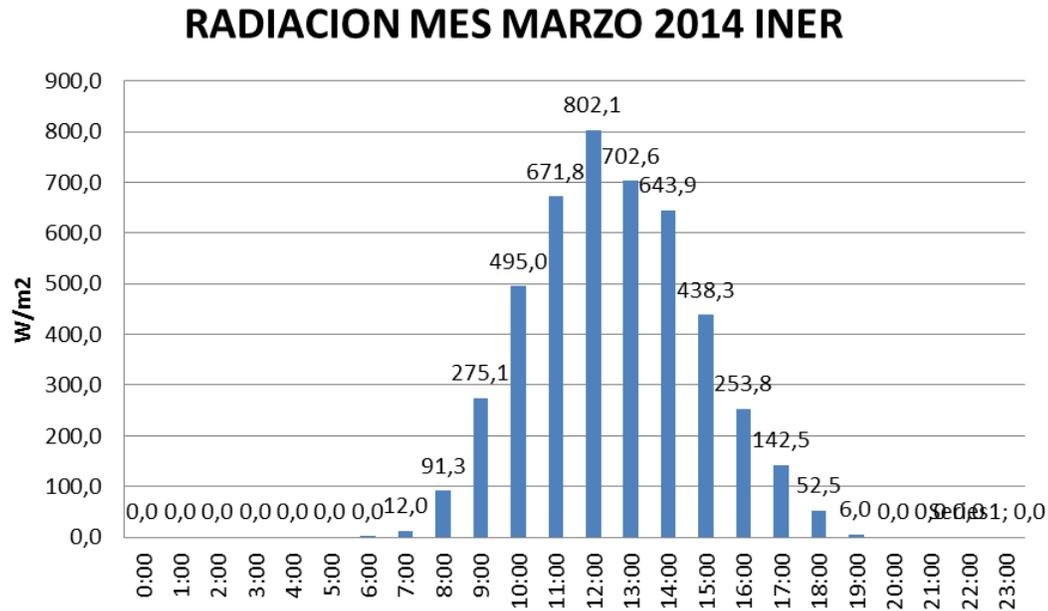
- Perfil Mes De Febrero 2014 INER

### RADIACION MES FEBRERO 2014 INER



Cuadro 1.26: Radiación Solar Diaria Febrero 2014

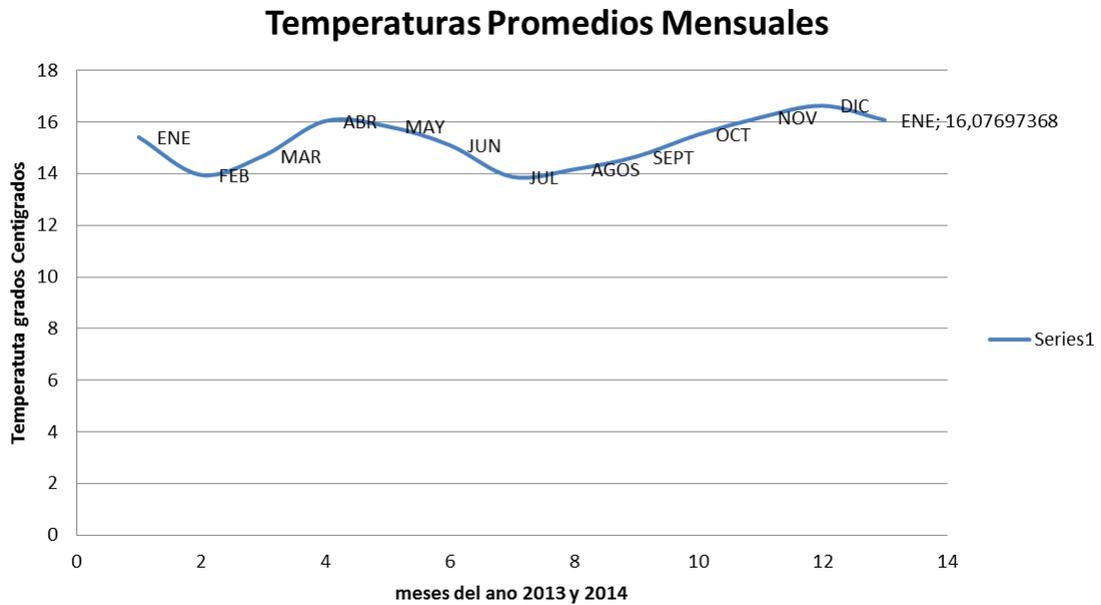
- Perfil Mes De Marzo 2014 INER



Cuadro 1.27: Radiación Solar Diaria Marzo

Una vez detallado las tablas de las dos estaciones, podemos observar que los valores obtenidos de la estación UPS-INER son mayores en su totalidad a los valores obtenidos por la UPS entonces se ha determinado que el margen de error o de diferencia entre las 2 estaciones es de un 10 % lo cual es una diferencia mínima, asumimos que los valores de la estación UPS-INER son exactos ya que el instituto se ha establecido con 16 antenas en diferentes lugares de la ciudad y las afueras de Cuenca y con una mejor tecnología para captar los datos por su mayor fiabilidad se ha comparado las dos estaciones teniendo como conclusión que los datos que se han tomado por parte de estas dos estaciones van de la mano con un margen de diferencia mínimo, por esta razón tenemos valores reales y concretos que podemos utilizar para el cálculo de los paneles que se utilizaran dentro de las zonas estudiadas.

Con los datos obtenidos anuales se puede analizar las estaciones climáticas y poder observar datos más críticos de temperatura 1.4 y radiación solar 1.5 , las estaciones climáticas según [?] depende del ángulo del sol sobre la tierra, resultando que las temperaturas promedios mensuales son más o menos uniformes por lo tanto no se puede definir por estaciones climáticas (primavera, verano, otoño e invierno) ya que Ecuador se encuentra en la zona ecuatorial  $1^{\circ}N$  hasta  $5^{\circ}S$  . resultado como se observa en el cuadro 1.28.



Cuadro 1.28: Temperatura Promedio Mensual 2013 y 2014

El ángulo que forma el sol con respecto a la tierra es mayor, por eso hay más incidencia de energía solar que llega a la superficie de la tierra y no tiene mucha variación como se observa en la figura. 1.9

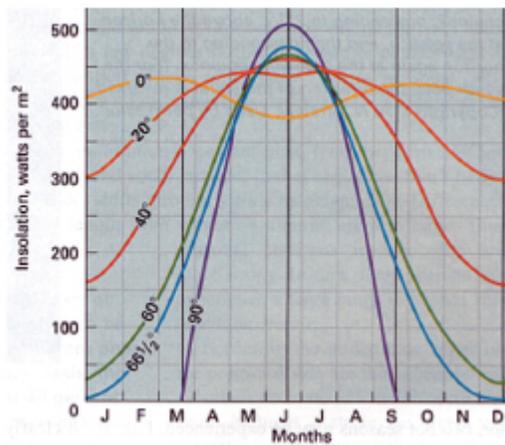
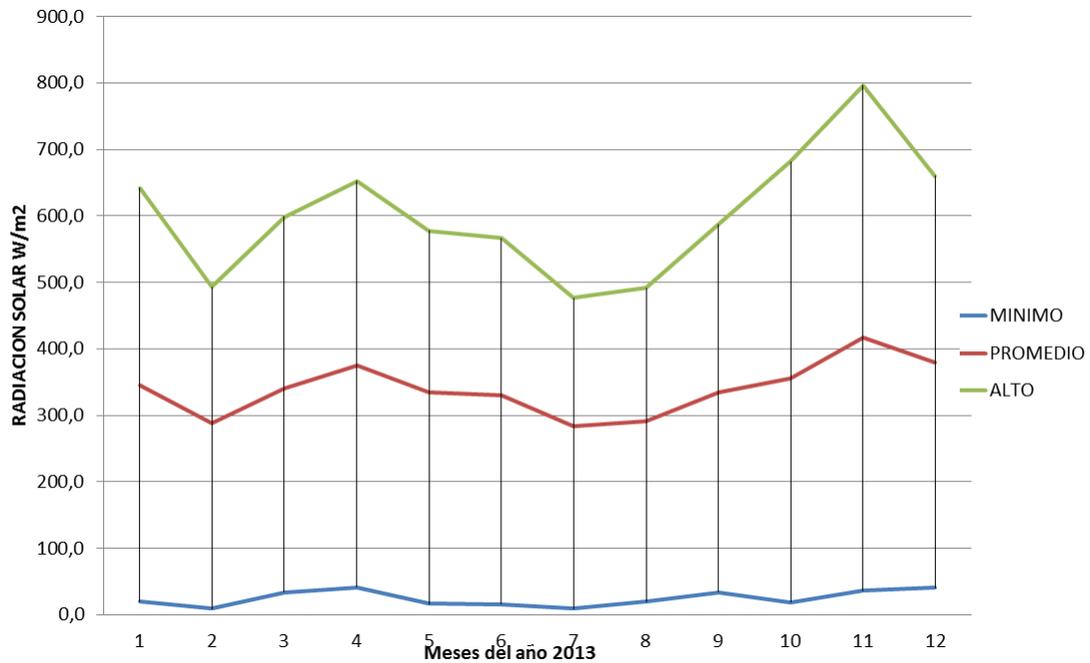


Figura 1.9: Energía solar que llega a la superficie para latitudes selectas en el Hemisferio Norte .  
 Fuente: <http://perspectivas.utpl.edu.ec/?q=node/6#sthash.0CTq11pN.dpuf>

Según los datos 1.5 se obtiene datos Mínimos, Promedio y Máximos de la radiación solar observados en el cuadro 1.29 por lo que son mas o menos uniformes .



Cuadro 1.29: Radiación Solar mínimos, máximos y promedios año 2013 .

Como se puede observar en el cuadro 1.29 los meses más críticos son Febrero, Julio y Agosto eso se debe a la posición del sol que se encuentra más alejado, y los meses con mejor radiación solar por metro cuadrado se tiene entre Octubre y Enero por lo que se puede representar climatológicamente “verano”.

## Capítulo 2

# MODELAMIENTO MATEMÁTICO DE LOS DISPOSITIVOS .

### 2.1. MODELAMIENTO DE LOS DISPOSITIVOS DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA ALUMBRADO VIAL.

#### 2.1.1. PANEL SOLAR FOTOVOLTAICO.

##### CELULA SOLAR.

El panel solar fotovoltaico (PV) es el elemento principal, que realiza la conversión de la radiación solar a energía eléctrica, la misma que es la forma más directa y está basado en el efecto fotovoltaico.[?]

Las células solares se pueden combinar en serie y/o paralelo para conformar estructuras denominadas: módulos o paneles solares. Los mismos que conectados en serie y/o paralelo correctamente se llega a obtener potencias y voltajes necesarios.

##### CELULA SOLAR.

- Conversión directa en electricidad de la radiación solar.
- No existe ruido ni partes mecánicas en movimiento.
- No hay altas temperaturas ni polución.
- Los paneles fotovoltaicos poseen extendida vida útil.
- La fuente de energía (sol) es inagotable, accesible y disponible en cualquier parte del mundo.

- Las PV son energías renovables, su potencia va en escala desde el micro-watts hasta megawatts.

Con lo mencionado en el párrafo anterior el panel solar es un dispositivo fiable que para obtener su potencia, primeramente es dependiente de la radiación solar ( $W/m^2$ ) y la temperatura ambiente ( $C^\circ$ ), teniendo en cuenta las variaciones que presenta los datos durante el día.- Y después de las características eléctricas que presenta la célula solar para obtener resultados aceptables.

Lo fundamental de tener presente de una célula solar es que son semiconductores (unión p-n) los cuales convierte la energía solar utilizando el efecto fotoeléctrico, la absorción ocurre en un material semiconductor. Dependiendo de las propiedades de absorción del material, los fotones liberan portadores de carga dentro del semiconductor. La unión p-n recoge todos los portadores de carga y los fuerza a través de una carga eléctrica conectada externamente [?, ?].

Existen modelamientos de la célula solar como por ejemplo el modelo “General Electric”, en esta tesis por los datos de entrada y parámetros que se debe considerar, el comportamiento de un panel se modela a partir del circuito equivalente de la figura 2.1, que está compuesto por una fuente de corriente dependiente de la radiación solar  $I_l$  un diodo determinado por su corriente de oscuridad  $I_o$  y dos resistencias de pérdidas,  $R_S$  y  $R_{SH}$ .

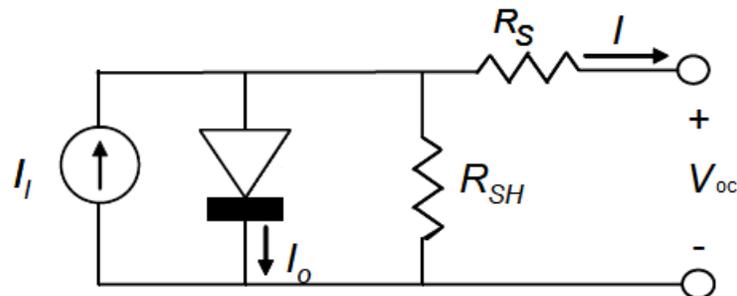


Figura 2.1: Circuito equivalente de una célula fotovoltaica[?]

En la figura 2.1 se representa una célula solar como un diodo , y se observa en la figura 2.2 su estructura, en donde la parte que recibe la radiación solar es el tipo N y la parte situada en la zona de oscuridad, tipo P

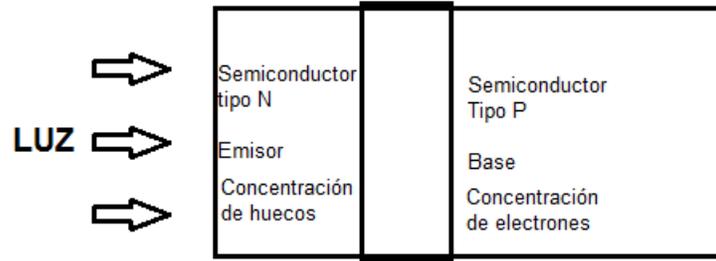


Figura 2.2: Estructura de un diodo

Como se observa en la figura 2.1 tenemos un circuito que para obtener su corriente total generada por la célula solar ( $I$ ) se puede aplicar la ley de corrientes de Kirchhoff ya que con esto las corrientes de cada malla se puede analizar y poner en manifiesto los parámetros utilizados, la ecuación que se obtiene es: 2.1

$$I = I_l - I_o - (V_{oc} + R_S * I / R_{SH}) \quad (2.1)$$

En donde  $I_l$  es la corriente de iluminación que se obtiene cuando incide la radiación solar sobre la célula, e  $I_o$  es la corriente de oscuridad debido a la recombinación de los pares electrón-hueco que se produce al interior de un semiconductor y se determina por medio de un diodo real y está dada por la ecuación de Shockley 2.2 [?].

$$I_o = I_S * (e^{v/n * V_T} - 1) \quad (2.2)$$

En donde:

- $I_S$  Corriente de saturación inversa.
- $n$  Coeficiente de emisión.
- $v$  Voltaje en los electrodos de la célula solar.
- $V_T$  Voltaje térmico de la célula solar definida según la ecuación 2.3.

$$V_T = kT/q \quad (2.3)$$

En donde:

- k Constante de Boltzman  $1,38 \times 10^{-23} [J/^{\circ}K]$ .
- q Carga del electrón  $1,6 \times 10^{-19} [C]$ .
- T Temperatura absoluta de la célula solar.

En la ecuación 2.3 luego de remplazar las constantes y pasar los grados Kelvin a grados Centígrados queda expresada la siguiente ecuación 2.4.

$$V_T = 0,081615 * (t + 273,15) \quad (2.4)$$

En donde:

- t Temperatura [ $^{\circ}C$ ]
- $V_T$  Voltaje térmico [ $mV$ ]

Entonces la corriente foto-generada va a depender de forma lineal del efecto de la radiación, en donde la corriente de cortocircuito para condición de tensión cero y despreciando el efecto de las resistencias.

$$I_{SC} = I_l \quad (2.5)$$

y aplicando a la ecuación 2.1 se obtiene el valor de la corriente generada en una célula solar que está dada por:

$$I = I_{SC} - I_o * (e^{v/V_T} - 1) \quad (2.6)$$

Donde  $I_{SC}$  e  $I_o$  se relacionan respectivamente con  $J_{SC}$  Y  $J_o$  por lo que la corriente generada también va a depender del área de la célula solar en donde va a captar la energía solar y se obtiene dos ecuaciones 2.7 y 2.8 de la siguiente manera:

$$I_{SC} = A * J_{SC} \quad (2.7)$$

$$I_o = A * J_o \quad (2.8)$$

Donde:

A Area Total del dispositivo [ $m^2$ ].

$J_{sc}$  Densidad de corriente de cortocircuito [ $A/m^2$ ].

$J_o$  Densidad de saturación en [ $A/m^2$ ].

El parámetro importante que se debe conocer es la potencia que genera la célula solar la cual se define mediante la siguiente ecuación 2.9:

$$P = V * I = V * [I_l - I_o(e^{v/V_T} - 1)] \quad (2.9)$$

En donde esta potencia es el producto del voltaje generado en los terminales de la célula solar y la corriente de salida que fluye hacia la carga. Teniendo en cuenta que si es signo positivo la potencia va hacia la carga y un signo negativo viene desde la carga.

Al ser un modelado lineal va estar afectado por los datos de radiación solar y temperatura ambiente que se usa como referencia para la temperatura del panel, y los mismos que tienen un comportamiento que varía durante el día, entonces la generación de potencia de la célula fotovoltaica es expresada en la siguiente ecuación 2.10 [?, ?].

$$P_{PV} = P_{STC} * G_{ISC}/G_{STC} * [1 + k(T_c - T_r)] \quad (2.10)$$

Donde:

- $P_{PV}$  Potencia generada por el panel solar fotovoltaico.
- $P_{STC}$  Potencia nominal del panel solar fotovoltaico en condiciones de prueba estándar.
- $G_{ING}$  Radiación solar instantánea.
- $G_{STC}$  Radiación solar en condiciones de prueba estándar.
- $k$  Coeficiente de temperatura del silicio con que se fabrica la célula
- $T_r$  Temperatura referencial de la célula (temperatura ambiente).
- $T_c$  Temperatura de la célula en condiciones de prueba estándar.

El fabricante debe mencionar los parámetros en condiciones de prueba que se detallan en el siguiente cuadro 2.1.

| Parameter | Specification                       | Value                 |
|-----------|-------------------------------------|-----------------------|
| $P_{STC}$ | rated power                         | 168 W/m <sup>2</sup>  |
| $G_{STC}$ | solar irradiance                    | 1000 W/m <sup>2</sup> |
| $T_c$     | cell temperature                    | 25 C                  |
| $k$       | temperature coefficient for silicon | 0,00441/C             |

Cuadro 2.1: Parámetros para el Panel Solar Fotovoltaico [?].

Entonces la célula solar se va a caracterizar por sus curvas de corriente-voltaje y potencia-voltaje y para poder observar estas características según [?] para una célula solar con línea en base de silicio se tiene que:  $I_o = 1 \times 10^{-12} [A/cm^2]$  y  $I_{sc} = 31,188 \times 10^{-3} [A/cm^2]$  en donde se tiene una Area  $A = 100 cm^2$  y una temperatura  $t = 25^\circ C$  de lo cual resulta su curva característica de P-V mostrada en la figura 2.1.1.

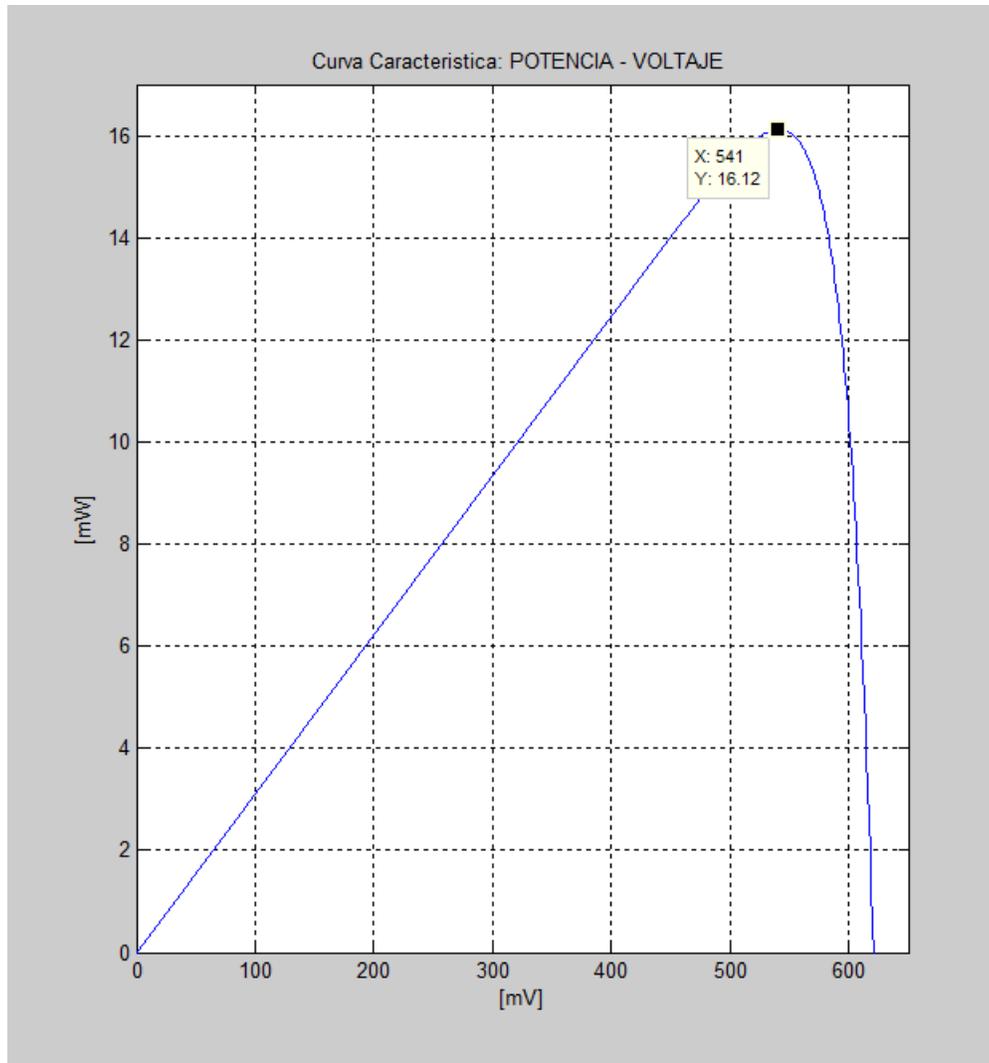


Figure 2.3: Curva Característica P-V de una célula solar de silicio en Matlab (ver Apéndice A).

En donde se obtiene el punto en su máxima potencia que es 16.12 mW que va a entregar la célula solar con ciertas condiciones para un voltaje en sus bornes de 541 mV, de donde se tiene en la curva de corriente-voltaje como se observa en la figura 2.4 al trazar una recta al eje y del valor de 541 mV se obtiene su corriente máxima que es de 0,02979 mA, por lo que nos da un resultado con precisión en la cual se puede trabajar con estas curvas para poder saber los parámetros del panel solar y aprovechar su máxima potencia.

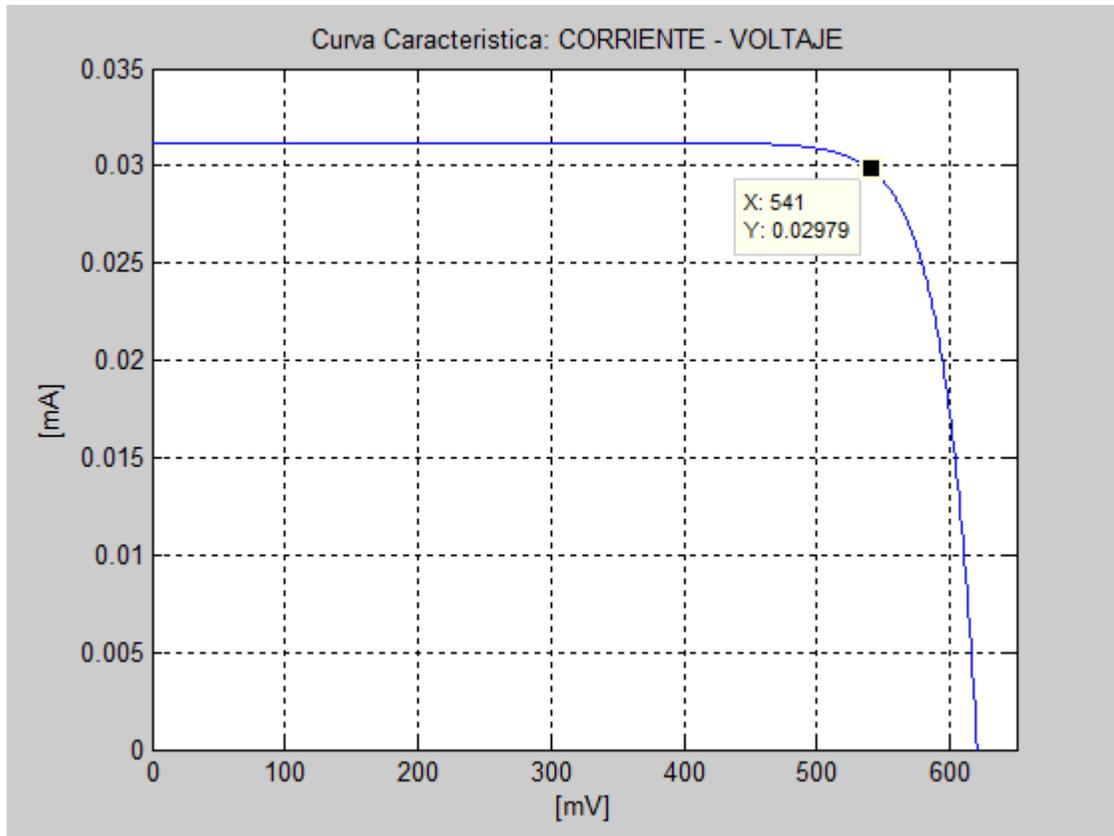


Figure 2.4: Curva Característica I-V de una célula solar de silicio en Matlab (ver Apéndice B)

### 2.1.2. BATERÍA.

La energía eléctrica se obtiene de diferentes formas como en este caso es por el proceso fotovoltaico, el problema comúnmente es que la energía eléctrica no puede ser almacenada. Los capacitores por ejemplo son de almacenamiento directo en pequeñas cantidades, comparado con la demanda de algunas aplicaciones. En general, el almacenamiento de energía eléctrica requiere su conversión en otra forma de energía. En las baterías la energía de los compuestos químicos actúan como medio de almacenamiento, y durante la descarga, un proceso químico ocurre que genera energía la cual puede ser extraída desde la batería en forma de una corriente eléctrica bajo un cierto voltaje [?].

Para un número de sistemas de batería el proceso puede ser reversible y la batería es recargada. La ingesta de energía eléctrica puede restaurar la composición química que contiene una energía más alta y puede restablecer estrechamente las estructuras originales dentro de la batería [?].

Como consecuencia , existen dos diferentes sistemas de baterías:

- Baterías Primarias que son diseñadas para convertir su energía química en energía eléctrica solo una vez.
- Baterías Secundarias que son convertidores reversibles de energía y son diseñados para repetidas descargas y cargas. Estos son sistemas genuinos de almacenamiento electroquímico[?].

No hay una frontera clara transcurrida entre estos sistemas y algunos permiten los sistemas de baterías primarias que se cargen bajo ciertas condiciones. Por lo general, sin embargo, su recarga es limitada [?].

La reacción celular es una reacción química que caracteriza a la batería. Cuando la batería es descargada, compuestos químicos de alta energía contenidos son convertidos por la reacción en compuestos de baja energía. Usualmente la energía emitida puede ser observada como calor. Pero en una batería, la reacción celular es dividida en dos electrodos de reacción, una que emite electrones y el otro que absorbe electrones, y este flujo de electrones forma la corriente que puede ser utilizada desde la batería. Así la generación o consumo de energía que es conectada a la reacción celular es directamente convertida en una corriente eléctrica. Esto es lo que sucede en una célula electroquímica, como se observa en la figura 2.5 .

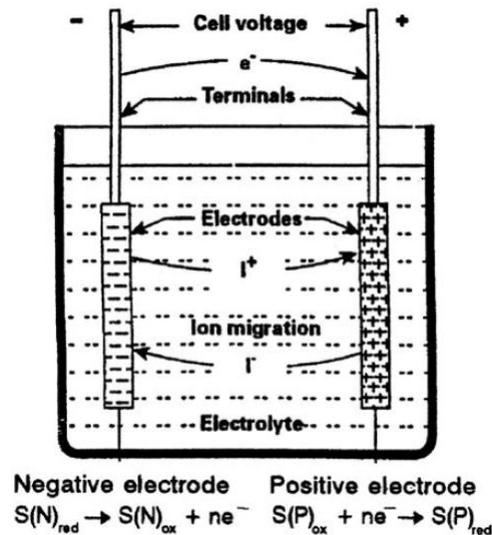


Figura 2.5: La célula electroquímica y una vista de la reacción celular.  $S(N)_{red}$  y  $S(P)_{ox}$  son los componentes de los electrodos negativo y positivo respectivamente. Estos son oxidados en  $S(N)_{red}$  en el negativo y reducidos en  $S(P)_{ox}$  en el electrodo positivo, cuando la batería es descargada como se indica en la figura [?].

Como se observa en la figura 2.5 tenemos un electrodo positivo y uno negativo que son inmersos en el electrolito y las sustancias que reaccionan (el material activo) usualmente estos son almacenados en los electrodos o en el electrolito.

Durante la descarga, como se muestra en la figura 2.5, el electrodo negativo contiene la sustancia que es oxidada (es decir, que atrapa electrones), mientras el electrodo positivo contiene la sustancia oxidada que es reducida (es decir, que acepta electrones) [?].

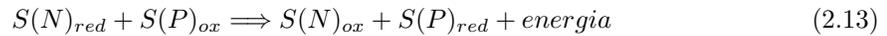
Así, la oxidación del electrodo negativo de  $S(N)_{red}$  ocurre de acuerdo a:



mientras  $S(P)_{ox}$  es reducido en el electrodo positivo:



Ambos describen la reacción celular:



Cuando la batería es del tipo secundario y es cargada, esta reacción es a la inversa y una correspondiente cantidad de energía tiene que ser suministrada a la célula [?].

La diferencia de la energía enlazada entre la composición en el punto de inicio de la reacción celular ( $S(N)_{red} + S(P)_{ox}$ ) y su estado final ( $S(N)_{ox} + S(P)_{red}$ ) representa la energía que puede ser extraída desde la célula como una corriente (excepto el calor reversible que es una pérdida de calor o una ganancia como energía adicional y excepto otras pérdidas que producen calentamiento por efecto Joule). Esta directa conversión de la corriente en energía química caracteriza a las baterías y células de combustible. La ventaja de la conversión de energía directa es su alta eficiencia [?].

Frecuentemente en las baterías, las sustancias que reaccionan son almacenadas en los electrodos (el “material activo”), pero hay también sistema en que el electrolito participa, como en las baterías de ácido - plomo, o donde las sustancias que reaccionan son almacenadas en tanques separados [?].

Entonces, una célula voltaica o galvánica consiste de dos electrodos diferentes inmersos en un material conductor, tales como un líquido electrolítico; cuando los dos electrodos están conectados por un cable, una corriente fluye. Cada electrodo, en general, involucra un conductor iónico y un conductor electrónico (metálico) en contacto. En la superficie de separación entre el metal y la solución existe se da diferencia en el potencial eléctrico, llamado potencial del electrodo. La fuerza electromotriz (f.e.m) de la célula es pues igual a la suma algebraica de los potenciales de los dos electrodos, apropiadamente conectados. Cuando un metal está ubicado dentro de un líquido, hay en general, una diferencia de potencial establecido entre el metal y la solución debido a que el metal cede iones a la solución o la solución cede iones al metal [?].

Hoy en día hay una gran variedad de baterías para cada tipo de aplicación que se requiera, pero en esto está involucrada la inversión que es necesaria por los materiales empleados en la fabricación de las baterías en la figura 2.6 se muestran las características de algunos tipos de baterías mas empleados.

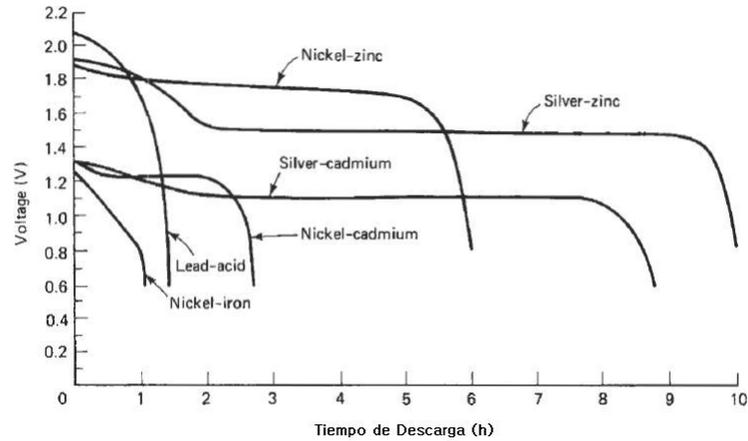


Figura 2.6: Características típicas de descarga de varios sistemas de baterías secundarias de igual peso descargando bajo las mismas condiciones[?]

Para un sistema fotovoltaico aislado que es aplicación para este trabajo de tesis, se tiene la utilización de la batería de ácido-plomo ya que es muy utilizada en el campo del automotor y otras aplicaciones, la cual presenta ventajas por su bajo costo, alto voltaje por célula y una buena capacidad de vida, su desventaja es en su físico que son pesados, sus pobres características a baja temperatura, y no pueden dejar de estar en descarga por demasiado tiempo sin sufrir daños, en la siguiente figura 2.7 se observa curvas características de la batería de ácido-plomo de 2V con varias corrientes de descarga desde 1 hasta 10A [?].

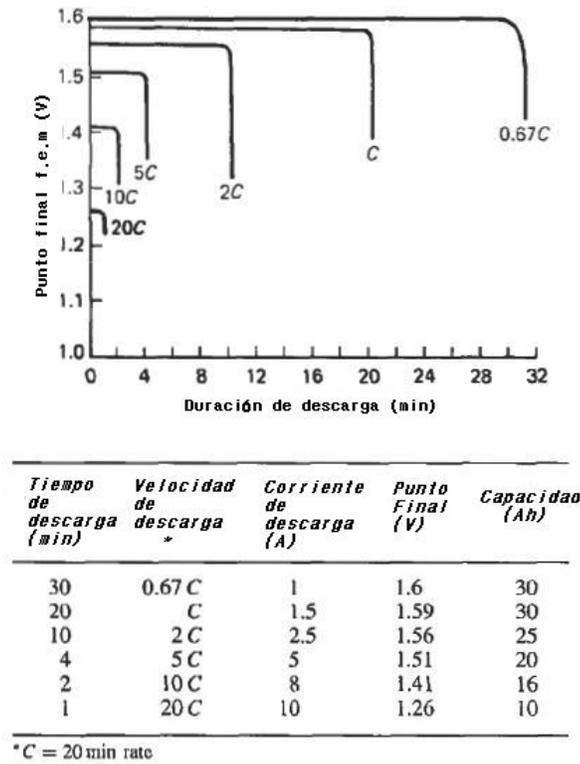


Figura 2.7: Curvas de Descarga de baterías de ácido - plomo de 2V en varias velocidades de descarga. (Sirve para regular la corriente de descarga) [?].

La energía específica de las baterías (ver figura 2.8), es variable y depende de los materiales que componen la batería [?].

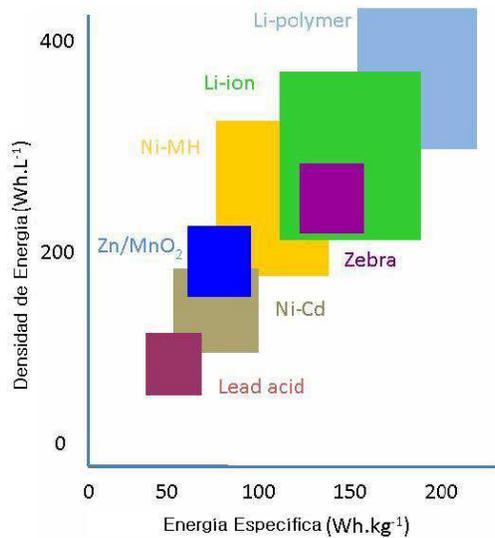


Figura 2.8: Energía específica según tipo de Baterías[?].

En la figura 2.9 nos ayuda a identificar y determinar la corriente de carga para una batería determinada. En donde se observa una curva con el tiempo de carga de la corriente de carga, el voltaje en los terminales y el volumen de carga. La capacidad de carga es indicada en porcentaje contra la capacidad de descarga en el ciclo previo. Normalmente recargar al 100 - 130 % (volumen de carga) es requerida para cargar una batería totalmente descargada. La corriente de carga inicial ha sido limitada a 0.25C amperios. Las líneas solidas indican 100 % de descarga en 10 horas en el ciclo precedente, las líneas cortadas muestran los cambios después de una recarga de 5h (50 %) en el mismo rango de 10 horas [?, ?].

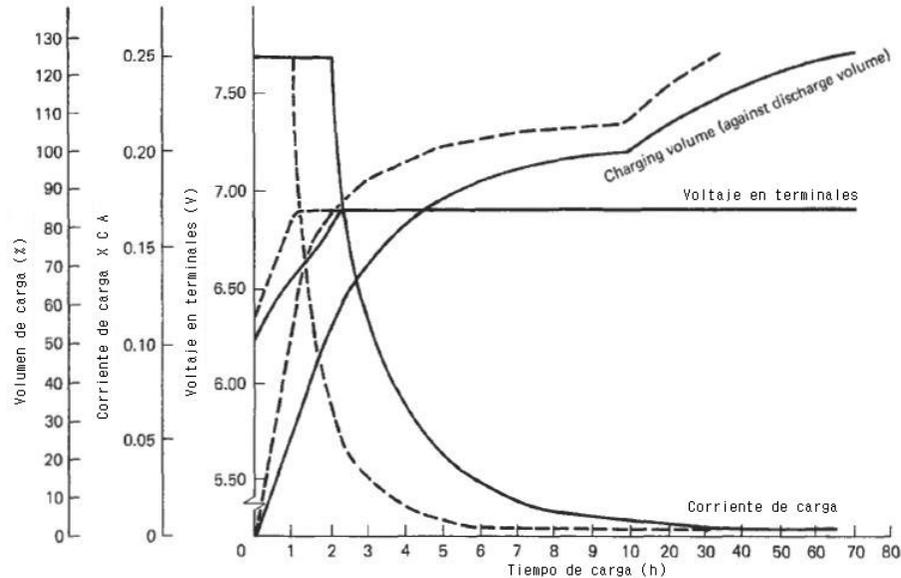


Figura 2.9: Característica de carga de una batería de ácido - plomo de tipo sellado marca Yuasa a  $25^{\circ}\text{C}$  (C es la 20ava parte de su capacidad): Sirve para regular la corriente de carga [?].

Con todo lo que se ha mencionado con lo respecto a las baterías, se procede a realizar su simulación y validación del almacenamiento de energía en las baterías.

### 2.1.3. REGULADOR FOTOVOLTAICO.

Este dispositivo protege al sistema fotovoltaico, en riesgo de condiciones de sobredescargas y sobrecargas.- la relación matemática de este dispositivo es sencilla por lo que cumple las condiciones de tensiones de umbral ya designados por el fabricante, a las discontinuidades e interacción con el resto del sistema.

El regulador básicamente es un conjunto de protecciones que evita daños en el sistema fotovoltaico, baterías, en la siguiente figura 2.10 se observa un esquema general del regulador.

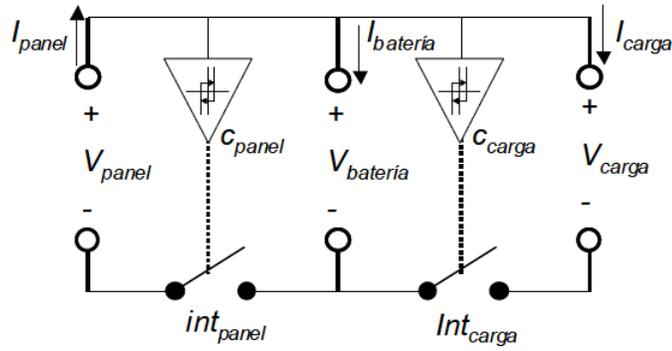


Figura 2.10: Modelo Eléctrico Básico De Un Regulador .[?]

Su funcionamiento consiste básicamente en dos relés,  $int_{panel}$  e  $int_{carga}$ , que son interruptores los cuales van a conectar y desconectar los paneles solares y la carga de la batería, estos relés son controlados por comparadores de histéresis,  $C_{panel}$  y  $C_{carga}$ , que verifican la tensión de la batería  $V_{bateria}$  cumpliendo las condiciones siguientes.

- Cuando la batería entra en sobrecarga, el controlador desconecta los paneles solares evitando la saturación de la batería.
  - Se cumple que  $V_{panel} > V_{bateria}$ , para poder evitar que los paneles trabajen como carga, por lo tanto los límites de tensión del ciclo de histéresis deben situarse adecuadamente, tal como describe el conjunto de ecuaciones 2.14

$$interruptor_{panel} \begin{cases} desconexión & V_{bateria} \geq V_{hp_{max}} \\ conexión & V_{bateria} \leq V_{hp_{seg}} \end{cases} \quad (2.14)$$

[?].

donde:

$V_{hp_{max}}$  Voltaje umbral máximo, para desconexión del panel solar, al entrar la batería en sobrecarga.

$V_{hp_{seg}}$  Voltaje mínimo, para desconexión de la carga y desconexión de los paneles.

- Cuando la batería entra en sobredescarga, el controlador desconecta la carga evitando descargas profundas de la batería.

- Se cumple que en la desconexión de carga el  $V_{carga}$  e  $I_{carga}$  son nulas. Por lo tanto los límites de tensión del ciclo de histéresis deben definirse al revés en los paneles, como se describe en el conjunto de ecuaciones 2.15.

$$interruptor_{carga} \begin{cases} desconexión & V_{bateria} \leq V_{hc_{min}} \\ conexión & V_{bateria} \geq V_{hc_{seg}} \end{cases} \quad [?] \quad (2.15)$$

Donde:

$V_{hc_{min}}$  Voltaje umbral límite para desconectar las cargas.

$V_{hc_{seg}}$  Voltaje que tiene que superar la batería al recuperar su energía para ser conectada nuevamente.

Estos voltajes deben ser apropiados para evitar conexiones y desconexiones continuas.

#### 2.1.4. CARGA (LUMINARIA LED).

Este dispositivo es el encargado de absorber la energía y transformarlo en trabajo (lux), y para poder modelar el comportamiento de las cargas se ha obtenido un modelo genérico.

La carga es un elemento muy importante dentro de un sistema fotovoltaico o dentro de un sistema eléctrico, ya que el objetivo es proveerlas de energía. Pero sin embargo el modelo de la carga es uno de los más sencillos, porque se puede modelar con dos leyes fundamentales eléctricas 2.11, 2.16, 2.17, y pueden ser conectadas en corriente continua o corriente alterna, con valores de potencia activa y un factor de potencia [?].

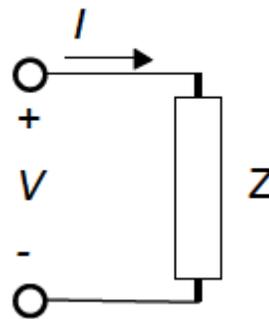


Figura 2.11: Esquema eléctrico básico (ley de ohm)

Ley de Ohm

$$I \angle -\theta = \frac{V \angle 0^\circ}{z} \quad (2.16)$$

Ley de Watt

$$(I \angle \theta)^o = \frac{S}{V \angle 0^\circ} \quad (2.17)$$

### 2.1.5. CONDUCTORES ELÉCTRICOS.

El modelado de los conductores eléctricos es importante para el análisis energético de un sistema fotovoltaico, con este modelo se puede apreciar las caídas de tensión y las pérdidas de potencia, en donde se trabajara con resistencias en función de la temperatura.

La Resistencia eléctrica R a una temperatura de 20 grados centígrados es lo más típico para un diseño eléctrico:

$$R_O = \rho \frac{l}{A} [?] \quad (2.18)$$

donde:

$\rho$  Resistividad del material (para el cobre es  $\rho = 0,0172 \frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$  a  $20^\circ C$  ).

$l$  Longitud de la línea en metros.

$A$  Área transversal del conductor en  $mm^2$ .

Para tener en cuenta los efectos de la temperatura en el conductor se va a considerar la ecuación:

$$R_t = R_0(1 + \alpha * \Delta T) [?] \quad (2.19)$$

donde:

$\alpha$  Coeficiente de temperatura (para el cobre  $\alpha = 0,00393 \frac{1}{C}$  a  $20^\circ C$  ).

Para representar la caída de tensión en los conductores se utiliza la siguiente ecuación para corriente continua :

$$V_{salida} = V_{entrada} - I * R \quad (2.20)$$

Los conductores utilizados en los sistemas fotovoltaicos son diseñados especialmente para C.C. de 12 o 24 V porque sus corrientes son mucho más elevadas, por ende su potencia, ya que los watts producido por los paneles fotovoltaicos o la batería es  $P=V*I$ , en el cuadro se observa 2.2 los tamaños de cable y sus características como la corriente máxima que fluye a través del conductor y la magnitud de potencia que se produce a diferentes niveles de voltaje como se muestra en el cuadro 2.3.

| calibre (AWG-MCM) | Seccion( $mm^2$ ) | Intensidad (A) |
|-------------------|-------------------|----------------|
| 14                | 2.081             | 30             |
| 12                | 3.309             | 40             |
| 10                | 5.261             | 55             |
| 8                 | 8.366             | 70             |

Cuadro 2.2: Calibres de Conductores y Características AWG .

También es importante considerar la caída de tensión del cable que va desde los paneles solares hasta el regulador como también se considera el arreglo de baterías hacia el regulador.

| Area Seccional ( $mm^2$ ) | Corriente Maxima(A) | Potencia Generada (W) 12V |
|---------------------------|---------------------|---------------------------|
| 1                         | 10                  | 20                        |
| 1.5                       | 15                  | 80                        |
| 2.5                       | 20                  | 240                       |
| 4                         | 30                  | 360                       |
| 6                         | 35                  | 420                       |
| 10                        | 50                  | 600                       |
| 16                        | 70                  | 840                       |
| 25                        | 90                  | 1080                      |

Cuadro 2.3: Sección de Conductores y Características, Corriente y Potencia generada para sistema de 12V .

## Capítulo 3

# SIMULACIÓN Y VALIDACIÓN MEDIANTE MATLAB/SIMULINK

### 3.1. SIMULACIÓN Y VALIDACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS

Los modelos matemáticos expuestos en el capítulo 2, en este apartado van a ser programados en Matlab mediante el entorno de Simulink especificando las variables de entrada y salida, para el correcto funcionamiento del dispositivo.-Los programas desarrollados consisten en diversas funciones creados en bloques de Simulink ya que su procesamiento es más rápido.

#### 3.1.1. PANEL SOLAR.

Para la validación del panel solar hemos tomado las características de: SUNCERAM II FOR OUTDOOR USE de Panasonic [?], por sus características eléctricas y que son de alto rendimiento la misma posee las siguientes características:

- Dimensiones (mm) = 162.5 x 73
- Operating Voltage  $V_P$ (V) = 16
- Operating Current  $I_P$  (mA) average = 34
- Open Circuit Voltage  $V_{OC}$  (V) = 24
- Short Circuit Current  $I_{SC}$  (mA) average = 36
- Light Source AM1.5 : 100  $mW/cm^2$
- Measurement Temperature 25°C.

y su curva perteneciente de voltaje vs corriente se muestra en la figura 3.1 .

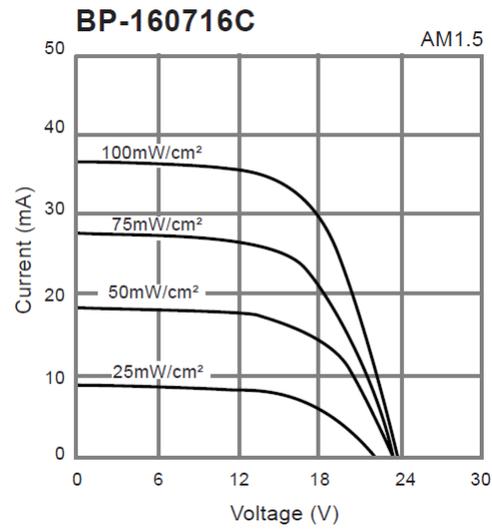


Figura 3.1: Curva I-V de célula solar de Panasonic .

En la figura 3.2 se observa la señal de entrada el voltaje medible entre las terminales de la célula solar, su temperatura de trabajo, en donde se observa los valores de corriente, voltaje y potencia generados.

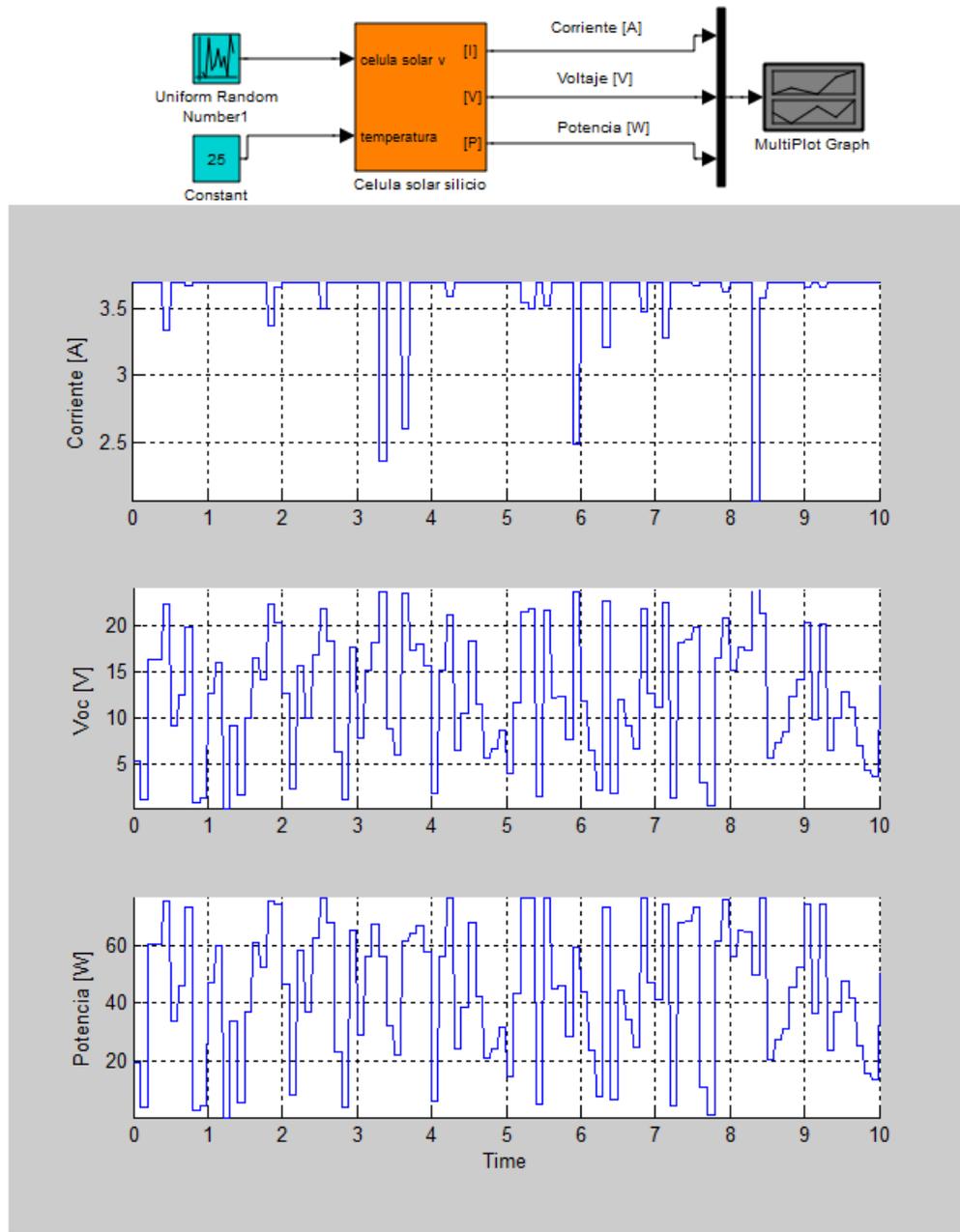


Figura 3.2: Comportamiento de un panel solar. (ver Apéndice C ).

Como se observa en la figura 3.2 mediante las características de la célula solar se obtiene un panel (el panel esta formado por 40 células solares) con una potencia máxima de 76,41 W que para este proyecto de alumbrado público se necesita más potencia para las luminarias Led (carga) que se van a emplear, por lo que hace necesario la configuración de los paneles en serie y/o paralelo para obtener dicha potencia, dicho esto en la figura 3.3 se observa dos paneles solares conectados en serie que permitirá aumentar la tensión final en sus extremos.

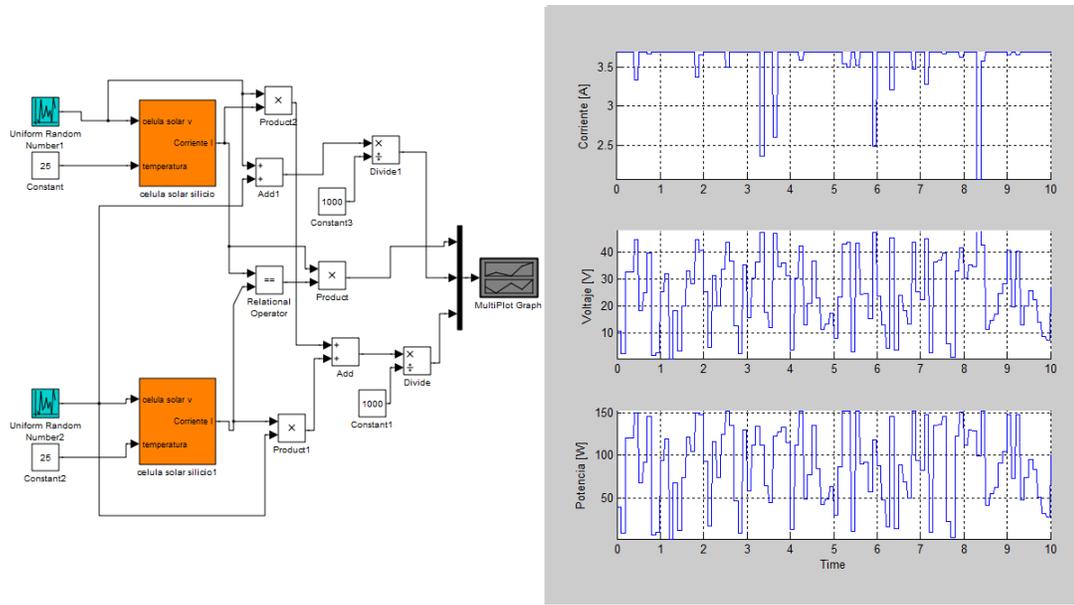


Figura 3.3: Acoplamiento y Simulación de dos paneles solares conectados en serie.

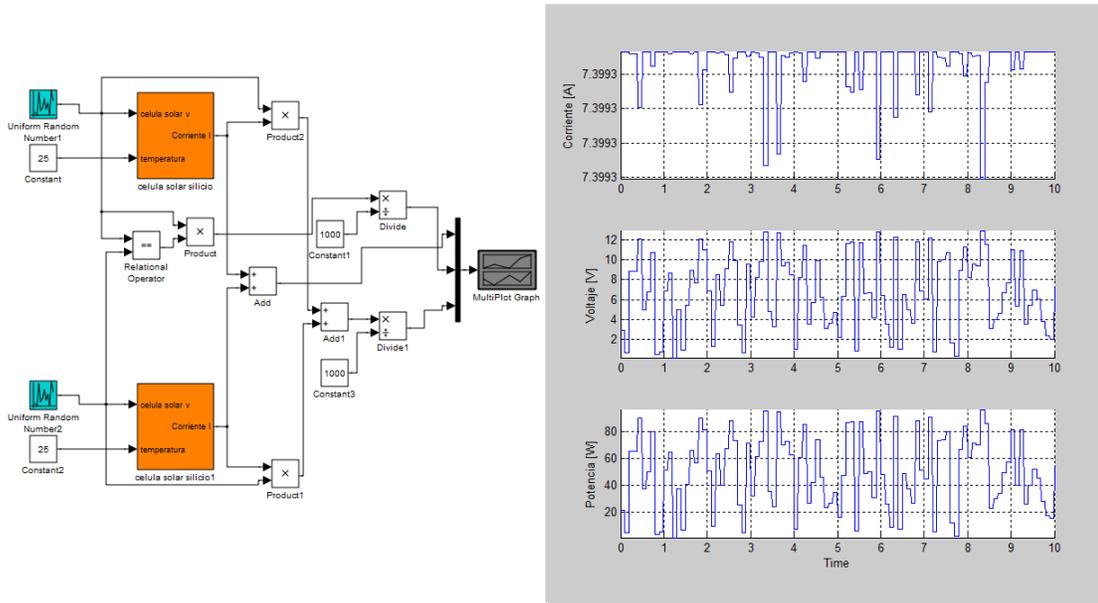


Figura 3.4: Acoplamiento y Simulación de dos paneles solares conectados en paralelo.

Como se observa en la figura 3.4 la conexión en paralelo de los paneles permitirá aumentar la corriente total del conjunto.

Entonces ya se tiene las configuraciones importantes de los paneles solares por lo que ahora se puede formar un arreglo de paneles solares, pero primero se debe conocer los datos de campo que se tiene de radiación solar y temperatura promedio diario anual mostrados en las figuras 3.5 y 3.6 correspondiente, esto es debido a que tenemos un modelado lineal y depende de estos dos datos de campo para obtener la simulación de un panel solar y datos con precisión.

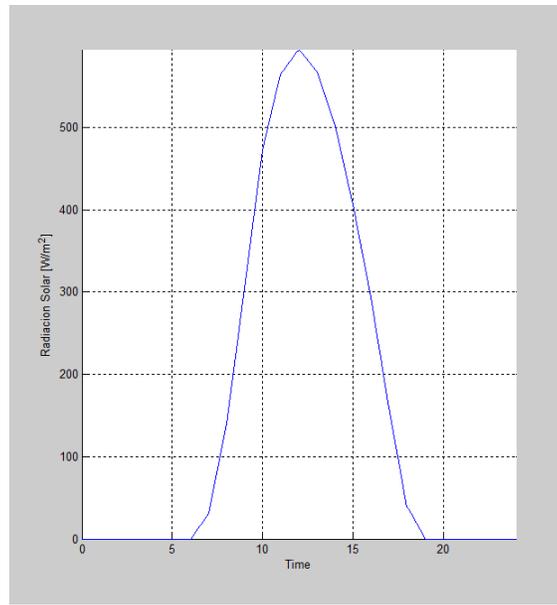


Figura 3.5: Radiación Promedio Diario Anual 2013 .

En la figura 3.5 se observa que los valores máximos de radiación solar se dan al medio día.

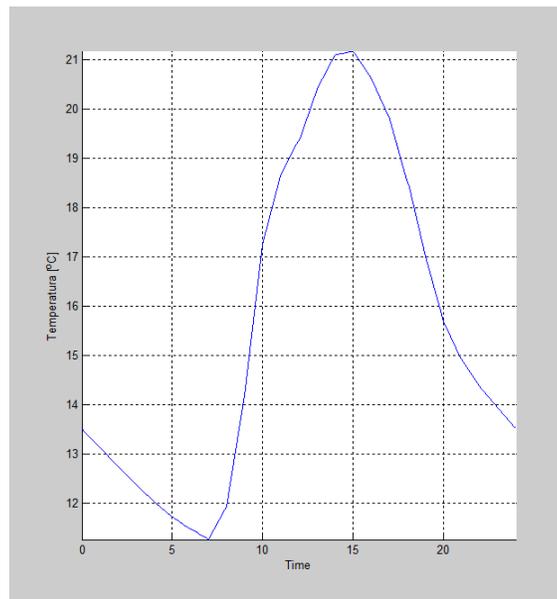


Figura 3.6: Temperatura Promedio diario Anual 2013

En la siguiente figura 3.7 se observa los resultados obtenidos del comportamiento de una celula solar SUNCERAM II PANEL FOR OUTDOOR USE de Panasonic [?], en donde se tiene ya simulados con los datos de campo de: radiación solar y la temperatura ambiente.

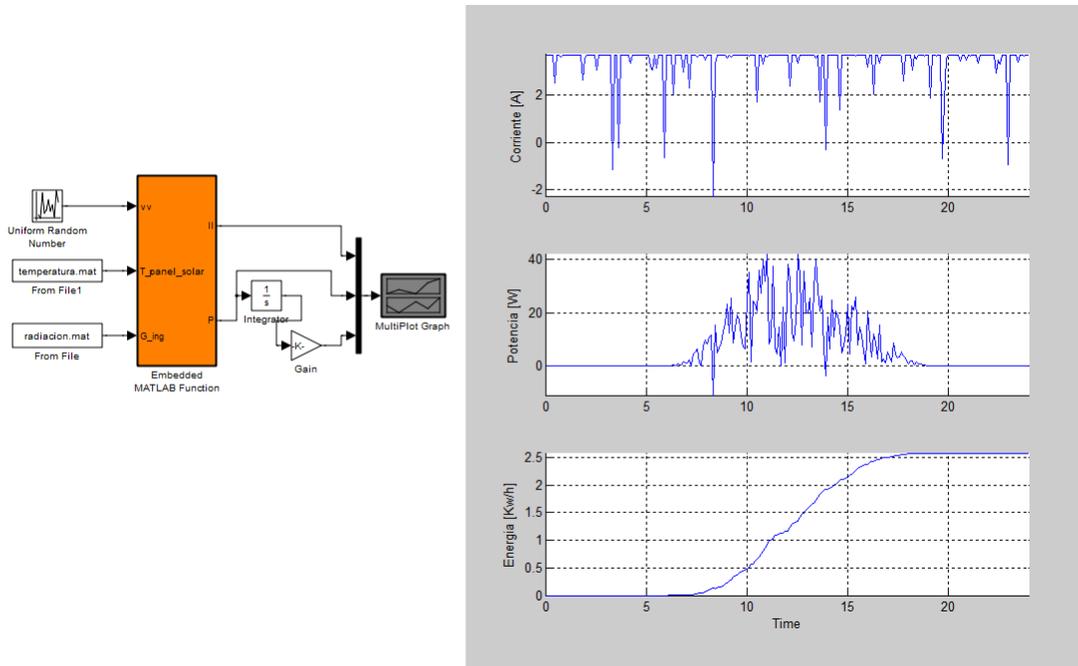


Figura 3.7: Resultado de Simulación de un panel Solar . (ver Apéndice C ).

En la figura 3.7 se consideran entradas como el voltaje continuo preestablecido, la temperatura ambiente y la radiación solar, y como resultados se obtiene la corriente, la potencia y la energía producida durante las 24 horas, el voltaje preestablecido es de acuerdo a la información dada por el fabricante, en donde este voltaje es el que define la intensidad de corriente que sale del panel solar según la radiación incidente. A lo largo del día se observa un incremento de la potencia generada en los que los valores máximos se dan en horas del mediodía.

Pero este panel no brinda la potencia necesaria, para lo cual necesitamos obtener una potencia apta para el sistema Fotovoltaico por lo que se necesita varios paneles solares conectados en serie y/o en paralelo para suplir la potencia, en la figura 3.7 se muestra la simulación de un conjunto de paneles solares a la que le denominaremos arreglo de Paneles fotovoltaicos.

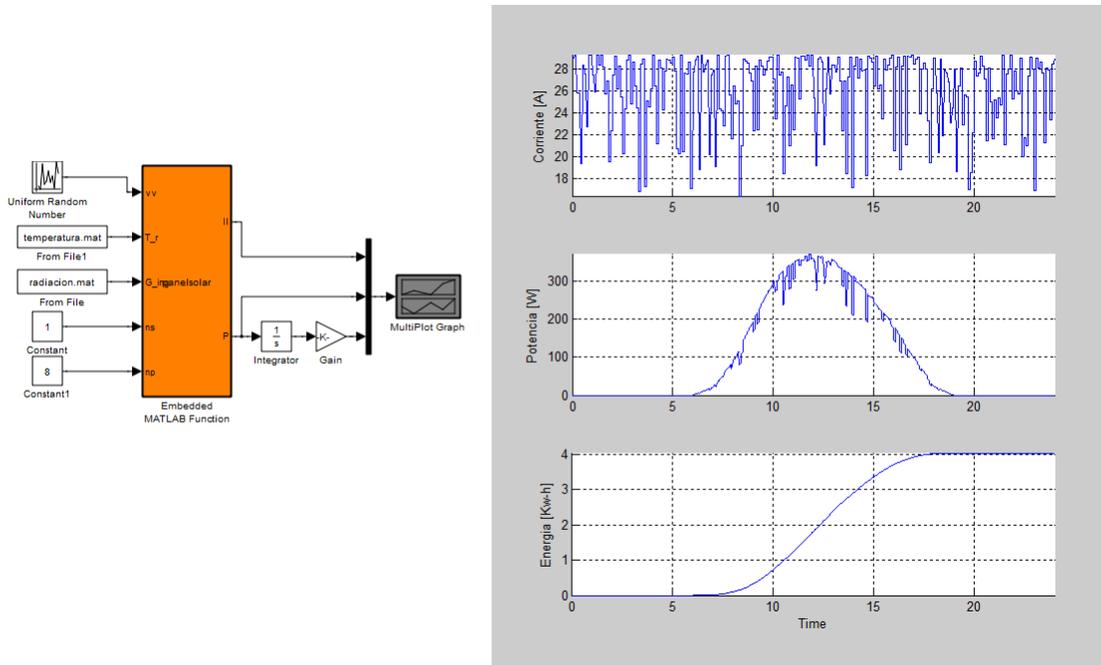


Figura 3.8: Resultado de Simulación de una Central Fotovoltaica (ver Apéndice C).

En la figura 3.8 se tiene de entrada la radiación solar y temperatura ambiental para un periodo de análisis de 24 horas, en donde el voltaje preestablecido, define las respectivas curvas de corriente, potencia y energía generada a lo largo del periodo de análisis.

Los archivos de temperatura y radiación solar, se pueden cambiar si es necesario analizar otros datos, y si fuese en una instalación experimental se lo haría en tiempo real los resultados.

También se puede observar en la figura 3.8 que este arreglo de 8 paneles, nos da una potencia de 370.5 W y una corriente de 29.31 A y un voltaje de 12.64 V, en donde la Energía acumulada es de 4.03 Kw/Día.

### 3.1.2. BATERÍA .

La batería es un dispositivo importante ampliamente utilizado y es uno de los elementos más difíciles de controlar dentro de los sistemas fotovoltaicos.

El nivel del voltaje estará determinado en función de la disponibilidad del voltaje del panel solar y las baterías. Y el despacho de energía será determinado por la potencia y energía generada y almacenada del panel solar y las baterías.

En la figura 3.9 se observa el comportamiento de una fuente de almacenamiento de energía.

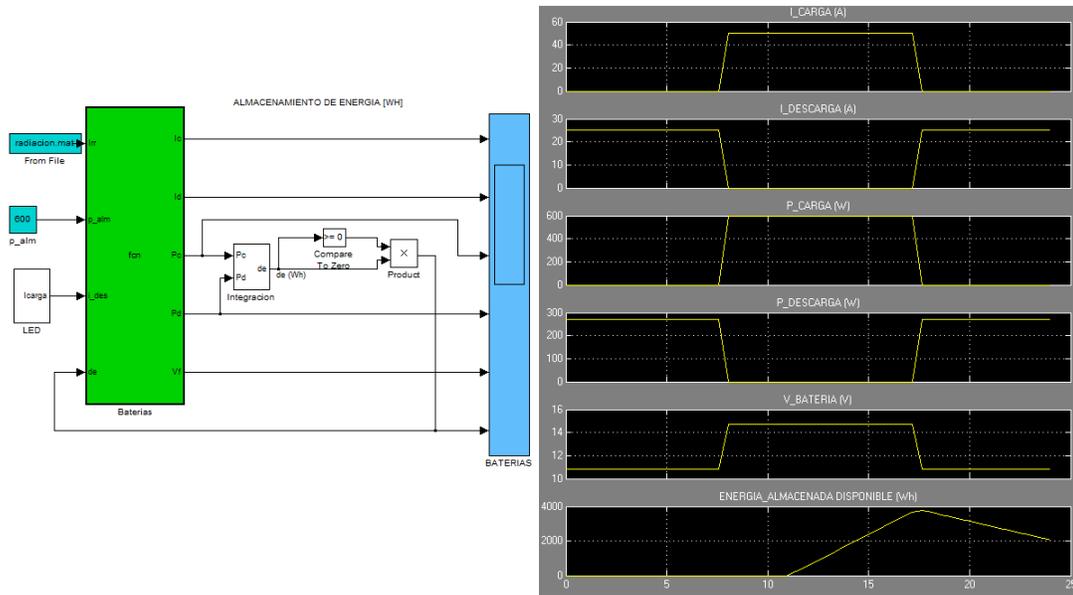


Figura 3.9: Simulación de una batería con proceso de carga y descarga . (ver Apéndice C ).

La simulación de la figura 3.9 se muestra en detalle potencias y energías tanto de los procesos de carga y descarga y además un balance de energía disponible almacenada como parámetros de entrada se tiene:

- $[I_{rr}]$  Radiación de la zona de estudio  $[w/m^2]$
- $[P_{alm}]$  Potencia del panel solar  $[w]$
- $[i_{des}]$  Corriente de descarga producida por las luminarias led  $[A]$
- $[d_e]$  Energía almacenada disponible  $[Wh]$ .

Dentro del diagrama mostrado en la figura 3.9 se a considerado funciones adecuadas y estas ser programadas correctamente en los momentos determinados para que las condiciones se realicen en los procesos de carga y descarga.

En los procesos de carga y descarga se debe tener cuidado por los datos del fabricante en el caso de las tolerancias establecidas ya que se manejan valores de amperios mas altos en el proceso de carga que el de descarga.

Los resultados mostrados en la figura 3.9 nos ayudan a definir los valores durante estos procesos de carga y descarga los mismos que son:

- $[I_c]$  Corriente de carga de la batería  $[A]$ .
- $[I_d]$  Corriente de descarga de la batería  $[A]$ .
- $[P_c]$  Potencia que ingresa durante la carga a la batería  $[W]$ .
- $[P_d]$  Potencia de descarga que la batería entrega al sistema fotovoltaico  $[W]$ .
- $[d_e]$  Balance de energía de carga y descarga, es igual a la diferencia de la energía de carga acumulada con la energía de descarga cedida,  $d_e \Rightarrow 0 [Wh]$ .

Se hace también mención que al momento de la simulación, la batería se encuentra totalmente descargada, pero en este modelo también se puede ingresar cualquier valor inicial de energía almacenada como se observa en la figura 3.10.

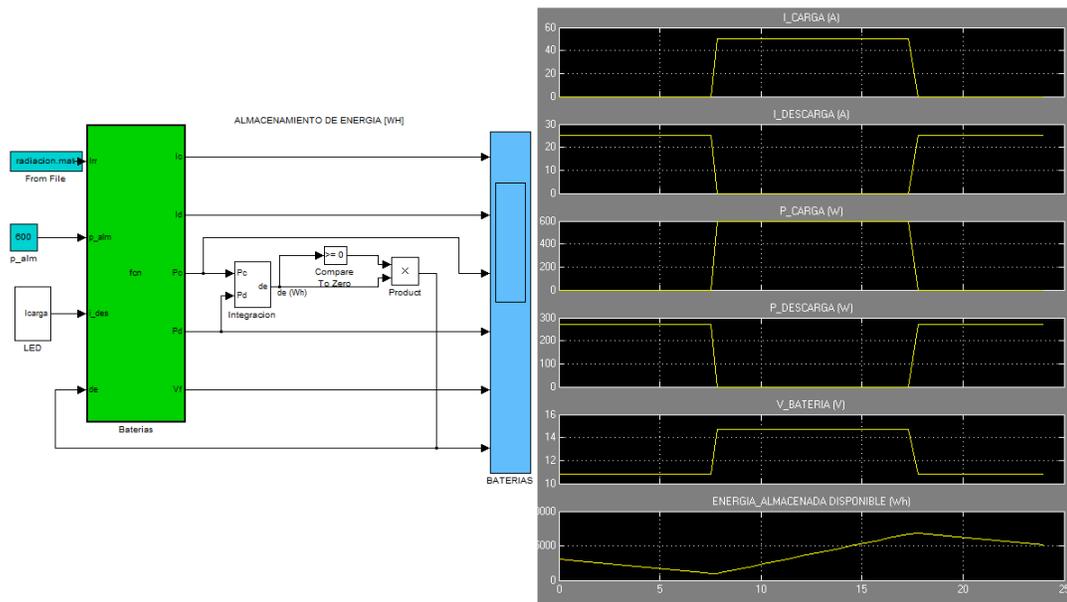


Figura 3.10: Almacenamiento de Energía con valor inicial de energía almacenada .

El número de baterías que se necesita para suministrar dicha potencia, consiste en conectar las baterías en serie y/o paralelo.

La energía que se pueda almacenar mediante el programa 3.10 nos permite una evaluación de la capacidad, calidad y cantidad de las baterías a instalar en una aplicación determinada.

### 3.1.3. REGULADOR .

Como ya se mencionó regula los voltajes y corrientes, y permiten que toda la corriente que proviene de los paneles solares pase hacia la batería hasta su punto de sobrecarga, según sus niveles de tensión los cuales el regulador realiza controles de corte.

#### Sistema de Regulación.

El sistema de regulacion consta de dos fases carga profunda y flotacion 3.11.

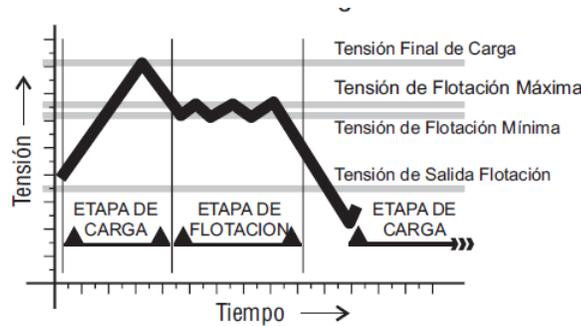


Figura 3.11: Ciclo de carga[?]

1. Carga Profunda.-En esta fase el regulador deja pasar la corriente hacia la batería hasta alcanzar su nivel máximo de tensión.
2. flotación.-En esta fase funciona en un rango de tensión máximo y mínimo, que son fijados entre la tensión final de carga y tensión nominal.

#### Parámetros de las ecuaciones:

Los parámetros característicos del regulador típicos se observa en el cuadro 3.1.

|                       |                        |
|-----------------------|------------------------|
| $Vhp_{max} = 14,5[V]$ | $Vhc_{min} = 11,40[V]$ |
| $Vhp_{seg} = 13,6[V]$ | $Vhc_{seg} = 12,5[V]$  |

Cuadro 3.1: Valores típicos de los umbrales de tensión de un regulador de carga. [?].

Este modelo toma parámetros característicos, para luego aplicar métodos de cálculo de condiciones de trabajo de los relés como se observa en la figura 3.12.

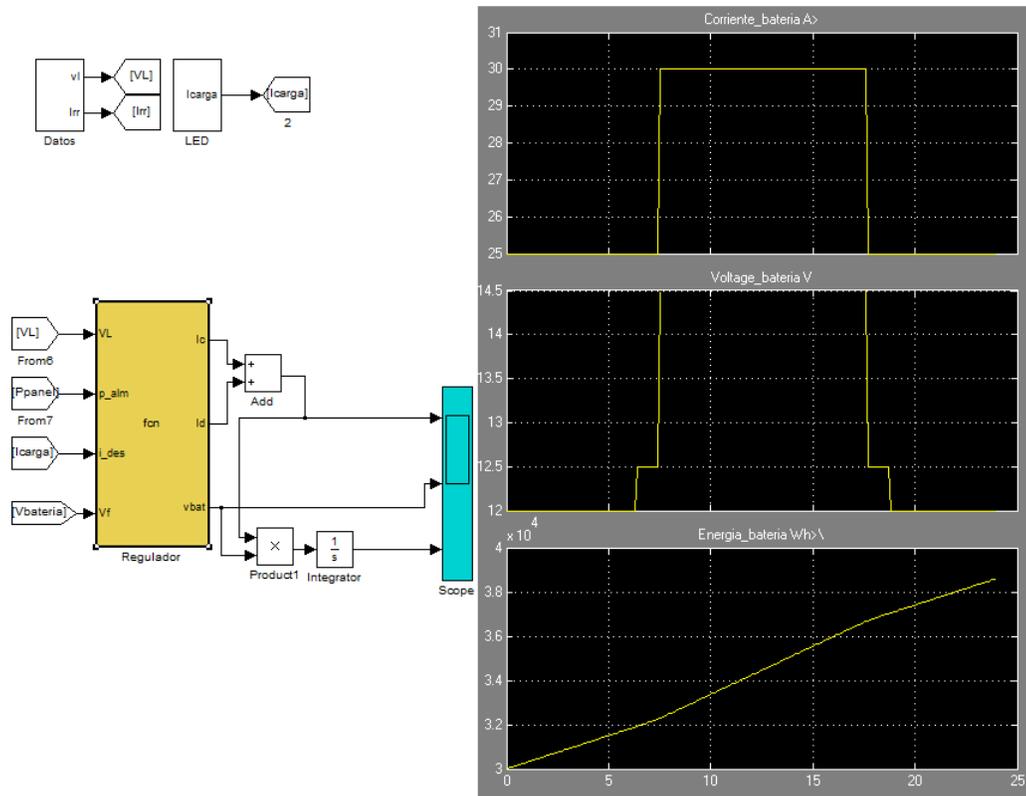


Figura 3.12: Simulación del regulador del Sistema Fotovoltaico. (ver Apéndice C ).

Como se observa en la figura 3.12 este dispositivo es el cual va a regular la corriente y voltaje del sistema, y las tensiones que interactúan entre panel-batería, batería-carga para alargar la vida útil de los dispositivos.

Este dispositivo lo observaremos en detalle al entrar en funcionamiento con los demás elementos del sistemas fotovoltaico.

### 3.1.4. CARGA (Luminaria Led).

En este bloque se debe especificar su parámetro característico la potencia de demanda en watts, en este caso el bloque de carga es DC y se puede modificar su potencia para la lámpara led.

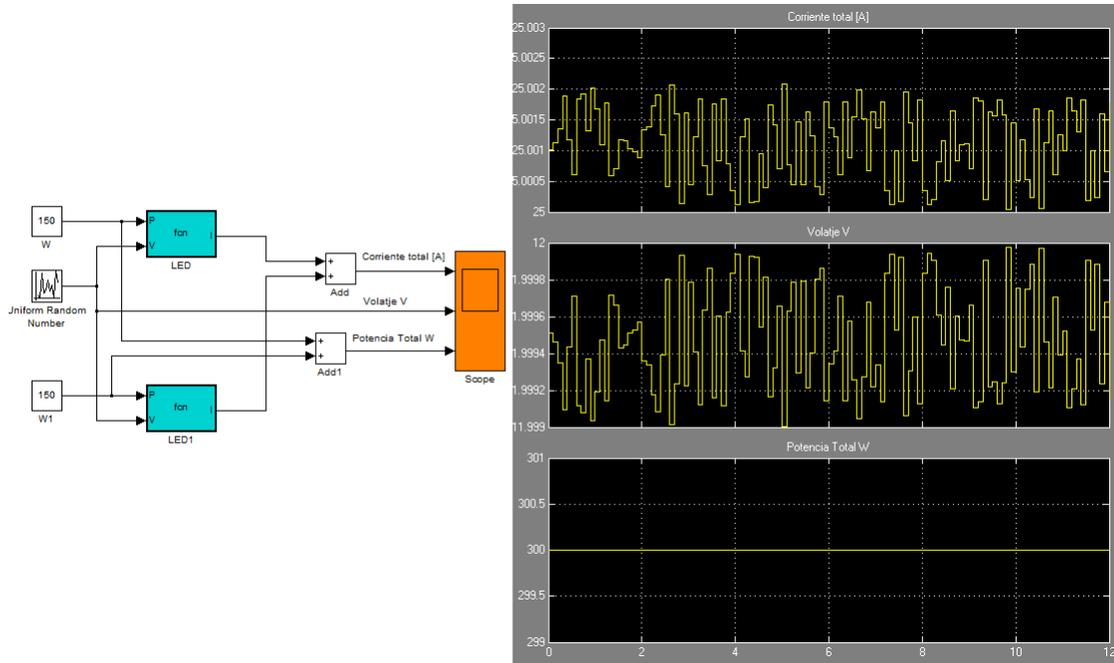


Figura 3.13: Modelamiento de una carga de 300W (ver Apéndice C ).

En la figura 3.13 se observa el comportamiento de la carga en base de su potencia, se debe tener en cuenta que la lámpara va a funcionar las 12 horas y debe tener un voltaje constante de 12V para que su potencia sea de 300W(dos lámparas).

### 3.1.5. CONDUCTORES ELÉCTRICOS.

Los calibres más utilizados en los sistemas fotovoltaicos son AWG #8, #10, #12 Y #14.

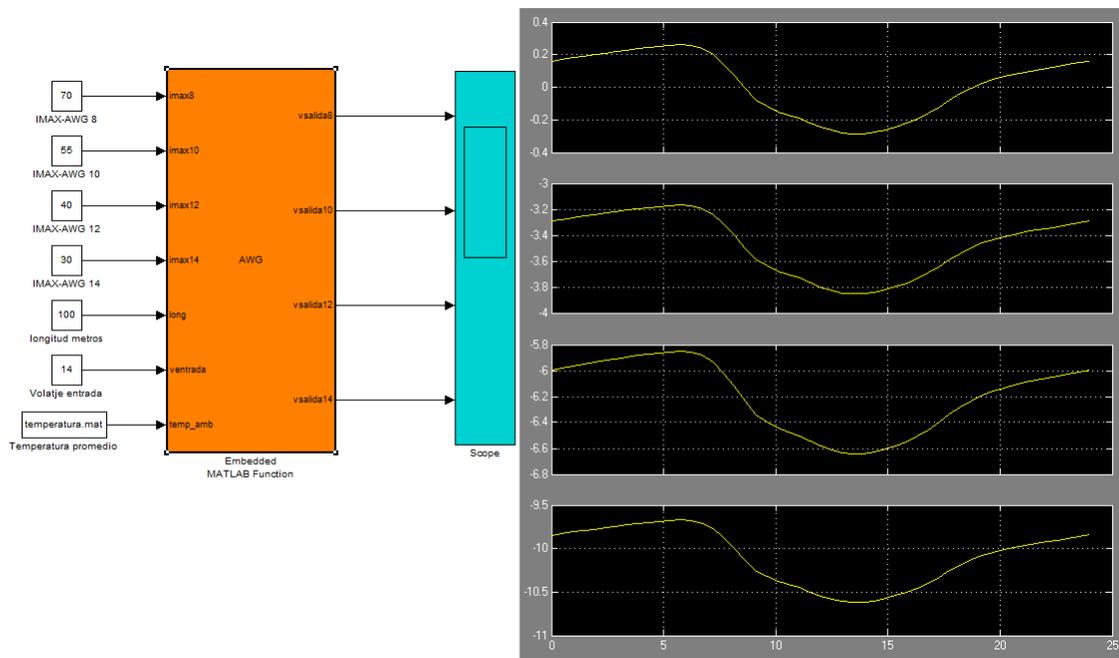


Figura 3.14: Simulación de los conductores Eléctricos . (ver Apéndice C ).

En la figura 3.14 tenemos datos de entrada como la intensidad de corriente máxima para cada conductor AWG ( $imax8$ ,  $imax10$ ,  $imax12$ ,  $imax14$ ), el voltaje inicial ( $ventrada$ ), la longitud del conductor en metros ( $l$ ) y la temperatura ambiente promedio en grados centígrados ( $temp\_amb$ ). Los datos de salida tenemos el voltaje final en voltios ( $vvalida$  para cada conductor AWG).

Cabe destacar la importancia de estos conductores ya que son los más utilizados y como se observa en la figura 3.14 por cada 100 m de longitud de cable las pérdidas de voltaje es de máximo de 0.3 V, dada una temperatura promedio del ambiente y también se observa que en los demás calibres el signo negativo es por que no existe ninguna pérdida de voltaje, debido a que se trabaja con menos corriente.

## 3.2. SIMULACIÓN Y VALIDACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO COMPLETO.

En esta sección se realizará la simulación y validación del sistema fotovoltaico en él se describen sus características y parámetros, que está compuesto por panel fotovoltaico, batería regulador y carga.

Que para efectos de simulación de la figura 3.16 se va a utilizar los siguientes dispositivos:

SUNCERAM II CELL FOR OUTDOOR USE de Panasonic [?], posee las siguientes características:

- Operating Voltage  $V_P(V) = 16$
- Operating Current  $I_P$  (mA) average = 34
- Open Circuit Voltage  $V_{OC}$  (V) = 24
- Short Circuit Current  $I_{SC}$  (mA) average = 36
- Light Source AM1.5 :  $100 \text{ mW/cm}^2$
- Measurement Temperature  $25^\circ C(77^\circ F)$ .

- Voltaje : 12V
- Voltaje carga 120 %
- Voltaje descarga 85 %

- $V_{hp_{max}} = 14,5[V]$
- $V_{hp_{seg}} = 13,6[V]$
- $V_{hc_{min}} = 11,40[V]$
- $V_{hc_{seg}} = 12,5[V]$

- $V_{led}$ : 12V
- $P_{led}$ : 300 W(dos lámparas)

Entonces el sistema fotovoltaico en esta tesis es para alumbrado público que va a funcionar 12 horas/día (18 pm a 6 am), y tenemos una corriente de carga dado por la ecuación siguiente:

$$I = P_{led}/V_{led} = 25[A] \quad (3.1)$$

Se puede calcular la corriente promedio de consumo por día por la siguiente ecuación:

$$T_s = I * h = 25 * 12 = 300[Ah] \quad (3.2)$$

Con este dato anterior se puede obtener la corriente que debe generar nuestro panel solar mediante la siguiente ecuación:

$$I_p = \frac{T_s}{k_1 * k_2 * h} = \frac{300}{0,92 * 0,94 * 12} = 29,06[A] \quad (3.3)$$

Los valores  $k_1$  y  $k_2$  según [?] son valores típicos que representan la deterioración por cambios de temperatura y por el proceso de carga y descarga de la batería.

Entonces se necesita una  $I_p = 29.06$  A y  $V_p = 16V$ , las curvas de radiación y temperatura serán las mismas curvas que se utilizaron para las simulaciones de los dispositivos, mostradas en las figuras 3.5 y 3.6.

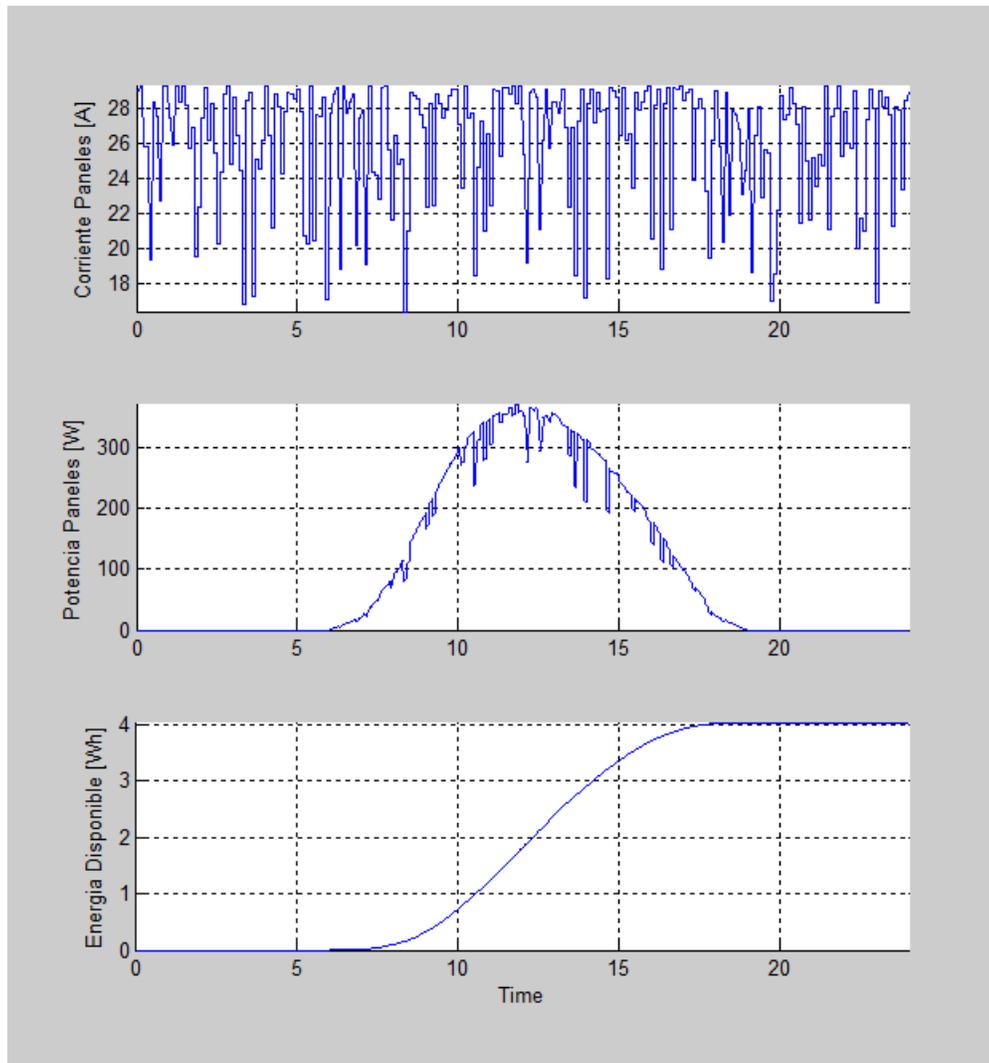


Figura 3.15: Arreglo de paneles solares

Como se observa en la figura 3.15 un arreglo de 8 paneles nos da una corriente de 29.32 A y potencia de 370.5 W que se necesita para satisfacer la demanda.

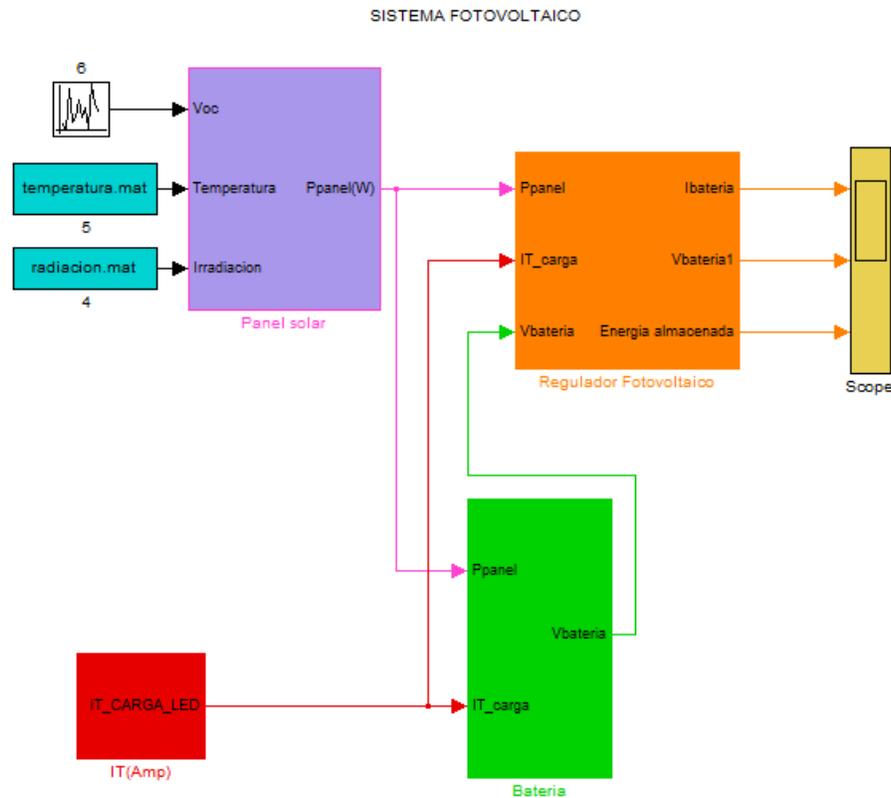


Figura 3.16: Sistema Fotovoltaico

En la figura 3.15 la corriente del panel solar sigue el comportamiento de la radiación que recibe; donde se observa también el comportamiento de la potencia y energía generadas por el panel fotovoltaico, también cabe destacar que no existe energía negativa en horas de radiación a causa del consumo de potencia de los paneles ya que se evita mediante los diodos de bloqueo, el  $V_{oc}$  del panel fotovoltaico es el Voltaje del circuito abierto como se mencionó anteriormente es de 24 voltios y su voltaje de Operación  $V_p$  es igual a 16 V.

Ahora la batería debe almacenar la energía proveniente de los paneles solares, y satisfacer la demanda de las luminarias por lo que la batería va estar en proceso de carga y descarga, como se observa en la figura 3.17.

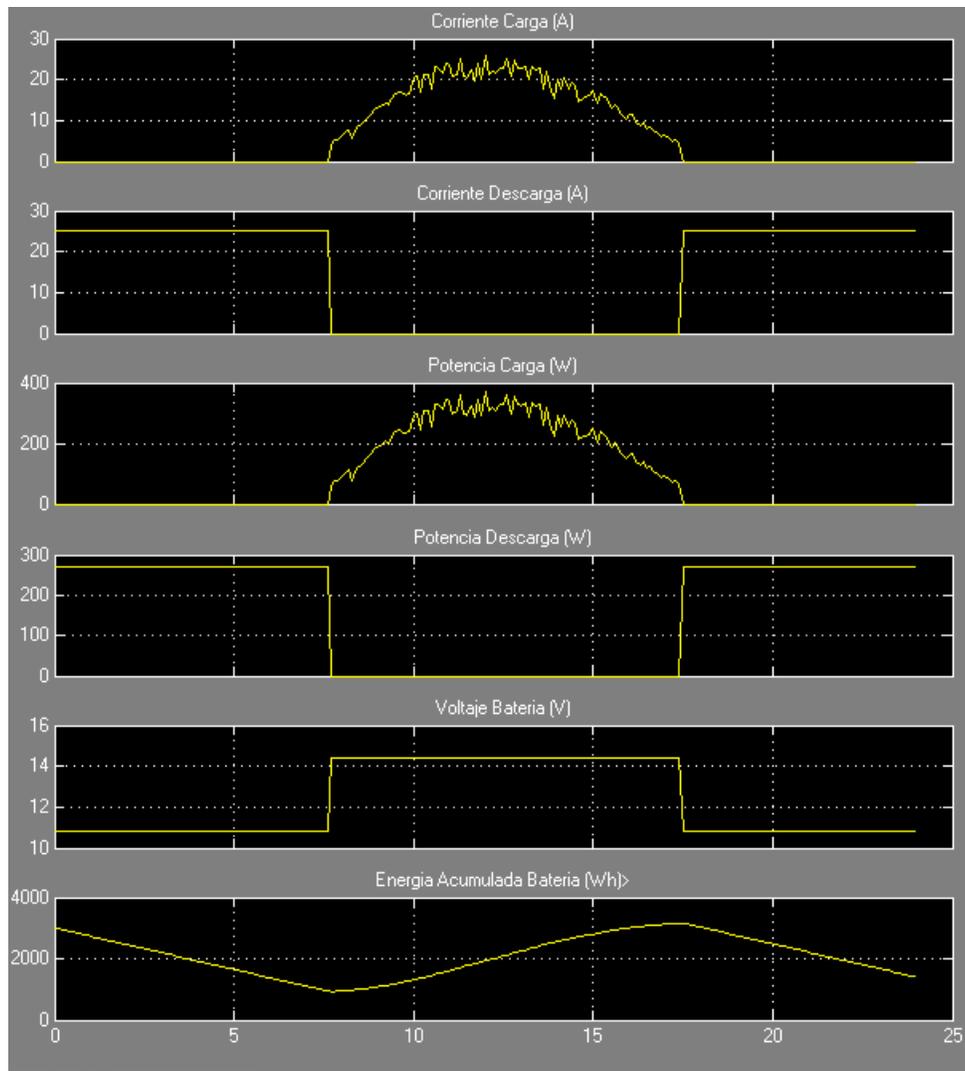


Figura 3.17: Simulación de la fuente de almacenamiento

En la figura 3.17 se observa el comportamiento gráfico de la batería, donde contiene un código necesario que determina las condiciones propicias para realizar los estados de carga y descarga, la que está basada en voltaje continuo y los valores de Potencia de Carga es la proveniente del panel solar y va a generar una corriente de carga ya que el límite de la batería a carga máxima es de 120%, y el proceso de descarga pasa cuando está suministrando potencia a la luminaria y esta batería se descarga hasta su 85% para poder mantener una larga vida útil.

Se observa en la figura 3.17 la Energía Acumulada disponible en la batería en la cual se puede verificar ya la capacidad de la batería en donde se tiene que la Energía es 3888.32 Wh/día.

Seguidamente el regulador, como ya se explicó en el modelamiento y simulación del regulador Fotovoltaico en donde trabaja por medio de tensiones de umbral para que la batería tenga un buen desempeño en las zonas de carga y descarga por lo cual estos valores gráficamente son observados en la figura 3.18.

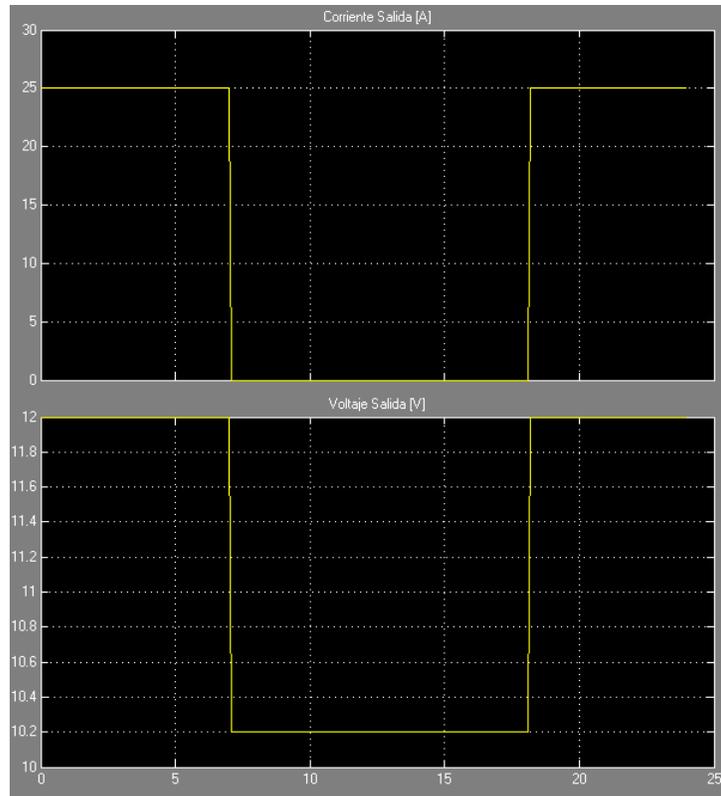


Figura 3.18: Simulación del Regulador Fotovoltaico.

En la figura 3.18 se observa la corriente y el voltaje de salida del regulador hacia la carga durante las 24 horas y como se observa el regulador tiene la capacidad de obtener de la batería los 25A y 12V que se necesita para las luminarias led.

La carga se tiene que suplir de corriente y voltaje necesario para su despacho esta energía en forma de luz, ya que estas cargas son luminarias LED de 12 V las cuales se consideran que no afectan en nada al sistema Fotovoltaico por la tecnología que están empleadas las luminarias.

## Capítulo 4

# DISEÑO LUMÍNICO DE TRAMOS DE LA AVENIDA DE LAS AMÉRICAS.

El enfoque va estar centrado en un cierto sector crítico de la Av. de las Américas con una nueva implementación de iluminación mejorando la actual iluminación que se tiene por parte del alumbrado público.

Con el nuevo diseño eficiente evitaremos una contaminación directa o indirectamente, ya que la implementación de luz artificial emite un flujo luminoso en este caso nocturno en un nivel de intensidades variables, en la zona donde implementaremos el nuevo diseño debemos tomar en cuenta este tipo de puntos para que las actividades que se vayan a desarrollar ahí fluyan con normalidad.

Los niveles de iluminación debemos evitar que existan excesos, debemos estar sujetos a las normas y reglamentaciones que se manejan dentro del alumbrado público vial los valores lumino-técnicos no deben ser superador en un 20% de lo estipulado.

Las luminarias tipo led debido a su ahorro energético el costo de la energía será menor por esta razón implementaremos luminarias led en el sector de estudio, la energía que utilizaremos será limpia ya que va provenir de paneles fotovoltaicos.

El ahorro será visualizado en la disminución de costos como el consumo de energía eléctrica de la red, transformadores, redes, ductos y cajas eléctricas.

Uno de los puntos favorables al momento de la utilización de iluminación led a base de los paneles solares es la larga vida útil es decir los paneles solares tiene una vida útil de 25 a 30 años, las luminarias led de 8 a 10 años, las baterías de 6 a 8 años, entonces si comparamos con las lámparas de sodio es mucho más viable la utilización de iluminación led

## 4.1. CRITERIOS GENERALES DEL ALUMBRADO PÚBLICO VIAL.

Los criterios básicos para un buen diseño y ejecución de una obra eléctrica vial es permitir a los peatones y conductores circular con toda seguridad sobre las vías y no obstante de tener una respectiva comodidad.

La visualización debe ser completamente clara ya sea de la vía en general, los bordes y en total su superficie, pero siempre esta las irregularidades que de curvas que conlleva a visualizar objetos fijos y móviles. Un objetivo claro dentro del alumbrado público es el mejorar cada día más la visibilidad esto reduce el índice de accidentes y aumenta el flujo vehicular, pero sin descuidar a los peatones y ciclistas que pueden transitar en la vía por tanto no debe producirse un deslumbramiento lo que disminuya la visibilidad y pueda causar un accidente.

### a) Estética visual.

El objetivo primordial del alumbrado público es el permitir a los usuarios tanto de la calzada como del andén que pueden circular de manera segura en horas de la noche de forma cómoda y a velocidades que están establecidas por la ley.

La capacidad que se tiene para percibir cuando se está ante una situación conflictiva procesando la información visual remitida por un escenario urbano bien iluminado, resaltar o permitir la visión nocturna de valores estéticos, es decir pueden ser los monumentos, fuentes, piletas, jardines y sitios pintorescos.

### b) Seguridad.

La seguridad de los peatones tiene que ser notoria es decir que si transitan a un paso normal pueden distinguir objetos u obstáculos que este ubicados ya sea en la calzada o en la vereda, según las normativa nos dicen que una distancia mínima que el peatón puede tener para visualizar un objeto es de 10m, seguido de los conductores dependerá de su velocidad a la cual transita lo cual el conductor deberá visualizar cualquier objeto a una distancia de 100m.

El contraste visual de la vista debe ser superior al mínimo requerido para que de esta manera se pueda observar los objetos. Según el Angulo con que se observa los objetos dependerá el contraste y como este repartida la luminancia en el campo visual del observador.

Es fundamental que el alumbrado público permita ver esos obstáculos y otros vehículos sin riesgo de sufrir un accidente. Este mismo concepto se plantea para los peatones, como su velocidad mucho menor su visibilidad hace que sea exigente para ver.

c) Comodidad.

Una instalación de alumbrado público para que este cómodamente adaptada al ambiente siempre va depender de un patrón de luminancia y de su uniformidad del nivel de iluminación y no obstante que el deslumbramiento esté ausente, todos estos criterios deben estar plenamente escogidos para que su resultado sea principalmente el reducir el cansancio y tensiones nerviosas al conductor. Lo primero que visualiza el conductor al trasladarse por la vía es su visión de la calzada al frente del volante es lo principal que percibe lo cual reduce su visibilidad del resto del campo ya sea atrás o a los lados. Si se prioriza el campo visual se tendrá una característica importante del tráfico vehicular. La instalación del alumbrado público será mejor para la comodidad visual si el ojo conductor tiene mejores niveles de adaptación. Entonces implica elevar la Luminancia promedio sobre la vía.

d) Economía.

La parte económica va estar regida a que si existe una disminución de costos y pérdidas. Con un mejoramiento vial se disminuirá los costos de transporte por el tiempo de recorrido, las pérdidas económicas ya sea en accidentes o por delitos se reducirán, el aumento de peatones será más notable con una buena iluminación. Esto implica que deberá ser necesario una evaluación económica y financiera de todos los proyectos de alumbrado público pero siempre incluyendo, costos de inversión, costos de operación y mantenimiento de todo el proyecto. Los costos energéticos, son notables cuando se definen cargas operativas.

e) Clima.

Las normas y condiciones ambientales se han ido estableciendo como un requerimiento importante por tanto un proyecto de alumbrado público debe estar sujeto a estas condiciones ambientales del lugar donde se vaya a establecer el proyecto, dentro de la parte estética de las luminarias es esencial saber qué condiciones ambientales que puede afectar a la zona para así prever elementos corrosivos, la hermeticidad y protección contra corrosión de las luminarias están sujetas a las condiciones

ambientales y las facilidades de mantenimiento es decir en general a su grupo óptico, todo esto se va ver reflejado al final en el diseño que se utilice.

## 4.2. DIMENSIONAMIENTO DE LOS DISPOSITIVOS DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

Hay una diversidad de métodos de dimensionamiento de los dispositivos del sistema fotovoltaico en este caso un sistema autónomo para cada poste de iluminación pública, como métodos simples y complejos.

La estructura del dimensionamiento de un dispositivo fotovoltaico independiente es totalmente diferente a un sistema fotovoltaico que se vaya a conectar a una red, lo principal para empezar con el dimensionamiento del sistema es obtener datos para el rendimiento óptimo del sistema a lo largo de por lo menos un año de esta manera la utilidad del sistema será lo fiable posible, es decir que su dimensionamiento está centrado al aporte que sea garantizado para el respectivo funcionamiento de su lámpara y obteniendo el mínimo de fallas posibles.

Los puntos que están dentro de nuestro dimensionamiento autónomo son los siguientes:

### 4.2.1. EVALUACIÓN DEL CONSUMO

Las características de la luminaria Led influirán dentro de la demanda de la energía puesto que estos serán en si la carga del sistema fotovoltaico.

En este caso se debe tener un cálculo de la energía que vaya a ser necesaria para el funcionamiento de la lámpara en sus horas nocturnas, con la potencia de lámpara a utilizarse así que el tiempo de funcionamiento como su potencia se deberá redondear.

Luego de tener un conocimiento de los aparatos con sus potencias y tiempos de funcionalidad la formula a emplearse para el cálculo del consumo de aparatos CC tenemos:

$$EC_{DC} = \sum P_{DCi} * t_d \quad (4.1)$$

Donde:

$EC_{DC}$  : Energía Consumida en DC (Wh).

$P_{DCi}$  :Potencia Nominal (W).

$t_d$  : Tiempo de uso diario (h).

Así para el consumo medio diario se tiene la formula siguiente con sus diferentes etapas de rendimiento:

$$E_{md} = \frac{EC_{DC}}{\eta_{bat} * \eta_{cond}} \quad (4.2)$$

Donde:

$E_{md}$  Energía real Requerida por el sistema en un día (Wh).

$\eta_{bat}$  : Rendimiento de la batería.

$\eta_{cond}$  : Rendimiento de los conductores

Con este dato importante podemos calcular la energía de todo el sistema llegue a demandar para un día de consumo total y poder dimensionar bien el generador fotovoltaico.

La Energía Total anual se calculara con la siguiente expresión:

$$E_T = E_{md} * N_d \quad (4.3)$$

Donde:

$E_T$  : Energía real Requerida total por el sistema en un año (Wh).

$N_d$  :Numero de días de funcionamiento del sistema a lo largo de un año.

Por último, la Energía media diaria anual será:

$$E_{ma} = \frac{E_T}{N_d} \quad (4.4)$$

Donde:

$E_{ma}$  : Energía Real requerida por el sistema en un año (Wh).

$N_d$  :Numero de días de funcionamiento del sistema a lo largo de un año.

#### **Evaluación de la energía diaria.**

Los valores obtenidos al realizar la evaluación de consumos aplicando las expresiones se puede observar en el siguiente cuadro.

| Expresión      | Evaluación del Consumo | Unidad                   |
|----------------|------------------------|--------------------------|
| Pdc1           | led_1                  | 150 Watos                |
| Pdc2           | led_2                  | 150 Watos                |
| td(uso diario) |                        | 12 horas                 |
| nbat           |                        | 87,5% %                  |
| ncond          |                        | 100% %                   |
| Nd             |                        | 183 días                 |
|                |                        |                          |
| ECdc           |                        | 3600 Watos/hora          |
| Emd            |                        | 4114,29 Watioshora       |
| ET             |                        | 752914,29 Watos/hora/día |
| Ema            |                        | 4114,29 Watos/hora/día   |

Cuadro 4.1: Cuatificacion del Consumo

#### 4.2.2. DIMENSIONAMIENTO DEL GENERADOR FOTOVOLTAICO.

Una vez realizado la evaluación del consumo, el siguiente paso es dimensionar el generador fotovoltaico (GFV).

##### Cálculo de la posición óptima de los módulos fotovoltaicos

Para tener una posición óptima se debe conocer dos ángulos importantes, la inclinación y orientación de la superficie receptora.

El primer ángulo es de inclinación, (es un ángulo formado entre la horizontal y la superficie receptora véase la figura 4.1), eel segundo ángulo es de orientación (es un ángulo formado entre la proyección de la normal de la superficie receptora sobre la horizontal y la dirección sur-norte véase la figura 4.1). aquí el dato importante es la radiación solar recibida sobre el sistema fotovoltaico.

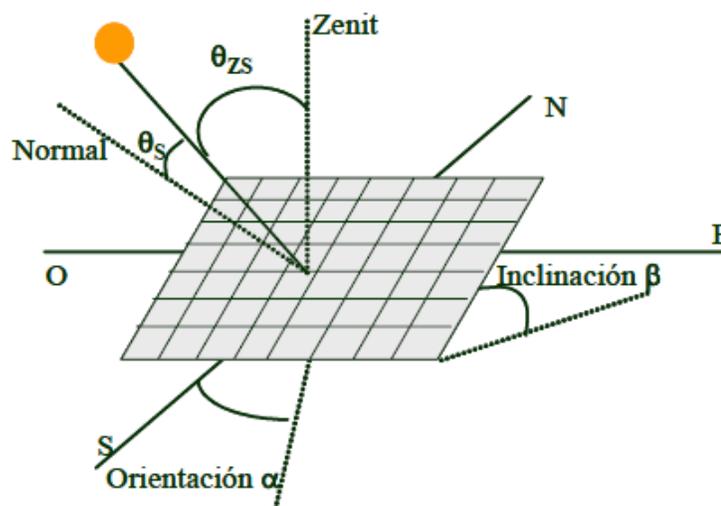


Figura 4.1: Ángulos sobre una superficie receptora. [?]

La orientación de la superficie receptora de la figura 4.1, debe apuntar hacia el sur geográfico si se encuentra en el hemisferio norte, y en dirección al norte si se encuentra en el hemisferio sur, el sol al estar en lo más alto (medio día), su posición coincide con los dos puntos geográficos norte y sur.

En el caso de la inclinación los paneles deben ser instalados para aprovechar al máximo la radiación solar incidente, que varía de acuerdo a la latitud del lugar de la instalación como se observa en el cuadro 4.2.

| Latitud                   | Angulo de inclinacion maximo |
|---------------------------|------------------------------|
| $0^{\circ} - 5^{\circ}$   | $0...a...,10^{\circ}$        |
| $6^{\circ} - 20^{\circ}$  | $Latitud.local + 5^{\circ}$  |
| $21^{\circ} - 45^{\circ}$ | $Latitud.local + 10^{\circ}$ |
| $46^{\circ} - 65^{\circ}$ | $Latitud.local + 15^{\circ}$ |
| $66^{\circ} - 75^{\circ}$ | $80^{\circ}$                 |

Cuadro 4.2: Inclinacion de los paneles fotovoltaicos de acuerdo a su latitud.

En este caso Ecuador está ubicado entre los  $2^{\circ}N$  y  $5^{\circ}S$  de latitud por lo que los paneles deben ser instalados máximos con una inclinación de  $10^{\circ}$  según 4.2, y el proyecto esta en Cuenca Azuay (latitud -3 y longitud -79) por lo que se ocupa el cuadro C.6 para saber la radiación a distintos grados de inclinación, como se observa en el cuadro 4.3.

| Inclinacion (grados)/MES | (G) Radiación media mensual W/m2 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|--------------------------|----------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                          | ENE                              | FEB    | MAR    | ABR    | MAY    | JUN    | JUL    | AGO    | SEPT   | OCT    | NOV    | DIC    |
| 0                        | 345,41                           | 287,88 | 339,92 | 375,27 | 334,22 | 330,52 | 283,08 | 290,60 | 335,20 | 355,77 | 416,39 | 379,71 |
| 5                        | 335,05                           | 282,12 | 339,92 | 382,77 | 344,25 | 340,44 | 288,74 | 293,50 | 335,20 | 348,65 | 403,90 | 368,32 |
| 10                       | 321,23                           | 276,36 | 336,52 | 386,53 | 350,93 | 347,05 | 294,40 | 296,41 | 331,85 | 341,54 | 391,41 | 353,13 |

Cuadro 4.3: Radiacion solar cada mes para diferentes inclinaciones .

Del cuadro 4.3 se procede utilizar el criterio del mes peor, por lo que se procede a sacar el cuadro 4.4 que nos indica la corriente que debe suministrar el GFV en el punto de máxima potencia para cada inclinación y cada mes del año, según los datos del cuadro 4.1,

| Inclinacion (grados)/MES | Ema/G |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                          | ENE   | FEB   | MAR   | ABR   | MAY   | JUN   | JUL   | AGO   | SEPT  | OCT   | NOV   | DIC   |
| 0                        | 13,03 | 15,63 | 13,24 | 11,99 | 13,46 | 13,61 | 15,90 | 15,49 | 13,42 | 12,65 | 10,81 | 11,85 |
| 5                        | 13,43 | 15,95 | 13,24 | 11,76 | 13,07 | 13,22 | 15,58 | 15,33 | 13,42 | 12,91 | 11,14 | 12,22 |
| 10                       | 14,01 | 16,28 | 13,37 | 11,64 | 12,82 | 12,97 | 15,29 | 15,18 | 13,56 | 13,18 | 11,50 | 12,74 |

Cuadro 4.4:  $E_{md}/G$

A continuación se procede a realizar dos pasos:

1. Para cada ángulo de inclinación se tomara el máximo cociente, obteniendo de este modo el mes crítico.
2. Se toma el mínimo de los máximos cocientes anteriores para garantizar la captación energética solar en el mes crítico.

Quedando como resultado como se observa en el cuadro 4.5 señalado con negrita y encuadrado más relevante.

| Inclinacion<br>(grados)/MES | Ema/G |       |       |       |       |       |       |       |       |       |              |       |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|-------|
|                             | ENE   | FEB   | MAR   | ABR   | MAY   | JUN   | JUL   | AGO   | SEPT  | OCT   | NOV          | DIC   |
| 0                           | 13,03 | 15,63 | 13,24 | 11,99 | 13,46 | 13,61 | 15,90 | 15,49 | 13,42 | 12,65 | 10,81        | 11,85 |
| 5                           | 13,43 | 15,95 | 13,24 | 11,76 | 13,07 | 13,22 | 15,58 | 15,33 | 13,42 | 12,91 | 11,14        | 12,22 |
| 10                          | 14,01 | 16,28 | 13,37 | 11,64 | 12,82 | 12,97 | 15,29 | 15,18 | 13,56 | 13,18 | <b>11,50</b> | 12,74 |

Cuadro 4.5: Mes critico/Maximos cocientes.

Por lo tanto la inclinación optima de los módulos seria de 10<sup>0</sup>

En el dimensionamiento del módulo fotovoltaico se va usar un método denominado amperios-hora del consumo estimado, que a partir de este dato se tiene la corriente que va a funcionar el generador, y después se podrá saber el número de paneles que se habrá de instalar en paralelo, y posteriormente se calculara el número de paneles en serie en cada rama, lo cual se hace las suposiciones siguientes para este método[?].

- Los módulos fotovoltaicos van a trabajar con la tensión impuesta por la batería.
- La corriente de trabajo de cada módulo fotovoltaico será igual a la corriente nominal del módulo.
- Sera necesario de tener presente el dato de la corriente nominal del módulo fotovoltaico  $I_{modulo}$ .

Con lo visto anteriormente se dimensiona con las siguientes expresiones.

$$C_{Ah} = \frac{E_{md}}{V_{bat}} \tag{4.5}$$

Donde:

$C_{Ah}$  : Consumo diario medio mensual en Amperios-Hora al día (Ah/día).

$E_{md}$  : Consumo diario medio mensual en Watios-Hora al día (Wh/día).

$V_{bat}$  : Tensión nominal de la batería (V).

$$I_{GFV} = \frac{C_{Ah}}{t_d} \tag{4.6}$$

Donde:

$I_{GFV}$  : Corriente Total del generador fotovoltaico.

$C_{Ah}$  : Consumo medio anual en Amperios-Hora al día (Ah/día).

$t_d$  : Tiempo de uso diario (h).

Ahora se puede calcular el número de módulos a conectar en paralelo con:

$$N_P = \frac{I_{GFV}}{I_{modulo}} \quad (4.7)$$

Entonces el número de módulos conectados en serie será:

$$N_s = \frac{V_{bat}}{V_{modulo}} \quad (4.8)$$

Y por último, el número total de módulos será:

$$N_T = N_P * N_S \quad (4.9)$$

### Dimensionamiento del Generador Fotovoltaico.

Los valores obtenidos al aplicar las expresiones para el dimensionamiento del generador fotovoltaico se observa en el siguiente cuadro.

| Expresión  | Datos Generador FV | Unidad          |
|------------|--------------------|-----------------|
| Emd        | 4114,29            | Watioshora      |
| Vbat       | 12                 | Voltios         |
| td         | 12                 | horas           |
| inclin.mod | 10                 | grados          |
| Ip modulo  | 3,663              | A               |
| Vp modulo  | 8                  | Voltios         |
| Cah        | 342,86             | Ah/dia          |
| IGFV       | 28,57              | A               |
| Np         | 8                  | paneles solares |
| Ns         | 1                  | paneles solares |
| Nt         | 8                  | paneles solares |

Cuadro 4.6: Datos del Dimensionamiento del Generador Fotovoltaico.

### 4.2.3. DIMENSIONAMIENTO DEL BANCO DE BATERÍAS.

Un dato importante para poder conocer la capacidad de la batería es de cuánto tiempo durante un mes no recibe radiación solar en el lugar donde el proyecto se vaya a ejecutar conocido como NO-SOL, que puede ocurrir por diferentes condiciones climáticas, en donde estas baterías aportaran la energía necesaria para estos días sin sol.

Este dato se observa en el cuadro 4.7 mediante los satélites de la NASA del Programa de meteorología de Superficie y Energía Solar.

| Factor de derating en baterías de plomo-acido | Valor |
|-----------------------------------------------|-------|
| $80^{\circ}F/26,7^{\circ}C$                   | 1,00  |
| $70^{\circ}F/21,2^{\circ}C$                   | 1,04  |
| $60^{\circ}F/15,6^{\circ}C$                   | 1,11  |
| $50^{\circ}F/10,0^{\circ}C$                   | 1,19  |
| $40^{\circ}F/4,4^{\circ}C$                    | 1,30  |
| $30^{\circ}F/-1,1^{\circ}C$                   | 1,40  |
| $20^{\circ}F/-6,7^{\circ}C$                   | 1,59  |

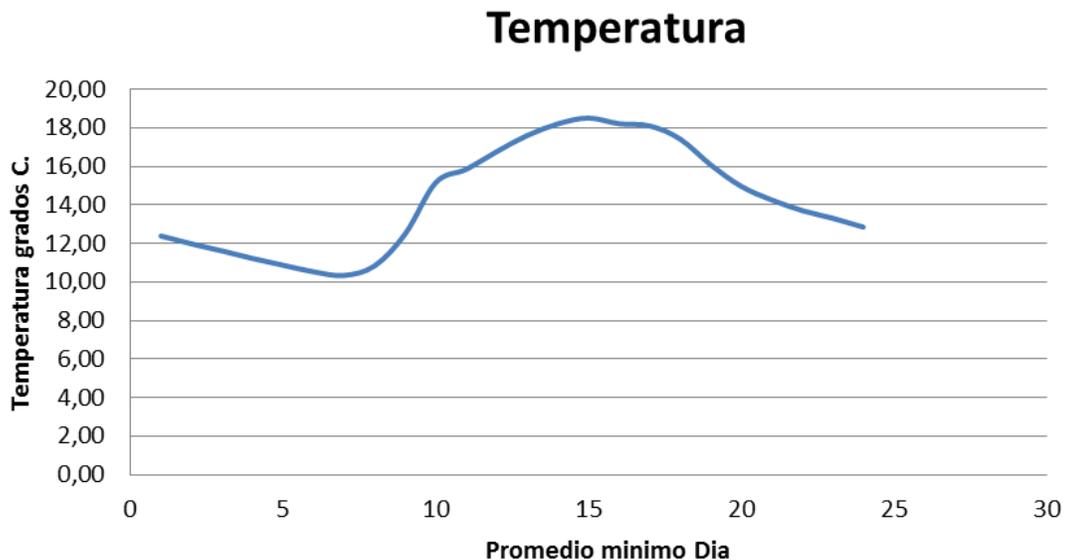
Cuadro 4.8: Factores de Rendimiento de baterías de plomo acido.

| Lat -2,85<br>Lon -78,95 | Jan  | Feb  | Mar  | Apr  | May  | Jun  | Jul  | Aug  | Sep  | Oct  | Nov  | Dec  |
|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1 day                   | 0,62 | 0,67 | 0,57 | 0,49 | 0,56 | 0,51 | 0,45 | 0,67 | 0,57 | 0,50 | 0,66 | 0,65 |
| 3 day                   | 1,26 | 1,27 | 1,23 | 1,09 | 1,09 | 0,92 | 1,11 | 1,39 | 1,44 | 1,25 | 1,54 | 1,52 |
| 7 day                   | 2,33 | 2,00 | 2,10 | 1,87 | 1,64 | 1,67 | 2,10 | 2,75 | 2,37 | 1,90 | 2,91 | 3,11 |
| 14 day                  | 4,22 | 3,28 | 3,37 | 2,51 | 2,57 | 2,46 | 2,51 | 4,05 | 3,32 | 2,85 | 4,27 | 3,18 |
| 21 day                  | 4,48 | 3,09 | 2,82 | 3,15 | 3,15 | 3,43 | 2,94 | 4,92 | 4,53 | 4,33 | 4,10 | 3,11 |
| Month                   | 4,66 | 3,09 | 2,02 | 3,74 | 3,40 | 4,19 | 2,36 | 4,55 | 4,81 | 4,50 | 4,43 | 3,73 |

Cuadro 4.7: Dias NO-SOL para Cuenca-Azuay [?].

Del cuadro 4.7 se obtiene un promedio de 3,79 de días NO-SOL por lo que el banco de baterías debe ser diseñado para 4 días de autonomía.

El segundo dato importante es la pérdida de rendimiento (derating) de las baterías a causa de las bajas temperaturas que sufre Cuenca-Azuay como se puede apreciar en el cuadro 4.9 el valor promedio mínimo en esta localidad es de  $14,31^{\circ}C$ . y este valor viene determinado por la tabla 4.8.



Cuadro 4.9: Temperatura Promedio Dia minimo

Entonces con los dos datos importantes vistos anteriormente se puede utilizar la siguiente expresión para calcular la capacidad del banco de baterías.

$$C_{bat} = \frac{E_{md} * D_{autonomia}}{F_{ad} * V_{bat}} * F_d \tag{4.10}$$

Donde:

$C_{bat}$  : Capacidad del banco de baterías Ah\ día.

$E_{md}$  Energía real Requerida por el sistema en un día (Wh).

$D_{autonomia}$  : Días de autonomía del sistema con NO-SOL.

$F_{ad}$  : Factor de seguridad de auto descarga de la batería de almacenaje.

$V_{bat}$  : Tensión nominal de la batería (V).

$F_d$  : Factor de perdida de rendimiento de la batería.

Por lo siguiente se puede calcular el número de baterías en serie mediante la siguiente expresión.

$$\#BAT_{serie} = \frac{V_{sistema}}{V_{bat}} \tag{4.11}$$

donde:

$V_{sistema}$  : Tensión nominal del sistema

y el número de batería en paralelo sería por la expresión.

$$\#BAT_{paralelo} = \frac{C_{bat}}{C_{nom.bat}} \tag{4.12}$$

donde:

$C_{nom.bat}$  : Capacidad nominal de la batería Ah.

Los resultados obtenidos al aplicar la formula anterior se puede apreciar en el siguiente cuadro, en donde se tiene dicha capacidad y numero de baterías en serie y paralelo, y hay que tener en cuenta la capacidad nominal del banco de baterías a un régimen de descarga de 20 horas (C20).

| Expresion    | Valor   | Unidad     |
|--------------|---------|------------|
| Emd          | 4114,29 | Watioshora |
| Vbat         | 12      | voltios    |
| Dautonomia   | 4       | dias       |
| Tprom.min    | 14,31   | grados C.  |
| Fd(derating) | 1,11    |            |
| Vsistema     | 12      | voltios    |
| C20(nom.bat) | 225,00  | Ah         |
| Fad          | 0,8     |            |
| Cbat         | 1902,86 | Ah         |
| Bat.serie    | 1       | #          |
| Bat.paralelo | 9       | #          |

Cuadro 4.10: Capacidad del banco de baterías.

#### 4.2.4. DIMENSIONAMIENTO DEL REGULADOR FOTOVOLTAICO.

En la cual se va a calcular la corriente máxima de entrada y salida que va a soportar el regulador, en la cual se va a aplicar la siguiente fórmula para la corriente de entrada, se va a usar las corrientes de cortocircuito porque va ser la máxima corriente generada por los módulos fotovoltaicos.

$$I_{entrada} = I_{SC\text{modulo}} * N_p * 1,25 \quad (4.13)$$

Donde:

$I_{SC\text{modulo}}$  :Corriente de cortocircuito del módulo fotovoltaico .

$N_p$  :Es el numero de módulos conectados en paralelo.

1,25 Es un factor de Seguridad para evitar daños al regulador.

Para la corriente de salida, se va a tomar en cuenta la carga instalada y el Voltaje nominal de la batería por lo que se utiliza la siguiente formula.

$$I_{salida} = \frac{P_{carga}}{V_{bat}} * 1,25 \quad (4.14)$$

Donde:

$P_{carga}$  : Potencia instalada.

1,25 Factor de Seguridad para evitar daños al regulador.

$V_{bat}$  : Tensión nominal de la batería (V).

En el siguiente cuadro se tiene los resultados de la corriente de entrada y salida.

| Expresion  | Valor | Unidad   |
|------------|-------|----------|
| Isc,modulo | 3,88  | Amp      |
| Np         | 8     | #paneles |
| Fseguridad | 1,25  |          |
| Pcarga     | 300   | Wattios  |
| Vbat       | 12    | voltios  |
|            |       |          |
| Ientrada   | 38,78 | Amp      |
| Isalida    | 31,25 | Amp      |

Cuadro 4.11: Regulador Fotovoltaico.

### 4.3. DISEÑO LUMÍNICO DE UN TRAMO DE LA AV DE LA AMÉRICAS MEDIANTE DIALUX

#### Niveles de Iluminación regulado por el CONELEC.

Los Niveles que se deben tener en cuenta por el agente regulador CONELEC, son recomenda-

ciones de algunos países y formuladas por la CIE según los cuadros , y .Debido a la gran cantidad de factores que intervienen en la iluminación de una vía pública, la tarea del cálculo de alumbrado público ha sido siempre compleja.

| Clase de Iluminación | Calzada Vehicular |    |    | Incremento de Umbral | Relación de alrededor |
|----------------------|-------------------|----|----|----------------------|-----------------------|
|                      | Lprom             | Uo | UL | TI                   | SR                    |
|                      | cd/m <sup>2</sup> | >% | >% | <%                   | %                     |
| M1                   | 2.0               | 40 | 70 | 10                   | 50                    |
| M2                   | 1.5               | 40 | 70 | 10                   | 50                    |
| M3                   | 1.0               | 40 | 60 | 15                   | 50                    |
| M4                   | 0.75              | 40 | 60 | 15                   | 50                    |
| M5                   | 0.50              | 35 | 40 | 15                   | 50                    |
| M6                   | 0.30              | 35 | 40 | 20                   | 50                    |

Cuadro 4.12: Niveles de Iluminación para vías de Trafico motorizado 4

| Clases de Iluminación | Tipo de Aplicación                       |        |
|-----------------------|------------------------------------------|--------|
|                       | Iluminancia Horizontal (lx)              |        |
|                       | Referida a nivel de la superficie de uso |        |
|                       | Promedio                                 | Mínimo |
| P1                    | 15.00                                    | 3.00   |
| P2                    | 10.00                                    | 2.00   |
| P3                    | 7.50                                     | 1.50   |
| P4                    | 5.00                                     | 1.00   |
| P5                    | 3.00                                     | 0.60   |
| P6                    | 2.00                                     | 0.40   |

Cuadro 4.13: Niveles de Iluminación para vías peatonales 4

| Clases de Iluminación | Iluminancia Promedio E (lux) | Uniformidad de la Iluminancia Uo (E) | Incremento de Umbral (%)  |                           |
|-----------------------|------------------------------|--------------------------------------|---------------------------|---------------------------|
|                       |                              |                                      | Moderada y Alta Velocidad | Baja y muy baja velocidad |
| C0                    | 50                           | 0.40                                 | 10                        | 15                        |
| C1                    | 30                           |                                      | 10                        | 15                        |
| C2                    | 20                           |                                      | 10                        | 15                        |
| C3                    | 15                           |                                      | 15                        | 20                        |
| C4                    | 10                           |                                      | 15                        | 20                        |
| C5                    | 7.5                          |                                      | 15                        | 25                        |

Cuadro 4.14: Niveles de Iluminación para zonas de conflicto 4

**Aplicación del método punto por punto para Alumbrado público.**

1ro).- Se debe tener en cuenta los detalles de la vía y clasificarlo según el cuadro 4.15 establecido por el CONELEC.

| Parámetro                   | Opciones                       | Valor de Ponderación de Vp | Vp seleccionado |
|-----------------------------|--------------------------------|----------------------------|-----------------|
| Velocidad                   | Elevado                        | 1                          | 1               |
|                             | Alto                           | 0.5                        |                 |
|                             | Moderado                       | 0                          |                 |
| Volumen del Tráfico         | Elevado                        | 1                          | 1               |
|                             | Alto                           | 0.5                        |                 |
|                             | Moderado                       | 0                          |                 |
|                             | Bajo                           | -0.5                       |                 |
|                             | Muy Bajo                       | -1                         |                 |
| Composición de Tráfico      | Mezcla: con un alto porcentaje | 2                          | 1               |
|                             | Mezcla                         | 1                          |                 |
|                             | Solamente motorizado           | 0                          |                 |
| Separación de vías          | No                             | 1                          | 0               |
|                             | Si                             | 0                          |                 |
| Densidad de la intersección | Alta                           | 1                          | 1               |
|                             | Moderada                       | 0                          |                 |
| Vehículo Parqueados         | Se permite                     | 0.5                        | 0               |
|                             | No se permite                  | 0                          |                 |
| Iluminación Ambiental       | Alta                           | 1                          | 0               |
|                             | Moderada                       | 0                          |                 |
|                             | Baja                           | -1                         |                 |
| Guías Visuales              | Pobre                          | 0.5                        | 0,5             |
|                             | Moderado o bueno               | 0                          |                 |
|                             |                                | <b>TOTAL Vp</b>            | <b>4</b>        |

Cuadro 4.15: Parámetros de iluminación según Vp seleccionado.

En el cuadro 4.15 se observa los valores seleccionados de Vp en la cual los parámetros como: velocidad, volumen y composición del tráfico es alto por ser una vía principal y tener un alto índice de accidentes, en donde se tiene que el valor ponderado es igual a cuatro en donde al aplicar la formula 4.15 se obtiene la clase de iluminación que debe ser la vía según el cuadro 4.

$$Clase - Iluminación = 6 - \sum V_p$$

(4.15)

En donde se obtiene una clase de Iluminación M2 y por la cual esta clase se debe cumplir todos

sus características como: Luminancia promedio, Coeficientes de Uniformidad, Umbrales y Coeficiente de iluminación de los alrededores.

2do).- Selección de la lámpara de acuerdo a la distribución de luz requerida y luminancia promedio mínima mantenida.

La lámpara es la encargada de generar luz y que actualmente se utiliza lámparas de vapor de sodio de alta presión y lámparas de inducción, en esta tesis se va a utilizar la lámparas led por sus ventajas teóricas para establecer el flujo luminoso a utilizar ya que aún no existe una norma reguladora del uso de los Led's.

La luminaria Led que se va a ocupar en esta Tesis es: TECEO 2 - LENSOFLEX®2 como muestra en el cuadro 4.16 con sus respectivas características:

|                    |                      |                                                                                     |
|--------------------|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Serie</b>       | <b>LensoFlex®2</b>   |  |
| <b>Angulo</b>      | hasta 15 grados      |                                                                                     |
| <b>Temperatura</b> | Blanco neutro(4250K) |                                                                                     |
| <b>Vida útil</b>   | 100.000 horas        |                                                                                     |
| <b>Peso Neto</b>   | 17,5 Kg              |                                                                                     |
| <b>Frecuencia</b>  | 60Hz                 |                                                                                     |
| <b>Material</b>    | Aluminio inyectado   |                                                                                     |
| <b>Dimensiones</b> | (439 x 788 x 119) mm |                                                                                     |
| <b>Protección</b>  | IP 66 IK 08          |                                                                                     |
|                    |                      |                                                                                     |

Cuadro 4.16: Luminaria Led Teceo 2 Lensoflex-Schreder [?]

En la figura 4.2 se observa su diagrama polar y su curva isolux, que son obtenidos de la Schreder Dialux Plugin.

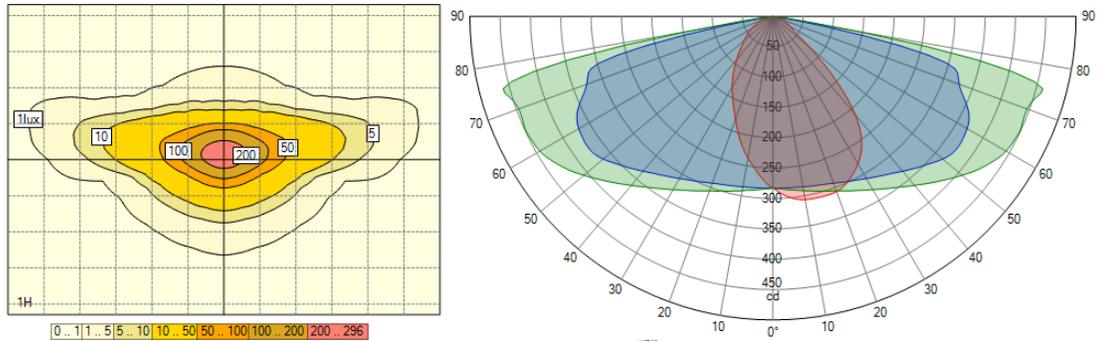


Figura 4.2: Curva isolux y Diagrama Polar

3ro).- Emplazamiento de las luminarias.

La altura de las luminarias, la separación y el emplazamiento, implican factores de iluminación tales como la uniformidad, el deslumbramiento lo que se debe respetar estos factores dados en el cuadro , en donde para conseguir una buena iluminación no basta con realizar cálculos sino se debe considerar el tipo de vía que para este caso es la Av. de las Américas con parter central y dos vías de 3 carriles cada uno.

4to).- Cálculos luminotécnicos.

Para realizar este cálculo al aplicar la ley del coseno que se da los lux en un punto más alejado se tiene que el flujo luminoso de la lámpara led es de 19948 lm por lo que la altura del luminario estará a 9 m.

La ley del coseno esta dada por la ecuacion 4.16.

$$E = \frac{Cd}{D^2} * \cos\theta$$

(4.16)

En donde:

- $E$  la luminancia [lux]
- $Cd$  Intensidad Luminosa [Cd]
- $D$  Distancia [m]
- $\theta$  Angulo

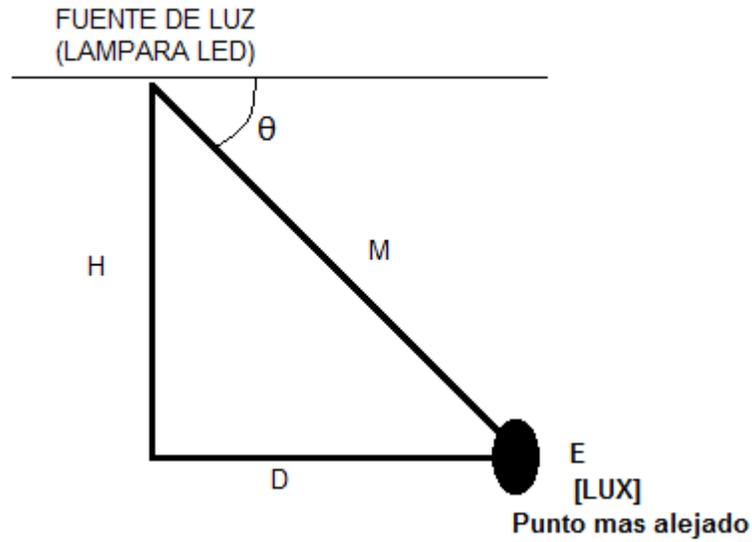


Figura 4.3: Ley del Coseno

En la figura 4.3 se observa la ley del coseno en donde establece la iluminancia E en una superficie y según la ecuación 4.16 es proporcional al coseno del ángulo del haz de luz incidente, que al aplicar dicha ley se tiene los siguientes datos.

|                     |            |          |
|---------------------|------------|----------|
| Luminaria LED       | 147 W      | 19448 lm |
| Altura de montaje   | 9m         |          |
| Ancho de la Calzada | +/- 12.5 m |          |

Cuadro 4.17: Datos de la Luminaria Led

En donde:

$$D = \sqrt{(D^2 + H^2)} = 15,40m$$

$$\theta = \text{sen}^{-1}\left(\frac{H}{D}\right) = 35,76^{\circ}$$

$$1\text{Lumen} = Cd * 0,67 * SR$$

En donde:

0,67 es un factor que se utiliza para la intensidad media de emisión de un LED

$SR$  esterorradianes según el ángulo de emisión del LED.

Para calcular el  $sr$  se utiliza una regla de tres ya que  $360^\circ = 4\Pi$ , el ángulo de emisión de la Led se observa en el diagrama polar de la figura 4.2 que tiene una emisión a un ángulo máximo de  $160^\circ$ , por lo que:

$$sr = \frac{160 * 4\Pi}{360} = 5,585$$

Entonces:

$$Cd = \frac{Lm}{0,67 * sr} = \frac{19448}{0,67 * 5,585} = 5197,29cd$$

La luminancia en el punto más distante con la luminaria LED de 147W-19448lm es:

$$E = \frac{5197,29}{15,40^2} * \cos(35,76)$$

$$E = 17,78[LUX]$$

La luminancia calculada de 17.78 lux en un punto a 12.5 m de la lámpara led, y sabiendo que según se debe mantener un promedio de 15 lux para peatones y mantener lo calculado sería que la distancia entre postes sea de 25 m.

#### 4.3.1. REALIZACIÓN DE LA SIMULACIÓN EN DIALUX.

Dialux es un software potente de simulación de ambientes exteriores e interiores de iluminación, que en donde se observa el comportamiento de las luminarias, este software está con todas las exigencias que hay hoy en día en el mercado el cual trabaja con plugins que son catálogos virtuales de diferentes marcas, en este caso se utilizara Schroeder por ser una marca internacional reconocida y existente en la Ciudad de Cuenca.

Para empezar y poder ir detallando todo lo que se pueda, se ha conseguido un mapa de Cuenca con las dimensiones de las Av. de las Américas ya que la misma tiene una longitud de 12 Km que se extiende desde el sector del Hospital del Río hasta el Control Sur, por ser muy extensa en esta tesis se ha considerado tres tramos de 200 m en donde haya cierta dificultad, y son: Control Sur, Sector el Arenal y Sector la Católica como se observa en la figura 4.4.



Figura 4.4: Sector de simulacion.

1. Debemos crear un nuevo proyecto y exportar el plano de la Av. de las Américas a dialux.
2. Se debe crear los elementos del suelo en donde va a ser calculado su iluminación y con sus respectivas características de vía en este caso es de asfalto.
3. Se debe crear un ambiente real para lo cual este programa ya viene con predeterminados objetos exteriores, casas, edificios, vehículos, inmobiliario urbano, etc.
4. Se inserta la luminaria con sus características como la inclinación, la altura de montaje, y la separación entre postes, el cual estos datos están dados por el cálculo lumínico.
5. Iniciar el cálculo en la superficie y obtener todos los datos o los necesarios, el cual este programa exporta a pdf.

Después de estar ya calculada se puede mostrar la escena exterior en un rendering 3D o en su defecto procesado en colores falsos en cualquiera de los dos casos el apuntador sobre cualquier punto de nuestra escena nos indica la iluminancia (lux) y la luminancia en  $cd/m^2$ .

En las siguientes figuras se observa el rendering 3D de los sectores.



Figura 4.5: Rendering 3D sector contro-sur

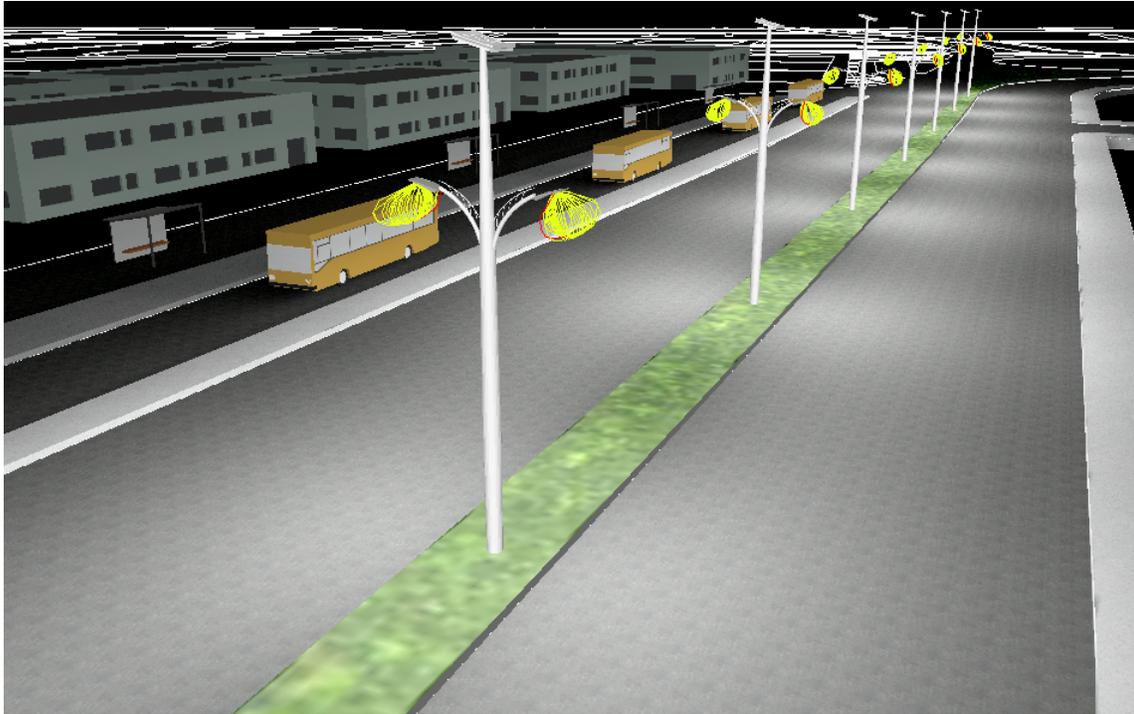


Figura 4.6: Rendering 3D Sector El Arenal

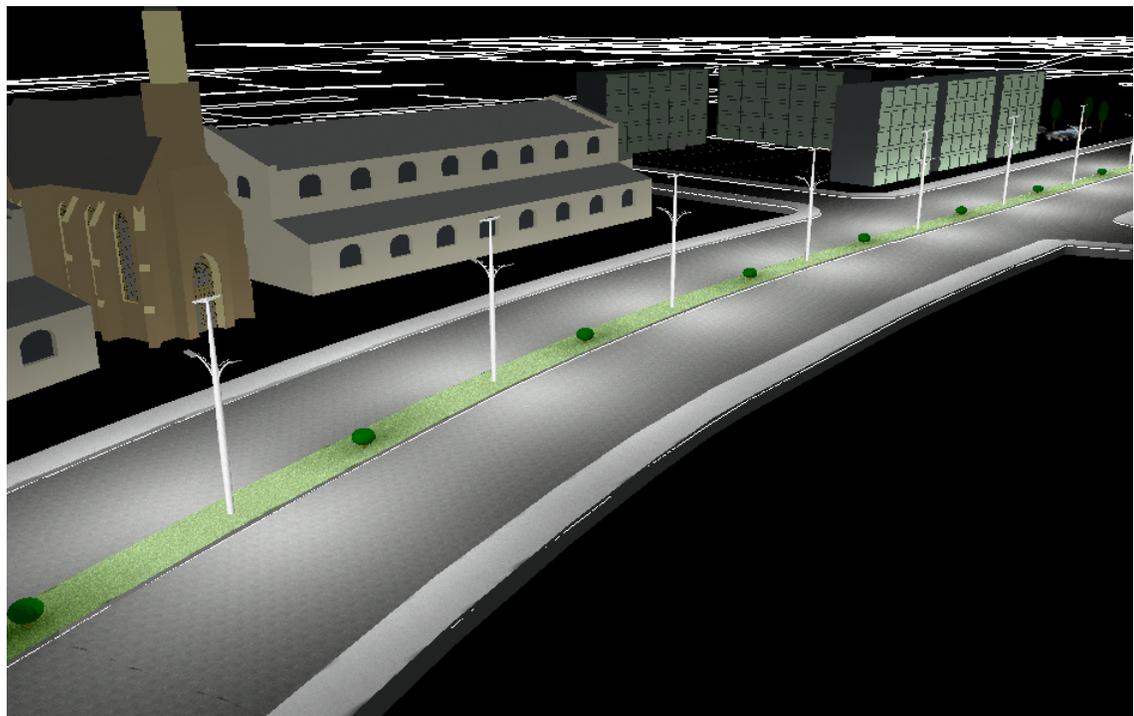
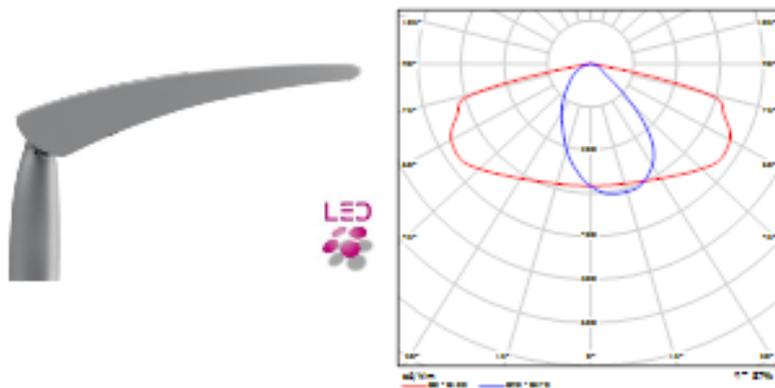


Figura 4.7: Rendering 3D Sector La Católica

Resultados obtenidos mediante Dialux en la cual nos da un informe de la cual vamos a presentar lo más importante.



Clasificación luminarias según CIE: 100  
Código CIE Flux: 45 78 97 100 88

Para esta luminaria no puede presentarse ninguna tabla UGR porque carece de atributos de simetría.

Luminaria LED hermética disponible en dos tamaños, TECED, compuesta por un protector de vidrio extraclaro y un cuerpo de aluminio donde se utiliza el bloque óptico (IP68) compuesto por 19-24-32-40 o 48 LED en la versión pequeña, y 59-64-72-80-88-96-104-112-120-128-136 o 144 LEDs de alto flujo luminoso blanco neutro y el compartimento de auxiliares (IP68), ambos independientes y accesibles in situ, lo cual permite el sistema Futureproof de actualización a lo largo del tiempo. Diseño compacto gracias a la tecnología LED con alturas de montaje de 4 a 10m (según versión y corriente de funcionamiento), tanto en posición vertical como horizontal (ajustable in situ). Diferentes ópticas disponibles para ofrecer la solución óptima a cada aplicación (funcional o urbana). Dispone de un sistema de protección contra sobretensiones de hasta 10kV.  
Aplicación: Carreteras urbanas y calles

Altura de instalación recomendada: entre 4m y 12m

Pintura: Poliéster electrodepositado en polvo

Color: AKZO o RAL

TECED 2 - Tu configuración:

Reflector: S102

Protector: Glass Extra Clear Flat Smooth

Fuente de luz: 136 LEDs 350mA MW

Reglaje: - 324902

Dimensiones: Ancho: 439 Alto: 119 Longitud: 788 Peso: 17,5

Características mecánicas y eléctricas: IP: IP68 IK: IK08 Clase eléctrica: Class II, Class I

Figura 4.8: Lista de Luminarias Utilizadas

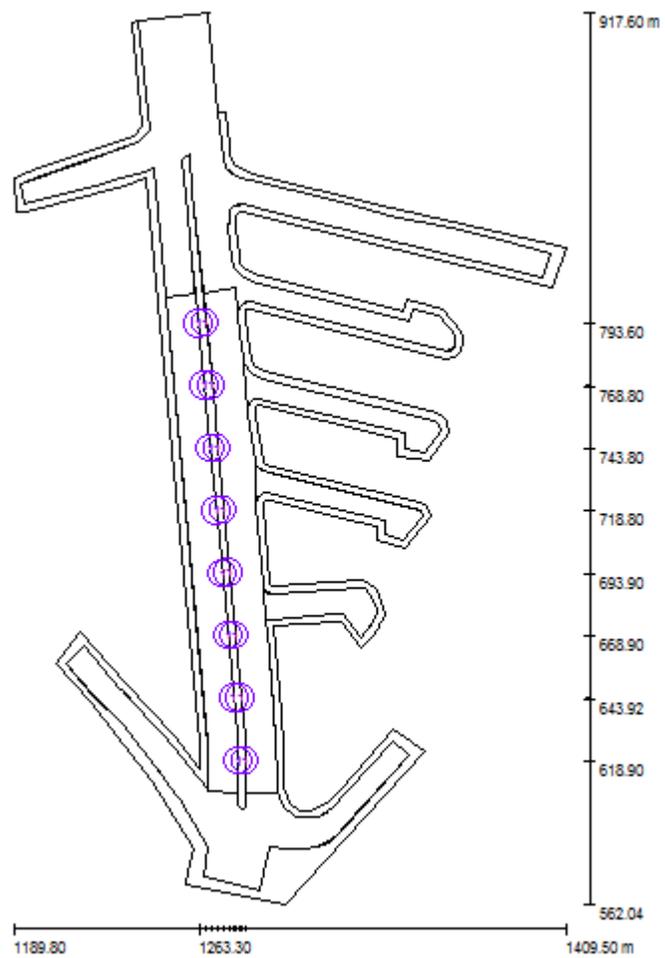


Figura 4.9: Ubicación de las Luminarias Sector Control-Sur

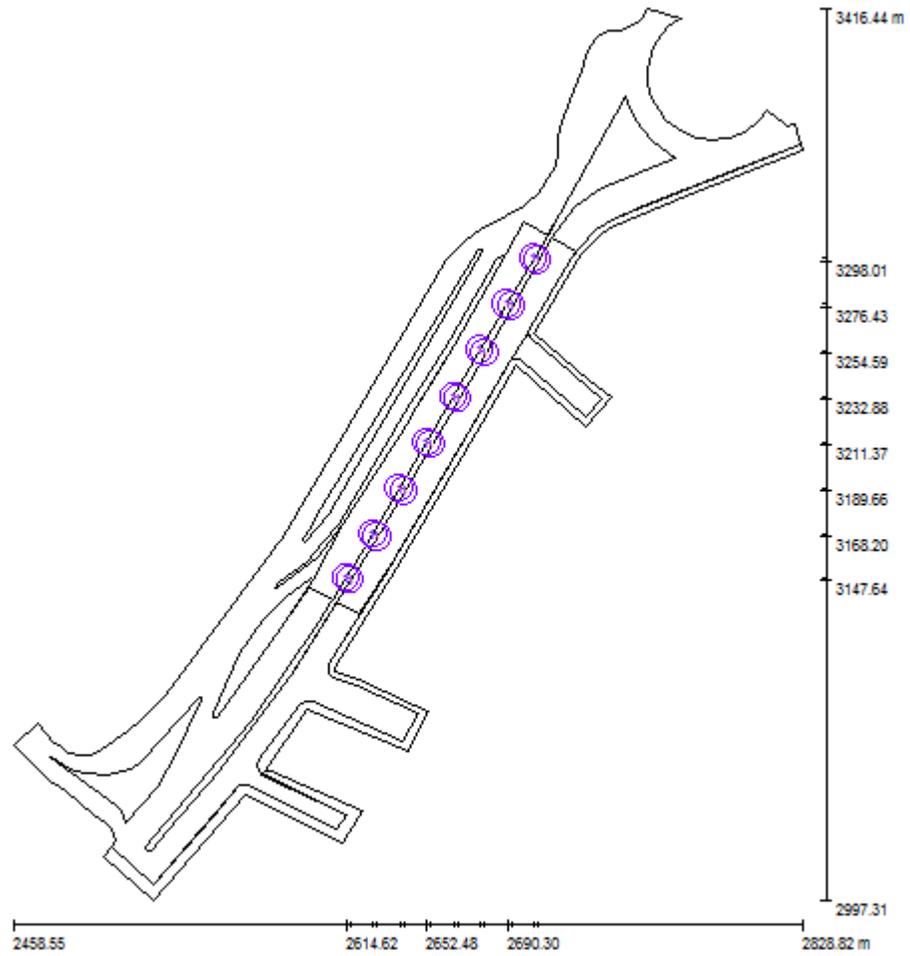


Figura 4.10: Ubicación de la Luminarias Sector El Arenal

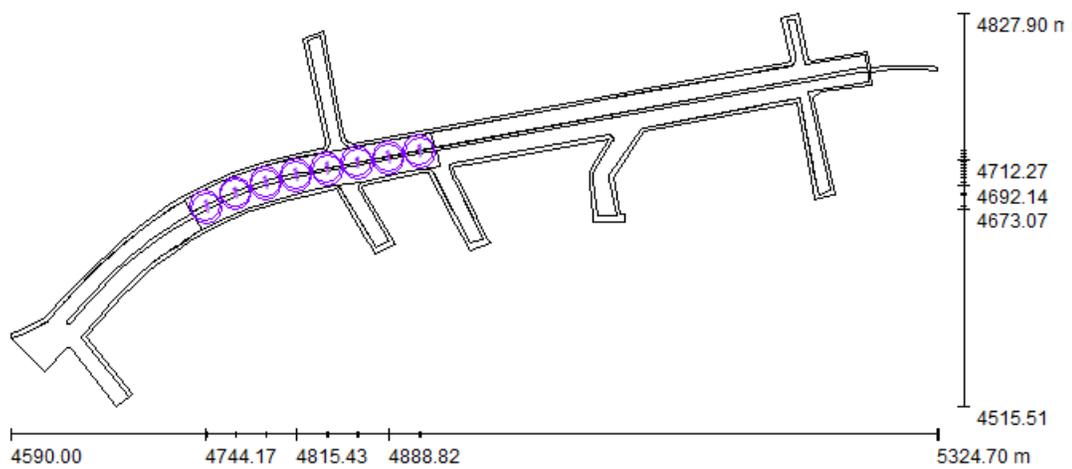


Figura 4.11: Ubicación de la Luminarias Sector La Católica

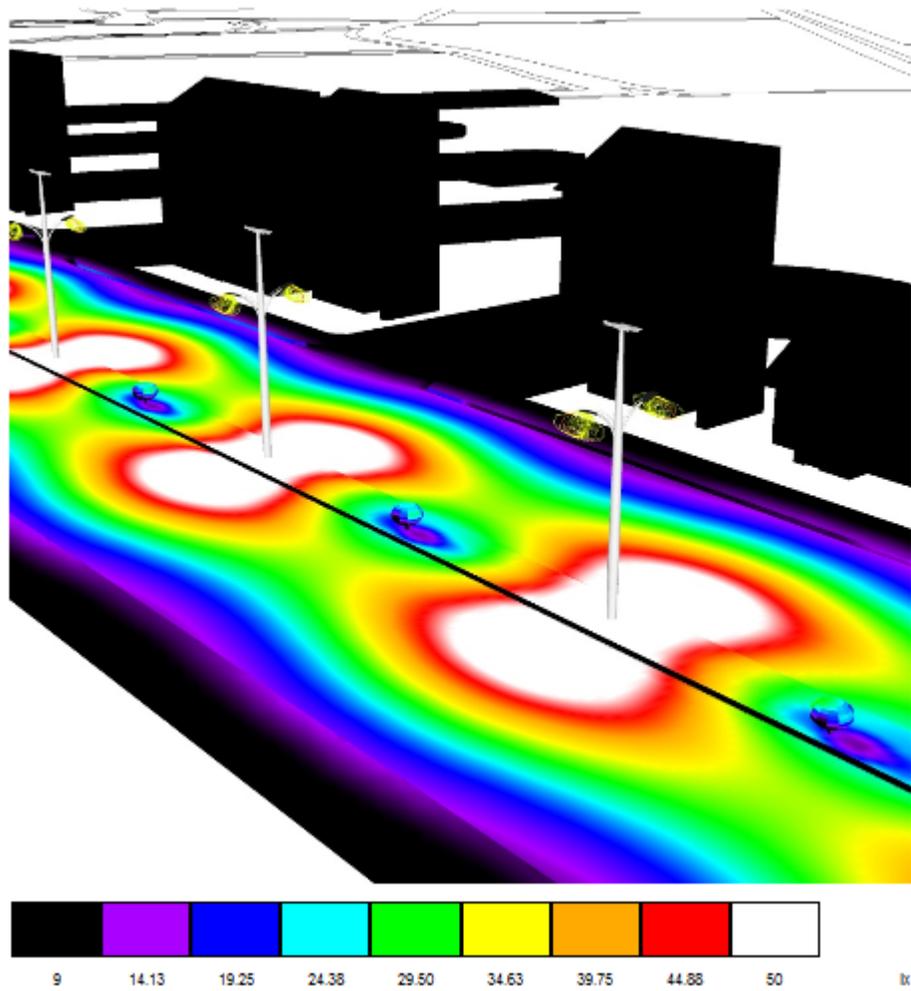


Figura 4.12: Rendering Procesado en Colores Falsos Sector Control-Sur

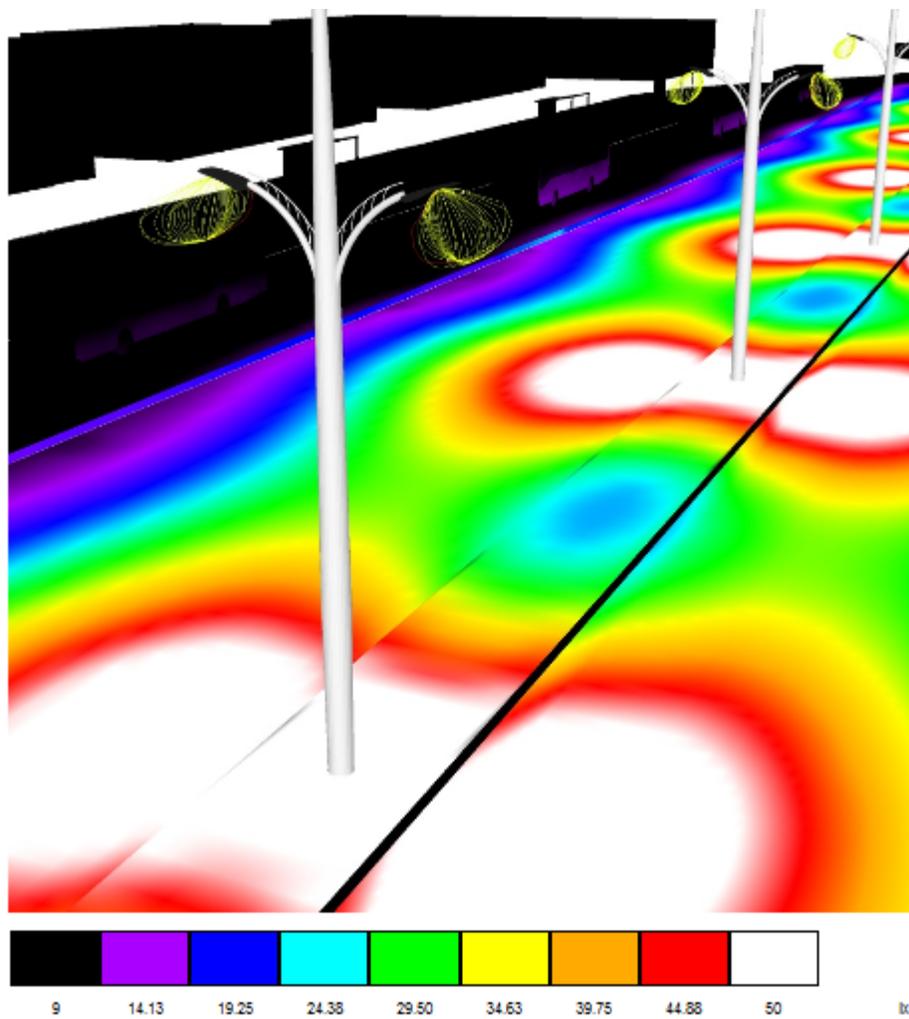


Figura 4.13: Rendering Procesado en Colores Falsos Sector El Arenal

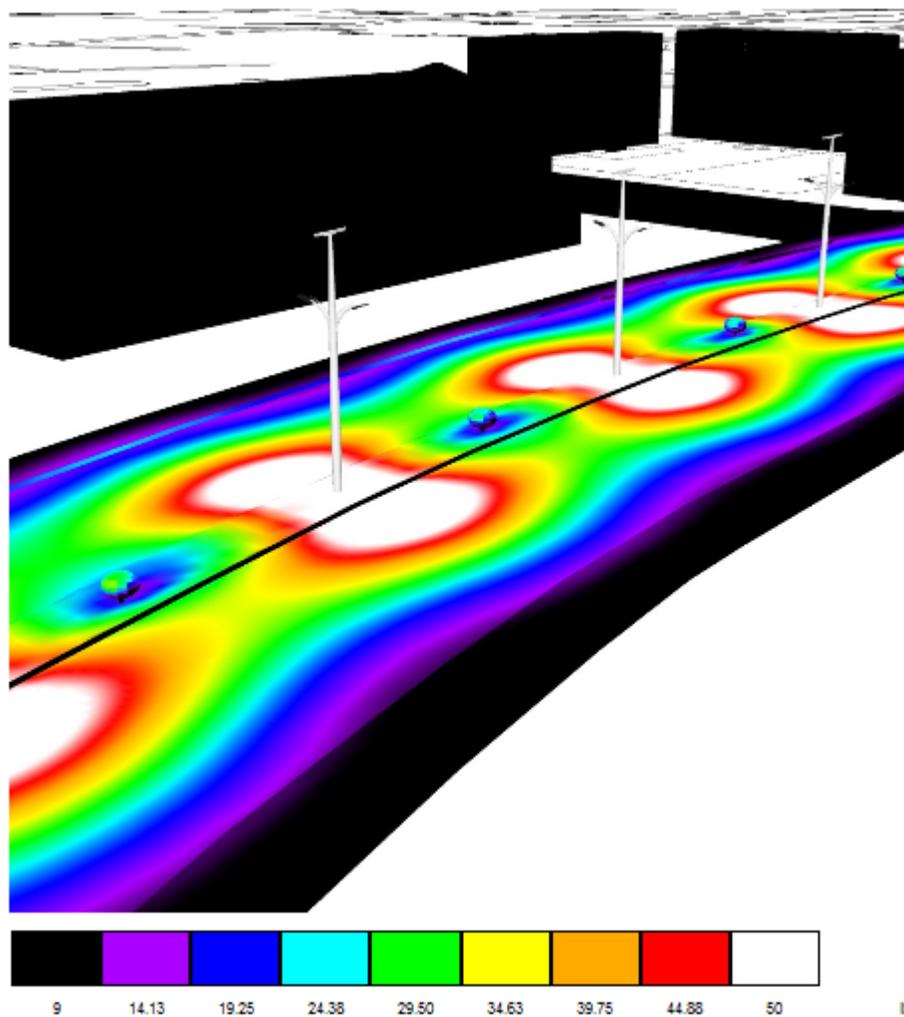


Figura 4.14: Rendering Procesado en Colores Falsos Sector La Catolica

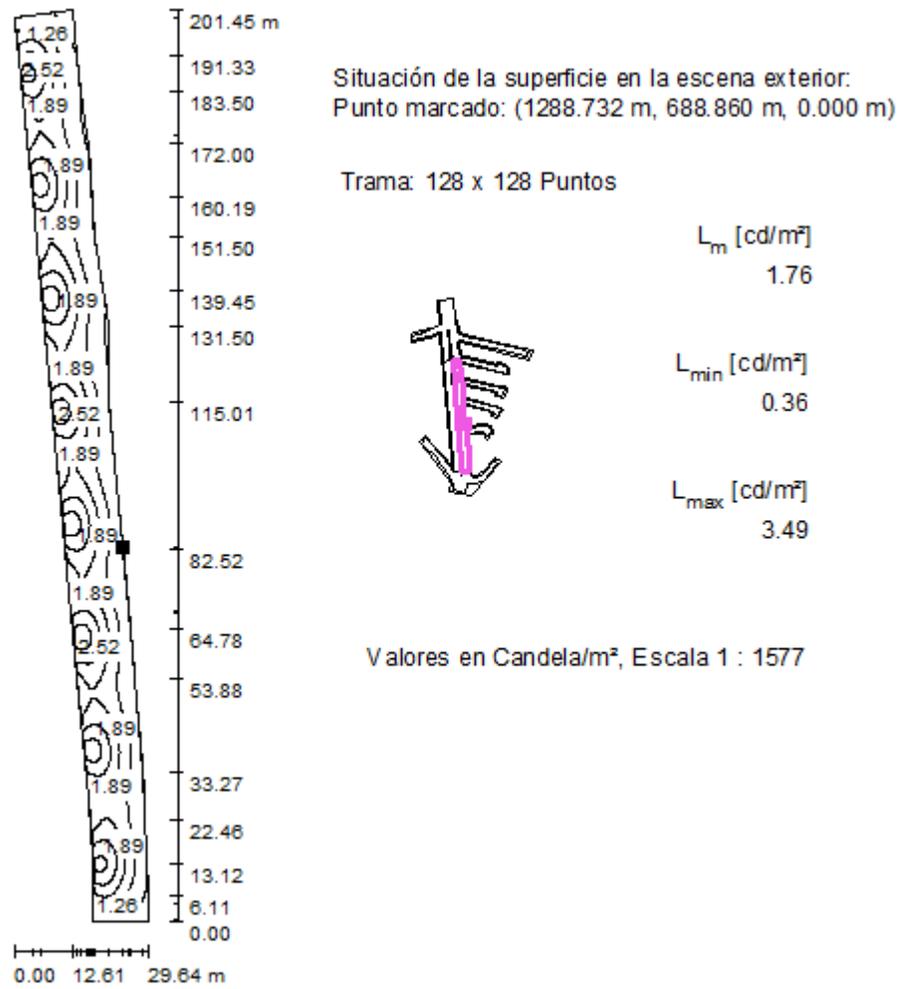


Figura 4.15: Isolneas de las dos vías del Sector Control-sur 1-2

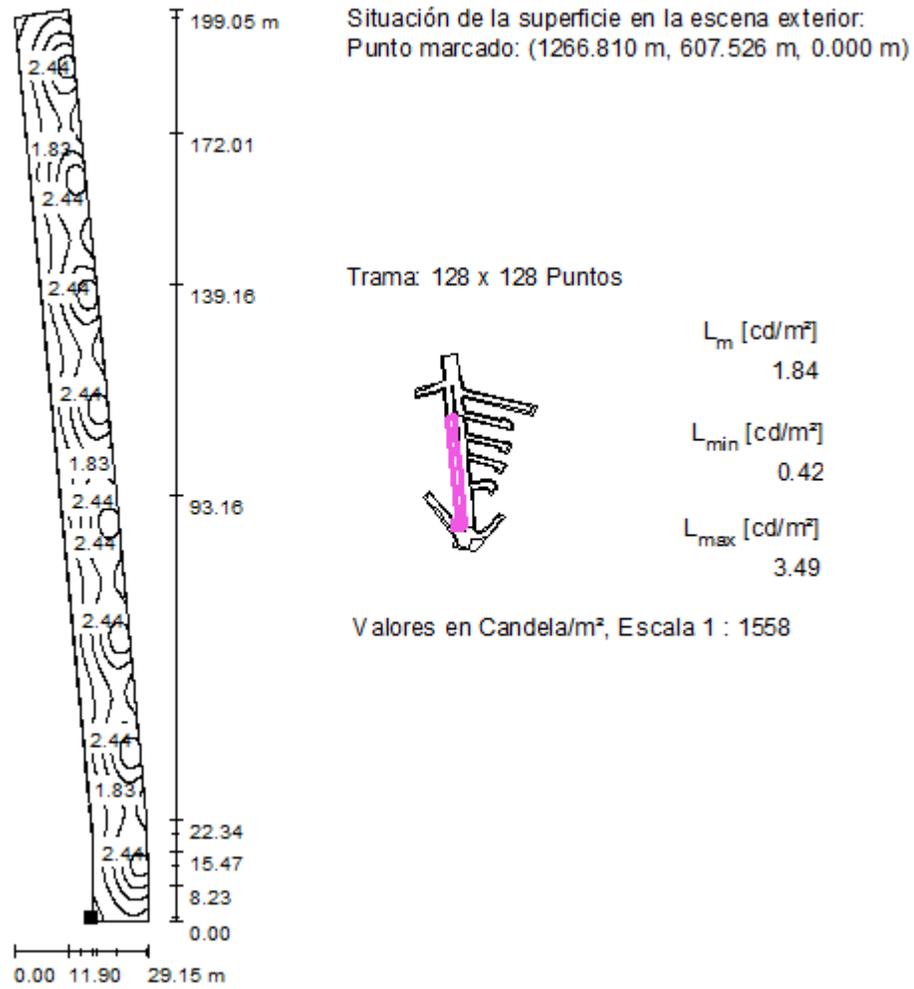


Figura 4.16: Isolneas de las dos vías del Sector Control-sur 2-2

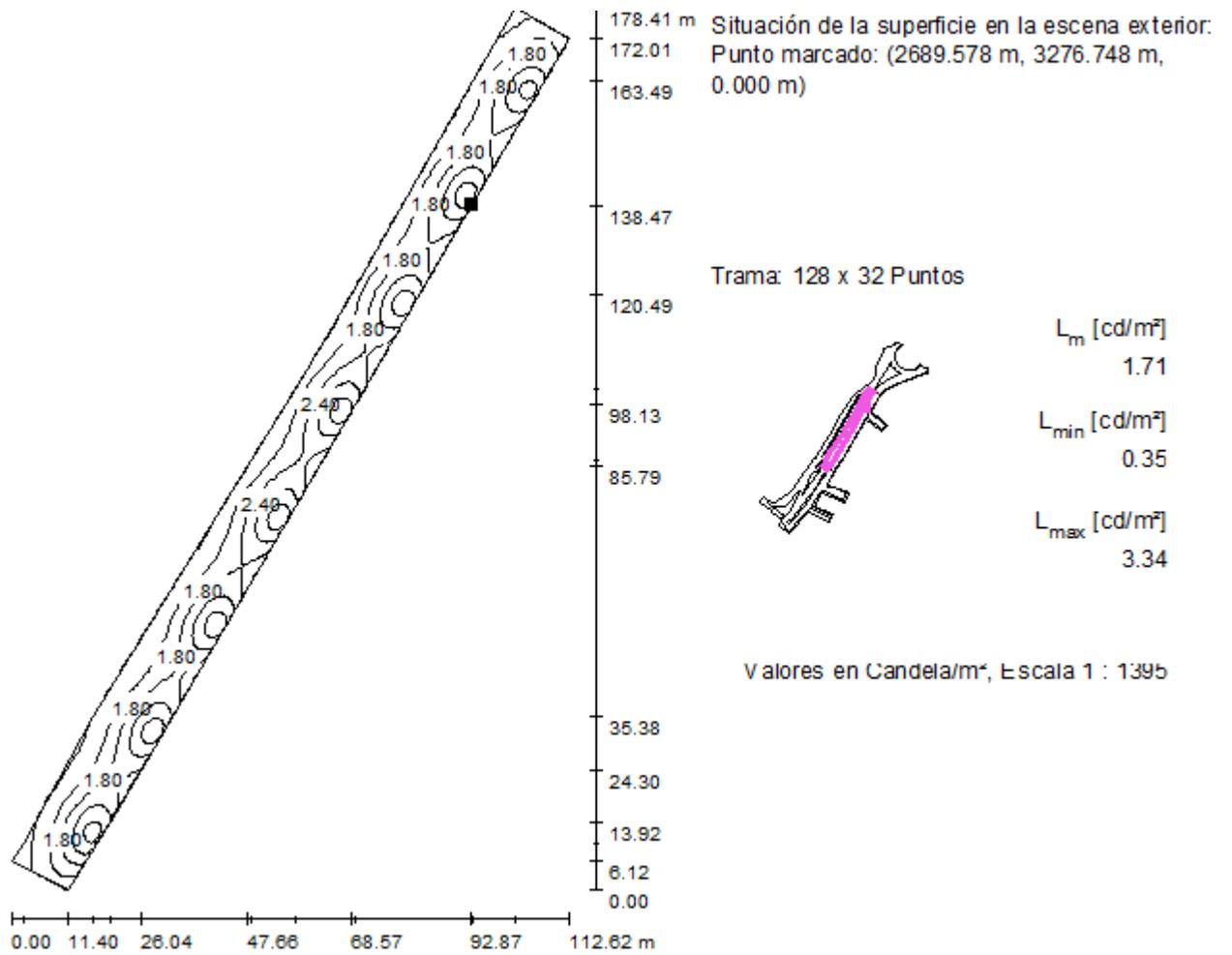


Figura 4.17: Isolneas de las dos vías del Sector El Arenal 1-2

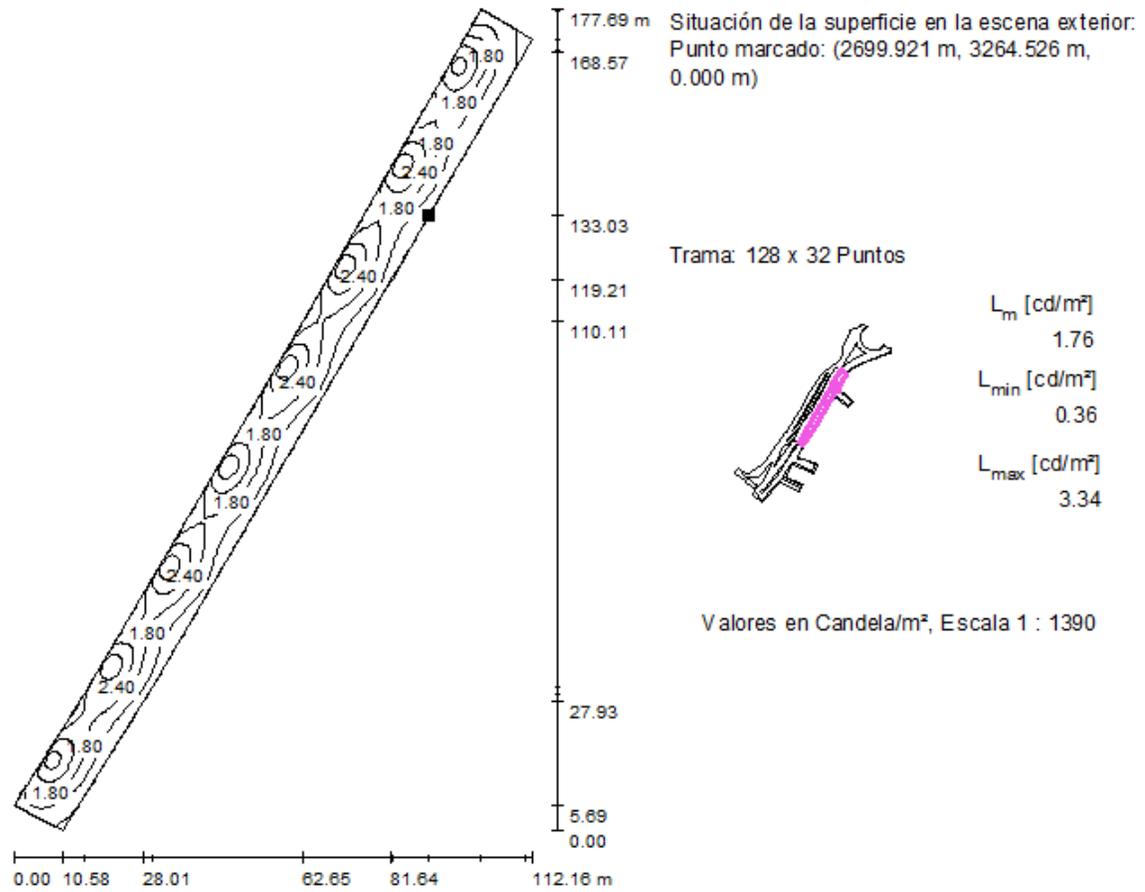
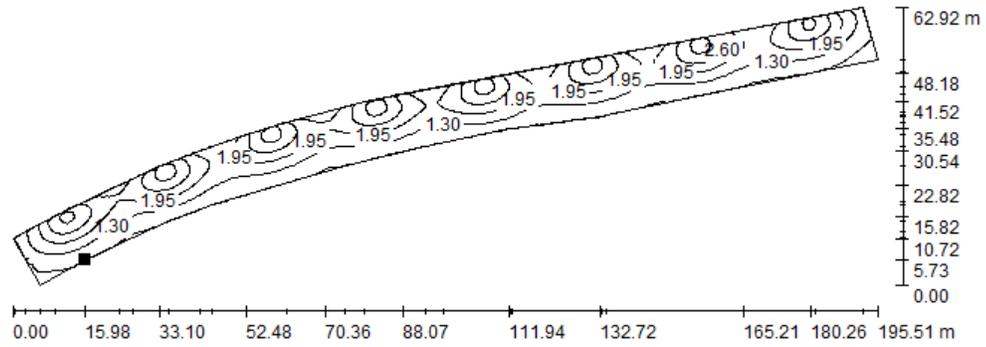
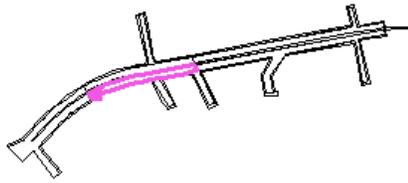


Figura 4.18: Isolneas de las dos vías del Sector El Arenal 2-2



Valores en Candela/m<sup>2</sup>, Escala 1 : 1398

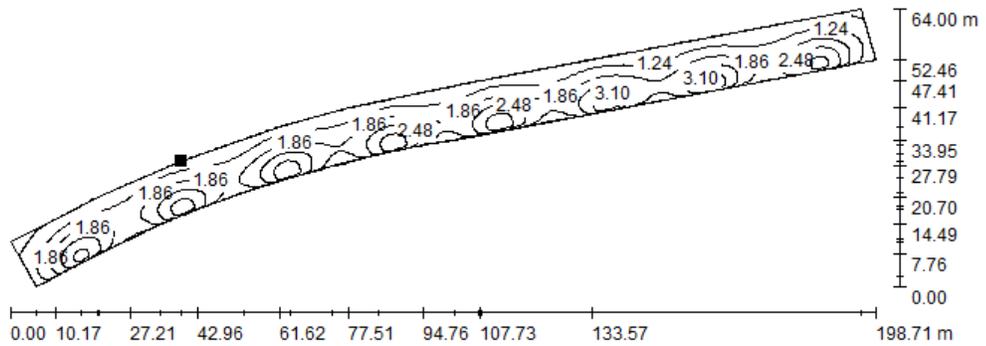
Situación de la superficie en la escena exterior:  
 Punto marcado: (4750.829 m, 4661.710 m, 0.000 m)



Trama: 128 x 128 Puntos

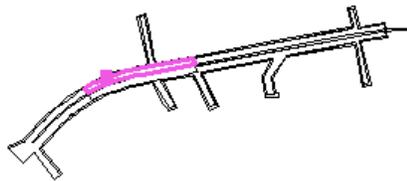
| $L_m$ [cd/m <sup>2</sup> ] | $L_{min}$ [cd/m <sup>2</sup> ] | $L_{max}$ [cd/m <sup>2</sup> ] |
|----------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 1.78                       | 0.31                           | 3.53                           |

Figura 4.19: Isolneas de una vía Sector La Católica 1-2



Valores en Candela/m<sup>2</sup>, Escala 1 : 1421

Situación de la superficie en la escena exterior:  
 Punto marcado: (4766.140 m, 4698.656 m, 0.000 m)



Trama: 128 x 128 Puntos

| $L_m$ [cd/m <sup>2</sup> ] | $L_{min}$ [cd/m <sup>2</sup> ] | $L_{max}$ [cd/m <sup>2</sup> ] |
|----------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 1.80                       | 0.39                           | 3.51                           |

Figura 4.20: Isolneas de una vía Sector La Católica 2-2

CAPÍTULO 4. DISEÑO LUMÍNICO DE TRAMOS DE LA AVENIDA DE LAS AMÉRICAS.94

Se tiene también los Parámetros y las Características que se usó en la Simulación.

Factor mantenimiento: 0.80

Escala 1:500

Trama: 10 x 9 Puntos

Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 2.

Revestimiento de la calzada: R2, q0: 0.070

Clase de iluminación seleccionada: ME2

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

|                                  | $L_m$ [cd/m <sup>2</sup> ] | U0         | UI         | TI [%]    | SR         |
|----------------------------------|----------------------------|------------|------------|-----------|------------|
| Valores reales según cálculo:    | 2.1                        | 0.4        | 0.8        | 9         | 0.7        |
| Valores de consigna según clase: | $\geq 1.5$                 | $\geq 0.4$ | $\geq 0.7$ | $\leq 10$ | $\geq 0.5$ |
| Cumplido/No cumplido:            | ✓                          | ✓          | ✓          | ✓         | ✓          |

Observador respectivo (3 Pieza):

| N° | Observador   | Posición [m]             | $L_m$ [cd/m <sup>2</sup> ] | U0  | UI  | TI [%] |
|----|--------------|--------------------------|----------------------------|-----|-----|--------|
| 1  | Observador 3 | (-60.000, 17.000, 1.500) | 2.1                        | 0.4 | 0.8 | 9      |
| 2  | Observador 4 | (-60.000, 21.000, 1.500) | 2.2                        | 0.4 | 0.9 | 9      |
| 3  | Observador 5 | (-60.000, 25.000, 1.500) | 2.4                        | 0.4 | 0.8 | 6      |

Figura 4.21: Características utilizadas en la Avenida

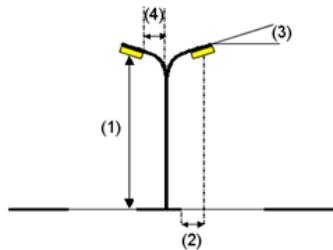
Perfil de la vía pública

Calzada 2 (Anchura: 12.000 m, Cantidad de carriles de tránsito: 3, Revestimiento de la calzada: R2, q0: 0.070)

Arcén central 1 (Anchura: 3.000 m, Altura: 0.250 m)

Calzada 1 (Anchura: 12.000 m, Cantidad de carriles de tránsito: 3, Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070)

Factor mantenimiento: 0.80



|                                   |                                                      |                                                                                                                                                                       |            |
|-----------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Luminaria:                        | SCHREDER TECEO 2 / 5102 / 136 LEDS 350mA NW / 324902 |                                                                                                                                                                       |            |
| Flujo luminoso de las luminarias: | 19448 lm                                             | Valores máximos de la intensidad lumínica                                                                                                                             |            |
| Potencia de las luminarias:       | 147.0 W                                              | con 70°:                                                                                                                                                              | 462 cd/klm |
| Organización:                     | sobre arcén central                                  | con 80°:                                                                                                                                                              | 422 cd/klm |
| Distancia entre mástiles:         | 25.000 m                                             | con 90°:                                                                                                                                                              | 14 cd/klm  |
| Altura de montaje (1):            | 8.832 m                                              | Respectivamente en todas las direcciones que forman los ángulos especificados con las verticales inferiores (con luminarias instaladas aptas para el funcionamiento). |            |
| Altura del punto de luz:          | 9.000 m                                              | La disposición cumple con la clase del índice de deslumbramiento D.5.                                                                                                 |            |
| Saliente sobre la calzada (2):    | 0.073 m                                              |                                                                                                                                                                       |            |
| Inclinación del brazo (3):        | 15.0 °                                               |                                                                                                                                                                       |            |
| Longitud del brazo (4):           | 1.200 m                                              |                                                                                                                                                                       |            |

Figura 4.22: Características utilizadas en la Avenida

## Capítulo 5

# CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES

### 5.1. CONCLUSIONES:

Las energías renovables son un recurso muy indispensable para una nueva explotación y utilización de los recursos en su máximo potencial dentro de la generación eléctrica por esta razón Cuenca ya ha sido objeto de un estudio meteorológico para saber el índice de radiación solar que recibe directamente ya que en la ciudad se ha presentado casos de cáncer a la piel por esta razón el instituto EXA manifestó que era la ciudad con el mayor índice de radiación solar recibido en todo el país “ Capitulo 1.1.1”.

La tesis desarrollada en base de estudios y con la recopilación de datos entre 2 diferentes estaciones meteorológicas “UPS, UPS-INER” se ha podido estimar el nivel de radiación solar en los últimos 15 meses dándonos un valor promedio de  $415W/m^2$  que son resultados confiables para un posterior modelamiento de un sistema fotovoltaico autónomo.

Cuenca está ubicada en una región que no posee las 4 estaciones de esta manera su clima es muy variable esto marca una desventaja, por esta razón hemos definido que los meses críticos del año son Febrero, Julio y Agosto según las tablas en estos meses obtenemos datos mínimos de radiación solar que van a estar compensados con 4 días de autonomía para las baterías.

El enfoque investigativo se desarrolló para una de las avenidas principales que recibe el mayor flujo vehicular en la ciudad, por esta razón detallamos los criterios a seguir al momento de una nueva implementación de iluminación pública vehicular como puntos importantes la comodidad y estética visual por parte de los peatones y conductores que van a transitar en la avenida, seguido de un exacto dimensionamiento de los dispositivos que vamos a poner en marcha para la iluminación como es su luminaria, el panel con sus baterías y la longitud de los brazos que soportan las luminarias.

Cabe recalcar que nuestro proyecto está enfocado en la alimentación individual de cada luminaria por parte de un panel solar es decir que se puede tomar como punto referencial nuestra tesis para que a futuro nuevos técnicos desarrollen una estación con paneles más grandes y de mayor capacidad para así abastecer directamente a la iluminación pública del toda la ciudad sea una inversión menor con grandes beneficios.

En el modelamiento de los dispositivos de un sistema fotovoltaico autónomo, se puede realizar a partir de:

- Principios eléctricos, como el del panel solar se realiza a partir de un circuito equivalente de una célula fotovoltaica que es la parte principal del módulo solar para la conversión de la radiación solar en electricidad, siendo la forma más directa.
- Principios lógicos de funcionamiento, siendo la batería uno de los dispositivos más difíciles de modelar por su comportamiento dentro de los parámetros establecidos y reacciones químicas que se produce en su interior al estar en continuos procesos de carga y descarga.
- Principios matemáticos que maneja el regulador fotovoltaico siendo el agente protector y el que da las características al sistema fotovoltaico, basándose en el funcionamiento de interruptores de conexión y desconexión mediante las tensiones de umbral que viene definidas por el fabricante.
- Principios físicos que son basados en leyes básicas y fundamentales para entender la corriente que fluye a través de una carga (lámpara Led), que por ser de tecnología avanzada, su comportamiento teóricamente es ideal por lo que hace sencillo al momento de modelar.

La simulación y validación del sistema fotovoltaico realizado en Matlab es mediante los principios descritos y que son líneas de programación acoplados en bloques dentro de Simulink para el correcto funcionamiento de los dispositivos.

Simulink\ Matlab es un software avanzado de rápido procesamiento de señales, por lo que se utiliza funciones adecuadas para cada simulación de los dispositivos, teniendo en cuenta los parámetros y características de los dispositivos que se han empleado en la tesis, que también se lo puede aplicar a laboratorio para hacerlo más real con datos instantáneos.

Con el modelamiento se puede eliminar los valores no deseados aumentando la precisión de la simulación, también se observa todos los valores de corrientes, potencias voltajes y energías.

Al aplicar datos de campo fundamentales para un sistema fotovoltaico que son: radiación solar y temperatura, se obtiene resultados eficientes como: el número de paneles solares que se necesita para captar la energía necesaria y la misma proveer a una batería solar, para que pueda la luminaria led estar a su 100 % de eficiencia lumínica durante las 12 horas de funcionamiento.

Con el dimensionamiento de los dispositivos del sistema fotovoltaico realizado, también se ha logrado verificar que los modelos aplicados tienen bastante similitud ya que por un lado se realiza mediante ecuaciones matemáticas y por el otro lado se realiza mecánicamente aplicando un método establecido por el INEN “Sistemas de Generación con energía solar fotovoltaica para sistemas aislados y conexión a red de hasta 100KW en el Ecuador”

Con los cálculos lumínicos realizados cumple los criterios de luminancia media mantenida a lo largo de la vía, también cumple los criterios de alumbrado público, y puede ser implementado a futuro.

En el dimensionamiento de los dispositivos lo primordial es tener una base sólida de datos de campo de la radiación solar y temperatura para obtener buenos resultados y así no sobredimensionar el sistema sabiendo de que la energía generada debe ser a la igual a la energía consumida por una desventaja importante que no se puede almacenar en grandes cantidades la energía.

## 5.2. RECOMENDACIONES:

Esperar que en el futuro se implementen más antenas meteorológicas en la ciudad así sus índices obtenidos tendrán más fiabilidad al momento de desarrollar nuevos estudios y proyectos que estén enfocados a las energías renovables, ya sea en el ámbito público como en el ámbito privado con el avance de las tecnologías y sus mejores prestaciones que se presentan día a día estamos seguros de que la generación de energía a futuro tendrá como inicio la generación propia dentro de los domicilios.

Como punto negativo que se tiene es el clima variable que dispones dentro de la región esto hace que muchos proyectos no se ejecuten pero con nuevos datos más fiables serán confiables las inversiones y se podrá ver los resultados a largo o corto plazo.

Este sistema fotovoltaico autónomo para que sea altamente eficiente, se debe colocar instrumentos de medida en la batería que es la parte primordial, en donde debe estar amperímetros para ver el estado de las corrientes de carga y descarga, reguladores para su óptimo funcionamiento e indicadores de temperatura, destacando también los elementos de protección del sistema.

Según las últimas investigaciones sobre las luminarias led de alta potencia se deben considerar un 20 -30 % más de la potencia nominal ya que es necesaria por concepto de los componentes de la luminaria.

Los diferentes tramos puestos en marcha para el desarrollo del proyecto marca la tendencia a futuro de un desarrollo en toda la avenida, si bien es cierto tienen muchas irregularidades a lo largo y ancho en sus dimensiones de veredas, carriles y parterres se recomienda una realización más exacta desde su inicio hasta su final con dimensiones concretas según el tramo requerido esto implica un cambio dentro de la iluminación dependiendo del sector la distancia entre postes se verá reflejado en el flujo luminoso que requiera utilizarse para una correcta iluminación.

# Bibliografía

## Apéndice A

# Programas Realizados en MatLab

## Capitulo 2

Curva Característica de Potencia vs Voltaje de una Célula Solar.

```
clc; clear all;
%Datos de la celula solar:
T=25;% temperatura estandar.
V = 0:1:650;% voltaje de circuito abierto.
Isc = 3.1188;%Corriente de cortocircuito.
Io = 10-10;%Corriente de saturacion.
A=100;%Area.
I = (Isc - Io.*(exp(V/(0.08615259*(T + 273.19)))-1))/A;%Corriente Generada.
P=V.*I;%Potencia Generada
plot(V,P)
title('Curva Caracteristica: POTENCIA - VOLTAJE ')
axis([0,650,0,17])
xlabel('[mV]')
ylabel('[mW]')
grid on
```

Curva Característica de Corriente vs Voltaje de una Célula Solar.

```
clc;
clear all;
%Datos de la celula solar:
T=25;% temperatura estandar.
V = 0:1:700;% voltaje de circuito abierto.
Isc = 3.1188;%Corriente de cortocircuito.
Io = 10-10;%Corriente de saturacion.
A=100;%Area.
I = (Isc - Io.*(exp(V/(0.08615259*(T + 273.19)))-1))/A;%Corriente Generada.
plot(V,I)
title('Curva Caracteristica: CORRIENTE - VOLTAJE ')
axis([0,650,0,0.035])
xlabel('[mV]')
ylabel('[mA]')
grid on
```

## Apéndice B

# Programas Realizados en MatLab Capítulo 3

Comportamiento de un panel solar

Estructura interna

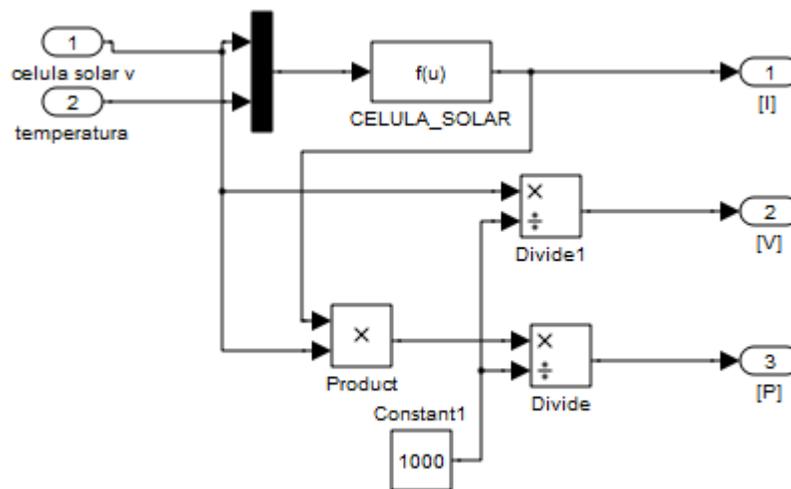


Figura B.1: Celula solar silicio

$$f(u) = (J_{sc} - J_0 \cdot (\exp(u(1) / (40 \cdot (0.08615259 \cdot (u(2) + 273.19)))) - 1)) \cdot A$$

Parametros:

Minimo=0

Maximo=24000

Seed=0.1

Sample time=0.1

Area=16.25\*7.3

Corriente Cortocircuito=0.031185

Corriente termica silicio= $10^{-12}$

Comportamiento de un panel solar con datos de campo.

```
function [I,P] = panel_solar(vv,T_r,Gi)
A = 16.25*7.3;%Area
v = vv*1000;%Voltaje de circuito abierto
G_s = 1000;%Radiacion estandar
T_c = 25;% Temperatura de referencia
k = 0.00441;%Coeficiente de Temperatura para silicio
Jsc = 0.031188;%Densidad de corriente de cortocircuito
Jo = 10^(-12);%Densidad de corriente de saturacion
vt = 0.081615*(T_c + 273.19);%Voltaje Termico
Ig = (Jsc - Jo.*(exp(v/(vt))-1)).*A;%corriente generada
P_i = (v.*Ig)./1000;%Potencia Ideal generada
P = P_i.*(Gi./G_s).*(1+k.*(T_c-T_r));%Potencia Real
I=P./v;% Corriente generada del panel solar.
```

Parametros:

Mínimo=0

Máximo=24

Seed=0.1

Sample time=0.1

Central Fotovoltaica

```
function [Ig,P] = panelsolar(v1,T_r,G_i,ns,np)
v = v1*1000;%Voltaje de circuito abierto
G_s = 1000;% Radiacion estandar
T_c = 25;% Temperatura de referencia
k = 0.00441;% Coeficiente de temperatura para silicio;
A = 16.25*7.3;% Area
Jsc = 0.031185;% Densidad de corriente de cortocircuito
Jo = 10^(-12);% Densidad de corriente de saturacion
vt = 0.08615259*(T_c + 273.19);%Voltaje termico
Ig = ((Jsc - Jo.*(exp(v/(40*vt))-1))*np).*A;%Corriente generada. P_i = ns*(v.*Ig)./1000;
%Potencia ideal
P = P_i.*(G_i./G_s).*(1+k.*(T_c-T_r));%Potencia real
% ns = Numero de celulas en serie
% np = Numero de celulas en paralelo
```

Parametros:

Mínimo=20

Máximo=24

Seed=0.1

Sample time=0.1

Bateria con proceso de Carga y Descarga

```
function [Ic,Id,Pc,Pd,Vf] = fcn(Irr,p_alm,i_des,de)
%voltajes maximos y minimos en una bateria
Vmax=14.7;
Vbat=12;
Vmin=10.8;
```

```

Vdes = Vmin;
Ic=(p_alm./Vbat);%Corriente de carga.
Id = 0;
Pc = p_alm;%Potencia que proviene del Panel solar
Vf = Vmax;
Pd = 0;
Pdes=0;
if Irr<100
Vdes = Vmin;
Id=i_des;
Ic = 0;
Vf = Vdes;
Pc = 0;
Pd = Vdes.*Id;
if de<=0
Vf = Vdes;
Id=i_des;
Ic = 0;
Pc = 0;
Pd =Vdes.*Id;
de=0;
end
end
if de >= 10000 %Cantidad de energia almacenable
Vf = Vbat;
Id = 0;
Ic = 0;
Pc = 0;
Pd = Pdes;
end

```

Regulador del Sistema Fotovoltaico

```

function [Ic,Id,vbat] = fcn(VL,p_alm,i_des,Vf)
% umbrales de tension al que trabaja el regulador
Vmin =11.4;
vhcseg=12.5;
Vmax =14.5;
vhpseg=13.6;
Ic =(i_des*1.225)/(p_alm./VL)*(p_alm./VL);
Id = 0; vbat=Vmax;
%=====
if p_alm<120
if vbat>Vf
vbat=Vmin;
else vbat=vhcseg;
end
Id = i_des*0.857;
Ic = 0;
%=====
if p_alm<120
if vbat>Vf
vbat=Vmin;

```

```

else vbat=vhcseg;
end
Id = i_des*0.857;
Ic = 0;
end
end
end

```

```

Carga Electrica (Led 2x150W)
function I = fcn(P,V)
I=P/V;
end

```

Conductores Electricos

```

function [vvalida8,vvalida10,vvalida12,vvalida14] =
AWG(imax8,imax10,imax12,imax14,long,ventrada,temp_amb)
Ro8=0.017.*(long/8.366);
Rt8=Ro8.*(1+(0.00393.*(temp_amb -20)));
vvalida1=(Rt8*imax8); vvalida8=ventrada-vvalida1;
Ro10=0.017.*(long./5.261);
Rt10=Ro10.*(1+(0.00393.*(temp_amb - 20))); vvalida2=(Rt10*imax10);
vvalida10=ventrada-vvalida2;
Ro12=0.017.*(long/3.309); Rt12=Ro12.*(1+(0.00393*(temp_amb-20)));
vvalida3=(Rt12*imax12);
vvalida12=ventrada-vvalida3;
Ro14=0.017*(long/2.081); Rt14=Ro14.*(1+(0.00393*(temp_amb-20)));
vvalida4=(Rt14*imax14);
vvalida14=ventrada-vvalida4;
end

```

DIAGRAMA ILUSTRATIVO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO.

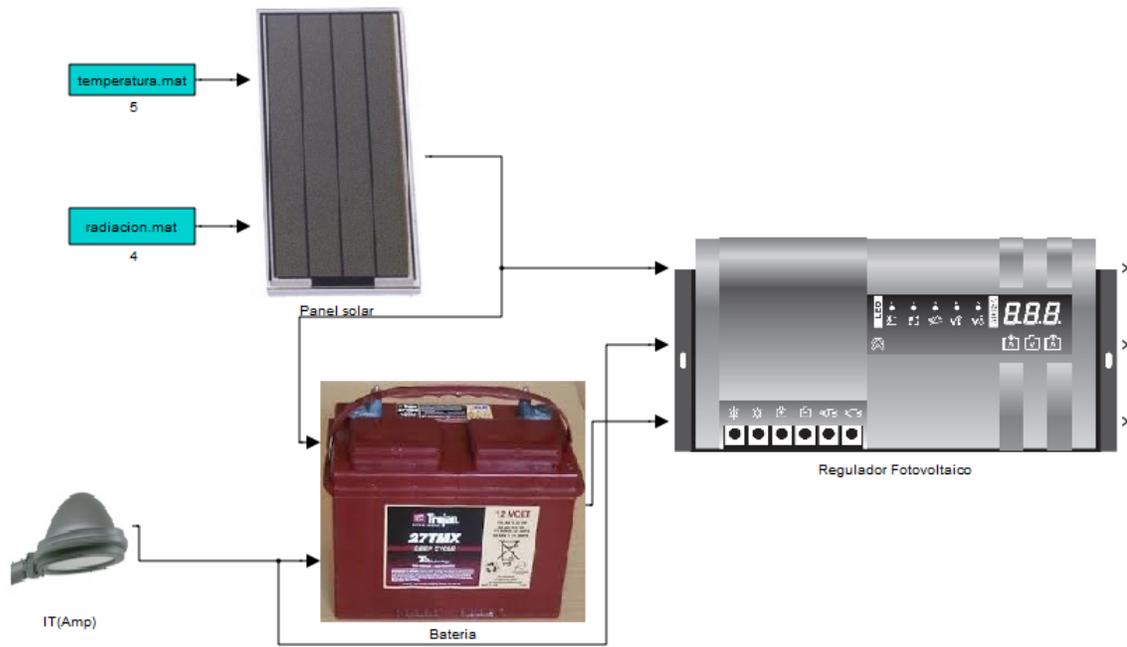


Figura B.2: Sistema Fotovoltaico Autónomo

## Apéndice C

# VALOR $k$ SEGÚN LATITUD INCLINACIÓN Y MESES DEL AÑO

*Latitud* : 2°

| Incli. | ENE  | FEB  | MAR  | ABR  | MAY  | JUN  | JUL  | AGO  | SEP  | OCT  | NOV  | DIC  |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0      | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    |
| 5      | 1.02 | 1.01 | 1    | 0.98 | 0.97 | 0.96 | 0.97 | 0.98 | 1    | 1.01 | 1.01 | 1.03 |
| 10     | 1.04 | 1.02 | 0.99 | 0.96 | 0.93 | 0.92 | 0.93 | 0.96 | 0.99 | 1.02 | 1.04 | 1.05 |
| 15     | 1.05 | 1.02 | 0.98 | 0.93 | 0.89 | 0.87 | 0.89 | 0.93 | 0.98 | 1.02 | 1.05 | 1.06 |
| 20     | 1.05 | 1.01 | 0.96 | 0.89 | 0.84 | 0.82 | 0.84 | 0.89 | 0.96 | 1.02 | 1.06 | 1.07 |
| 25     | 1.04 | 1    | 0.93 | 0.85 | 0.79 | 0.76 | 0.78 | 0.84 | 0.93 | 1.01 | 1.06 | 1.07 |
| 30     | 1.03 | 0.98 | 0.9  | 0.8  | 0.73 | 0.69 | 0.72 | 0.8  | 0.89 | 0.99 | 1.05 | 1.06 |
| 35     | 1.02 | 0.95 | 0.86 | 0.75 | 0.66 | 0.62 | 0.65 | 0.74 | 0.85 | 0.96 | 1.03 | 1.05 |
| 40     | 0.99 | 0.92 | 0.81 | 0.69 | 0.59 | 0.55 | 0.58 | 0.68 | 0.81 | 0.93 | 1.01 | 1.03 |
| 45     | 0.96 | 0.88 | 0.77 | 0.63 | 0.52 | 0.47 | 0.51 | 0.62 | 0.75 | 0.89 | 0.98 | 1    |
| 50     | 0.93 | 0.84 | 0.71 | 0.57 | 0.45 | 0.39 | 0.43 | 0.55 | 0.7  | 0.84 | 0.94 | 0.97 |
| 55     | 0.89 | 0.79 | 0.65 | 0.5  | 0.37 | 0.31 | 0.35 | 0.48 | 0.64 | 0.79 | 0.9  | 0.93 |
| 60     | 0.84 | 0.74 | 0.59 | 0.42 | 0.29 | 0.23 | 0.27 | 0.4  | 0.57 | 0.74 | 0.85 | 0.88 |
| 65     | 0.79 | 0.68 | 0.53 | 0.35 | 0.2  | 0.14 | 0.19 | 0.32 | 0.5  | 0.68 | 0.8  | 0.84 |
| 70     | 0.73 | 0.62 | 0.46 | 0.27 | 0.13 | 0.12 | 0.11 | 0.24 | 0.43 | 0.61 | 0.74 | 0.78 |
| 75     | 0.67 | 0.56 | 0.39 | 0.19 | 0.12 | 0.11 | 0.11 | 0.16 | 0.36 | 0.57 | 0.68 | 0.72 |
| 80     | 0.61 | 0.49 | 0.31 | 0.13 | 0.11 | 0.1  | 0.1  | 0.1  | 0.28 | 0.47 | 0.61 | 0.66 |
| 85     | 0.54 | 0.42 | 0.24 | 0.12 | 0.11 | 0.1  | 0.09 | 0.09 | 0.2  | 0.4  | 0.54 | 0.59 |
| 90     | 0.47 | 0.35 | 0.16 | 0.11 | 0.1  | 0.09 | 0.08 | 0.08 | 0.12 | 0.32 | 0.47 | 0.52 |

Cuadro C.1: Valor de  $k$  *Latitud* : 2°

*Latitud* : 1°

| Incli. | ENE  | FEB  | MAR  | ABR  | MAY  | JUN  | JUL  | AGO  | SEP  | OCT  | NOV  | DIC  |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0      | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    |
| 5      | 1.02 | 1.01 | 1    | 0.98 | 0.97 | 0.96 | 0.97 | 0.98 | 1    | 1.01 | 1.02 | 1.03 |
| 10     | 1.03 | 1.02 | 0.99 | 0.96 | 0.93 | 0.92 | 0.93 | 0.96 | 0.99 | 1.02 | 1.04 | 1.04 |
| 15     | 1.04 | 1.01 | 0.97 | 0.93 | 0.89 | 0.87 | 0.88 | 0.92 | 0.97 | 1.02 | 1.05 | 1.06 |
| 20     | 1.04 | 1.01 | 0.95 | 0.89 | 0.84 | 0.81 | 0.83 | 0.88 | 0.95 | 1.01 | 1.05 | 1.06 |
| 25     | 1.04 | 0.99 | 0.92 | 0.85 | 0.78 | 0.75 | 0.77 | 0.84 | 0.92 | 1    | 1.05 | 1.06 |
| 30     | 1.03 | 0.97 | 0.89 | 0.8  | 0.72 | 0.69 | 0.71 | 0.79 | 0.89 | 0.98 | 1.04 | 1.05 |
| 35     | 1.01 | 0.95 | 0.85 | 0.74 | 0.65 | 0.62 | 0.65 | 0.73 | 0.84 | 0.95 | 1.02 | 1.04 |
| 40     | 0.98 | 0.91 | 0.81 | 0.67 | 0.58 | 0.54 | 0.57 | 0.67 | 0.8  | 0.92 | 1    | 1.02 |
| 45     | 0.95 | 0.87 | 0.76 | 0.62 | 0.51 | 0.46 | 0.5  | 0.61 | 0.74 | 0.88 | 0.97 | 0.99 |
| 50     | 0.92 | 0.83 | 0.7  | 0.56 | 0.43 | 0.38 | 0.42 | 0.54 | 0.69 | 0.83 | 0.93 | 0.96 |
| 55     | 0.88 | 0.78 | 0.64 | 0.49 | 0.35 | 0.3  | 0.34 | 0.46 | 0.63 | 0.78 | 0.89 | 0.92 |
| 60     | 0.83 | 0.73 | 0.58 | 0.41 | 0.27 | 0.21 | 0.26 | 0.39 | 0.56 | 0.73 | 0.84 | 0.87 |
| 65     | 0.78 | 0.67 | 0.51 | 0.34 | 0.19 | 0.13 | 0.17 | 0.31 | 0.49 | 0.66 | 0.79 | 0.82 |
| 70     | 0.72 | 0.61 | 0.45 | 0.26 | 0.13 | 0.12 | 0.11 | 0.23 | 0.42 | 0.6  | 0.73 | 0.77 |
| 75     | 0.66 | 0.55 | 0.37 | 0.18 | 0.12 | 0.11 | 0.11 | 0.15 | 0.34 | 0.53 | 0.67 | 0.71 |
| 80     | 0.6  | 0.48 | 0.3  | 0.13 | 0.11 | 0.1  | 0.1  | 0.1  | 0.26 | 0.46 | 0.6  | 0.64 |
| 85     | 0.53 | 0.41 | 0.23 | 0.12 | 0.11 | 0.1  | 0.09 | 0.09 | 0.19 | 0.39 | 0.53 | 0.58 |
| 90     | 0.46 | 0.34 | 0.15 | 0.11 | 0.1  | 0.09 | 0.08 | 0.08 | 0.11 | 0.31 | 0.46 | 0.51 |

Cuadro C.2: Valor de k *Latitud* : 1<sup>0</sup>

*Latitud* : 0<sup>0</sup>

| Incli. | ENE  | FEB  | MAR  | ABR  | MAY  | JUN  | JUL  | AGO  | SEP  | OCT  | NOV  | DIC  |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0      | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    |
| 5      | 1.02 | 1.01 | 1    | 0.98 | 0.97 | 0.96 | 0.97 | 0.98 | 1    | 1.01 | 1.02 | 1.02 |
| 10     | 1.03 | 1.01 | 0.99 | 0.96 | 0.93 | 0.92 | 0.93 | 0.95 | 0.99 | 1.02 | 1.04 | 1.04 |
| 15     | 1.04 | 1.01 | 0.97 | 0.92 | 0.88 | 0.87 | 0.88 | 0.92 | 0.97 | 1.02 | 1.05 | 1.05 |
| 20     | 1.04 | 1    | 0.95 | 0.88 | 0.83 | 0.81 | 0.83 | 0.88 | 0.95 | 1.01 | 1.05 | 1.06 |
| 25     | 1.03 | 0.99 | 0.92 | 0.84 | 0.77 | 0.75 | 0.77 | 0.83 | 0.92 | 0.99 | 1.04 | 1.06 |
| 30     | 1.02 | 0.97 | 0.88 | 0.79 | 0.71 | 0.68 | 0.7  | 0.78 | 0.88 | 0.97 | 1.03 | 1.05 |
| 35     | 1    | 0.94 | 0.84 | 0.74 | 0.64 | 0.61 | 0.64 | 0.72 | 0.84 | 0.94 | 1.02 | 1.03 |
| 40     | 0.98 | 0.9  | 0.8  | 0.68 | 0.57 | 0.53 | 0.56 | 0.66 | 0.79 | 0.91 | 0.99 | 1.01 |
| 45     | 0.95 | 0.87 | 0.75 | 0.61 | 0.5  | 0.45 | 0.49 | 0.59 | 0.73 | 0.87 | 0.96 | 0.98 |
| 50     | 0.91 | 0.82 | 0.69 | 0.54 | 0.42 | 0.37 | 0.41 | 0.52 | 0.68 | 0.82 | 0.92 | 0.95 |
| 55     | 0.87 | 0.77 | 0.63 | 0.47 | 0.34 | 0.28 | 0.33 | 0.45 | 0.61 | 0.77 | 0.88 | 0.91 |
| 60     | 0.82 | 0.72 | 0.57 | 0.4  | 0.26 | 0.2  | 0.24 | 0.37 | 0.55 | 0.71 | 0.83 | 0.86 |
| 65     | 0.77 | 0.66 | 0.5  | 0.32 | 0.18 | 0.13 | 0.16 | 0.3  | 0.48 | 0.65 | 0.77 | 0.81 |
| 70     | 0.71 | 0.6  | 0.43 | 0.25 | 0.13 | 0.12 | 0.11 | 0.22 | 0.4  | 0.59 | 0.72 | 0.75 |
| 75     | 0.65 | 0.53 | 0.36 | 0.17 | 0.12 | 0.11 | 0.11 | 0.13 | 0.33 | 0.52 | 0.65 | 0.69 |
| 80     | 0.58 | 0.47 | 0.29 | 0.13 | 0.12 | 0.1  | 0.1  | 0.1  | 0.25 | 0.45 | 0.58 | 0.63 |
| 85     | 0.52 | 0.4  | 0.21 | 0.12 | 0.11 | 0.1  | 0.09 | 0.09 | 0.17 | 0.37 | 0.51 | 0.56 |
| 90     | 0.45 | 0.32 | 0.14 | 0.11 | 0.1  | 0.09 | 0.08 | 0.08 | 0.09 | 0.29 | 0.44 | 0.49 |

Cuadro C.3: Valor de k *Latitud* : 0<sup>0</sup>

*Latitud* : -1<sup>0</sup>

| Incli. | ENE  | FEB  | MAR  | ABR  | MAY  | JUN  | JUL  | AGO  | SEP  | OCT  | NOV  | DIC  |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0      | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    |
| 5      | 0.97 | 0.98 | 1    | 1.01 | 1.02 | 1.03 | 1.02 | 1.01 | 1    | 0.98 | 0.97 | 0.96 |
| 10     | 0.93 | 0.96 | 0.99 | 1.02 | 1.04 | 1.04 | 1.03 | 1.02 | 0.99 | 0.96 | 0.93 | 0.92 |
| 15     | 0.88 | 0.92 | 0.97 | 1.02 | 1.05 | 1.06 | 1.04 | 1.01 | 0.97 | 0.93 | 0.89 | 0.87 |
| 20     | 0.83 | 0.88 | 0.95 | 1.01 | 1.05 | 1.06 | 1.04 | 1.01 | 0.95 | 0.89 | 0.84 | 0.81 |
| 25     | 0.77 | 0.84 | 0.92 | 1    | 1.05 | 1.06 | 1.04 | 0.99 | 0.92 | 0.85 | 0.78 | 0.75 |
| 30     | 0.71 | 0.79 | 0.89 | 0.98 | 1.04 | 1.05 | 1.03 | 0.97 | 0.89 | 0.8  | 0.72 | 0.69 |
| 35     | 0.65 | 0.73 | 0.84 | 0.95 | 1.02 | 1.04 | 1.01 | 0.95 | 0.85 | 0.74 | 0.65 | 0.62 |
| 40     | 0.57 | 0.67 | 0.8  | 0.92 | 1    | 1.02 | 0.98 | 0.91 | 0.81 | 0.67 | 0.58 | 0.54 |
| 45     | 0.5  | 0.61 | 0.74 | 0.88 | 0.97 | 0.99 | 0.95 | 0.87 | 0.76 | 0.62 | 0.51 | 0.46 |
| 50     | 0.42 | 0.54 | 0.69 | 0.83 | 0.93 | 0.96 | 0.92 | 0.83 | 0.7  | 0.56 | 0.43 | 0.38 |
| 55     | 0.34 | 0.46 | 0.63 | 0.78 | 0.89 | 0.92 | 0.88 | 0.78 | 0.64 | 0.49 | 0.35 | 0.3  |
| 60     | 0.26 | 0.39 | 0.56 | 0.73 | 0.84 | 0.87 | 0.83 | 0.73 | 0.58 | 0.41 | 0.27 | 0.21 |
| 65     | 0.17 | 0.31 | 0.49 | 0.66 | 0.79 | 0.82 | 0.78 | 0.67 | 0.51 | 0.34 | 0.19 | 0.13 |
| 70     | 0.11 | 0.23 | 0.42 | 0.6  | 0.73 | 0.77 | 0.72 | 0.61 | 0.45 | 0.26 | 0.13 | 0.12 |
| 75     | 0.11 | 0.15 | 0.34 | 0.53 | 0.67 | 0.71 | 0.66 | 0.55 | 0.37 | 0.18 | 0.12 | 0.11 |
| 80     | 0.1  | 0.1  | 0.26 | 0.46 | 0.6  | 0.64 | 0.6  | 0.48 | 0.3  | 0.13 | 0.11 | 0.1  |
| 85     | 0.09 | 0.09 | 0.19 | 0.39 | 0.53 | 0.58 | 0.53 | 0.41 | 0.23 | 0.12 | 0.11 | 0.1  |
| 90     | 0.08 | 0.08 | 0.11 | 0.31 | 0.46 | 0.51 | 0.46 | 0.34 | 0.15 | 0.11 | 0.1  | 0.09 |

Cuadro C.4: Valor de k *Latitud* :  $-1^0$

*Latitud* :  $-2^0$

| Incli. | ENE  | FEB  | MAR  | ABR  | MAY  | JUN  | JUL  | AGO  | SEP  | OCT  | NOV  | DIC  |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0      | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    |
| 5      | 0.97 | 0.98 | 1    | 1.01 | 1.01 | 1.03 | 1.02 | 1.01 | 1    | 0.98 | 0.97 | 0.96 |
| 10     | 0.93 | 0.96 | 0.99 | 1.02 | 1.04 | 1.05 | 1.04 | 1.02 | 0.99 | 0.96 | 0.93 | 0.92 |
| 15     | 0.89 | 0.93 | 0.98 | 1.02 | 1.05 | 1.06 | 1.05 | 1.02 | 0.98 | 0.93 | 0.89 | 0.87 |
| 20     | 0.84 | 0.89 | 0.96 | 1.02 | 1.06 | 1.07 | 1.05 | 1.01 | 0.96 | 0.89 | 0.84 | 0.82 |
| 25     | 0.78 | 0.84 | 0.93 | 1.01 | 1.06 | 1.07 | 1.04 | 1    | 0.93 | 0.85 | 0.79 | 0.76 |
| 30     | 0.72 | 0.8  | 0.89 | 0.99 | 1.05 | 1.06 | 1.03 | 0.98 | 0.9  | 0.8  | 0.73 | 0.69 |
| 35     | 0.65 | 0.74 | 0.85 | 0.96 | 1.03 | 1.05 | 1.02 | 0.95 | 0.86 | 0.75 | 0.66 | 0.62 |
| 40     | 0.58 | 0.68 | 0.81 | 0.93 | 1.01 | 1.03 | 0.99 | 0.92 | 0.81 | 0.69 | 0.59 | 0.55 |
| 45     | 0.51 | 0.62 | 0.75 | 0.89 | 0.98 | 1    | 0.96 | 0.88 | 0.77 | 0.63 | 0.52 | 0.47 |
| 50     | 0.43 | 0.55 | 0.7  | 0.84 | 0.94 | 0.97 | 0.93 | 0.84 | 0.71 | 0.57 | 0.45 | 0.39 |
| 55     | 0.35 | 0.48 | 0.64 | 0.79 | 0.9  | 0.93 | 0.89 | 0.79 | 0.65 | 0.5  | 0.37 | 0.31 |
| 60     | 0.27 | 0.4  | 0.57 | 0.74 | 0.85 | 0.88 | 0.84 | 0.74 | 0.59 | 0.42 | 0.29 | 0.23 |
| 65     | 0.19 | 0.32 | 0.5  | 0.68 | 0.8  | 0.84 | 0.79 | 0.68 | 0.53 | 0.35 | 0.2  | 0.14 |
| 70     | 0.11 | 0.24 | 0.43 | 0.61 | 0.74 | 0.78 | 0.73 | 0.62 | 0.46 | 0.27 | 0.13 | 0.12 |
| 75     | 0.11 | 0.16 | 0.36 | 0.57 | 0.68 | 0.72 | 0.67 | 0.56 | 0.39 | 0.19 | 0.12 | 0.11 |
| 80     | 0.1  | 0.1  | 0.28 | 0.47 | 0.61 | 0.66 | 0.61 | 0.49 | 0.31 | 0.13 | 0.11 | 0.1  |
| 85     | 0.09 | 0.09 | 0.2  | 0.4  | 0.54 | 0.59 | 0.54 | 0.42 | 0.24 | 0.12 | 0.11 | 0.1  |
| 90     | 0.08 | 0.08 | 0.12 | 0.32 | 0.47 | 0.52 | 0.47 | 0.35 | 0.16 | 0.11 | 0.1  | 0.09 |

Cuadro C.5: Valor de k *Latitud* :  $-2^0$

*Latitud* :  $-3^0$

| Incli. | ENE  | FEB  | MAR  | ABR  | MAY  | JUN  | JUL  | AGO  | SEP  | OCT  | NOV  | DIC  |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0      | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    |
| 5      | 0.97 | 0.98 | 1    | 1.02 | 1.03 | 1.03 | 1.02 | 1.01 | 1    | 0.98 | 0.97 | 0.97 |
| 10     | 0.93 | 0.96 | 0.99 | 1.03 | 1.05 | 1.05 | 1.04 | 1.02 | 0.99 | 0.96 | 0.94 | 0.93 |
| 15     | 0.89 | 0.93 | 0.98 | 1.03 | 1.06 | 1.06 | 1.05 | 1.02 | 0.98 | 0.93 | 0.89 | 0.88 |
| 20     | 0.84 | 0.89 | 0.96 | 1.02 | 1.06 | 1.07 | 1.05 | 1.02 | 0.96 | 0.9  | 0.85 | 0.83 |
| 25     | 0.79 | 0.85 | 0.93 | 1.01 | 1.06 | 1.07 | 1.05 | 1    | 0.94 | 0.86 | 0.79 | 0.77 |
| 30     | 0.73 | 0.8  | 0.9  | 0.99 | 1.05 | 1.07 | 1.04 | 0.98 | 0.9  | 0.81 | 0.74 | 0.7  |
| 35     | 0.66 | 0.75 | 0.86 | 0.97 | 1.04 | 1.05 | 1.02 | 0.96 | 0.87 | 0.76 | 0.67 | 0.63 |
| 40     | 0.59 | 0.69 | 0.82 | 0.94 | 1.02 | 1.04 | 1    | 0.93 | 0.82 | 0.7  | 0.6  | 0.56 |
| 45     | 0.52 | 0.63 | 0.76 | 0.9  | 0.99 | 1.01 | 0.97 | 0.89 | 0.77 | 0.64 | 0.53 | 0.49 |
| 50     | 0.44 | 0.56 | 0.71 | 0.85 | 0.95 | 0.98 | 0.94 | 0.85 | 0.72 | 0.58 | 0.46 | 0.41 |
| 55     | 0.37 | 0.49 | 0.65 | 0.81 | 0.91 | 0.94 | 0.9  | 0.8  | 0.66 | 0.51 | 0.38 | 0.32 |
| 60     | 0.28 | 0.41 | 0.58 | 0.75 | 0.87 | 0.9  | 0.85 | 0.75 | 0.6  | 0.44 | 0.3  | 0.24 |
| 65     | 0.2  | 0.34 | 0.52 | 0.69 | 0.81 | 0.85 | 0.8  | 0.69 | 0.54 | 0.36 | 0.22 | 0.16 |
| 70     | 0.12 | 0.26 | 0.44 | 0.63 | 0.76 | 0.79 | 0.75 | 0.63 | 0.47 | 0.29 | 0.14 | 0.12 |
| 75     | 0.1  | 0.18 | 0.37 | 0.56 | 0.69 | 0.73 | 0.69 | 0.57 | 0.4  | 0.21 | 0.12 | 0.11 |
| 80     | 0.1  | 0.1  | 0.29 | 0.49 | 0.63 | 0.67 | 0.62 | 0.5  | 0.33 | 0.13 | 0.11 | 0.1  |
| 85     | 0.09 | 0.09 | 0.22 | 0.41 | 0.56 | 0.6  | 0.56 | 0.43 | 0.25 | 0.12 | 0.11 | 0.1  |
| 90     | 0.08 | 0.08 | 0.14 | 0.34 | 0.49 | 0.53 | 0.49 | 0.36 | 0.18 | 0.11 | 0.1  | 0.09 |

Cuadro C.6: Valor de k *Latitud* :  $-3^0$

*Latitud* :  $-4^0$

| Incli. | ENE  | FEB  | MAR  | ABR  | MAY  | JUN  | JUL  | AGO  | SEP  | OCT  | NOV  | DIC  |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0      | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    |
| 5      | 0.97 | 0.98 | 1    | 1.02 | 1.03 | 1.03 | 1.02 | 1.01 | 1    | 0.99 | 0.97 | 0.97 |
| 10     | 0.94 | 0.96 | 1    | 1.03 | 1.05 | 1.05 | 1.04 | 1.02 | 1    | 0.96 | 0.94 | 0.93 |
| 15     | 0.9  | 0.93 | 0.98 | 1.03 | 1.06 | 1.07 | 1.05 | 1.02 | 0.98 | 0.94 | 0.9  | 0.88 |
| 20     | 0.85 | 0.9  | 0.96 | 1.03 | 1.07 | 1.08 | 1.06 | 1.02 | 0.97 | 0.9  | 0.85 | 0.83 |
| 25     | 0.8  | 0.86 | 0.94 | 1.02 | 1.07 | 1.08 | 1.05 | 1.01 | 0.94 | 0.86 | 0.8  | 0.77 |
| 30     | 0.74 | 0.81 | 0.91 | 1    | 1.06 | 1.07 | 1.05 | 0.99 | 0.91 | 0.82 | 0.74 | 0.71 |
| 35     | 0.67 | 0.76 | 0.87 | 0.98 | 1.05 | 1.06 | 1.03 | 0.97 | 0.87 | 0.77 | 0.68 | 0.64 |
| 40     | 0.6  | 0.7  | 0.82 | 0.95 | 1.03 | 1.04 | 1.01 | 0.94 | 0.83 | 0.71 | 0.61 | 0.57 |
| 45     | 0.53 | 0.64 | 0.77 | 0.91 | 1    | 1.02 | 0.98 | 0.9  | 0.78 | 0.65 | 0.54 | 0.5  |
| 50     | 0.46 | 0.57 | 0.72 | 0.87 | 0.97 | 0.99 | 0.95 | 0.86 | 0.73 | 0.59 | 0.47 | 0.42 |
| 55     | 0.38 | 0.5  | 0.66 | 0.82 | 0.93 | 0.95 | 0.91 | 0.81 | 0.67 | 0.52 | 0.39 | 0.34 |
| 60     | 0.3  | 0.43 | 0.6  | 0.76 | 0.88 | 0.91 | 0.86 | 0.76 | 0.61 | 0.45 | 0.31 | 0.25 |
| 65     | 0.22 | 0.35 | 0.53 | 0.7  | 0.83 | 0.86 | 0.81 | 0.71 | 0.55 | 0.37 | 0.23 | 0.17 |
| 70     | 0.13 | 0.27 | 0.46 | 0.64 | 0.77 | 0.81 | 0.76 | 0.65 | 0.48 | 0.3  | 0.15 | 0.12 |
| 75     | 0.1  | 0.19 | 0.38 | 0.57 | 0.71 | 0.75 | 0.7  | 0.58 | 0.41 | 0.22 | 0.12 | 0.11 |
| 80     | 0.1  | 0.11 | 0.31 | 0.5  | 0.64 | 0.69 | 0.64 | 0.52 | 0.34 | 0.14 | 0.11 | 0.1  |
| 85     | 0.09 | 0.09 | 0.23 | 0.43 | 0.57 | 0.62 | 0.57 | 0.45 | 0.26 | 0.12 | 0.1  | 0.09 |
| 90     | 0.08 | 0.08 | 0.15 | 0.35 | 0.5  | 0.55 | 0.5  | 0.37 | 0.19 | 0.11 | 0.1  | 0.09 |

Cuadro C.7: Valor de k *Latitud* :  $-4^0$