



ECUADOR UNIVERSIDAD
INTERNACIONAL
SEK

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

Trabajo de fin de carrera titulado:

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA PARA LA FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES DE LA UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK”.

Realizado por:

ANDREA LUCÍA HIDALGO ROCHA

Director del proyecto:

ING. ALONSO MORETA

Como requisito para la obtención del título de:

INGENIERA AMBIENTAL

Quito, 13 de julio del 2015



DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, ANDREA LUCÍA HIDALGO ROCHA, con cédula de identidad 172373503-9, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Andrea Lucía Hidalgo Rocha

CI. 172373503-9



DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA PARA LA FACULTAD
DE CIENCIAS AMBIENTALES DE LA UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK”.**

Realizado por:

ANDREA LUCÍA HIDALGO ROCHA

Como requisito para la obtención del título de:

INGENIERA AMBIENTAL

Ha sido dirigido por el Ingeniero

ALONSO MORETA

Quien considera que constituye un trabajo original de su autor

Alonso Moreta

Director



LOS PROFESORES INFORMATES

Los profesores informantes:

FAUSTO VARGAS

JEFFERSON RUBIO

Después de revisar el trabajo presentado,

Lo han calificado como apto para su defensa oral ante

El tribunal examinador



MGA. Fausto Vargas



MBA. Jefferson Rubio

Quito, 13 de julio del 2015

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de investigación con todo mi amor y cariño a mis padres, ya que no solo les debo mis estudios sino la vida entera. Ustedes son y serán mi fortaleza.

A mi hermana, que ha estado conmigo durante esta etapa que hoy culmina; a esa persona que ha sido una amiga, confidente y compañera de vida. Gracias por tu apoyo incondicional.

A mis tíos, por ser las personas que han estado en todo momento acompañándome y apoyándome.

A mi abuela, por ser la persona que ha estado siempre conmigo

Y finalmente a mis amigos que han sido parte de esta experiencia maravillosa, gracias por su apoyo y cariño

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primero a Dios por darme la vida y a mi familia

Mi especial agradecimiento a mi director Alonso Moreta, quien dirigió esta investigación con entrega y compromiso.

A Fausto Vargas y Jefferson Rubio, como miembros de mi tribunal, por su aporte, que ayudó a enriquecer mi trabajo.

Al Ingeniero Jorge Oviedo, quien como maestro y amigo, solo le puedo decir muchas gracias.

Mi sincero agradecimiento al Ingeniero Edwin Cacuango, quien con su sólido aporte contribuyó a guiar mi trabajo de manera acertada.

A la Universidad Internacional SEK, en especial a todos los que forman parte de la Facultad de Ciencias Ambientales y por su puesto a la Ingeniera Katty Coral, decana de la Facultad.



Contenido

RESUMEN	14
ABSTRACT.....	15
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	16
Descripción del tema a desarrollar.....	16
Antecedentes	19
Importancia del Estudio.....	25
Objetivo General	26
Objetivos Específicos	26
Característica del sitio	27
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	30
Estudios Previos.....	30
Marco Legal	33
Marco Conceptual.....	35
Efecto Fotovoltaico.....	35
Células fotovoltaicas	35
Corriente Alterna	36
Circuito Mixto.....	36
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....	37
Procedimientos.....	37



1. Obtención de radiación solar horizontal mediante satélite	37
2. Obtención de radiación solar horizontal mediante ISOCAD (software).....	39
3. Cálculo de radiación solar horizontal mediante el modelo matemático AMSTRONG PAGE.....	40
4. Radiación solar horizontal obtenida de Atlas solar	42
5. Cálculo de la irradiación sobre una superficie inclinada ($G_{dm}(\beta)$)	43
6. Cálculo de la demanda energética	44
7. Determinación de la energía producida por el sistema	44
8. Análisis costo-beneficio de la instalación fotovoltaica	44
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	46
1. Datos Primarios y Secundarios.....	46
⊙ Coordenadas de la Facultad de Ciencias Ambientales de la UISEK.....	46
⊙ Radiación solar anual generada por el Satélite SURFACE METEOROLOGY AND SOLAR ENERGY.....	46
⊙ Radiación solar anual generada por ISOCAD (software).....	48
⊙ Radiación solar anual obtenida mediante el modelo matemático Amstronge Page 49	
⊙ Radiación solar anual del Atlas solar.....	49
⊙ Irradiación sobre $G_{dm}(15^\circ)$	51
⊙ Demanda energética para la Facultad de Ciencias Ambientales.....	53
⊙ Determinación de energía producida por el sistema.....	55



⊙ Memoria de Cálculos.....	56
⊙ Análisis costo-beneficio.....	58
Facturación del Consumo energético actual de la Facultad de Ciencias Ambientales de la UISEK.....	58
kW h/año consumidos por la Facultad en el 2014	60
Costos del Sistema Fotovoltaico incluida su Instalación	61
Costos de Mantenimiento	62
kW h/año producidos por los paneles en la Facultad anualmente	63
Costo del kWh del sistema fotovoltaico de acuerdo al Costo Teórico de Generar Energía Eléctrica (\$/kWh).....	67
Costo del kWh del sistema fotovoltaico de acuerdo al Costo Teórico de Generar Energía Eléctrica (\$/kWh) despreciando el costo de la mano de obra.....	69
Análisis de datos.....	70
Cálculo del VAN.....	73
⊙ Análisis del costo ambiental.....	74
Comparación entre las toneladas equivalentes de carbono producidos por la Facultad de Ciencias Ambientales con y sin el sistema fotovoltaico.	78
2. Equipos que componen el sistema.....	81
3. Planos	84
Vista lateral y en campo del sistema fotovoltaico	84
Cubierta del edificio de la Facultad de Ciencias Ambientales	87
Cubierta del edificio de Ciencias Ambientales con el sistema fotovoltaico	88



Conexión eléctrica del sistema	89	
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	90	
Conclusiones.....	90	
Recomendaciones.....	92	
CAPÍTULO VI. REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA.....	94	
ANEXOS	99	
⊗ Anexo 1. Coeficiente A de acuerdo a Garcia Villas, 1999.	99	
⊗ Anexo 2. Coeficiente B de acuerdo a Garcia Villas, 1999.....	100	
⊗ Anexo 3. Modelo matemático Amstronge Page.....	101	
⊗ Anexo 4. Imágenes de Insolación Solar, extraídas del Atlas solar del CONELEC .	101	
⊗ Anexo 4. Demanda Energética de la Facultad de Ciencias Ambientales de la UISEK	107	
⊗ Anexo 5. Datos históricos de facturación de la Facultad de Ciencias Ambientales de	la UISEK	108
⊗ Anexo 6. Facturación del servicio eléctrico de la Facultad de Ciencias Ambientales	d la UISEK.....	109

Índice de tablas

Tabla 1. Demanda energética de la FCA de la UISEK.....	25
Tabla 2. Consumo de energía en kWh.....	32
Tabla 3. Orientaciones de acuerdo al Plan Nacional del Buen Vivir	34
Tabla 4. Valores de a y b.....	41

Tabla 5. Datos para el cálculo de irradiación para la FCA de la UISEK, mediante modelo matemático	41
Tabla 6. Irradiación solar horizontal obtenida por modelo matemático	49
Tabla 7. Resumen del Atlas Solar específico para Quito	50
Tabla 8. Resultados del cálculo de irradiación sobre el plano inclinado.....	51
Tabla 9. Demanda de la Facultad para el año 2014	53
Tabla 10. Resumen estadístico de la demanda energética de la Facultad de Ciencias Ambientales.....	54
Tabla 11. kWh generados por el sistema fotovoltaico.....	55
Tabla 12. Datos históricos de consumo energético de la Facultad de Ciencias Ambientales	58
Tabla 13. kWh/ año generados por la Facultad en el año 2014.....	60
Tabla 14. Costos de implementación del sistema fotovoltaico	62
Tabla 15. Costo de mantenimiento del sistema.....	63
Tabla 16. kWh generados por el sistema fotovoltaico.....	64
Tabla 17. Cantidad real de kWh producidos por el sistema fotovoltaico	65
Tabla 18. LCOE solar a gran escala, en diferentes países calculado desde el 2015 -2050 con diferentes costos de capital	68
Tabla 19. Cantidad de energía que se va a tomar de la red nacional y costos.....	71
Tabla 20. Energía excedente que produce el sistema	72
Tabla 21. Cálculo del VAN enviando energía excedente a la Red Nacional	73
Tabla 22. Potencia Nacional de acuerdo al CONELEC desde 1999 - 2013.....	74
Tabla 23. kWh/ año que consumiría la Facultad con el sistema fotovoltaico	77
Tabla 24. Toneladas equivalentes de carbono producidas en un año	79
Tabla 25. Toneladas equivalentes de carbono proyectadas para 25 años	80



Tabla 26. Especificaciones técnicas de los paneles fotovoltaicos	81
Tabla 27. Especificaciones técnicas de los inversores.....	82
Tabla 28. Especificaciones técnicas de los inversores.....	82
Tabla 29. Especificaciones técnicas de las baterías	83
Tabla 30. Especificaciones técnicas de las estructuras metálicas de soporte	83

Índice de imágenes

Imagen 1. Evolución de potencia fotovoltaica instalada, acumulada en el mundo (MW)21	
Imagen 2. Ubicación de la Universidad Internacional SEK. Campus Miguel de Cervantes	27
Imagen 3. Surface metereology and Solar Energy	38
Imagen 4. Software ISOCAD	39
Imagen 5. Datos de radiación solar horizontal generados por satélite.....	47
Imagen 6. Datos de radiación solar generados por software	48
Imagen 7. Vista lateral del panel fotovoltaico con soporte metálico	84
Imagen 8. Ángulo de inclinación del panel	85
Imagen 9. Vista en planta del sistema fotovoltaico	86
Imagen 10. Cubierta de la Facultad de Ciencias Ambientales.....	87
Imagen 11. Cubierta de la Facultad de Ciencias Ambientales con el sistema fotovoltaico	88
Imagen 13. Conexión eléctrica	89

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1. Irradiación sobre una superficie inclinada	43
Ecuación 2. Costo Teórico de generación eléctrica (LCOE).....	45
Ecuación 3. Potencia demandada.....	56
Ecuación 4. Energía demandada	56
Ecuación 5. Potencia Nominal	56
Ecuación 6. Irradiancia del panel fotovoltaico	57
Ecuación 7. Voltaje del Sistema	57
Ecuación 8. Amperios del Sistema	57
Ecuación 9. Número de Paneles	58
Ecuación 10. Toneladas equivalentes de petróleo por kWh.....	75
Ecuación 11. Toneladas equivalentes de carbono por kWh	76

Índice de Gráficos

Gráfico 1. Resumen de Irradiación sobre el plano inclinado	52
Gráfico 2. kWh/ mes necesarios para el sistema fotovoltaico	66
Gráfico 3. Energía generada por el sistema vs Energía requerida por la Facultad (kWh)	70
Gráfico 4. Toneladas equivalentes de carbono producidas en un año	80

RESUMEN

Gracias a los estudios previos realizados en la Facultad de Ciencias Ambientales relacionados al consumo energético y a la necesidad de proponer nuevas formas de mejora ambiental, se determinó que el diseño de un sistema fotovoltaico es una alternativa óptima, que no únicamente contribuirá a la disminución de condiciones ambientales negativas sino que además está enfocado en incentivar y promover el uso de energías renovables. Ayudando de esta manera a la diversificación de la matriz energética.

El sistema fotovoltaico está diseñado para satisfacer una demanda de 20kW y los meses en los que la demanda sea superior se podrá tomar energía de la red nacional, de esta manera la Facultad no presentará fallas eléctricas en ningún momento. Cabe resaltar que el cálculo del costo ambiental, demuestra que con el simple hecho de consumir energía proveniente de fuentes limpias, reducimos considerablemente las toneladas equivalentes de carbono emitidas a la atmosfera, principales causantes del calentamiento global en un 94%.

Finalmente se determinó que productividad energética es del 107%, ya que generará más energía de la que la Facultad requiere anualmente, la misma que puede ser utilizada dentro de los edificios que conforman el Campus Miguel de Cervantes. Con respecto al análisis económico, el cálculo del VAN, determinó que el proyecto económicamente no es viable, sin embargo se debe tomar en cuenta que el resultado obtenido no considera que la energía excedente puede ser utilizada dentro de la Universidad.

Palabras clave: energías renovables, demanda, toneladas equivalentes de carbono, calentamiento global

ABSTRACT

Thanks to previous studies made in the School of Environmental Sciences related to energy consumption and the need to propose new forms of environmental improvement, it was determined that the design of a PhotoVoltaic system is an optimal alternative, it will not only contribute to the reduction of negative environmental conditions, but it is also focused on encouraging and promoting the use of renewable energies. Thereby, helping to diversify the energy matrix.

The photovoltaic system is designed to meet a demand of 20kW. And the months, in which demand exceeds, energy may be taken from the national power grid, so the Faculty will not present electrical faults at any time. Notably, the environmental costs calculation shows that the simple fact of consuming energy from clean sources greatly reduces the equivalent tons of carbon emitted into the atmosphere, the main cause of global warming by 94%.

Finally it was determined that energy productivity is 107%, since it will generate more energy than required annually by the Faculty, the same that can be used inside buildings that make up the Campus Miguel de Cervantes. Regarding to the economic analysis, the VAN's calculation determined that the project is not viable economically, but should be taken into account that the result does not consider that the excess energy can be used within the University.

Keywords: renewable energy, demand, equivalent tons of carbon, global warming

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Descripción del tema a desarrollar

La creciente y excesiva dependencia energética, no únicamente en Ecuador sino en el resto del mundo, conjuntamente con la necesidad de preservar el ambiente y asegurar un desarrollo sostenible, obligan al fomento de fuentes limpias para la generación eléctrica. Las energías renovables a más de ser fuentes energéticas inagotables, contribuyen a la reducción de gases de efecto invernadero (GEI), contrarrestando de esta manera el cambio climático.

A finales del siglo XVII, el hombre empezó a utilizar combustibles fósiles que la Tierra había acumulado en el subsuelo durante su historia geológica. La quema de petróleo, carbón y gas natural ha causado un aumento del CO₂ en la atmosfera, siendo el precursor del calentamiento global (Fernández Salgado, 2011). De acuerdo a Barros (2005), la quema de los llamados combustibles fósiles (carbón, derivados del petróleo o gas natural) generan la energía para casi la totalidad del transporte moderno, gran parte de la producción de electricidad, la calefacción y otros servicios energéticos. Cabe resaltar que el uso de combustibles fósiles hasta el año 2005 representó el 80% del consumo energético de toda la humanidad y generó aproximadamente el 80% de las emisiones de dióxido de carbono.

A principios del siglo XXI el calentamiento global parece irrefutable, a pesar de que las estaciones meteorológicas en las grandes ciudades han pasado de estar en la periferia de la ciudad, al centro de ésta y el efecto de isla urbana también ha influido en el aumento observado. Los últimos años del siglo XX se caracterizaron por poseer las temperaturas promedio más altas del siglo (Fernández Salgado, 2011). Las pruebas científicas son hoy

en día irrefutables: el cambio climático representa una seria amenaza mundial, que exige urgentemente una respuesta a nivel global (Stern, 2006).

Las consecuencias de nuestras acciones presentes sobre los futuros cambios climáticos poseen largos periodos de espera, es decir, lo que hagamos ahora solamente tendrá un impacto sobre el clima de los próximos 40 o 50 años. Si bien es cierto, nadie puede predecir con total certeza las consecuencias del cambio climático, pero contamos con suficientes conocimientos como para percatarnos de los riesgos. La mitigación deberá entenderse como una inversión, un costo incurrido ahora y en las próximas décadas para evitar el riesgo de consecuencias muy graves en el futuro. Si estas inversiones se realizan acertadamente, los costos serán razonables y al mismo tiempo se abrirá una amplia gama de oportunidades de crecimiento y desarrollo (Fernández Salgado, 2011).

Por otra parte, en las últimas décadas las diferentes crisis económicas de energía y problemas de contaminación ambiental han provocado el crecimiento de toma de conciencia entre los ciudadanos del mundo, para no utilizar energías tradicionales provenientes de los combustibles fósiles y tratar de consumir energía procedente de fuentes alternativas (PNUMA, 2011). Entre este tipo de energías se encuentra la solar eléctrica o fotovoltaica, una energía limpia y renovable.

Aunque la energía fotovoltaica sólo representa el 0,001 por ciento del suministro de energía eléctrica que satisface las necesidades de consumo en todo el mundo, se prevé un rápido y significativo crecimiento de su implantación, basado en el actual avance tecnológico y el compromiso ambiental de los países desarrollados. El sector fotovoltaico se sustenta en una tecnología de vanguardia y una industria que en los últimos años está teniendo un crecimiento anual medio superior al 30% (Mora, 2011).

Adicionalmente otro punto clave para promover el uso no únicamente de energía fotovoltaica sino de energías renovables, se enfoca en que el sector energético es la fuente más importante de gases de efecto invernadero. Los principales gases producidos son el CO₂ y el CH₄ derivados de la quema de combustibles fósiles, así como el de las minas de carbón, y de las instalaciones de hidrocarburos y gas (Pazmiño & Quinaluisa, 2007).

Actualmente, todo lo que el ser humano utiliza es impulsado mediante energía eléctrica, y al no utilizar energías renovables para este fin, estamos contribuyendo aún más al incremento de emisiones de CO₂ a la atmósfera. Adicionalmente, Ecuador al poseer subsidios para el consumo energético, ha provocado que la población no considere el costo real del despilfarro energético y peor aún verlo como un potencial contaminante.

Una base energética apoyada en hidrocarburos es más intensa en emisiones de dióxido de carbono que otra apoyada en fuentes renovables (Aliaga & Villegas, 2009). En el sector energético, Ecuador cuenta con importantes recursos renovables, entre los que se destacan las energías solar e hidráulica con un gran potencial de generación.

El desarrollo de energías renovables hasta el momento ha sido mínimo, debido a la enorme dependencia del país hacia fuentes fósiles (petróleo) (Aliaga & Villegas, 2009). De acuerdo al International Energy Agency (2014), Ecuador consume 19,76 TW/h y produce 33,10 Mt de CO₂.

La energía es fundamental para las operaciones de una organización y puede representar un costo importante para estas, independientemente de su actividad. Las organizaciones individuales no pueden controlar los precios de la energía, las políticas del gobierno o la economía global, pero pueden implementar por ellas mismas, sistemas que contribuyan a mantener un desarrollo sostenible. El avance y despliegue de tecnologías de fuentes de

energía nuevas y renovables puede tomar tiempo, pero sus beneficios se irán manifestando a largo plazo (NTE INEN-ISO 50001,2012).

Con estos precedentes y consiente, la Facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad Internacional SEK, no puede encontrarse al margen de ningún cambio estratégico positivo, que contribuya a disminuir o mitigar las condiciones ambientales negativas. Motivo por el cual se desarrolló el diseño de un sistema fotovoltaico para la Facultad, con el objetivo de incentivar y promover el uso de energías renovables.

Antecedentes

Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es la energía obtenida por la radiación electro-magnética del sol, convertida en energía eléctrica de corriente continua. A veces se confunde y se piensa que la energía solar fotovoltaica proviene de la energía calorífica del sol, y que las placas solares térmicas son lo mismo que las placas solares fotovoltaicas. Sin embargo, no es lo mismo. La energía solar fotovoltaica se produce debido al efecto fotoeléctrico explicado anteriormente (Aguirre, 2011).

De hecho, los paneles solares fotovoltaicos no funcionan de manera óptima con una elevada temperatura ambiente, debido a la tecnología empleada en las placas (semiconductores). Los paneles solares fotovoltaicos, a diferencia de las placas solares térmicas de baja temperatura, se pueden integrar con la red eléctrica, simplemente con la ayuda de unos inversores (Aguirre, 2011). Estos inversores se encargan de transformar la corriente continua generada por el panel fotovoltaico, en corriente alterna adecuada para

el transporte de electricidad en las redes eléctricas o pueden funcionar de forma aislada para el consumo de una familia (Alonso, 2011).

De acuerdo a Aguirre (2011), actualmente, existen dos tipos de estructuras para sostener los paneles solares fotovoltaicos. Uno de ellos, permite seguir el movimiento del sol durante el día (seguidores solares) y la otra estructura, es completamente fija, y se optimiza orientando la placa hacia el sur (si estás en el hemisferio norte), y los grados dependerán, sólo de la latitud.

La energía solar fotovoltaica se plantea como una solución para la reducción de emisiones de CO₂, cada kilovatio de energía solar generada deja de emitir 0,311 Kg de CO₂ en la atmósfera (Aguirre, 2011). Adicionalmente Castells & Bordas (2011), recalcan que para la introducción a la generación de energía a partir de recursos renovables es aconsejable tener claro los principios, conceptos y unidades de transformación asociados a la energía, entre los más importantes tenemos:

- La unidad tec (tonelada equivalente de carbón), representa la energía liberada por la combustión de 1 tonelada de carbón (hulla)

$$1 \text{ tec} = 29.3 \times 10^9 \text{ J}$$

- Una tep (tonelada equivalente de petróleo) equivale a la energía liberada en la combustión de 1 tonelada de petróleo

$$1 \text{ tep} = 41,84 \times 10^9 \text{ J} = 107 \text{ kcal} = 11.628 \text{ kWh} = 7,35 \text{ br}$$

- Siendo la relación entre estas dos unidades:

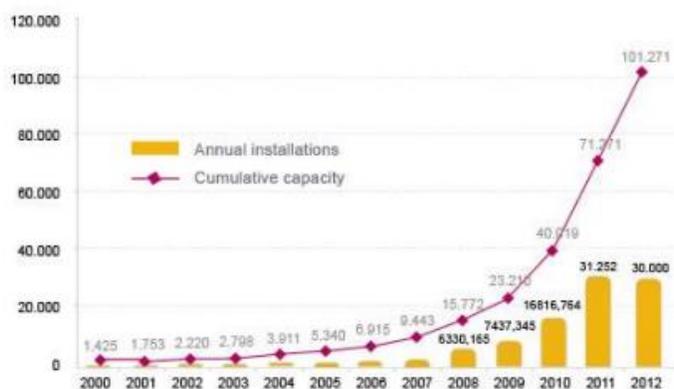
$$1 \text{ tep} = 1,428 \text{ tec}$$

Por este motivo los gobiernos están haciendo gran énfasis en el uso de energías renovables y la más proliferada es la fotovoltaica (Aguirre, 2011).

Energía Fotovoltaica en el Mundo

En noviembre del 2012, la International Energy Agency (IEA) mediante Photovoltaic Power System Programme (PVPS), publicó su informe anual, destacando que los países miembros (Australia, Austria, Bélgica, Canadá, Republica Checa, Dinamarca, Unión Europea, Francia, Alemania, Grecia, Hungría, Irlanda, Italia, Japón, Luxemburgo, Holanda, Nueva Zelanda, Noruega, Polonia, República de Corea, Eslovaquia, España, Suecia, Suiza, Turquía, Reino Unido, Estados Unidos) de este programa durante el año 2011, instalaron alrededor de 28 gigavatios (GW) de energía fotovoltaica, es decir el doble de la cantidad del año anterior, sumando un total de 63,6 GW instalados. Del total de GW instalados, el 60% fueron colocados en Alemania e Italia, entre 2010 y 2011 mientras que en China, EE.UU, Japón y Francia también se instaló el 36 % de la energía fotovoltaica. La energía restante se reparte en nueve países que tienen o están a punto de lograr, mercados anuales superiores a 1 GW (Urdiales, 2014).

Imagen 1. Evolución de potencia fotovoltaica instalada, acumulada en el mundo (MW)



Fuente: IEA International Energy Agency, 2012

Energía Fotovoltaica en América Latina

Con respecto al uso de sistemas fotovoltaicos (photovoltaic systems, PVS) en los países de América Latina, se han puesto en marcha varios programas nacionales e internacionales de instalación de PVS con fines de iluminación y bombeo de agua en comunidades pequeñas. Una de estas iniciativas fue el programa mexicano de energía renovable, llevado a cabo por Sandia National Laboratories y patrocinado por el US Department of Energy y la US Agency for International Development. El programa citado se considera un modelo de éxito para la instalación de sistemas de bombeo y generación eléctrica basados en fuentes de energía renovable; por lo mismo, ha sido reproducido en otros países de América Latina (Urdiales, 2014).

Los escenarios prospectivos con respecto a la utilización de energía solar en ALCA (América Latina y el Caribe) son optimistas. Gracias al establecimiento de políticas apropiadas para promover el uso de tecnologías energéticas renovables, se estima un crecimiento considerable de los mercados de energía renovable (ER) en el corto plazo (cinco años). Posteriormente, en el largo plazo (de 10 a 15 años), a medida que los grupos de investigación se fortalezcan, que surjan y crezcan empresas nacionales e internacionales, y que se desarrollen tecnologías energéticas renovables en ALC. El uso de la ER se volverá masivo y abarcará al menos 20% del consumo energético principal (CAF, 2013).

Las actividades de investigación y desarrollo de la ER comenzaron en la región a principios de la década de 1970; durante los años subsiguientes cobraron interés y eso se vio reflejado en un flujo constante de apoyo financiero específico por parte de los gobiernos. Posteriormente, luego de un periodo de muy escasa actividad que se prolongó

desde fines de la década de 1980 hasta principios de 1990, se retomó interés en este campo (Urdiales, 2014).

Energía Fotovoltaica en Ecuador

En Ecuador la energía solar empieza a desarrollarse con proyectos desde 1982, con la aprobación de la Ley de Fomento de Energías No Convencionales y en la década de 1990, se creó el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC), que es el organismo gubernamental de regulación y control. En el año 2003, el Fondo de Electrificación Rural y Urbano Marginal (FERUM), generó los recursos suficientes para que varias ONG y organismos competentes, realicen la instalación de Sistemas Fotovoltaicos Aislados en varias comunidades. Durante el año 2007, se creó el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER), la atención del MEER se ha centrado en el Programa de Electrificación Rural para las Viviendas en comunidades que no es posible conectar a la red nacional (Urdiales, 2014).

Entre el 2011 y el 2012, el CONELEC aprobó la instalación y operación de 17 proyectos de generación eléctrica con paneles solares en Morona Santiago, Imbabura, Pichincha, Manabí, Santa Elena, entre otras provincias, por un total de 272 megavatios (MW) de potencia. Esto equivale al 6% de la capacidad instalada en el país o un cuarto de la potencia de la central Paute (Urdiales, 2014).

El CONELEC informa que la energía eléctrica, consumida en el país, se produce con generadores térmicos en un 41% y utilizan combustibles fósiles para la producción de la misma, mientras el 55% de energía hidráulica, proviene de represas que no se realizaron con estudios de impacto ambiental adecuados (Vargas, 2013).

Facultad de Ciencias Ambientales de la UISEK

La facultad de Ciencias Ambientales, se provee de energía eléctrica, de la Empresa Eléctrica Quito a través de sus redes locales y un transformador trifásico de 75 KVA. La facultad está compuesta de tres carreras concordantes con el Ambiente, y estas son:

- Ingeniería Ambiental
- Ingeniería Química Industrial
- Ingeniería en Biotecnología

Sus labores se realizan en un edificio de tres pisos, donde se encuentran aulas y laboratorios, con equipos de alta tecnología, y algunos construidos por los estudiantes, en sus proyectos de tesis (Vargas, 2013).

Según la información proporcionada por el jefe de mantenimiento, se tiene conectado al sistema eléctrico del edificio de la Facultad; en el exterior las luminarias de los parqueaderos y la garita de acceso a la Universidad, estos están compuestos por puertas eléctricas corredizas y levanta brazos eléctricos para restringir el acceso vehicular.

Gracias a los datos proporcionados por la Empresa Eléctrica Quito S.A, se ha determinado que la demanda energética de la Facultad de Ciencias Ambientales para el Año 2014 es la siguiente:



Tabla 1. Demanda energética de la FCA de la UISEK

AÑO 2014	DEMANDA (kW)
ENERO	19.62
FEBRERO	16.05
MARZO	19.72
ABRIL	26.17
MAYO	28.83
JUNIO	20.95
JULIO	18.79
AGOSTO	16.88
SEPTIEMBRE	11.8
OCTUBRE	15.55
NOVIEMBRE	18.46
DICIEMBRE	15.91

Elaborado por: Andrea Hidalgo

Importancia del Estudio

La importancia del proyecto radica en varios puntos que pueden aportar a la conservación progresiva del ambiente. En primera instancia tenemos una optimización de los recursos energéticos al convertir el edificio de Ciencias Ambientales en un inmueble

autosustentable utilizando energía 100% renovable; ya que actualmente la Red Nacional está constituida tanto por energías renovables como por energías no renovables, entre las cuales se destacan un porcentaje de termoeléctricas, que aportan una cantidad significativa de CO₂ al ambiente.

Adicionalmente el proyecto no únicamente tiene una importancia local, es decir los beneficios no serán solo para el edificio de Ciencias Ambientales, sino que gracias a que el sistema fotovoltaico está diseñado para funcionar diariamente, los días en los que el consumo por parte del edificio sea mínimo, se podrá entregar un aporte de energía a la red Nacional eléctrica o alimentar al resto de edificios del Campus Miguel de Cervantes, evitando despilfarros y utilizando de manera óptima el sistema.

Objetivo General

Diseñar un sistema de energía fotovoltaica conectada a la red, que satisfaga de forma óptica las necesidades de la facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad Internacional SEK.

Objetivos Específicos

- Analizar el consumo de energía eléctrica en la Facultad de Ciencias Ambientales de la UISEK en el periodo de un año.
- Determinar mediante un modelo matemático el comportamiento de la radiación solar específica, para la Facultad de Ciencias Ambientales.
- Efectuar el estudio técnico – económico del sistema fotovoltaico a instalarse para determinar su factibilidad.



Característica del sitio

El edificio de la Facultad de Ciencias Ambientales, se encuentra ubicado en El campus “Miguel de Cervantes” de la Universidad Internacional SEK, en la parroquia Cotocollao en el sector de Carcelén, en la calle Alberto Einstein y 5ta transversal s/n al norte de la ciudad de Quito, Ecuador.

Imagen 2. Ubicación de la Universidad Internacional SEK. Campus Miguel de Cervantes



Elaborado por: Andrea Hidalgo

El edificio tiene un área de 529,76 m² y cuenta con 3 pisos los cuales se detallan a continuación:

1. Parte externa de la Facultad

- Zona de Parking

Esta zona cuenta con 37 espacios de parqueo para estudiantes, alumnos y visitantes. Cada uno de los espacio de parqueo se encuentran delimitados y numerados para un mejor uso de los mismos .Esta zona también cuenta con 4 postes (reflectores de luz).

- Zona verde

Esta zona cuenta con dos mesas de múltiples usos con parasoles cada uno, un cuarto donde se encuentra un generador eléctrico que abastece a toda la Facultad. En esta zona se encuentra el área de fumadores la cual cuenta con 2 bancas y un basurero y 2 reflectores

- En la parte norte del edificio están las escaleras de emergencia, las cuales se extienden desde la planta baja hasta el tercer piso de la Facultad.

2. Parte Interna de la Facultad

PLANTA BAJA

- Zona de estar

Esta zona es utilizada por los estudiantes como punto de reunión, diversión, etc.

- Sala 1 de profesores.

Esta zona es dedicada a los docentes de nuestra facultad, en la cual también está el decanato; tiene capacidad para 12 profesores y cada uno con sus artículos de trabajo.

- Sala 2 de profesores.

Esta zona es dedicada a los docentes de nuestra facultad, dispone de una capacidad para 6 profesores cada uno con sus artículos de trabajo.

- Laboratorio de computación.

Esta zona es utilizada como lugar de aprendizaje, consulta y enseñanza de todos los temas competentes por los usuarios.

- Aula de clases.
- Baños
- Bodegas

Esta bodega tiene como objetivo, crear una cámara de aire, útil en caso de deslizamientos de tierra y así reducir el riesgo de daño a la infraestructura del edificio, adicionalmente el edificio cuenta con una bodega de almacenamiento junto a los baños.

- Ascensor

PRIMER PISO

- Laboratorio de Microbiología

Laboratorio creado con la finalidad de realizar investigaciones de carácter biológico. Su adecuación se la realizó en el 2008, al igual que la facultad de Ciencias Ambientales en el Campus Carcelén.

- Laboratorio de Procesos



- Aula E4P1A1
- Aula E4P2A2
- Ascensor

SEGUNDO PISO

- Laboratorio de Investigación

En este laboratorio se realizan estudios de poblaciones microbianas, ecología molecular, biotecnologías, ADN.

- Laboratorio de Química
- Aula E4P2A1
- Aula E4P2A2
- Ascensor

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

Estudios Previos

Con respecto a estudios o cuantificación de energía fotovoltaica, la Facultad de Ciencias Ambientales no cuenta con investigaciones previas; sin embargo se han realizado tesis enfocadas en conseguir eficiencia energética para el edificio; dentro de las cuales se ha extraído datos relevantes, como consumo energético de los últimos años, potencia de los equipos de laboratorio así como su tiempo de funcionamiento, entre otros.

El primer trabajo de investigación fue realizado por el ingeniero Paúl Balarezo en el 2012, mediante el cual se consiguió un diagnóstico del edificio de la Facultad de Ciencias Ambientales utilizando políticas de construcción sustentable. En este trabajo, nace por

primera vez la iniciativa de colocar paneles fotovoltaicos con el fin de que obtener un edificio autosustentable, energéticamente hablando.

Para conseguir esto Balarezo (2012), recopiló toda la documentación de los sistemas eléctricos del edificio y adicionalmente levantó información de la potencia eléctrica en kilovatios (Kw) de cada equipo; además realizó el conteo de lámparas fluorescentes y focos.

Una vez adquirida esta información verificó su consumo energético, por medio de una valoración en la potencia en (Kw) y el tiempo de funcionamiento de cada equipo. Obteniendo los resultados que se muestran en la Tabla 2.



Tabla 2. Consumo de energía en kWh

LUGAR	EQUIPOS ELECTRICOS	POTENCIA [Kw]	Nº EQUIPOS	POTENCIA EQUIPOS [Kw]	TIEMPO DE FUNCIONAMIENTO h/mes			CONSUMO DE ENERGIA Kwh
					h	mes	Total	
Sala de Profesores	Computadoras (CPU y monitor)	0,255	10	2,550	7	20	140	357,000
	Modem de Internet	0,100	2	0,200	24	30	720	144,000
Laboratorio de Computo	Computadoras	0,255	29	7,395	8	20	160	1.183,200
	Proyector	0,990	1	0,990	8	20	160	158,400
Aulas	Computadoras (CPU)	0,150	5	0,750	12	20	240	180,000
	Proyector	0,990	5	4,950	12	20	240	1.188,000
Otros	Focos Ahorradores	0,020	90	1,800	8	20	160	288,000
	Lámparas Fluorescentes	0,040	400	16,000	8	20	160	2.560,000
	Maquina de Dulces	0,304	1	0,304	24	20	480	145,824
	Ascensor	5,000	1	5,000	24	30	720	3.600,000
	Reflectores	0,250	2	0,500	3	12	36	18,000
Total								9.822,424

Fuente: Balarezo, 2012

Aunque en este trabajo se determinó que el edificio está equipado con lámparas fluorescentes y focos ahorradores para permitir el ahorro de energía. Se recomienda realizar un plan de Ahorro Energético y la colocación de sensores para mejorar el ahorro de energía, ya que existe un gran desperdicio de este recurso.

Un año después se realizó un Diseño de sistemas de eficiencia energética y planificación energética del edificio de Ciencias Ambientales de la Universidad Internacional SEK,

elaborado por el ingeniero Fausto Vargas, docente de la Facultad. Este trabajo fue de vital importancia para la elaboración del sistema fotovoltaico ya que se extrajo datos importantes como la identificación de los procesos que se realizan en el edificio, la planificación energética, variables relevantes que afectan al consumo de energía y principalmente el uso de la energía pasado y presente. En este trabajo al igual que en el de Balarezo, se recomienda el uso de energías renovables, siendo la más óptima, la energía fotovoltaica.

Gracias a estos trabajos de investigación se determinó que realizar un estudio para la implementación de un diseño fotovoltaico para la Facultad, es importante para minimizar el consumo energético de la red nacional que contiene un porcentaje de energía eléctrica no renovable.

Marco Legal

Ecuador no cuenta con una normativa que regule parámetros para energía fotovoltaica, sin embargo, como se mencionó anteriormente dentro del Plan Nacional del Buen Vivir se estipula que debemos promover la generación de energías alternativas y renovables, motivo por el cual se decidió diseñar un sistema fotovoltaico para la Facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad Internacional SEK.

Dentro del Plan Nacional de Buen Vivir, se encuentra el apartado Revolución Ecológica, el cual apuesta por la transformación productiva bajo un modelo eco-eficiente con mayor valor económico, social y ambiental. En este sentido, se plantean como prioridades la conservación y el uso sostenible del patrimonio natural y sus recursos naturales, la inserción de tecnologías ambientalmente limpias, la aplicación de la eficiencia energética y una mayor participación de energías renovables, así como la prevención, el control y la

mitigación de la contaminación y la producción, el consumo y el post-consumo sustentables (Senplades, 2013).

Entre los puntos más relevantes tenemos:

Tabla 3. Orientaciones de acuerdo al Plan Nacional del Buen Vivir

ORIENTACIONES SEGÚN EL PLAN NACIONAL DEL BUEN VIVIR	
N. OBJETIVO	DETALLE
7	Garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental territorial y global
11	Asegurar la soberanía y eficiencia de los sectores estratégicos para la transformación industrial y tecnológica
N. POLITICA	DETALLE
7.7	Promover la eficiencia y una mayor participación de energías renovables sostenibles como medida de prevención de la contaminación ambiental
11.1	Asegurar la soberanía y eficiencia de los sectores estratégicos para la transformación industrial
N. LINEAMIENTO	DETALLE
7.7.b	Promover investigaciones para el uso y la generación de energías alternativas renovables, bajo parámetros de sustentabilidad en su aprovechamiento



11.h	Cuantificar el potencial de recursos de energías renovables para generación eléctrica.

Elaborado por: Andrea Hidalgo

Actualmente la entidad encargada de impulsar y promover el uso masivo de energía solar como fuente energética es el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC)

Marco Conceptual

Efecto Fotovoltaico

El efecto fotovoltaico se produce cuando el material de la celda solar (silicio u otro material semiconductor) absorbe parte de los fotones del sol. El fotón absorbido libera a un electrón que se encuentra en el interior de la celda. Ambos lados de la celda están conectados por un cable eléctrico, así que se genera una corriente eléctrica (Orbegozo & Arivilca, 2010).

Células fotovoltaicas

Las células fotovoltaicas son la parte más importante del sistema; pues estas aprovechan la luz del sol para crear partículas cargadas móviles y a continuación las separan para producir corriente eléctrica directa (DC). La corriente eléctrica se dirige entonces a través de cables metálicos hacia un regulador. Este equipo ayuda a controlar y regular la entrada de luz en las baterías, evitando la sobrecarga del sistema de almacenamiento. La electricidad se almacena comúnmente en las baterías que permiten el suministro de electricidad cada vez que el sistema solar fotovoltaico no está produciendo suficiente energía eléctrica, por ejemplo, cuando se requiere iluminación por la noche o cuando las

condiciones de radiación solar no son suficientes para satisfacer la demanda de energía eléctrica en un determinado momento (ENERPRO, 2014).

Corriente Alterna

Es un tipo de corriente eléctrica, en la que la dirección del flujo de electrones va y viene a intervalos regulares o en ciclos. La corriente que fluye por las líneas eléctricas y la electricidad disponible normalmente en las casas procedente de los enchufes de la pared es corriente alterna. La corriente estándar utilizada en los EE.UU. es de 60 ciclos por segundo (es decir, una frecuencia de 60 Hz); en Europa y en la mayor parte del mundo es de 50 ciclos por segundo (es decir, una frecuencia de 50 Hz.) (GreenFacts, 2015).

Circuito Mixto

De acuerdo a Boylestad (2004), los circuitos mixtos son aquellos que disponen de tres o más operadores y en cuya asociación concurren a la vez dos sistemas:

Un **circuito paralelo** que dispone de dos o más operadores conectados en distintos cables. Dicho de otra forma, en ellos, para pasar de un punto a otro del circuito (del polo 2 al 1), la corriente eléctrica dispone de varios caminos alternativos, por lo que esta solo atravesará aquellos operadores que se encuentren en su recorrido.

Y un **circuito en serie** que consta de cualquier número de elementos conectados en puntos terminales, ofreciendo al menos una ruta cerrada por la cual pueda influir la carga. Dos elementos se encuentran en serie si:

- Solo cuentan con una terminal en común (es decir, una terminal de un elemento se encuentra conectada solamente a una terminal del otro elemento).
- El punto común entre los dos elementos no se encuentra conectado con otro elemento que transporta corriente.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

Procedimientos

La escasa información de radiación solar ha impulsado la creación de satélites, generación de modelos matemáticos, atlas solares, softwares, entre otros; que han contribuido a la cuantificación de radiación solar en lugares determinados.

Esta investigación utilizó varias técnicas de cálculo del recurso solar, debido a que la Universidad no cuenta con una estación radiométrica propia.

1. Obtención de radiación solar horizontal mediante satélite

Los datos de radiación se obtuvieron del *SURFACE METEOROLOGY AND SOLAR ENERGY*, satélite de la NASA.

Para que el satélite pueda proporcionarlos la información requerida, primero debemos obtener las coordenadas exactas de la Facultad de Ciencias Ambientales de la UISEK.

En este caso, se determinaron con un GPS marca eTrex de la siguiente manera:

- Se encendió el equipo fuera del edificio y se esperó el tiempo necesario hasta que este se alinee con los satélites
- Una vez que este se estabilizó, determinamos el tipo de coordenadas requeridas (coordenadas geográficas).
- Se mantuvo presionado el cursor, hasta que la pantalla de datos aparezca y finalmente obtenemos las coordenadas deseadas.

Una vez que se determinó las coordenadas exactas, se ingresó a la página de la NASA (<https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/RETScreen/>), donde se visualizó lo siguiente:



Imagen 3. Surface meteorology and Solar Energy

ATMOSPHERIC SCIENCE DATA CENTER

Surface meteorology and Solar Energy
A renewable energy resource web site (release 6.0)
sponsored by [NASA's Earth Science Enterprise](#) Program

A collaboration with the CANMET Energy Technology Centre - Varennes (CETC-Varennes) has produced data output useful to users of the [RETScreen[®] International](#) Clean Energy Project Analysis Software.

To access data for RETScreen:
Enter BOTH latitude and longitude either in decimal degrees or degrees and minutes separated by a space.

Example:
Latitude 33.5 Longitude -80.75 OR Latitude 33 30 Longitude -80 45

Latitude? North: 0 to 90 South: 0 to -90
Longitude? East: 0 to 180 West: 0 to -180

This form is "Reset" if the input is out of range.

 Learn more about the [NASA Surface meteorology and Solar Energy Data Set](#)

Responsible Data: [Paul W. Stackhouse, Jr., Ph.D.](#)
Officials: [Charles H. Whitlock, Ph.D.](#)
Archive: John M. Kusterer
Site Administration/Help: NASA Langley [ASDC](#) User Services (Larc@eos.nasa.gov)
[\[Privacy Policy and Important Notices\]](#)
Last Updated March 26, 2008

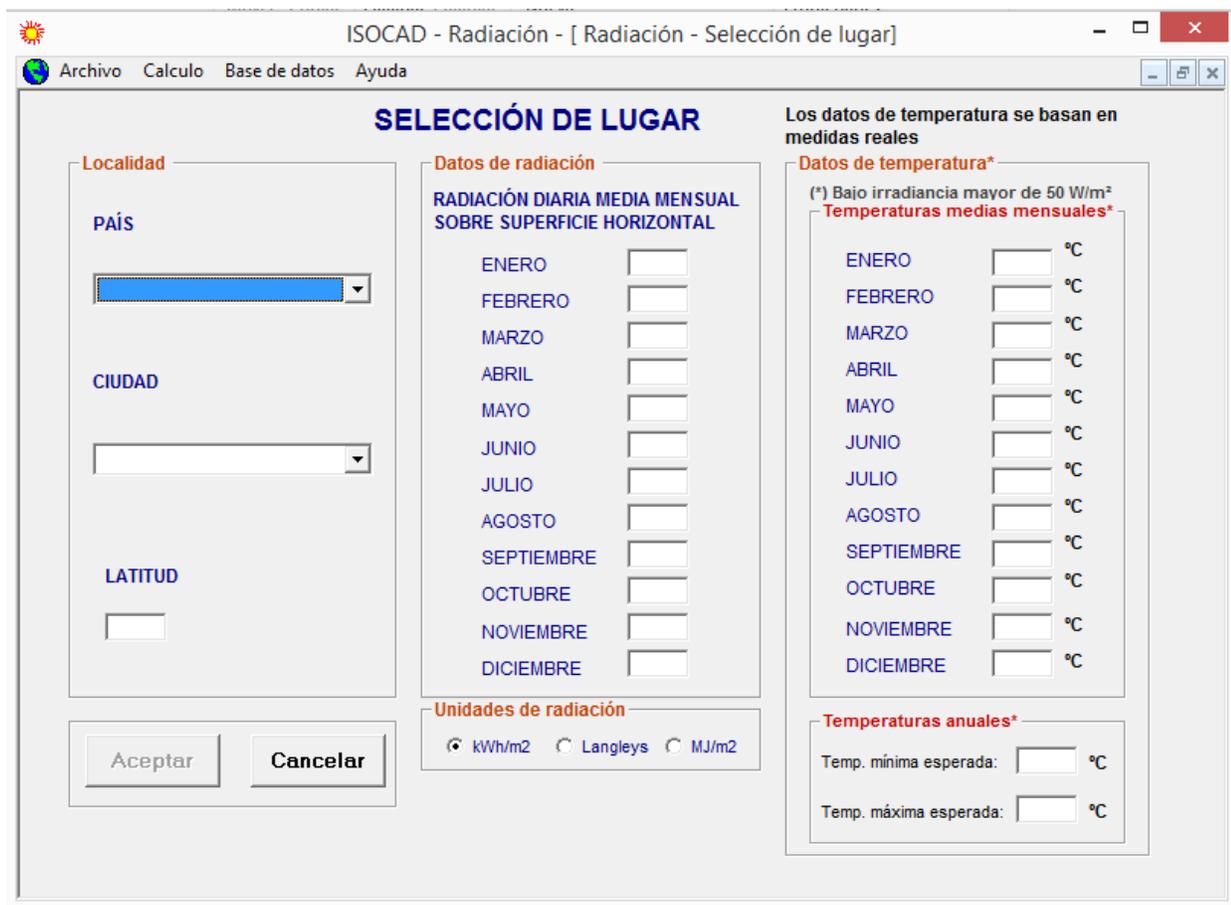
Elaborado por: Andrea Hidalgo

Se ingresaron los datos y el satélite generó la radiación solar horizontal anual deseada

2. Obtención de radiación solar horizontal mediante ISOCAD (software)

ISOCAD es un software, enfocado en la obtención de datos referentes a energía solar. Al igual que los satélites este funciona ingresando datos importantes, en este caso país y ciudad donde se deseado implementar el proyecto fotovoltaico.

Imagen 4. Software ISOCAD



The screenshot shows the 'SELECCIÓN DE LUGAR' (Location Selection) window of the ISOCAD software. The window title is 'ISOCAD - Radiación - [Radiación - Selección de lugar]'. The interface is divided into several sections:

- Localidad:** Contains input fields for 'PAÍS' (Country), 'CIUDAD' (City), and 'LATITUD' (Latitude).
- Datos de radiación:** Titled 'RADIACIÓN DIARIA MEDIA MENSUAL SOBRE SUPERFICIE HORIZONTAL'. It lists the months from ENERO to DICIEMBRE, each with an input field for monthly radiation data.
- Unidades de radiación:** Offers three radio button options: kWh/m2, Langleys, and MJ/m2.
- Datos de temperatura*:** Titled 'Temperaturas medias mensuales*'. It lists the months from ENERO to DICIEMBRE, each with an input field for monthly temperature data. A note states: 'Los datos de temperatura se basan en medidas reales' and '(*) Bajo irradiancia mayor de 50 W/m²'. Below this, there are input fields for 'Temp. mínima esperada:' and 'Temp. máxima esperada:'.

At the bottom left, there are 'Aceptar' (Accept) and 'Cancelar' (Cancel) buttons.

Elaborado por: Andrea Hidalgo

3. Cálculo de radiación solar horizontal mediante el modelo matemático AMSTRONG PAGE

Este método relaciona ciertas variables para determinar el recurso solar, mediante el cual se determina el aporte solar en una determinada superficie terrestre y que va a ser variante de acuerdo al mes que nos encontremos. Para la utilización de este método es necesario que conozcamos la latitud en la que se encuentra nuestra localidad de estudio, el ángulo de inclinación en el que se encuentra ubicado el colector solar, factor climático y factor albedo, estos factores oscilan entre 0 y 1 de acuerdo a las características de la ubicación del colector (Mena-Coba, 2013).

Para nuestro estudio los datos de la localidad son los siguientes:

Lugar: Facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad Internacional SEK

Ciudad: Quito

Provincia: Pichincha

Latitud: °N -0.09

Longitud: °E -78.48

Posteriormente seleccionamos las constantes a y b, que son factores de corrección determinados para las regiones costa y sierra de Ecuador. La determinación de los valores consta en la Tabla 4.



Tabla 4. Valores de a y b

REGIÓN	a	b
Sierra	0.25	0.45
Costa	0.28	0.54

Fuente: Garcia Villas, 1999.

Tabla 5. Datos para el cálculo de irradiación para la FCA de la UISEK, mediante modelo matemático

Datos de entrada			
	Grados	Minutos	segundos
Latitud	0	5	27
Latitud	0.090833333		
Beta	15		
Angstrom page			
a	0.25	Factor climatico	
b	0.45		
factor de albedo	0.4		

Elaborado por: Andrea Hidalgo

Una vez ingresados los datos, el método nos genera la radiación solar horizontal para la Facultad en unidades langley, las mismas que deben ser transformadas a kWh/m², para poder correlacionarlas con la información generada por las otras metodologías.

4. Radiación solar horizontal obtenida de Atlas solar

La información base que se utilizó para el desarrollo del Atlas Solar del Ecuador con Fines de Generación Eléctrica, fue generada por el National Renewable Energy Laboratory -NREL de los Estados Unidos, cuyas acciones están orientadas a la investigación y desarrollo de energías renovables y eficiencia energética (CONELEC, 2008).

Dentro de este marco, el NREL desarrolló el modelo CRS (Climatological Solar Radiation Model), que permite conocer la insolación diaria total sobre una superficie horizontal en celdas de aproximadamente 40 km x 40 km alrededor del mundo y cuyos resultados han sido validados a través de la medición de datos efectuados por estaciones, estableciéndose que el error de los datos es del 10%. Utiliza información sobre traza de gases, vapor de agua atmosférico, nubosidad, cantidad de aerosoles (CONELEC, 2008).

Para el diseño se utilizó los mapas de insolación global, respectiva para cada mes (Ver Anexo1), este método es bastante subjetivo ya que los datos dependen de la apreciación del investigador.

5. Cálculo de la irradiación sobre una superficie inclinada ($G_{dm}(\beta)$)

$$G_{dm}(\beta) = A * G_{dm}(0) + B * (G_{dm}(0))^2$$

Ecuación 1. Irradiación sobre una superficie inclinada

G_{dm} = ángulo a 0° , los métodos para la obtención de irradiación solar directa se encuentra a 0° , mediante esta fórmula, se adaptan los datos al ángulo establecido para el diseño del sistema.

De acuerdo a Garcia Villas (1999), para la línea ecuatorial, donde la radiación es perpendicular, un diseño óptimo se debe realizar con un BETA (β) de 15° , especialmente por limpieza de los equipos ya que al acumularse escombros, estos pierden su eficiencia.

Coefficiente A

El coeficiente A se obtiene de tablas y este depende de la inclinación del panel β y del coeficiente de reflexión del suelo (Garcia Villas, 1999). Ver Anexo 1

Coefficiente B

De la misma manera que el coeficiente A, este se encuentra determinado en tablas y depende de la latitud del emplazamiento (Φ), la inclinación del panel β y del mes del año. Cada tabla corresponde a una determinada latitud. Ver Anexo 2.

A y B son coeficientes de corrección

6. Cálculo de la demanda energética

De acuerdo a la empresa eléctrica del Distrito Metropolitano de Quito, un diseño de energía fotovoltaica se realiza en base a la Demanda (kW), y no al consumo expresado en kWh. En el Anexo 4, se visualiza la demanda energética de la Facultad de Ciencias Ambientales de los últimos 25 meses.

Este diseño fue realizado únicamente en base al año 2014, debido a que la Facultad implementó nuevos equipos, los cuales consumen menor cantidad de electricidad, ya que la nueva tecnología está diseñada para que los equipos trabajen con un menor consumo energético

7. Determinación de la energía producida por el sistema

El diseño fue elaborado de acuerdo a García Villas (1999). Es indispensable determinar si la radiación generada en la Facultad, es suficiente para satisfacer al sistema.

8. Análisis costo-beneficio de la instalación fotovoltaica

De acuerdo a las especificaciones técnicas de cada equipo, el inversor tiene un tiempo de vida útil de 20 años (Medium Power Solution, 2012), mientras que las baterías tienen un tiempo de vida útil de 7. De acuerdo a la norma ecuatoriana de construcción NEC-10, el resto del sistema posee una vida útil de 25 años con un mantenimiento sumamente sencillo, el cual consiste en limpiarlos los paneles con un trapo húmedo y secarlos con un trapo suave y en lo posible evitar objetos que generen sombras (arboles por ejemplo), ya que estos producen que los paneles disminuyan su eficiencia.

El análisis empieza con la determinación del costo de la energía eléctrica de la red nacional y el costo de la energía fotovoltaica. Gracias a la información proporcionada por

la Empresa Eléctrica de Quito se conoce que el costo energético de la Red Nacional es de 0.12\$/kWh, mientras que el valor de la energía fotovoltaica para el diseño se determinó mediante la aplicación de la ecuación 2.

$$\text{LCOE} = \frac{\sum_{T=1}^n \frac{I + M}{(1 + r)^T}}{\sum_{T=1}^n \frac{E}{(1 + r)^T}}$$

Ecuación 2. Costo Teórico de generación eléctrica (LCOE)

Donde:

- LCOE (levelized cost of electricity): Costo Teórico de generación eléctrica (\$/kWh)
- T: tiempo de vida de la instalación (años)
- I: Inversión inicial (\$)
- M: Costos de operación y mantenimiento (\$)
- E: Energía generada durante la vida del sistema (kWh/año)
- r: Tasa de descuento

Posteriormente se calculó el valor actual (VAN) de todos los ingresos y egresos que están inmersos en el sistema fotovoltaico.

El VAN mide el valor actual de todos los costes e ingresos en una inversión actualizándolos al momento actual. Para realizar esta actualización se aplica una tasa de descuento. La tasa de descuento deberá estar relacionada con el coste de oportunidad de la inversión (Martínez, 2013).

Por ejemplo, si estamos pensando invertir una determinada cantidad en un proyecto fotovoltaico debemos considerar la rentabilidad que esa cantidad nos reportaría en un depósito a plazo fijo. La tasa de descuento mínima que debemos utilizar en este caso sería del 5% ya que es un depósito a plazo fijo y entraña poco riesgo. Sin embargo la utilización de una tasa de descuento es un valor relativamente subjetivo (Martínez, 2013).

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

1. Datos Primarios y Secundarios

- **Coordenadas de la Facultad de Ciencias Ambientales de la UISEK**
 - **Latitud:** °N -0.09
 - **Longitud:** °E -78.48
- **Radiación solar anual generada por el Satélite SURFACE METEOROLOGY AND SOLAR ENERGY**



Imagen 5. Datos de radiación solar horizontal generados por satélite

Latitude **-0.09** / Longitude **-78.48** was chosen.

	Unit	Climate data location	
Latitude	°N	-0.09	
Longitude	°E	-78.48	
Elevation	m	1686	
Heating design temperature	°C	12.61	
Cooling design temperature	°C	23.09	
Earth temperature amplitude	°C	10.87	
Frost days at site	day	0	

Month	Air temperature	Relative humidity	Daily solar radiation - horizontal	Atmospheric pressure	Wind speed	Earth temperature	Heating degree-days	Cooling degree-days
	°C	%	kWh/m ² /d	kPa	m/s	°C	°C-d	°C-d
January	17.5	80.2%	4.14	83.3	1.7	19.2	21	232
February	17.6	80.3%	4.35	83.3	1.5	19.2	16	217
March	18.0	78.7%	4.55	83.3	1.4	19.8	10	250
April	17.9	76.6%	4.33	83.3	1.5	19.8	12	239
May	17.8	70.9%	4.12	83.4	1.7	19.8	14	243
June	17.3	66.8%	4.02	83.5	2.1	19.2	26	218
July	17.5	57.8%	4.27	83.5	2.3	19.9	24	233
August	18.6	51.4%	4.46	83.5	2.3	21.8	8	264
September	19.3	53.8%	4.27	83.4	2.1	22.9	4	276
October	19.3	60.3%	4.24	83.3	1.9	23.1	4	288
November	18.3	71.2%	4.30	83.3	1.9	21.3	10	251
December	17.6	79.8%	3.98	83.3	1.8	19.6	17	237
Annual	18.0	69.0%	4.25	83.4	1.9	20.5	166	2948
Measured at (m)					10.0	0.0		

[Back to SSE Data Set Home Page](#)

Responsible > Data: Paul W. Stachouse, Jr., Ph.D.
 Officials > Archive: John M. Kusterer
 Site Administration/Help: NASA Langley ASDC User Services ([Contact Us](#))
[\[Privacy Policy and Important Notices\]](#)
 Document generated on Fri Mar 27 08:39:57 EDT 2015

Elaborado por: Andrea Hidalgo



- Radiación solar anual generada por ISOCAD (software)

Imagen 6. Datos de radiación solar generados por software

The screenshot shows the 'SELECCIÓN DE LUGAR' (Location Selection) window of the ISOCAD software. The window title is 'ISOCAD - Radiación - [Radiación - Selección de lugar]'. The menu bar includes 'Archivo', 'Calculo', 'Base de datos', and 'Ayuda'. The interface is divided into two main sections: 'Localidad' (Location) and 'Datos de radiación' (Radiation Data).

Localidad

PAÍS
Ecuador

CIUDAD
QUITO-NAQUITO

LATITUD
-0.1

Datos de radiación

RADIACIÓN DIARIA MEDIA MENSUAL SOBRE SUPERFICIE HORIZONTAL

Mes	Radiación (kWh/m2)
ENERO	4.94
FEBRERO	4.64
MARZO	4.78
ABRIL	4.53
MAYO	4.83
JUNIO	4.69
JULIO	5.53
AGOSTO	5.47
SEPTIEMBRE	4.89
OCTUBRE	5.25
NOVIEMBRE	5.14
DICIEMBRE	5.14

Unidades de radiación

kWh/m2 Langleys MJ/m2

Buttons: Aceptar, Cancelar

Elaborado por: Andrea Hidalgo



- Radiación solar anual obtenida mediante el modelo matemático Amstronge Page

Se puede observar el modelo Amstronge Page realizado para el diseño en el Anexo 3

Tabla 6. Irradiación solar horizontal obtenida por modelo matemático

Año 2014	Promedio HT		
	[langley]	[W-h/m2]	[kW-h/m2]
Enero	390.62	4539.89	4.54
Febrero	394.76	4587.96	4.59
Marzo	387.86	4507.83	4.51
Abril	364.72	4238.82	4.24
Mayo	335.95	3904.46	3.90
Junio	319.48	3713.10	3.71
Julio	325.86	3787.24	3.79
Agosto	350.66	4075.42	4.08
Septiembre	376.86	4379.90	4.38
Octubre	390.09	4533.66	4.53
Noviembre	389.82	4530.57	4.53
Diciembre	387.23	4500.46	4.50

Elaborado por: Andrea Hidalgo

- Radiación solar anual del Atlas solar

Los datos generados por el Atlas Solar, dependen de la apreciación del investigador, ver Anexo 4.

En la Tabla 7 se muestra la radiación determinada para el proyecto



Tabla 7. Resumen del Atlas Solar específico para Quito

Atlas Solar CONELEC (kWh/m²día)	
ENE	4.50
FEB	4.75
MAR	4.56
ABR	4.40
MAY	4.58
JUN	4.40
JUL	4.40
AGO	4.58
SEP	5.10
OCT	4.93
NOV	4.75
DIC	4.56

Elaborado por: Andrea Hidalgo



- Irradiación sobre Gdm (15°)

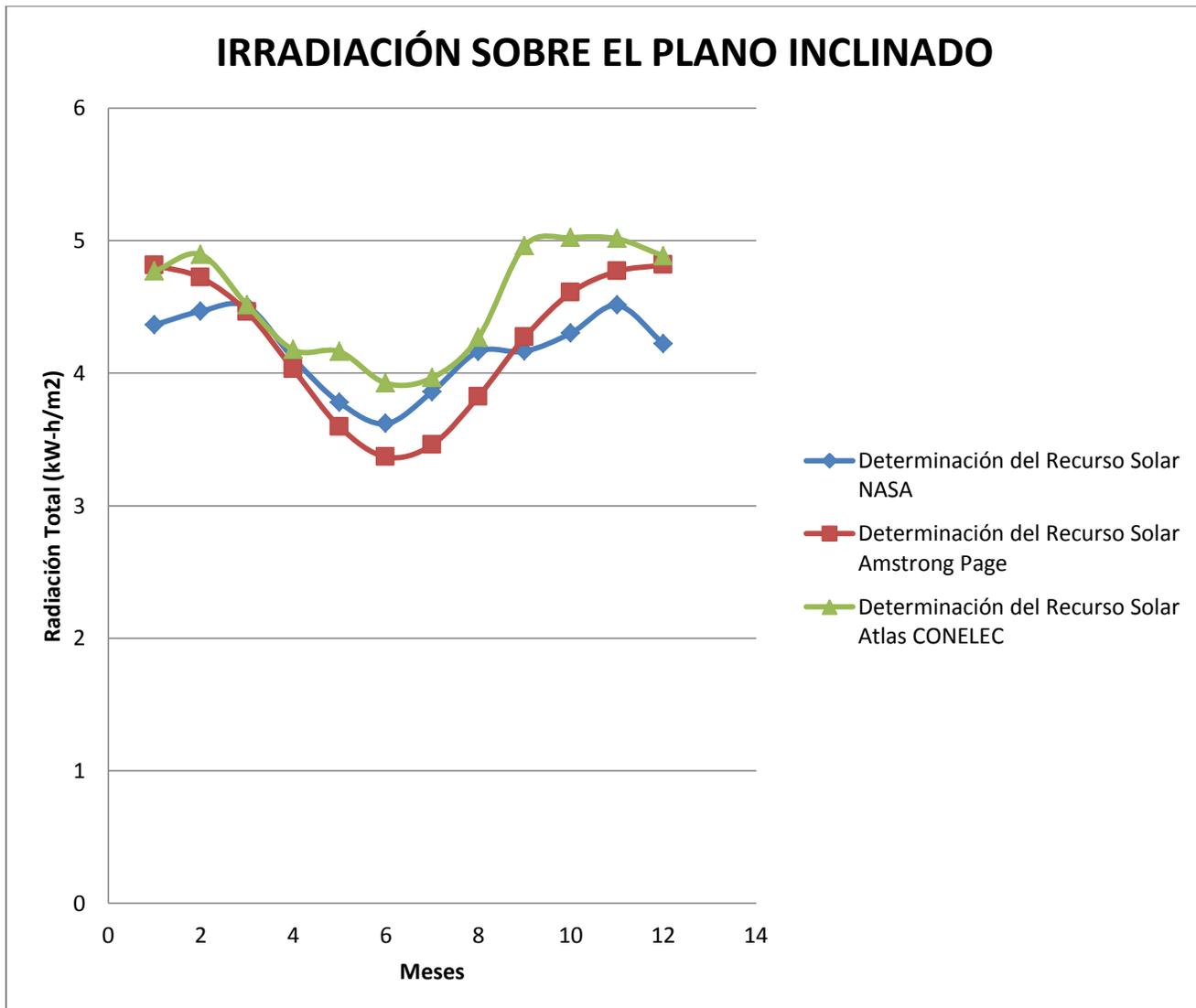
Tabla 8. Resultados del cálculo de irradiación sobre el plano inclinado

LATITUD	-0.09		RHO	0.4									
LONGITUD	-78.48		BETA	15									
			ϕ	0°									
Irradiación sobre el plano inclinado													
SATELITES													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
A	0.99												
NASA Gdm(0)	4.14	4.35	4.55	4.33	4.12	4.02	4.27	4.46	4.27	4.24	4.3	3.98	
B (15)	0.0155	0.0085	0.0000	-0.0093	-0.0177	-0.0223	-0.0202	-0.0127	-0.0034	0.0058	0.0138	0.0178	
Gdm (15°)	4.364	4.467	4.505	4.11234	3.77835	3.70942	3.859	4.1627767	4.16531	4.302	4.5122	4.222	
MODELO MATEMATICO													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
A	0.99												
Amstrong Page (Gdm (0))	4.54	4.59	4.51	4.24	3.90	3.71	3.79	4.08	4.38	4.53	4.53	4.50	
B (15)	0.0155	0.0085	0.0000	-0.0093	-0.0177	-0.0223	-0.0202	-0.0127	-0.0034	0.0058	0.0138	0.0178	
Gdm (15°)	4.814	4.721	4.463	4.02933	3.59558	3.45752	3.45963	3.8237327	4.27088	4.608	4.7685	4.816	
							Peor Mes						
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
A	0.99												
Atlas Solar CONELEC Gdm (0)	4.50	4.75	4.56	4.40	4.58	4.40	4.40	4.58	5.10	4.93	4.75	4.56	
B (15)	0.0155	0.0085	0.0000	-0.0093	-0.0177	-0.0223	-0.0202	-0.0127	-0.0034	0.0058	0.0138	0.0178	
Gdm (15°)	4.769	4.894	4.514	4.17595	4.16292	3.92427	3.96493	4.2677997	4.96057	5.022	5.0139	4.885	
											Mejor mes		

Elaborado por: Andrea Hidalgo

Con los datos obtenidos en la tabla 8, se determinó que junio es el mes con menor radiación.

Gráfico 1. Resumen de Irradiación sobre el plano inclinado



Elaborado por: Andrea Hidalgo



- Demanda energética para la Facultad de Ciencias Ambientales

Tabla 9. Demanda de la Facultad para el año 2014

AÑO 2014	DEMANDA (kW)
ENERO	19.62
FEBRERO	16.05
MARZO	19.72
ABRIL	26.17
MAYO	28.83
JUNIO	20.95
JULIO	18.79
AGOSTO	16.88
SEPTIEMBRE	11.8
OCTUBRE	15.55
NOVIEMBRE	18.46
DICIEMBRE	15.91

Elaborado por: Andrea Hidalgo



Tabla 10. Resumen estadístico de la demanda energética de la Facultad de Ciencias Ambientales

<i>Resumen Estadístico</i>	
Media	19,1
Error típico	1,3
Mediana	18,6
Moda	#N/A
Desviación estándar	4,7
Varianza de la muestra	21,8
Curtois	0,9
Coefficiente de asimetría	0,9
Rango	17,0
Mínimo	11,8
Máximo	28,8
Suma	228,7
Cuenta	12,0

Elaborado por: Andrea Hidalgo

Como se observa en la tabla 10, la media de estos datos es de 19, con un error típico de 1. El error típico se le asocia a variaciones que son generalmente inevitables por lo que se decidió sumar el error tipo a la media y se elaboró el diseño para 20 kW.



- Determinación de energía producida por el sistema

Tabla 11. kWh generados por el sistema fotovoltaico

Cantidad de kWh Generados						Cantidad de energía aprovechada por el sistema		
MES	Promedio Radiación (kWh/m ² día)	m ² del sistema	kWh/día	Energía producida en 12 horas kWh	kWh/mes	Diseño (kW)	Diseño (kWh/día)	Diseño kWh/mes
Enero	4.65	130.15	605.07	302.54	9076.07	20.00	240.00	7200.00
Febrero	4.69	130.15	610.95	305.48	9164.26	20.00	240.00	7200.00
Marzo	4.49	130.15	584.88	292.44	8773.19	20.00	240.00	7200.00
Abril	4.11	130.15	534.38	267.19	8015.69	20.00	240.00	7200.00
Mayo	3.85	130.15	500.51	250.25	7507.61	20.00	240.00	7200.00
Junio	3.70	130.15	481.17	240.59	7217.61	20.00	240.00	7200.00
Julio	3.76	130.15	489.52	244.76	7342.77	20.00	240.00	7200.00
Agosto	4.08	130.15	531.63	265.82	7974.49	20.00	240.00	7200.00
Septiembre	4.47	130.15	581.20	290.60	8717.94	20.00	240.00	7200.00
Octubre	4.64	130.15	604.38	302.19	9065.65	20.00	240.00	7200.00
Noviembre	4.76	130.15	620.15	310.07	9302.18	20.00	240.00	7200.00
Diciembre	4.64	130.15	604.01	302.01	9060.17	20.00	240.00	7200.00

Elaborado por: Andrea Hidalgo

Con los datos obtenidos en la tabla 11, se determinó que aunque junio es el mes con menor radiación, los kWh/mes producidos son suficientes para satisfacer el sistema fotovoltaico.

Para el diseño fue indispensable verificar si el sistema funcionaría de manera óptima en el peor mes, ya que si trabaja en esas condiciones, el resto del año no tendrá problemas.

- **Memoria de Cálculos**

$$\text{Potencia Demandada } (P_d) = 20 \text{ kW} = 20000 \text{ W}$$

Ecuación 3. Potencia demandada

$$\text{Energía Demandada } (E_d) = \frac{173733.33 \text{ Wh}}{\text{día}}$$

Ecuación 4. Energía demandada

$$\text{Potencia Nominal } (P_N) = 1.2 * P_d = 24000 \text{ W}$$

Ecuación 5. Potencia Nominal

Poder solar por m² o Irradiancia:

La potencia del sol sobre la superficie terrestre es de 1000 w/m², pero debido a varios factores climáticos, esta se reduce a 200 w/m², para condiciones óptimas. La potencia solar para el diseño de la Facultad se observa en la ecuación 6.



$$\text{Irradiancia} = \frac{\text{watts de un panel solar}}{\text{área del panel solar}}$$

Ecuación 6. Irradiancia del panel fotovoltaico

$$\text{Irradiancia} = \frac{\text{watts de un panel solar}}{\text{área del panel solar}}$$

$$\text{Irradiancia} = \frac{250 \text{ watts}}{1.63 \text{ m}^2}$$

$$\text{Irradiancia} = 153.67 \text{ w/m}^2$$

Circuito mixto:

$$\text{Voltaje del sistema} = \# \text{ de filas de paneles} * \text{voltaje óptimo de c/u} = 16 * 30.7 = 491.2 \text{ v}$$

Ecuación 7. Voltaje del Sistema

$$\text{Amperios del Sistema} = \# \text{ de columnas del sistema} = 5 \text{ A}$$

Ecuación 8. Amperios del Sistema

$$\text{Potencia del panel} = 250 \text{ w}$$



$$\# \text{ paneles } (Nps) = \frac{\text{demanda}}{\text{potencia del panel}} = 80$$

Ecuación 9. Número de Paneles

- Análisis costo-beneficio

Facturación del Consumo energético actual de la Facultad de Ciencias Ambientales de la UISEK

Tabla 12. Datos históricos de consumo energético de la Facultad de Ciencias Ambientales

<i>CONSUMO ENERGÉTICO</i>	
Fecha de Facturación	Total a pagar (\$)
17/04/2015	755,39
18/03/2015	599,89
18/02/2015	716,52
16/01/2015	576,87
18/12/2014	756,68
18/11/2014	705,34



17/10/2014	579,93
19/09/2014	581,63
19/08/2014	630,34
21/07/2014	686,95
19/06/2014	754,47
19/05/2014	673,64
21/04/2014	696,3
17/03/2014	1060,38
19/02/2014	560,92
16/01/2014	488,52
19/12/2013	558,42
18/11/2013	558,86
17/10/2013	470,31
18/09/2013	388,65
18/08/2013	355,32
18/07/2013	469,97
19/06/2013	464,25



16/05/2013	453,94
------------	--------

Elaborado por: Andrea Hidalgo

kWh/año consumidos por la Facultad en el 2014

Gracias a una facturación del servicio eléctrico y de alumbrado público, emitida por la Empresa Eléctrica (ver Anexo 6), se determinó que el costo de kWh que se utiliza de la Red Nacional es de \$0.12

Posteriormente se calculó el total de kWh generados por la Facultad en el año 2014, como se observa en la tabla 13.

Tabla 13. kWh/ año generados por la Facultad en el año 2014

<i>CONSUMO ENERGÉTICO</i>		
Fecha de Facturación	Total a pagar (\$)	kWh/mes
16/01/2014	488.52	4071.00
19/02/2014	560.92	4674.33
17/03/2014	1060.38	8836.50
21/04/2014	696.3	5802.50
19/05/2014	673.64	5613.67
19/06/2014	754.47	6287.25



21/07/2014	686.95	5724.580
19/08/2014	630.34	5252.830
19/09/2014	581.63	4846.92
17/10/2014	579.93	4832.75
18/11/2014	705.34	5877.83
18/12/2014	756.68	6305.67
kWh/año		68125.83

Elaborado por: Andrea Hidalgo

Costos del Sistema Fotovoltaico incluida su Instalación

Los costos del sistema fotovoltaico fueron facilitados por la empresa SONELEC



Tabla 14. Costos de implementación del sistema fotovoltaico

CANTIDAD	DETALLE	PVP Ud.	PVP TOTAL
80	Panel Solar Monocristalino SLNC MAX 250Wp/30VDC	\$ 527.79	\$ 42,223.20
3	Inversor Trifásico De Conexión a Red SLNC-TRIPower 11000TL	\$ 6,200.00	\$ 18,600.00
1	Sistema de comunicación SLNC WEBBOX	\$ 1,264.00	\$ 1,264.00
80	Estructura Metálica de Soporte	\$ 100.00	\$ 8,000.00
1	Tablero Eléctrico de transferencia, Protecciones Magnetotermicas, Conexiones, Puesta a Tierra TT, conductores electricos, accesorios de montaje, tubos y pequeño material.	\$ 5,400.00	\$ 5,400.00
16	Baterías + Conectores (Wire Connector)	\$ 400.00	\$ 6,400.00
1	Instalación, puesta en marcha y capacitación IN-SITU	\$ 3,700.00	\$ 3,700.00
Subtotal			\$ 85,587.20
IVA12%			\$ 10,270.46
Total			\$ 95,857.66

Elaborado por: Andrea Hidalgo

Costos de Mantenimiento



Tabla 15. Costo de mantenimiento del sistema

Número de Inversores necesarios para 25 años			
CANTIDAD	DETALLE	PVP Ud.	PVP TOTAL
16	Baterías + Conectores (Wire Connector)	\$ 400.00	\$6,400.00
3	Inversor Trifásico De Conexión a Red SLNC- TRIPower 11000TL	\$ 6,200.00	\$ 18,600.00
Subtotal			\$ 25,000.00
IVA12%			\$ 3,000.00
Total			\$ 28,000.00

Elaborado por: Andrea Hidalgo

kWh/año producidos por los paneles en la Facultad anualmente

Se calcula la cantidad de kWh generados por el sistema, tomando en cuenta que Ecuador dispone aproximadamente 12 horas de luz solar diaria.



Tabla 16. kWh generados por el sistema fotovoltaico

kWh generados por el sistema fotovoltaico			
MES	Diseño (kW)	Diseño (kWh/día)	Diseño kWh/mes
Enero	20.00	240.00	7200.00
Febrero	20.00	240.00	7200.00
Marzo	20.00	240.00	7200.00
Abril	20.00	240.00	7200.00
Mayo	20.00	240.00	7200.00
Junio	20.00	240.00	7200.00
Julio	20.00	240.00	7200.00
Agosto	20.00	240.00	7200.00
Septiembre	20.00	240.00	7200.00
Octubre	20.00	240.00	7200.00
Noviembre	20.00	240.00	7200.00
Diciembre	20.00	240.00	7200.00
TOTAL			86400.00 kWh/año

Elaborado por: Andrea Hidalgo

Al dato obtenido de la tabla 16, se restó el margen de seguridad de captación, que corresponde a las pérdidas en el sistema, en el cableado, perdidas de conexiones, variaciones de los consumos previstos inicialmente, etc.



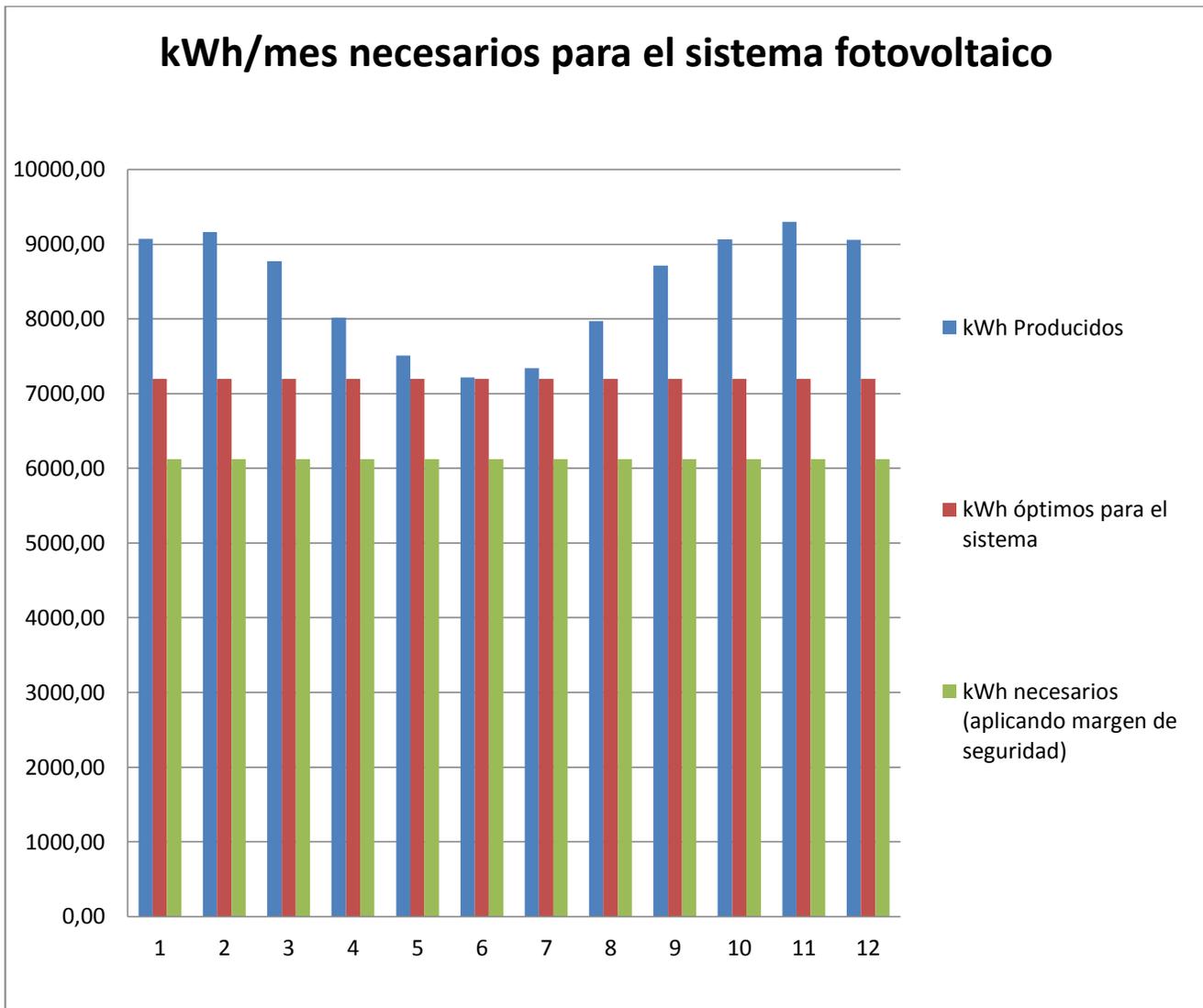
Tabla 17. Cantidad real de kWh producidos por el sistema fotovoltaico

kWh generados por el sistema fotovoltaico				Margen de seguridad de Captación (Eb)		Cantidad real generada
MES	Diseño (kW)	Diseño (kWh/día)	Diseño kWh/mes	15%	kWh/mes	kWh/mes
Enero	20.00	240.00	7200.00	0.15	1080	6120.00
Febrero	20.00	240.00	7200.00	0.15	1080	6120.00
Marzo	20.00	240.00	7200.00	0.15	1080	6120.00
Abril	20.00	240.00	7200.00	0.15	1080	6120.00
Mayo	20.00	240.00	7200.00	0.15	1080	6120.00
Junio	20.00	240.00	7200.00	0.15	1080	6120.00
Julio	20.00	240.00	7200.00	0.15	1080	6120.00
Agosto	20.00	240.00	7200.00	0.15	1080	6120.00
Septiembre	20.00	240.00	7200.00	0.15	1080	6120.00
Octubre	20.00	240.00	7200.00	0.15	1080	6120.00
Noviembre	20.00	240.00	7200.00	0.15	1080	6120.00
Diciembre	20.00	240.00	7200.00	0.15	1080	6120.00
TOTAL						73440.00 kWh/año

Elaborado por: Andrea Hidalgo



Gráfico 2. kWh/ mes necesarios para el sistema fotovoltaico



Elaborado por: Andrea Hidalgo



Costo del kWh del sistema fotovoltaico de acuerdo al Costo Teórico de Generar Energía Eléctrica (\$/kWh)

T: 25 años

I: \$95857.66

M: \$151900

E: 1836000 kWh/año

r: 5%

$$\text{LCOE} = \frac{\sum_{T=1}^{25} \frac{95857.66 + 151900}{(1 + 0.05)^T}}{\sum_{T=1}^{25} \frac{1836000}{(1 + 0.05)^T}}$$

$$\text{LCOE} = \frac{1829088.09}{13554397.2}$$

$$\text{LCOE} = 0.1349 \text{ \$/kWh}$$

De acuerdo a la Regulación del CONELEC 003/02, que determina los precios de la energía producida con recursos energéticos renovables no convencionales el costo de la energía fotovoltaica hasta el 2014 era de 0.1365 \$/kWh. Comparando este valor con el calculado en el proyecto se puede apreciar que son bastante próximos.



Adicionalmente en la tabla 18 se muestra el cálculo del LCOE solar a gran escala, para diferentes países utilizando diferentes costos de capital y proyectado hasta el año 2050

Tabla 18. LCOE solar a gran escala, en diferentes países calculado desde el 2015 -2050 con diferentes costos de capital

LCOE, in EUR ₂₀₁₄ /kWh																									
Year	WACC	2015				2025				2035				2050											
		5%		7,5%		10%		5%		7,5%		10%		5%		7,5%		10%							
		Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max				
Argentina		5,5	12,5	6,6	15,1	7,8	17,9	4,1	10,0	4,9	12,1	5,7	14,3	3,0	8,6	3,5	10,4	4,1	12,4	1,9	6,9	2,2	8,5	2,6	10,2
Australia		4,6	8,9	5,5	10,8	6,5	12,8	3,4	7,1	4,1	8,6	4,8	10,2	2,5	6,1	3,0	7,4	3,5	8,9	1,6	4,9	1,9	6,1	2,2	7,3
Brazil		4,7	8,2	5,7	9,8	6,7	11,7	3,5	6,5	4,2	7,9	4,9	9,3	2,6	5,6	3,0	6,8	3,6	8,1	1,6	4,5	1,9	5,5	2,3	6,7
Canada		5,8	10,4	7,0	12,6	8,3	14,9	4,3	8,3	5,2	10,0	6,1	11,9	3,2	7,2	3,8	8,7	4,4	10,3	2,0	5,8	2,4	7,1	2,8	8,5
China		4,8	8,2	5,8	9,8	6,9	11,7	3,6	6,5	4,3	7,9	5,1	9,3	2,6	5,6	3,1	6,8	3,7	8,1	1,7	4,5	2,0	5,5	2,3	6,7
France		5,5	9,4	6,6	11,3	7,8	13,4	4,1	7,5	4,9	9,0	5,7	10,7	3,0	6,4	3,5	7,8	4,1	9,3	1,9	5,2	2,2	6,4	2,6	7,7
India		4,6	6,7	5,5	8,1	6,5	9,6	3,4	5,4	4,1	6,5	4,8	7,7	2,5	4,6	3,0	5,6	3,5	6,6	1,6	3,7	1,9	4,5	2,2	5,5
Korea, South		6,3	7,2	7,5	8,7	8,9	10,3	4,7	5,8	5,6	7,0	6,6	8,3	3,4	5,0	4,1	6,0	4,8	7,1	2,2	4,0	2,6	4,9	3,0	5,9
Morocco		4,6	6,3	5,5	7,5	6,5	9,0	3,4	5,0	4,1	6,0	4,8	7,2	2,5	4,3	3,0	5,2	3,5	6,2	1,6	3,5	1,9	4,2	2,2	5,1
Russia		5,5	11,0	6,6	13,3	7,8	15,8	4,1	8,8	4,9	10,6	5,7	12,6	3,0	7,6	3,5	9,2	4,1	10,9	1,9	6,1	2,2	7,5	2,6	9,0
Saudi Arabia		4,5	6,1	5,4	7,3	6,3	8,7	3,3	4,8	4,0	5,8	4,7	6,9	2,4	4,2	2,9	5,0	3,4	6,0	1,5	3,3	1,8	4,1	2,1	4,9
South Africa		6,5	9,4	7,8	11,3	9,3	13,4	4,8	7,5	5,8	9,0	6,8	10,7	3,5	6,4	4,2	7,8	4,9	9,3	2,3	5,2	2,7	6,4	3,1	7,7
Spain		4,5	6,9	5,4	8,4	6,3	9,9	3,3	5,6	4,0	6,7	4,7	7,9	2,4	4,8	2,9	5,8	3,4	6,9	1,5	3,8	1,8	4,7	2,1	5,7
Thailand		5,3	6,9	6,4	8,4	7,5	9,9	3,9	5,6	4,7	6,7	5,5	7,9	2,9	4,8	3,4	5,8	4,0	6,9	1,8	3,8	2,2	4,7	2,5	5,7
Turkey		4,8	6,9	5,8	8,4	6,9	9,9	3,6	5,6	4,3	6,7	5,1	7,9	2,6	4,8	3,1	5,8	3,7	6,9	1,7	3,8	2,0	4,7	2,3	5,7
Uganda		4,8	6,5	5,8	7,8	6,9	9,3	3,6	5,2	4,3	6,2	5,1	7,4	2,6	4,4	3,1	5,4	3,7	6,4	1,7	3,6	2,0	4,4	2,3	5,3
United Kingdom		7,4	11,7	8,9	14,1	10,5	16,8	5,5	9,4	6,5	11,3	7,7	13,4	4,0	8,1	4,8	9,8	5,6	11,6	2,6	6,5	3,0	8,0	3,5	9,6
United States		4,3	6,9	5,2	8,4	6,2	9,9	3,2	5,6	3,9	6,7	4,5	7,9	2,4	4,8	2,8	5,8	3,3	6,9	1,5	3,8	1,8	4,7	2,1	5,7

Elaborado por: Andrea Hidalgo



Costo del kWh del sistema fotovoltaico de acuerdo al Costo Teórico de Generar Energía Eléctrica (\$/kWh) despreciando el costo de la mano de obra

T: 25 años

I: \$95857.66

M: \$28000

E: 1836000 kWh/año

r: 5%

$$\text{LCOE} = \frac{\sum_{T=1}^{25} \frac{95857.66 + 151900}{(1 + 0.05)^{25}}}{\sum_{T=1}^{25} \frac{1836000}{(1 + 0.05)^{25}}}$$

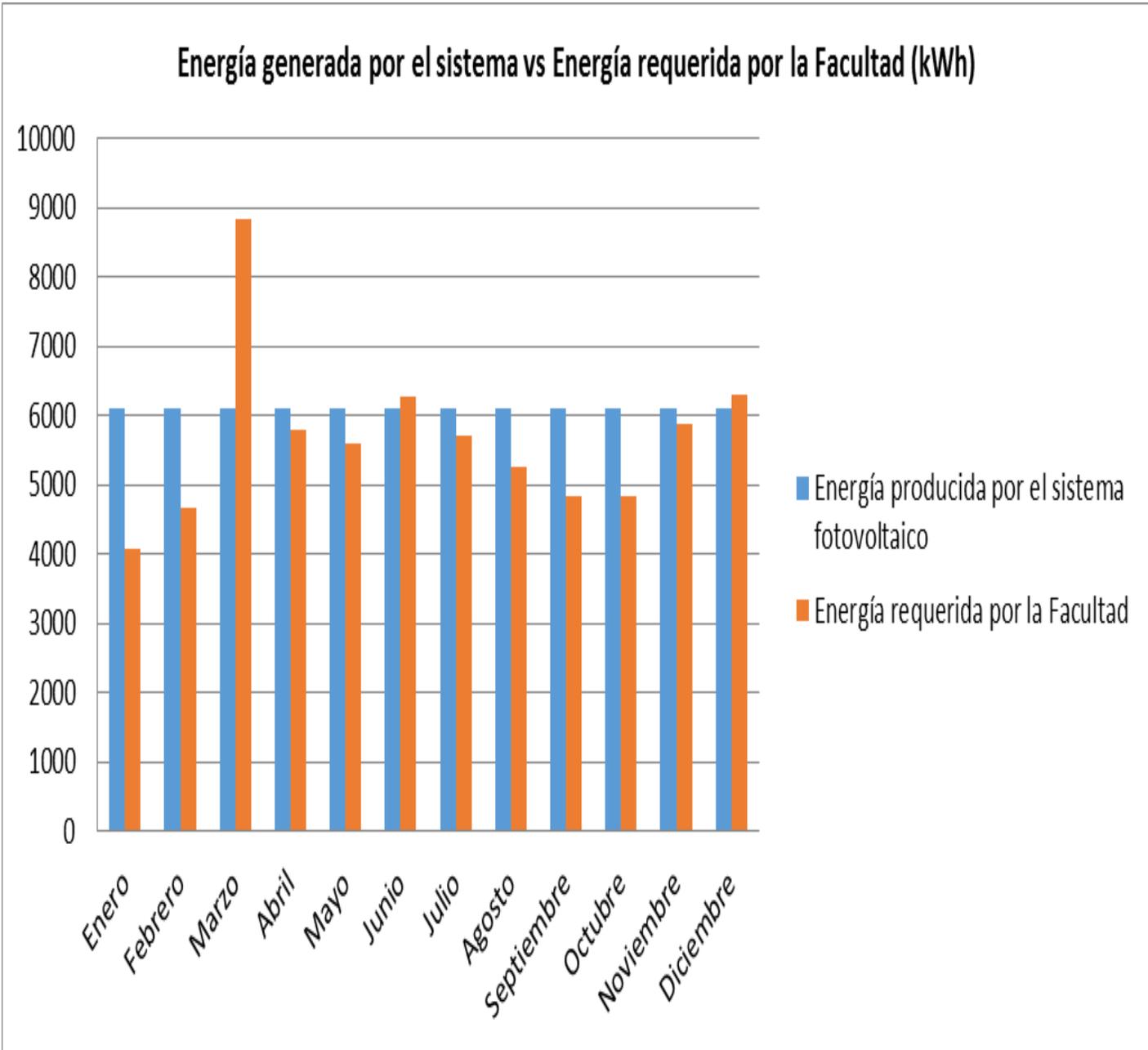
$$\text{LCOE} = \frac{914387.757}{13554397.2}$$

$$\text{LCOE} = 0.07 \text{ \$/kWh}$$



Análisis de datos

Gráfico 3. Energía generada por el sistema vs Energía requerida por la Facultad (kWh)



Elaborado por: Andrea Hidalgo



Tabla 19. Cantidad de energía que se va a tomar de la red nacional y costos

	Cantidad real generada	Energía requerida por la Facultad	Cantidad que se va a tomar de la red (CR)	CR*0.12\$
MES	kWh/mes	kWh	kWh	\$
Enero	6120.00	4071.00	-2049.00	
Febrero	6120.00	4674.33	-1445.67	
Marzo	6120.00	8836.50	2716.50	325.98
Abril	6120.00	5802.50	-317.50	
Mayo	6120.00	5613.67	-506.33	
Junio	6120.00	6287.25	167.25	20.07
Julio	6120.00	5724.58	-395.42	
Agosto	6120.00	5252.83	-867.17	
Septiembre	6120.00	4846.92	-1273.08	
Octubre	6120.00	4832.75	-1287.25	
Noviembre	6120.00	5877.83	-242.17	
Diciembre	6120.00	6305.67	185.67	22.28
TOTAL			3069.42	368.33

Elaborado por: Andrea Hidalgo



Tabla 20. Energía excedente que produce el sistema

	Cantidad real generada	Energía requerida por la Facultad	Energía Excedente
MES	kWh/mes	kWh	kWh
Enero	6120.00	4071.00	2049.00
Febrero	6120.00	4674.33	1445.67
Marzo	6120.00	8836.50	0.00
Abril	6120.00	5802.50	317.50
Mayo	6120.00	5613.67	506.33
Junio	6120.00	6287.25	0.00
Julio	6120.00	5724.58	395.42
Agosto	6120.00	5252.83	867.17
Septiembre	6120.00	4846.92	1273.08
Octubre	6120.00	4832.75	1287.25
Noviembre	6120.00	5877.83	242.17
Diciembre	6120.00	6305.67	0.00
TOTAL			8383.58

Elaborado por: Andrea Hidalgo



Cálculo del VAN

Tabla 21. Cálculo del VAN enviando energía excedente a la Red Nacional

ENVIANDO ENERGÍA EXCEDENTE A LA RED NACIONAL					
AÑO	INGRESOS	EGRESOS		TOTAL	VALOR PRESENTE
0		8175.1	95857.66	-104032.76	-104032.76
1	7806.77	368.33		7438.44	7084.23
2	7806.77	368.33		7438.44	6746.88
3	7806.77	368.33		7438.44	6425.60
4	7806.77	368.33		7438.44	6119.62
5	7806.77	368.33		7438.44	5828.21
6	7806.77	368.33		7438.44	5550.68
7	7806.77	368.33		7438.44	5286.36
8	7806.77	368.33		7438.44	5034.63
9	7806.77	368.33		7438.44	4794.88
10	7806.77	368.33		7438.44	4566.56
11	7806.77	368.33		7438.44	4349.10
12	7806.77	368.33		7438.44	4142.00
13	7806.77	368.33		7438.44	3944.76
14	7806.77	368.33		7438.44	3756.92
15	7806.77	368.33		7438.44	3578.02
16	7806.77	368.33		7438.44	3407.64
17	7806.77	368.33		7438.44	3245.37



18	7806.77	368.33		7438.44	3090.83
19	7806.77	368.33		7438.44	2943.64
20	7806.77	368.33	28000	-20561.56	-7749.44
21	7806.77	368.33		7438.44	2669.97
22	7806.77	368.33		7438.44	2542.83
23	7806.77	368.33		7438.44	2421.74
24	7806.77	368.33		7438.44	2306.42
25	7806.77	368.33		7438.44	2196.59
VAN					-9748.70

Elaborado por: Andrea Hidalgo

De acuerdo al VAN el proyecto no es viable económicamente

- **Análisis del costo ambiental**

Toneladas equivalentes de carbono generadas en el año 2014

Tabla 22. Potencia Nacional de acuerdo al CONELEC desde 1999 - 2013

POTENCIA NACIONAL (MW) 1999-2013							
Eólica	Fotovoltaica	Hidráulica	Interconexión	Motor de Combustión Interna	Turbogas	turbovapor	TOTAL
33.96	4.10	28854.77	4445.00	10513.25	12128.90	7641.28	63621.26
0.05%	0.01%	45.35%	6.99%	16.52%	19.06%	12.01%	100.00%

Elaborado por: Andrea Hidalgo

De acuerdo al CONELEC (2015), el porcentaje de energía que utiliza fuentes no renovables en Ecuador hasta el 2013 es de 54,58% incluida la energía de interconexión ya que se desconoce la procedencia de la misma.

- *kWh/ año consumidas en el 2014 por la Facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad Internacional SEK:*

68125.83 kWh/ año

- *kWh/ año que consume la Facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad Internacional SEK procedente de fuentes no renovables:*

$$\frac{68125.83 \frac{kWh}{año} * 54.58\%}{100\%}$$

37183.08 kWh/ año

- *Toneladas equivalentes de petróleo por kWh, generadas en el año 2014 por la Facultad de Ciencias Ambientales:*

$$1 tep = 11,628 kWh$$

Ecuación 10. Toneladas equivalentes de petróleo por kWh



$$\frac{37183.08 \frac{kWh}{año} * 1 tep}{11.628 kWh}$$

$$3197.71 tep/año$$

- *Toneladas equivalentes de carbono por kWh, generadas en el año 2014 por la Facultad de Ciencias Ambientales:*

$$1 tep = 1,428 tec$$

Ecuación 11. Toneladas equivalentes de carbono por kWh

$$\frac{3197.71 tep * 1.428 tec}{1 tep}$$

$$tec = 4566.33$$

Cantidad de toneladas equivalentes de carbono con la implantación del proyecto



Tabla 23. kWh/ año que consumiría la Facultad con el sistema fotovoltaico

Meses	Cantidad real generada	Energía requerida por la Facultad	kWh que se consumiría de la red nacional
	kWh	kWh	kWh
Enero	6120	4071,00	
Febrero	6120	4674,33	
Marzo	6120	8836,50	2716,50
Abril	6120	5802,50	
Mayo	6120	5613,67	
Junio	6120	6287,25	167,25
Julio	6120	5724,58	
Agosto	6120	5252,83	
Septiembre	6120	4846,92	
Octubre	6120	4832,75	
Noviembre	6120	5877,83	
Diciembre	6120	6305,67	185,67
TOTAL			3069,42
54,58 % de energía que proviene de fuentes no renovable			1675,29

Elaborado por: Andrea Hidalgo

- *Toneladas equivalentes de petróleo por kWh, generadas anualmente por la Facultad de Ciencias Ambientales con el sistema fotovoltaico:*

$$1675,29 \text{ kWh/año}$$

$$\frac{1675,29 \frac{\text{kWh}}{\text{año}} * 1 \text{ tep}}{11.628 \text{ kWh}}$$

$$144.0736 \text{ tep/año}$$

- *Toneladas equivalentes de carbono por kWh, generadas anualmente por la Facultad de Ciencias Ambientales con el sistema fotovoltaico:*

$$\frac{144.0736 \text{ tep} * 1.428 \text{ tec}}{1 \text{ tep}}$$

$$\text{tec} = 205.737$$

Comparación entre las toneladas equivalentes de carbono producidos por la Facultad de Ciencias Ambientales con y sin el sistema fotovoltaico.

- Toneladas equivalentes de petróleo sin el sistema fotovoltaico

$$\text{tec/año} = 4566.34$$

- Toneladas equivalentes de petróleo con el sistema fotovoltaico

$$\text{tec/año} = 205.737$$



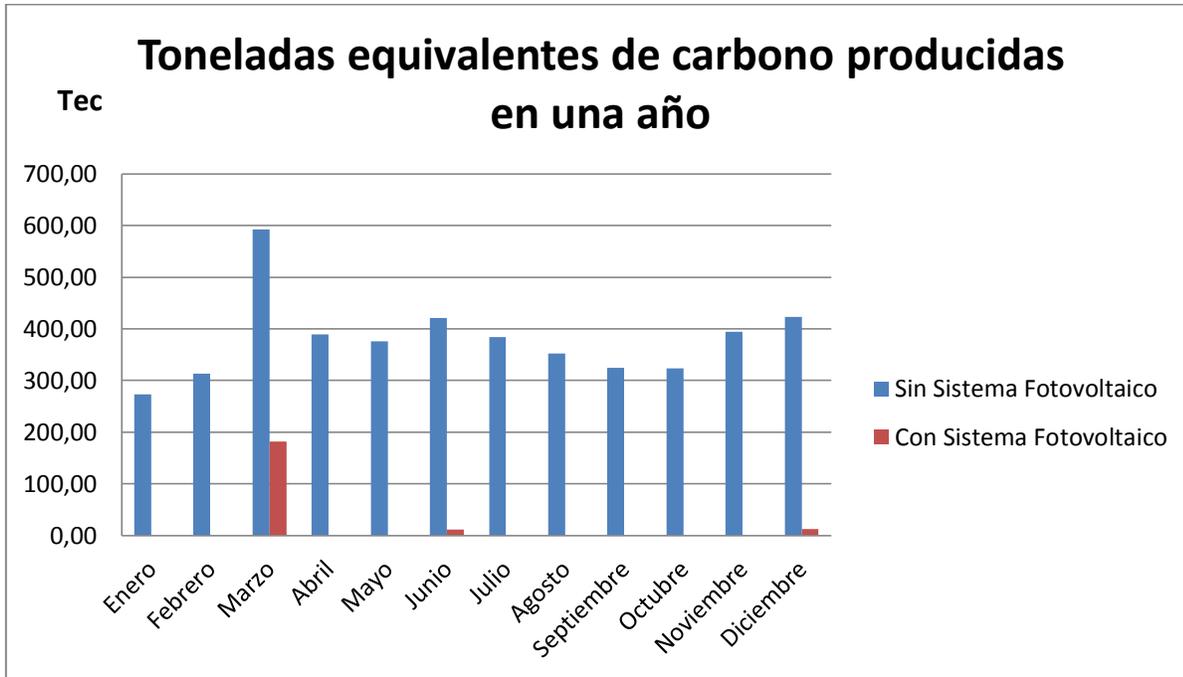
Tabla 24. Toneladas equivalentes de carbono producidas en un año

Meses	Sin Sistema Fotovoltaico				Con Sistema Fotovoltaico				
	Energía requerida por la Facultad	Energía procedente de fuentes no renovables	Toneladas equivalentes de petróleo	Toneladas equivalentes de carbono	Energía generada por el SF	kWh que se consumirá de la red nacional	Energía procedente de fuentes no renovables	Toneladas equivalentes de petróleo	Toneladas equivalentes de carbono
	kWh	kWh	Tep	Tec	kWh	kWh	kWh	Tep	Tec
Enero	4071,00	2221,95	191,09	272,87	6120,00				
Febrero	4674,33	2551,25	219,41	313,31	6120,00				
Marzo	8836,50	4822,96	414,77	592,29	6120,00	2716,50	1482,67	127,51	182,08
Abril	5802,50	3167,00	272,36	388,93	6120,00				
Mayo	5613,67	3063,94	263,50	376,27	6120,00				
Junio	6287,25	3431,58	295,11	421,42	6120,00	167,25	91,29	7,85	11,21
Julio	5724,58	3124,48	268,70	383,71	6120,00				
Agosto	5252,83	2867,00	246,56	352,09	6120,00				
Septiembre	4846,92	2645,45	227,51	324,88	6120,00				
Octubre	4832,75	2637,71	226,84	323,93	6120,00				
Noviembre	5877,83	3208,12	275,90	393,98	6120,00				
Diciembre	6305,67	3441,63	295,98	422,66	6120,00	185,67	101,34	8,71	12,44
TOTAL				4566,34	TOTAL				205,74

Elaborado por: Andrea Hidalgo

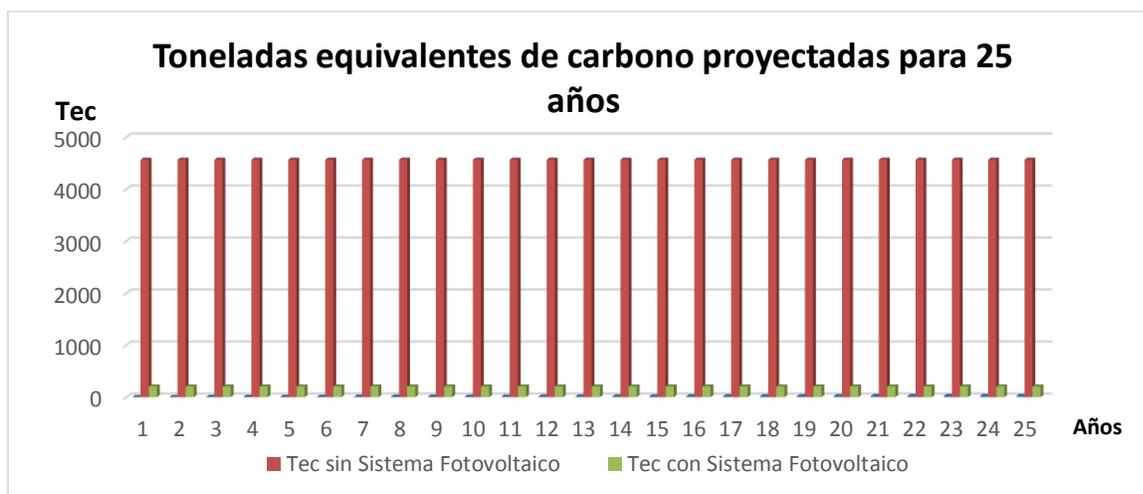


Gráfico 4. Toneladas equivalentes de carbono producidas en un año



Elaborado por: Andrea Hidalgo

Tabla 25. Toneladas equivalentes de carbono proyectadas para 25 años



Elaborado por: Andrea Hidalgo



2. Equipos que componen el sistema

- 80 paneles solares
- 3 inversores trifásicos de conexión a Red SLNC-TRIPower 11000TL
- 1 sistema de comunicación SLNC WEBBOX
- Tablero eléctrico de transferencia
- 80 estructuras metálicas de soporte
- 16 Baterías más conectores (Wire Connector)
- Protecciones magno-técnicas
- Conexiones
- Puesta a tierra TT
- Conductores eléctricos
- Accesorios de montaje
- Tubos
- Material pequeño

Especificaciones técnicas de los equipos:

Tabla 26. Especificaciones técnicas de los paneles fotovoltaicos

Panel Solar Monocristalino SLNC MAX 250Wp/ 30VDC	
Panel fotovoltaico de alta eficiencia	
Potencia: 250Wp 0...3%	
Configuración: 156X156mm	
V.C.A/ Optimo 38,1/30,7 V	
C.C/ Optimo 8,8/8,15 A	
NOCT: 45°C+ / -2°C	
Diodos Bypass: SI	
Dimensiones: 1640X992X55	
Peso: 19Kg.	
Certificados: IEC, TUV, CE	

Elaborado por: Andrea Hidalgo

Tabla 27. Especificaciones técnicas de los inversores

Inversor Trifásico De Conexión a Red SLNC-TRIPOWER 11000TL

Potencia: 11 Kw

- Rendimiento máximo del 98,2%
- El mejor rendimiento de adaptación con la regulación del punto de máxima potencia (MPP) de SMA OptiTrac

- Comunicación Bluetooth

Seguro

- Triple protección gracias a Optiprotec
- Fusible string electrónico
- Reconocimiento de fallos de string autodidacta
- Descargador de sobretensión de CC integrable (tipo II)

Flexible

- Tensión de entrada de CC de hasta 1000 V
- Funciones integradas de gestión de red
- Diseño de la instalación perfecto gracias a Optiflex

Sencillo

- Inyección trifásica
- Conexión de los cables sin herramientas
- Sistema de conexión de CC SUNCLIX
- Fácil acceso al área de conexión



Elaborado por: Andrea Hidalgo

Tabla 28. Especificaciones técnicas de los inversores

Sistema de comunicación SLNC WEBBOX

Informativo, compacto y fácil de manejar, es una solución innovadora para el monitoreo de la instalación solar, su pantalla gráfica muestra los datos más importantes de control y rendimiento.

Con una sola mano se pueden consultar rápidamente la potencia, el balance mensual de rendimiento energético, la cantidad de emisiones de CO2 evitada. Como mínimo se guardan los datos de los 90 últimos días, además se pueden guardar a un PC por medio de ca

Interfase con inversor, bluetooth Class1, RS485, Ethernet. Modem Analógico Interno

Tarjeta de Memoria SD Adicional



Elaborado por: Andrea Hidalgo

Tabla 29. Especificaciones técnicas de las baterías

<p>Baterías + Conectores (Wire Connector) Capacity: 12v/150 Ah Maintenance - free lead acid battery Dimension (L+W+T): 484MM * 171mm * 240 mm Weight: 40kg/pc</p>	
	

Elaborado por: Andrea Hidalgo

Tabla 30. Especificaciones técnicas de las estructuras metálicas de soporte

<p>Estructura Metalica de Soporte Esstructura en acero galvanizado Marco en acero galvanizado Pequeño material de montaje</p>	
--	--

Elaborado por: Andrea Hidalgo

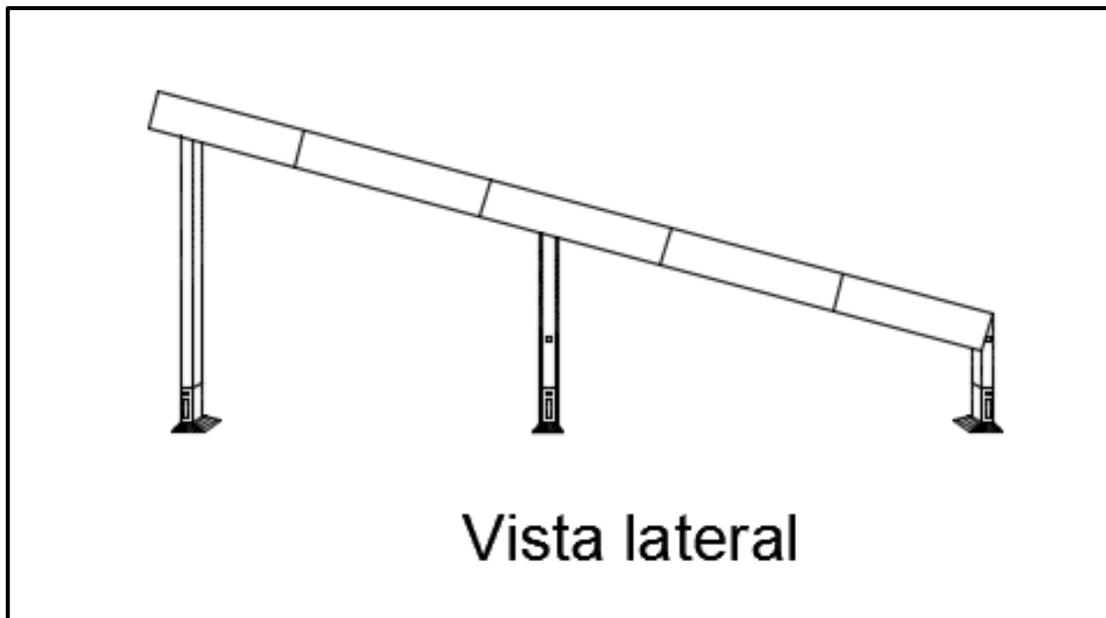
3. Planos

Vista lateral y en campo del sistema fotovoltaico

- **Vista Lateral**

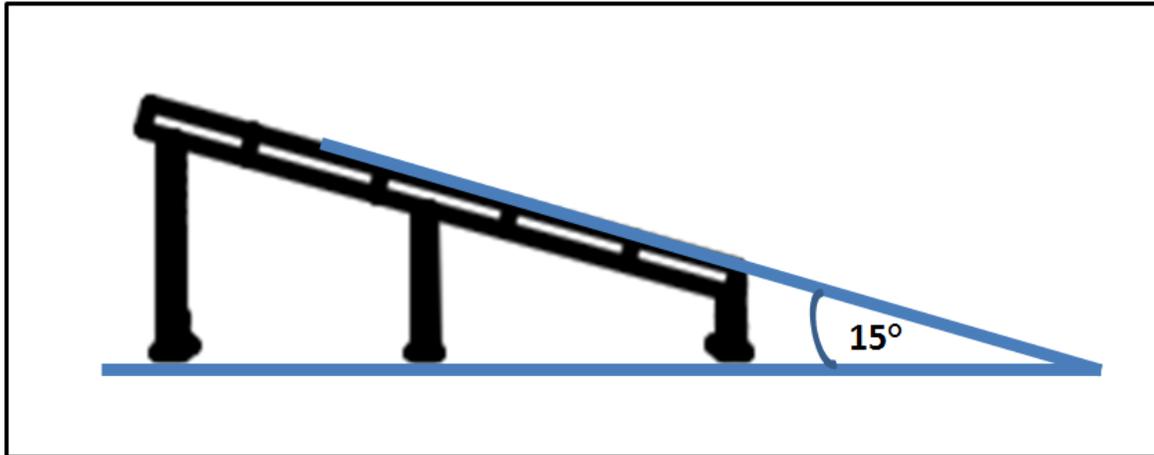
El panel se diseñó a 15° de inclinación para evitar que se acumule cualquier tipo de basura, lo que disminuiría la eficiencia del mismo

Imagen 7. Vista lateral del panel fotovoltaico con soporte metálico



Elaborado por: Andrea Hidalgo

Imagen 8. Ángulo de inclinación del panel



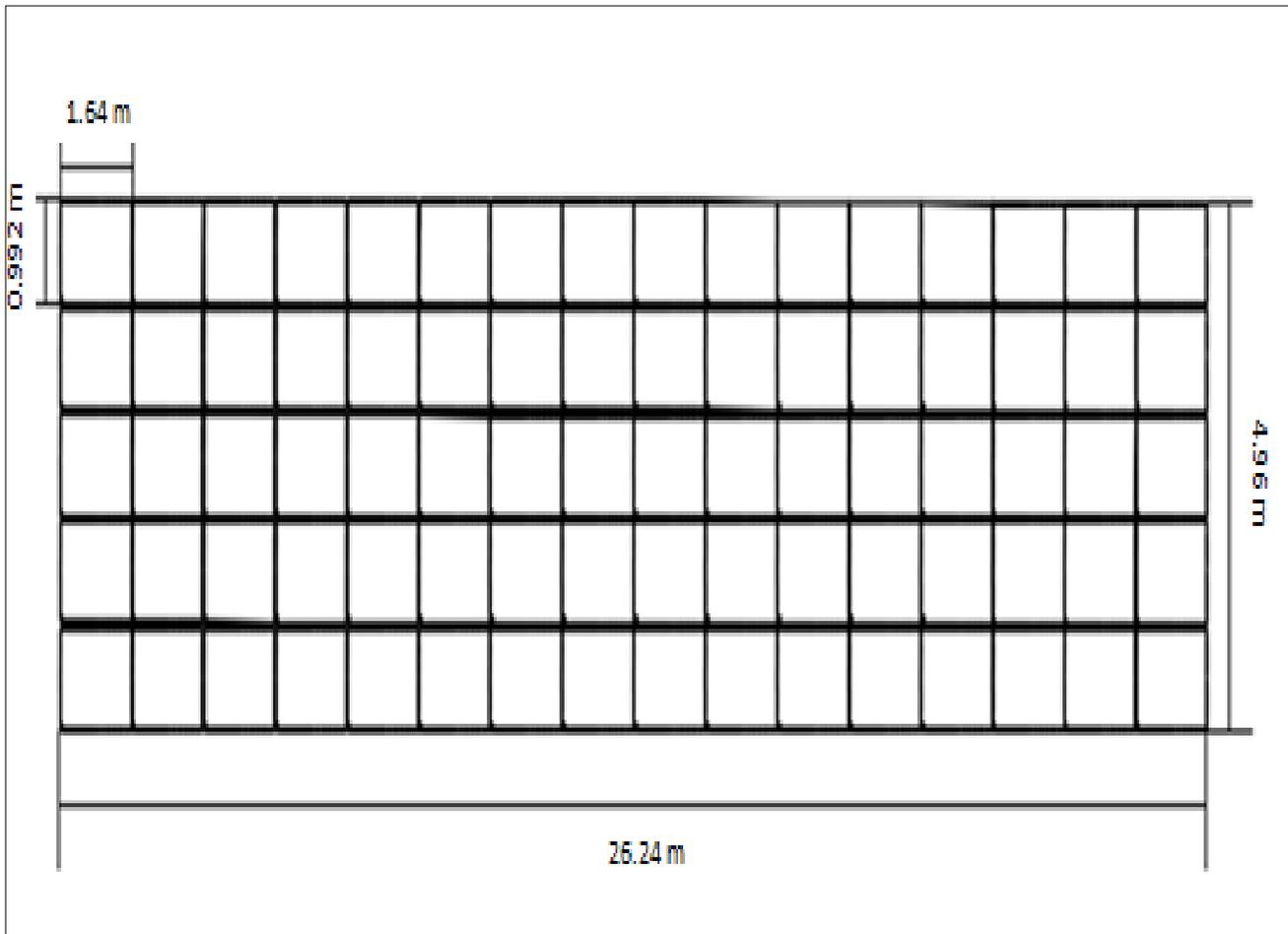
Elaborado por: Andrea Hidalgo

- **Vista en planta del sistema fotovoltaico**

De acuerdo a la demanda requerida, la potencia de cada panel y el espacio disponible en la cubierta del edificio, se optó por distribuir los 80 paneles en 16 filas y 5 columnas, como se puede observar en la imagen 9.



Imagen 9. Vista en planta del sistema fotovoltaico

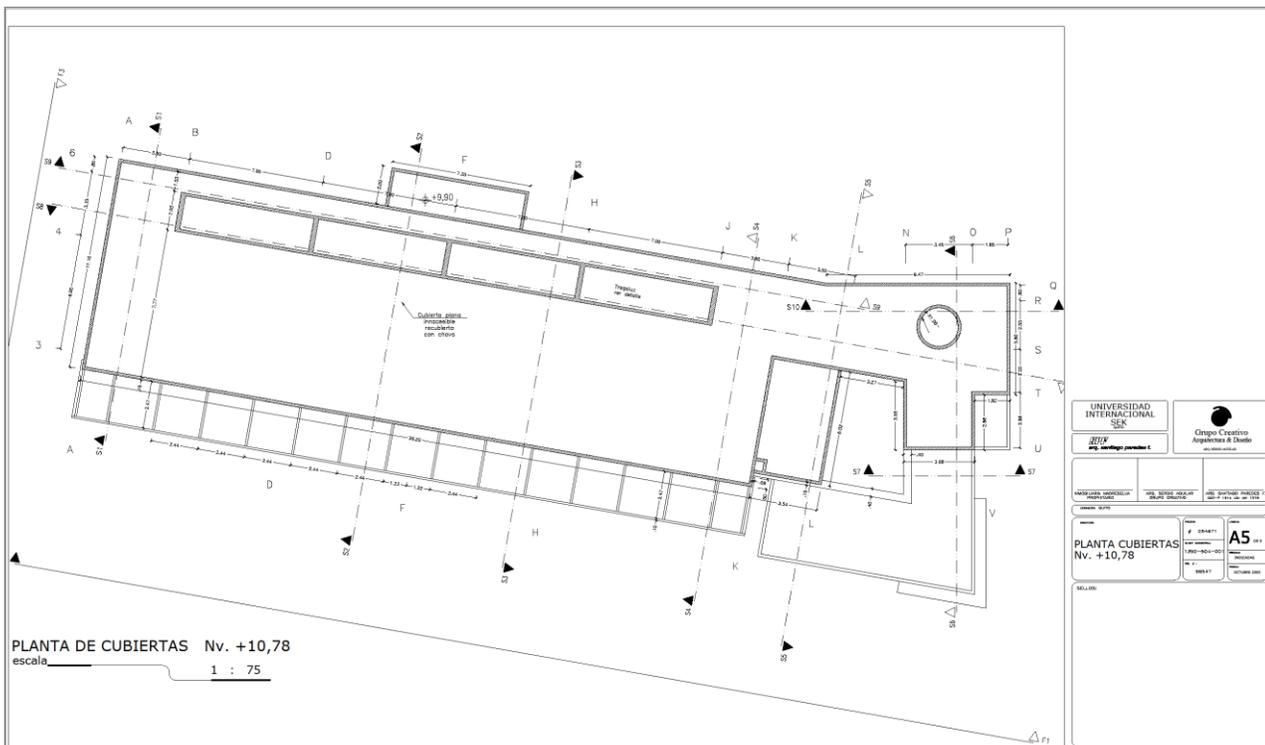


Elaborado por: Andrea Hidalgo



Cubierta del edificio de la Facultad de Ciencias Ambientales

Imagen 10. Cubierta de la Facultad de Ciencias Ambientales

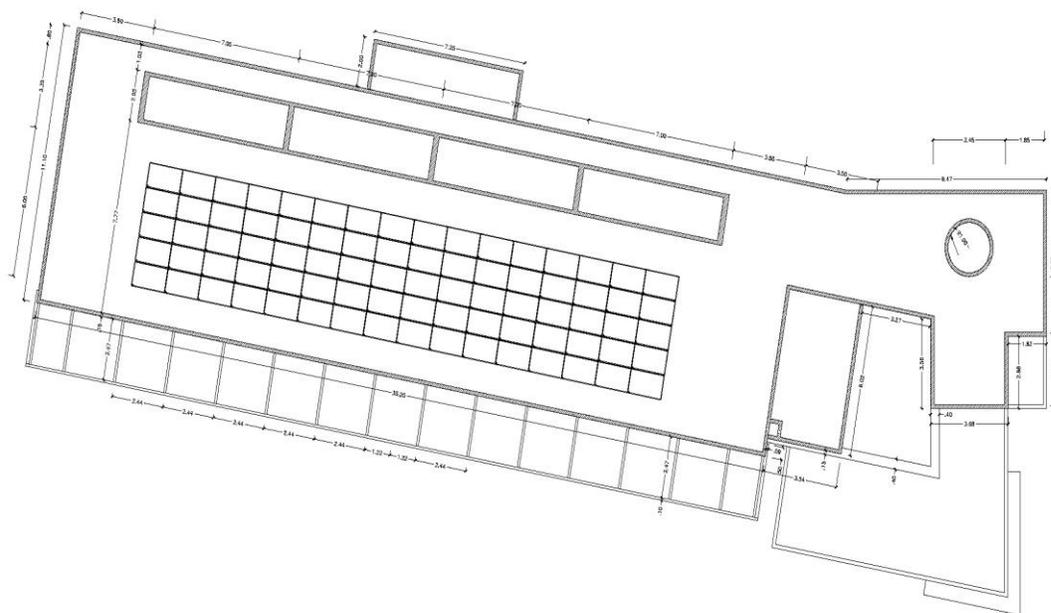


Elaborado por: Grupo Creativo-Arquitectura y Diseño, 2005



Cubierta del edificio de Ciencias Ambientales con el sistema fotovoltaico

Imagen 11. Cubierta de la Facultad de Ciencias Ambientales con el sistema fotovoltaico



PLANTA CUBIERTAS
Nv. +10,78

PLANTA DE CUBIERTAS Nv. +10,78
escala 1 : 75

Elaborado por: Andrea Hidalgo



Conexión eléctrica del sistema

La conexión eléctrica está compuesta por un circuito mixto que genera 5 amperios y 491.2 voltios

Imagen 12. Conexión eléctrica



Elaborado por: Andrea Hidalgo

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. Los objetivos planteados se han cumplido satisfactoriamente para este proyecto, debido a que el sistema fotovoltaico satisface de manera óptima las necesidades de la Facultad de acuerdo a la demanda calculada; adicionalmente al tener un diseño conectado a la red se obtiene como beneficio adicional que los meses en los que el consumo sea mayor a 20kW, el edificio será capaz de obtener energía de la red nacional.
2. No se dimensionó el diseño para el mes con el máximo consumo energético ya que los costos que esto implica son muy elevados, adicionalmente el sistema de 20kW no satisface únicamente al mes de marzo, junio y diciembre.
3. Se espera que la base de datos generada de radiación solar, por las diferentes metodologías utilizadas, sirva como modelo o guía para el desarrollo de más proyectos de energía fotovoltaica ya que la electricidad es solo una parte de los beneficios de la energía solar.
4. Esta investigación descartó los datos generados por el programa ISOCAD, debido a que sus coordenadas no se ajustaban con las de la Facultad de Ciencias Ambientales.
5. Los tres métodos determinaron que el mes con menor radiación solar será junio.

6. Para prevenir fallas en el sistema se adicionó un margen de seguridad del 15% al diseño.
7. Se determinó incorporar un pequeño porcentaje de baterías para solventar el requerimiento energético de las últimas horas del día, cuando ya no existe radiación solar.
8. El sistema fotovoltaico se encuentra diseñado para trabajar de forma óptica con 5 amperios, sin embargo en el caso de utilizar maquinaria que sobrepase el número de amperios del diseño, estas tendrán que estar conectadas directamente del medidor eléctrico.
9. El costo de la energía fotovoltaica es mayor, que el de la energía eléctrica que se consume de la red nacional.
10. De acuerdo al análisis económico y el cálculo del VAN se concluye que el sistema económicamente no es viable si se envía el excedente energético a la red nacional, sin embargo si se hacen los ajustes eléctricos necesarios y se utiliza el excedente dentro del Campus Miguel de Cervantes la viabilidad del sistema mejora. Adicionalmente la implementación de este tipo de proyectos contribuirá a la imagen de la Universidad ya que como Facultad de Ciencias Ambientales el edificio debería estar a la vanguardia de cambios amigables con el ambiente y la energía fotovoltaica podría ser el primer paso para convertirlo en un edificio autosustentable.



11. Aunque económicamente el proyecto no es viable, como se mencionó anteriormente, se resalta que el costo ambiental es mucho mayor, aproximadamente se reduciría 4189.30 toneladas equivalentes de carbono (Tec), esto corresponde a una reducción del 92% anual del CO₂ generado por la Facultad de Ciencias Ambientales.
12. Cabe resaltar que se necesita mucha concienciación ambiental para que este tipo de proyectos sean exitosos.
13. Como conclusión final se determinó que aunque los modelos de radiación solar han sido muy acertados se debe considerar que el cambio climático y muchos otros factores pueden alterar los resultados, por lo que se considera importante hacer una medición in situ, para obtener datos más reales.

Recomendaciones

Recomendaciones generales

1. Motivar a los estudiantes y docentes a la realización de proyectos en base a energías renovables, debido a que este trabajo estudió solamente una de las varias aplicaciones de este gran campo.
2. Para continuar con el estudio de energía solar en la Universidad se recomienda la instalación de una estación radiométrica.

3. Los meses en los que la demanda energética de la Facultad sean menores a la energía generada por el sistema, se puede realizar un aporte a la red nacional eléctrica, de esta manera se evita el despilfarro energético. O en su defecto se podría utilizar la energía excedente para el resto de edificios que forman parte de la Universidad, mediante una instalación eléctrica adecuada.
4. A pesar que el libro base utilizado para el diseño es ocupado en el país para sistemas fotovoltaicos, este es procedente de España, motivo por el cual se recomienda realizar las mediciones en campo, para poder generar modelos matemáticos específicos para la Universidad.
5. Implementar campañas de concienciación energética, principalmente en los meses en los que la demanda de energía de la Facultad es mayor a la demanda del sistema fotovoltaico
6. Acoplar el sistema fotovoltaico de tal manera que satisfaga principalmente a las zonas de mayor consumo.

Recomendaciones para el cuidado del sistema fotovoltaico

1. Se debe lavar los paneles con un trapo húmedo sacando toda la suciedad y posteriormente secarlo con un trapo suave.
2. Se debe evitar objetos que produzcan sombran (árboles por ejemplo), ya que estos provocan que la eficiencia de los paneles disminuya.

3. En el caso del inversor se deber proteger el mismo del sol directo, el agua y evitar manipular las conexiones.
4. Es indispensable para el cuidado del sistema y para que este tenga un mayor tiempo de funcionamiento, aprender a ahorrar energía.

CAPÍTULO VI. REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- Agencia de Regulación y Control de Electricidad (CONELEC). (2015). Potencia Efectiva Nacional. Extraído el 28 de mayo del 2015, de: http://www.conelec.gob.ec/enlaces_externos.php?l=1&cd_menu=4222
- Aguirre, A. (2011). Valoración de la afectación de la eliminación del subsidio eléctrico de los N.S.E. altos para un plan de negocios de una empresa comercializadora de paneles solares en el sector de Samborondón. Universidad de Guayaquil. Guayaquil- Ecuador.
- Aliaga, Javier & Horacio, Villegas. (2009). Cambio climático, desarrollo económico y energías renovables: estudio exploratorio de América Latina. Universidad Católica Boliviana. Bolivia.
- Alonso Lorenzo, J. (2011). Boletín Solar Fotovoltaica. Autónoma SunFields Europe. Disponible en: <http://www.sfe-solar.com/test/wp->

content/uploads/2011/09/Sunfields_Boletin_Fotovoltaica_Autonomas.pdf?9d7bd4

- Avila-Prats, Deivis; Alesanco-Garcia, Ramón y Veliz-Alonso, Juan. (2011). Sistemas híbridos con base en las energías renovables para el suministro de energía a plantas desaladoras. Ingeniería Mecánica. vol.14. Sevilla- España.
- Balarezo, Paúl. (2012). Diagnóstico del edificio de la Facultad de Ciencias Ambientales utilizando políticas de construcción sustentable. Universidad Internacional SEK. Trabajo de Fin de Carrera previo a la obtención del Título de Ingeniero Ambiental. Quito- Ecuador.
- Banco de Desarrollo de América Latina (CAF). (2013). Energía: una visión sobre los retos y oportunidades en América Latina y el Caribe. Extraído el 22 de marzo del 2014, de: http://www.caf.com/_custom/static/agenda_energia/assets/caf_agenda_energia_vision.pdf
- Barros, Vicente. (2005). El cambio climático global. 2da edición. Libros del Zorzal. Buenos Aires – Argentina.
- Boylestad, Robert. (2004). Introducción al análisis de circuitos. Pearson Education. México.

- Castells, Xavier & Bordas, Santiago. (2011). Energía, Agua, Medioambiente, Territorialidad y Sostenibilidad. Editorial Díaz de Santo, Extraído el 25 de mayo del 2015, de: <http://www.diazdesantosargentina.com/wwwdat/pdf/9788499690094.pdf>
- Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC). 2008. Atlas Solar del Ecuador, con fines de generación eléctrica. Corporación para la investigación energética. Quito- Ecuador
- ENERPRO. (2014). Energía solar fotovoltaica. Quito- Ecuador
- Feijoo Aguilar, Jorge. (2009). Proyecto de implementación de paneles solares en haciendas alejadas de la fuente de energía convencional. Caso: Hacienda “El Vado”. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil- Ecuador.
- Garcia Villas, Marianella. (1999). Energía Solar Fotovoltaica y Cooperación al Desarrollo. Editorial IEPALA. Madrid- España
- GreenFacts. (2015). Corriente alterna y corriente continua. Facts on Health and the Environment. Extraído el 4 de abril del 2015, de: <http://www.greenfacts.org/es/glosario/abc/corriente-alterna.htm>
- International Energy Agency (IEA). (2012). Photovoltaic Power System Programme. Extraído el 7 de diciembre del 2014, de: <http://www.iea-pvps.org/>

- International Energy Agency (IEA). (2014). Key World Energy Statistics. Extraído el 7 de diciembre del 2014, de: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2014.pdf>
- Martínez, Antonio. (2013). Viabilidad económica instalación fotovoltaica. Calculo del VAN. Energías Renovables & Generación distribuida. Instituto de Investigaciones Ecológicas (INIECO). Málaga- España.
- Medium Power Solution. (2012). Catálogo de Productos, extraído el 14 de mayo del 2015, de: http://www.stilarenergy.com/SMA/archivos_SMA/Sunny_Family_2012.pdf
- Mena-Coba, Miguel. (2013). Análisis del recurso solar y caracterización del comportamiento energético entre un calentador solar de agua importado marca Heliocol y un nacional de 2 metros cuadrados en la ESPE. Quito-Ecuador.
- Mora Fátima. (2011). Estudio de Factibilidad para la incorporación de un sistema solar fotovoltaico en el edificio RTS Ecuador. Escuela Politécnica Nacional. Quito-Ecuador.
- Nandwani, S. (2005). Energía Solar- conceptos básicos y su utilización. Universidad Nacional Heredia. Puerto Rico
- NTE INEN-ISO 50001:2012 Sistema de Gestión de la Energía, requisitos con orientación para su uso

- Orbegozo, C & R, Arivilca. (2010). Energía solar fotovoltaica, manual técnico para instalaciones fotovoltaicas. Green Energy. Extraído el 8 de diciembre del 2014, de: http://energiaverde.pe/wp-content/uploads/2010/06/Manual_ES_Fotovoltaica.pdf
- PNUMA. (2011). Hacia una economía verde: Guía para el desarrollo sostenible y la erradicación de la pobreza. Extraído el 20 de marzo del 2014, de: http://www.unep.org/greeneconomy/Portals/88/documents/ger/GER_synthesis_sp.pdf
- Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo (Senplades). (2013). Plan Nacional de Desarrollo/ Plan Nacional para el Buen Vivir 2013-2017. Quito-Ecuador.
- Solarízate. (2007). Una propuesta para luchar contra el cambio climático desde los centros escolares. Zaragoza- España
- Stern, Nicholas. (2006). Stern Review on the Economics of Climate Change. HMTreasury. Cambride University Press. Inglaterra.
- Urdiales, D. (2014). Gestión integral de residuos en etapas de preinstalación, instalación, funcionamiento y retiro de los sistemas fotovoltaicos de la segunda etapa del proyecto YANTSA ii ETSARI en la empresa eléctrica Regional Centro SUR C.A. Universidad de Cuenca. Cuenca-Ecuador.



ANEXOS

- Anexo 1. Coeficiente A de acuerdo a Garcia Villas, 1999.

A	$\rho = 0.2$	$\rho = 0.3$	$\rho = 0.4$	$\rho = 0.5$	$\rho = 0.6$
$\beta = 0^\circ$	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
$\beta = \pm 5^\circ$	0.998	0.999	0.999	0.999	0.999
$\beta = \pm 10^\circ$	0.994	0.995	0.995	0.996	0.997
$\beta = \pm 15^\circ$	0.986	0.988	0.99	0.991	0.993
$\beta = \pm 20^\circ$	0.976	0.979	0.982	0.985	0.988
$\beta = \pm 25^\circ$	0.963	0.967	0.972	0.977	0.981
$\beta = \pm 30^\circ$	0.948	0.953	0.96	0.967	0.975
$\beta = \pm 35^\circ$	0.928	0.937	0.946	0.955	0.964
$\beta = \pm 40^\circ$	0.906	0.918	0.93	0.942	0.953
$\beta = \pm 45^\circ$	0.883	0.897	0.912	0.927	0.941
$\beta = \pm 50^\circ$	0.857	0.875	0.893	0.911	0.929
$\beta = \pm 55^\circ$	0.829	0.851	0.872	0.893	0.915
$\beta = \pm 60^\circ$	0.8	0.825	0.85	0.875	0.9
$\beta = \pm 65^\circ$	0.769	0.798	0.827	0.856	0.885
$\beta = \pm 70^\circ$	0.737	0.77	0.803	0.836	0.868
$\beta = \pm 75^\circ$	0.704	0.741	0.778	0.815	0.852
$\beta = \pm 80^\circ$	0.669	0.711	0.752	0.793	0.835
$\beta = \pm 85^\circ$	0.635	0.681	0.726	0.772	0.817



- Anexo 2. Coeficiente B de acuerdo a Garcia Villas, 1999.

β ($\phi = 0^\circ$)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
$\beta = +25^\circ$	0.0231	0.0119	-0.002	-0.0171	-0.0306	-0.0378	-0.0345	-0.0226	-0.0076	0.0074	0.0204	0.0269
$\beta = +20^\circ$	0.0196	0.0104	-0.0008	-0.0131	-0.0241	-0.03	-0.0273	-0.0175	-0.0053	0.0069	0.0174	0.0227
$\beta = +15^\circ$	0.0155	0.0085	0	-0.0093	-0.0177	-0.0223	-0.0202	-0.0127	-0.0034	0.0058	0.0138	0.0178
$\beta = +10^\circ$	0.0108	0.0061	0.0004	-0.0058	-0.0115	-0.0147	-0.0132	-0.0081	-0.0019	0.0043	0.0097	0.0124
$\beta = +5^\circ$	0.0056	0.0033	0.0004	-0.0027	-0.0056	-0.0072	-0.0065	-0.0039	-0.0007	0.0024	0.0051	0.0064
$\beta = 0^\circ$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\beta = -5^\circ$	-0.006	-0.0037	-0.0008	0.0023	0.0052	0.0068	0.0061	0.0035	0.0003	-0.0028	-0.0054	-0.0068
$\beta = -10^\circ$	-0.0123	-0.0077	-0.002	0.0042	0.01	0.0132	0.0117	0.0065	0.0002	-0.0059	-0.0112	-0.0138
$\beta = -15^\circ$	-0.0187	-0.012	-0.0037	0.0056	0.0142	0.0189	0.0168	0.009	-0.0003	-0.0094	-0.0171	-0.0217
$\beta = -20^\circ$	-0.0253	-0.0166	-0.0057	0.0066	0.0178	0.0241	0.0212	0.011	-0.0013	-0.0132	-0.0233	-0.0283
$\beta = -25^\circ$	-0.032	-0.0215	-0.008	0.0071	0.0209	0.0286	0.0251	0.0125	-0.0026	-0.0173	-0.0295	-0.0356

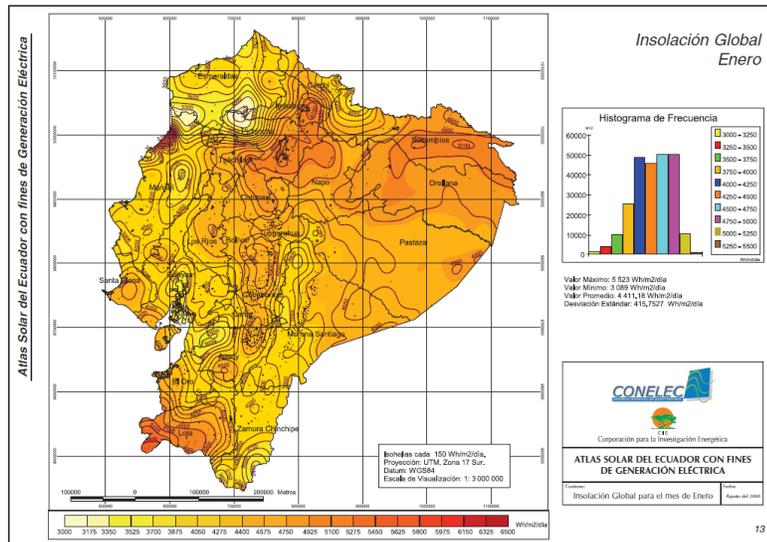


- Anexo 3. Modelo matemático Amstronge Page

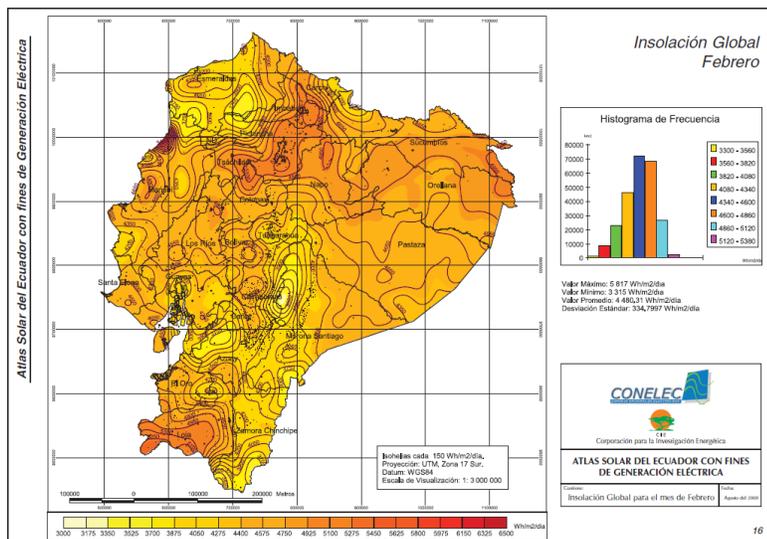
Radicación solar anual

- Anexo 4. Imágenes de Insolación Solar, extraídas del Atlas solar del CONELEC

Enero

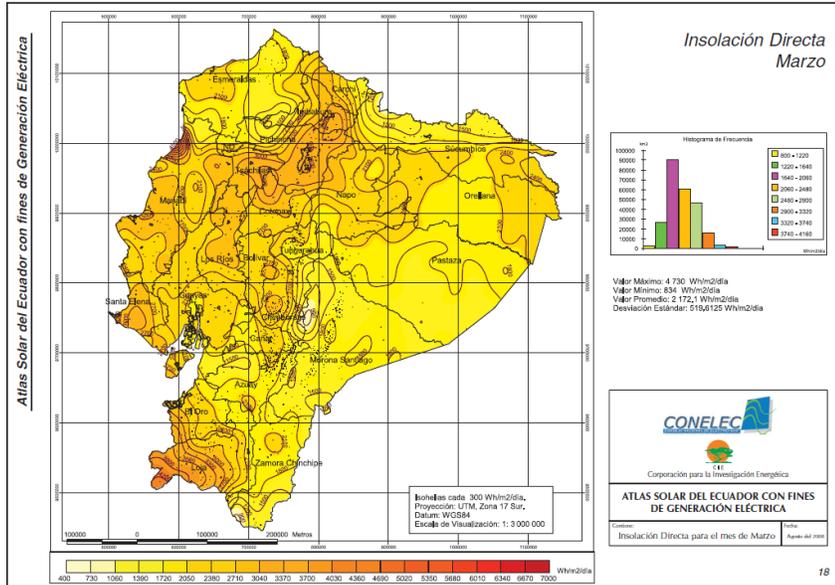


Febrero

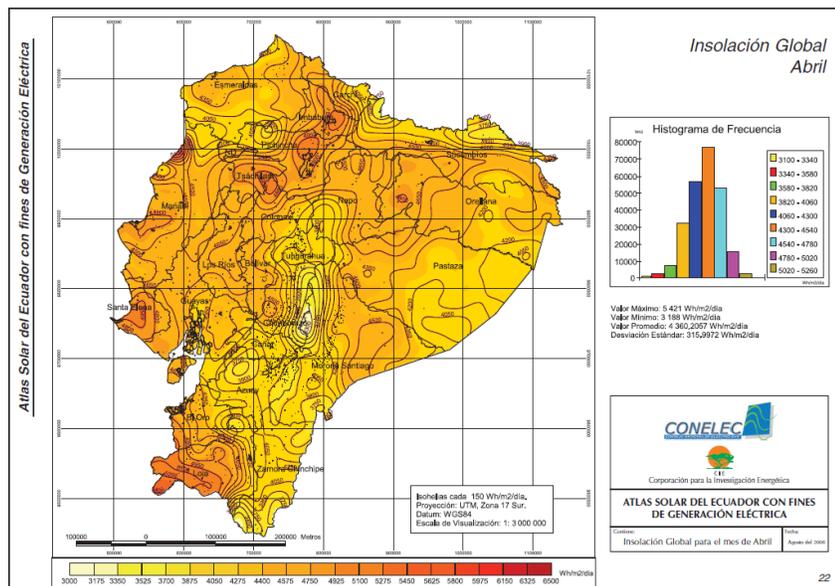




Marzo

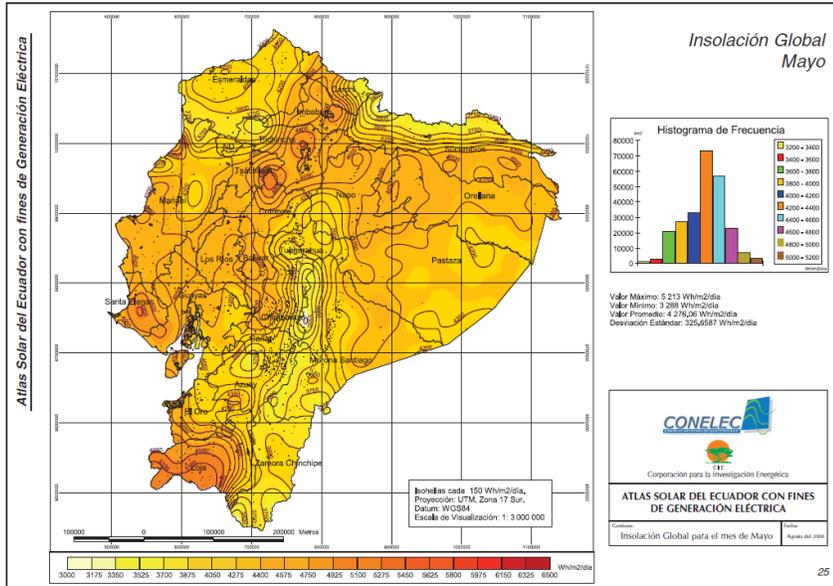


Abril

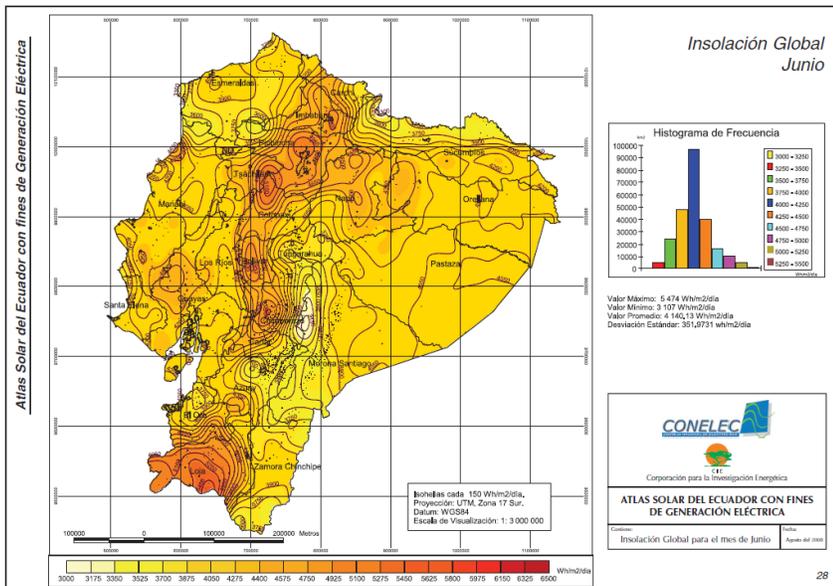




Mayo

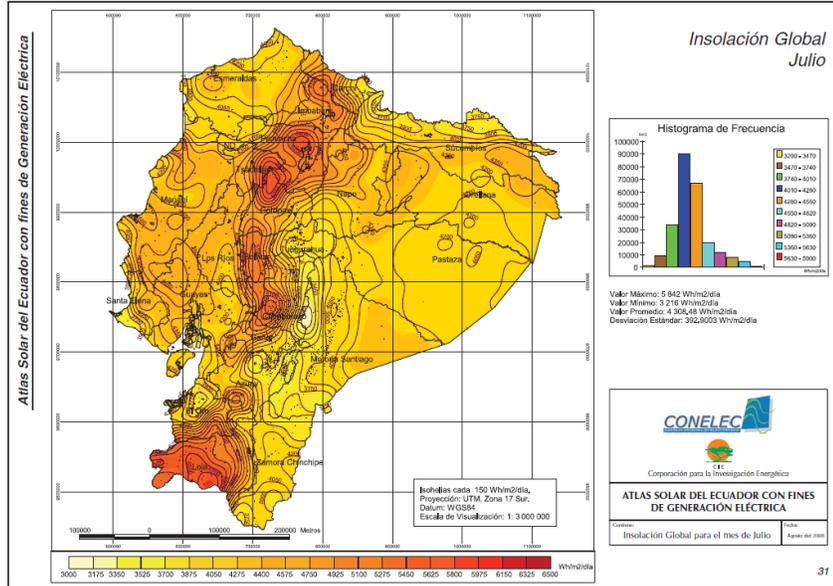


Junio

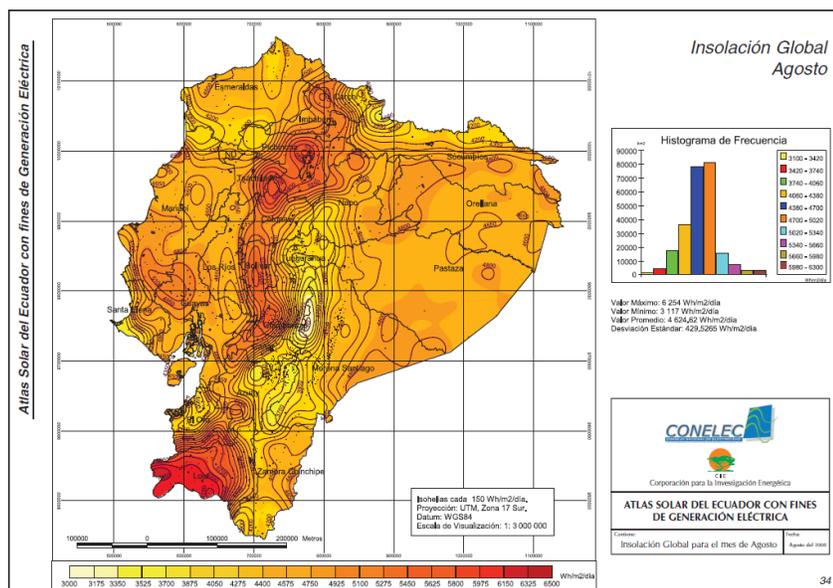




Julio

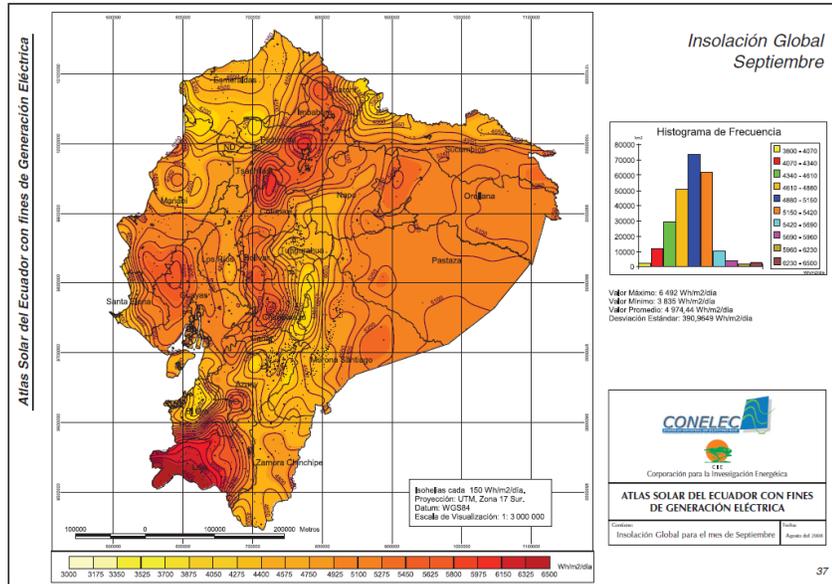


Agosto

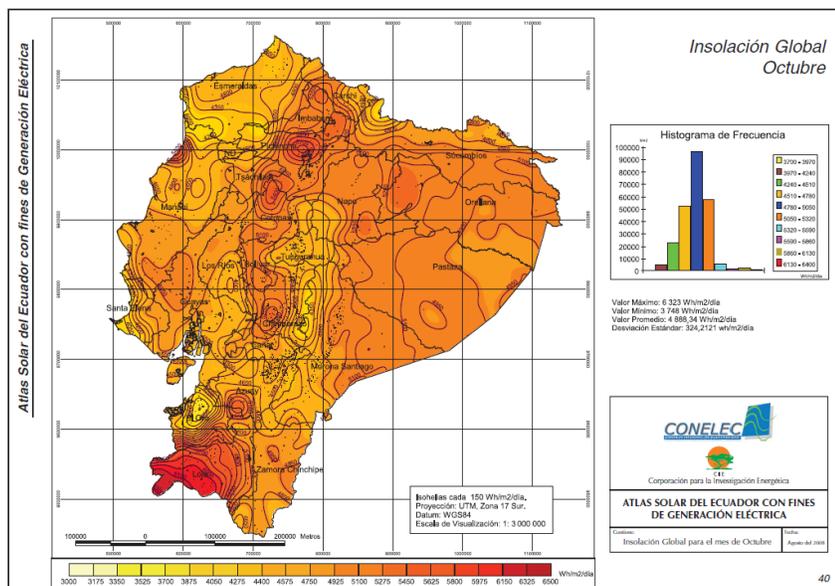




Septiembre

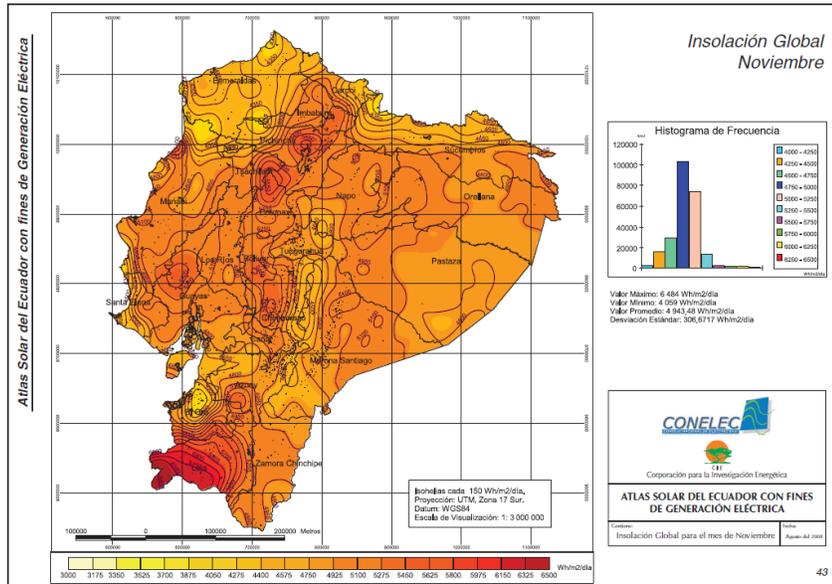


Octubre

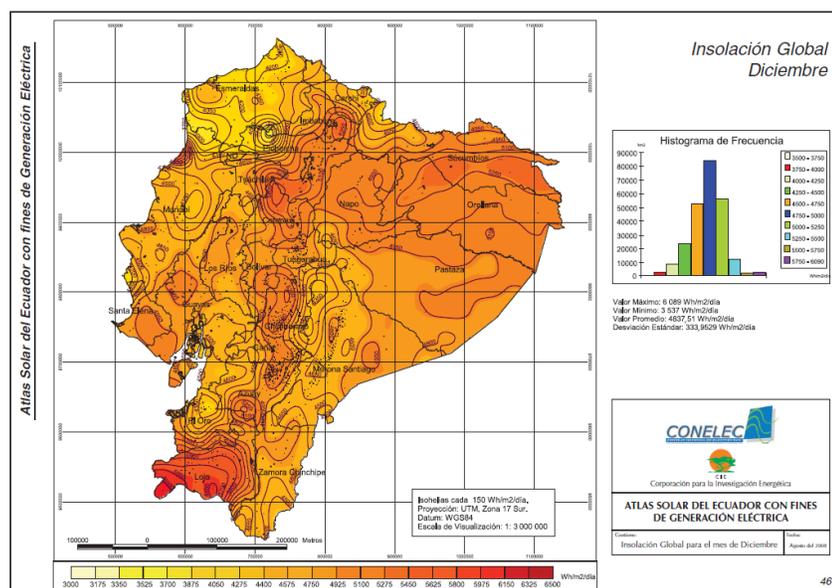




Noviembre



Diciembre





- Anexo 4. Demanda Energética de la Facultad de Ciencias Ambientales de la UISEK



EMPRESA ELECTRICA QUITO S.A.
Fecha: 26/03/15
Página: 1

HISTORIA DE LECTURAS

<FILECT>

Suministro: 1410937-4 Nombre: UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK
 Direccion: QUINTA TRANSVERSAL N° S/N OE4 ALBERT EINSTEIN CARCELEN PB
 Plan/Geocodigo : 94/98-04-089-0700
 Medidor: 90000279-LAN-OO Factor: 1.00 Cifras: 3.2 Promedio: 30

Fecha	Lectura Tomada	Lectura Facturada	Lectura Original	Ult.Consumo Facturado	Novedades de Lectura	Tipo Lectura
13/03/15	15.3	15.3		15.808	---	Tomada
13/02/15	18.54	18.54		18.911	---	Tomada
13/01/15	14.32	14.32		14.808	---	Tomada
15/12/14	15.91	15.91		16.228	---	Tomada
13/11/14	18.46	18.46		18.829	---	Tomada
13/10/14	15.55	15.55		15.861	---	Tomada
15/09/14	11.8	11.8		12.036	---	Tomada
13/08/14	16.88	16.88		17.218	---	Tomada
15/07/14	18.79	18.79		19.166	---	Tomada
13/06/14	20.95	20.95		21.369	---	Tomada
13/05/14	28.83	28.83		29.407	---	Tomada
14/04/14	26.17	26.17		26.893	---	Tomada
13/03/14	19.72	19.72		20.114	---	Tomada
13/02/14	16.05	16.05		16.371	---	Tomada
13/01/14	19.62	19.62		20.012	---	Tomada
13/12/13	21.42	21.42		21.848	---	Tomada
13/11/13	20.16	20.16		20.563	---	Tomada
14/10/13	16.12	16.12		16.442	---	Tomada
13/09/13	17.71	17.71		18.064	---	Tomada
13/08/13	17.17	17.17		17.513	---	Tomada
15/07/13	18.97	18.97		19.349	---	Tomada
13/06/13	16.45	16.45		16.779	---	Tomada
13/05/13	18.28	18.28		18.646	---	Tomada
15/04/13	18.61	18.61		18.982	---	Tomada
27/09/08	0	0			0--	Instalacion



- Anexo 5. Datos históricos de facturación de la Facultad de Ciencias Ambientales de la UISEK



<FIHISG>

HISTORIA DE FACTURACIONES

EMPRESA ELECTRICA QUITO S.A.

Fecha: 08/05/15

Pag.: 1

Suministro: 1410837-4

Nombre UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

Dirección: QUINTA TRANSVERSAL N° S/N y OE4 ALBERT EINSTEIN Barrio(o Urb. o Edif.) CARCELEN

Provincia: 17 Canton: 4 Parroquia: 34

Meses Mora: 0 Tipo Reparto: 2 Plan: 94 Geocodigo: 98-04-069-0700

Tarifa: 719 Medidor: 90000279-LAN Factor: 1.0

Fecha Facturación	Consumo Activa	Consumo Reactiva	Factor Potencia	Demanda Leída	Demanda Facturada	Valor Factura	Saldo Anterior	Total a Pagar	Estado Factura
17/04/15	6765	912	0.99	21.51	22	755.39	0.00	755.39	Pagada
18/03/15	5212	787	0.99	16.63	18	599.89	0.00	599.89	Pagada
18/02/15	6311	905	0.99	19.38	19	716.52	0.00	716.52	Pagada
16/01/15	5072	725	0.99	17.81	18	576.87	0.00	576.87	Pagada
18/12/14	6647	987	0.99	23.16	23	756.68	0.00	756.68	Pagada
18/11/14	6310	830	0.99	18.83	19	705.34	0.00	705.34	Pagada
17/10/14	5083	610	0.99	16.34	18	579.93	0.00	579.93	Pagada
19/09/14	4977	454	1.00	12.85	18	581.63	0.00	581.63	Pagada
19/08/14	5231	530	0.99	21.37	21	630.34	0.00	630.34	Pagada
21/07/14	5704	527	1.00	21.88	22	686.95	0.00	686.95	Pagada
19/06/14	6450	584	1.00	21.37	21	754.47	0.00	754.47	Pagada
19/05/14	6385	522	1.00	29.74	30	673.64	0.00	673.64	Pagada
21/04/14	6964	776	0.99	26.69	27	696.30	0.00	696.30	Pagada
17/03/14	5047	572	0.99	20.11	20	498.25	560.92	1,060.38	Pagada
19/02/14	6896	1182	0.99	17.91	18	560.92	0.00	560.92	Pagada
16/01/14	5653	667	0.99	20.01	20	488.52	0.00	488.52	Pagada
19/12/13	6577	977	0.99	21.85	22	558.42	0.00	558.42	Pagada
18/11/13	6636	895	0.99	20.56	21	558.86	0.00	558.86	Pagada
17/10/13	5699	531	1.00	16.44	16	470.31	0.00	470.31	Pagada
18/09/13	4494	375	1.00	18.06	18	388.65	0.00	388.65	Pagada
18/08/13	4172	383	1.00	17.51	18	355.32	0.00	355.32	Pagada
18/07/13	5330	497	1.00	21.4	21	469.97	0.00	469.97	Pagada
19/06/13	5560	512	1.00	17.33	17	464.25	0.00	464.25	Pagada
16/05/13	5502	500	1.00	20.08	20	453.94	0.00	453.94	Pagada



• Anexo 6. Facturación del servicio eléctrico de la Facultad de Ciencias Ambientales d la UISEK

Factura No. 001-007-000916689
 Autorización SRI: 1116126814
 Fecha de autorización: 2014-12-23
 Válida hasta: 2015-12-23

Fecha de Emisión: 2015-03-18

1001410937060
 No. de Control: 141093706-61
 Valor a pagar: 699.89

Fecha de Vencimiento: 2015-04-08

Factura No. 001-007-000916689
 Autorización SRI: 1116126814
 Fecha de autorización: 2014-12-23
 Válida hasta: 2015-12-23

Fecha de Emisión: 2015-03-18

INFORMACIÓN DEL CONSUMIDOR

SUMINISTRO: 1410937-4 UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK
 Código Único Eléctrico Nacional: 1401410937 Cédula / R.U.C.: 1791255364001 Código Postal: 170313
 Dirección servicio: QUINTA TRANSVERSAL S/N PB OE4 ALBERT EINSTEIN CARCELEN IIC. Alexandra Lara
 Plan/Geocódigo: 94 99-04-069-0700 Tarifa: 719-Comerc.Dem.Reg.Horario (Baja Tension-Trafo propio) 2015-03-18 1
 Provincia - Cantón - Parroquia: PICHINCHA - DISTRITO METROPOLITANO QUITO - SAN BLAS
 Dirección notificación: BCO. INTERNACIONAL 198519 BCO. INTERNACIONAL
 Ejecutivo de cuenta: FABIOLA ISABEL IMBAQUINGO SANTACRUZ Telfs: 25530102542860 ext: 3715 e_mail:imbaquingo@eeq.com.ec

1. FACTURACIÓN SERVICIO ELÉCTRICO Y ALUMBRADO PÚBLICO

Medidor: 90000279-LAN-CO Factor multiplicación: 1.00 Constante: 1.00
 Desde: 2015-02-13 Hasta: 2015-03-13 Días Facturados: 28 Tipo consumo: Leído
 Factor Potencia: 0.99 Penalización Fp: 0.000000 Factor Corrección: 1.00

VALOR CONSUMO: 418.78
 DEMANDA 75.28
 COMERCIALIZACION 1.41
 I.V.A.(0%) 0.00
SUBTOTAL SERVICIO ELÉCTRICO (SE): 496.47
 SERV.ALUM.PUB 37.98
SUBTOTAL ALUMBRADO PÚBLICO (AP): 37.98
TOTAL SE Y AP (1): 534.45

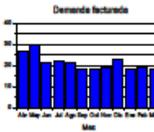
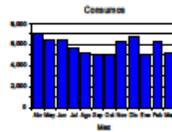
Descripción	Actual	Anterior	Consumo	Unid.	Valores
21h00-22h00	279218.70	272224.34	3055	kWh	282.58
22h00-07h00	182346.20	183228.60	2789	kWh	151.2
Reactiva	37717.40	36945.40	770	kVAh	0
Demanda 18h00 - 22h00	16.30		17	kW	0
Demanda 22h00 - 18h00	15.30		16	kW	0
Demanda Máxima			17	kW	0
Demanda Máxima en pico			17	kW	0
Demanda Facturable			16	kW	0

Consumo Interno Transformador	Consumo	Unid.
Energía	103	kWh
Demanda	4	kW

DUPLICADO DE FACTURA

2. VALORES PENDIENTES

CONCEPTO	VALOR
TOTAL VALORES PENDIENTES (2):	0.00



1 de 2

2 de 2

Factura No. 001-007-000916689 SUMINISTRO: 1410937-4
 Autorización SRI: 1116126814 UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK
 Fecha de autorizac: 2014-12-23
 Válida hasta: 2015-12-23 No. de Control: 141093706-61
 Valor a pagar: 699.89

1001410937060
 0
 1100000599890

3. RECAUDACIÓN TERCEROS

ESTOS VALORES NO FORMAN PARTE DE LOS INGRESOS DE LA EMPRESA ELÉCTRICA

CONCEPTO	SUSTENTO LEGAL	VALOR
IMPUESTO BOMBEROS	Ley de Defensa Contra Incendios	5.31
TASA RECOLECCION BAS	Ordenanza Municipal	60.13
RECAUDACIÓN TERCEROS (3)		65.44

TOTAL A PAGAR	
Servicio Eléctrico y Alumbrado Público(1):	534.45
Valores Pendientes (2):	0.00
Recaudación Terceros (3):	65.44
TOTAL (1 + 2 + 3):	599.89

Pagar hasta: 2015-04-08