

1. INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO

Denominación de la línea Modular (máximo 5 renglones)	Línea Alberto Magno: ciencia, tecnología y medio ambiente.
Denominación de la línea(s) Activa(s) (máximo 10 renglones)	Tecnologías Ambientales (Tecnologías limpias, tecnologías de Control Ambiental)
Pertinencia del proyecto dentro de la línea(s) Activa(s) (máximo 10 renglones)	Esta propuesta propone el desarrollo de tecnología limpia para la generación de electricidad mediante la radiación solar; por lo cual es de alta pertinencia para la línea de investigación y el grupo que la sustenta.
Programa académico o unidad académica que sustenta la línea: Ingeniería Ambiental	

Título del proyecto: DIMENSIONAMIENTO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO INTERCONECTADO A LA RED ELÉCTRICA Y DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO PARA LA EVALUACIÓN DE SU DESEMPEÑO EN EL CAMPUS SAN ALBERTO MAGNO DE LA UNIVERSIDAD SANTO TOMAS		
Investigador Principal: Andrés Julián Aristizábal Cardona Correo electrónico: andres.aristizabal@usantotomas.edu.co		
Teléfono: 3005467943		
Dirección de correspondencia: Cr. 74ª #168ª-85 Int. 3 Apto. 402		
Nombre del Grupo de Investigación: INAM-USTA - Ingeniería Ambiental		Total de Investigadores: 2
Investigadores que componen el grupo	Dirección electrónica	Calidad
1. Andrés Julián Aristizábal Cardona 2. Claudia Patricia Romero Hernández	andres.aristizabal@usantotomas.edu.co claudia.romero@usantotomas.edu.co	Ph.D en Ciencias Física Ms.C en Sistemas de Información Geográfica
Facultad y Programa Académico en el que presta servicios el investigador principal: Ingeniería Ambiental		
Línea de Investigación: Tecnologías Ambientales (Tecnologías limpias, tecnologías de Control Ambiental)		
Lugar de Ejecución del Proyecto: Ciudad: Bogotá Departamento: Cundinamarca		
Duración del Proyecto (en meses): 11		
Tipo de Proyecto: (marque con x) Investigación Aplicada () Desarrollo Tecnológico (X) Investigación Básica () Desarrollo productivo o empresarial ()		
Tipo de Financiación solicitada: Financiamiento Total: \$ 47.407.000 Valor solicitado a la Universidad (FODEIN): \$ 19.900.000 Valor Contrapartida/Unidad Académica: \$ 27.507.000 Valor Contrapartida/Convenio entidad externa: Valor total del Proyecto: \$ 47.407.000		
Descriptor / Palabras claves: Energía solar, paneles fotovoltaicos, radiación solar, temperatura, monitoreo.		

2. RESUMEN EJECUTIVO DEL PROYECTO

Con esta propuesta se aspira hacer aportes al desarrollo de nuevas formas de generación eléctrica, especialmente a partir de fuentes limpias y renovables. De un lado se desea diseñar una estación de medición que permita monitorear de manera permanente la radiación solar y la temperatura ambiente en las instalaciones de la Universidad Santo Tomás con el fin de llevar a cabo procesos de monitoreo, almacenamiento y evaluación del recurso solar en la sabana de Bogotá.

De otro lado, dimensionar, instalar y poner en operación una planta piloto (bajo condiciones de radiación solar estándar) mediante conversión fotovoltaica de la radiación solar. La planta se diseñará para que opere interconectada con la red local, dentro del concepto BIPVS (Building Integrated Photovoltaic Systems) que es una forma típica de generación distribuida (o embebida) que se está usando masivamente a nivel mundial. En este tipo de sistemas, el arreglo de módulos fotovoltaicos se instala en el techo de una casa o edificio y éste se interconecta a través de un inversor con la red local. El inversor debe permitir exportar energía eléctrica a la red cuando haya un excedente e importar energía de la red en las horas de la noche cuando no hay radiación solar. Se pretende tener aproximadamente un sistema con capacidad de generación de 900W, mediante la conexión en paralelo con la red eléctrica mediante un inversor DC/AC 110V, 60Hz.

La propuesta incluye además el diseño de un sistema de monitoreo usando instrumentación virtual, con facilidades para evaluar el desempeño de la planta y para medir los parámetros que determinan la calidad de energía generada por la misma.

3. DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

3.1 Planteamiento del Problema

En la actualidad, en Colombia se usan fundamentalmente fuentes no renovables (hidrocarburos) y fuentes con potencial finito (hidroeléctrica) para la generación de electricidad. Este tipo de generación, además de contaminar y/o producir desequilibrio ecológico no garantiza a largo plazo un cubrimiento total de la creciente demanda de energía que se da por el crecimiento de la población y de la industria. Estas circunstancias han generado un interés especial tanto nacional como mundialmente en el desarrollo de nuevas fuentes, especialmente renovables que producen un bajo nivel de contaminación ambiental. En este contexto, las autoridades Colombianas encargadas del tema de la energía han reconocido la importancia que en materia energética tiene el tema de las fuentes alternas de energía y en consecuencia en el mes de Octubre de 2001, el Ministerio de Minas y Energía expidió la Ley 697 de 2001 a través de la cual se promueve la utilización de energías alternativas en el país, entre las cuales se encuentra la generación fotovoltaica de electricidad.

De otro lado, el país firmó el protocolo de Kyoto, que lo obliga a asumir compromisos tendientes a reducir la emisión de gases contaminantes. Este hecho exige la implementación de estrategias para cumplir con las metas de reducción de emisiones contaminantes. Una de estas estrategias es la sustitución de plantas de generación convencional (especialmente diesel) por plantas generadoras de electricidad a partir de fuentes renovables. Por las razones mencionadas, a nivel mundial y nacional se le da una alta prioridad a la búsqueda de nuevas fuentes de generación de electricidad. Entre ellas, la generación de electricidad vía conversión fotovoltaica de la energía solar es considerada como una de las más importantes, debido a que usa la radiación solar como fuente primaria en teoría inagotable, y a que desde el punto de vista técnico la energía eléctrica generada fotovoltaicamente cumple los estándares de calidad que se exigen internacionalmente.

Desde el punto de vista económico, la generación fotovoltaica tiene en la actualidad limitaciones debido a que el kWh generado fotovoltaicamente es significativamente mayor que el generado convencionalmente. Sin embargo, actualmente se encuentran en ejecución estrategias que garantizan que en el mediano plazo el costo de la energía generada fotovoltaicamente podrá ser igual o inferior al de la generada convencionalmente. Estas incluyen entre otras la reducción de costos mediante aumento de la capacidad de producción de módulos soportada por un aumento de la demanda mundial impulsada por incentivos gubernamentales especiales y la incorporación de nuevas normas regulatorias que dan tratamiento económico privilegiado a la generación no convencional. Otra de las estrategias de reducción de costos es la incorporación de nuevas tecnologías (de segunda y tercera generación) para la fabricación de módulos, que permiten mejorar significativamente la relación

eficiencia/costo en comparación con la obtenida usando la tecnología dominante que es la de silicio (también denominada de primera generación).

Otra de las grandes ventajas de la generación fotovoltaica es su carácter distribuido que puede utilizarse para apoyar a las redes eléctricas y así disminuir las sobrecargas y las pérdidas en líneas y transformadores durante las horas de máxima carga, al aproximar la generación al consumo, gracias a la correlación temporal existente entre los perfiles de consumo y de producción a lo largo del día.

3.2 MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

3.2.1 Sistemas fotovoltaicos (SFV)

En la actualidad, los sistemas fotovoltaicos interconectados (SFIR) están siendo usados como complemento a la generación convencional en numerosos países [1,2,3]. Las aplicaciones van desde generación a pequeña escala en áreas remotas en los pasados 25 años, hasta instalación de estaciones centralizadas con capacidad de generación fotovoltaica a gran escala.

Los trabajos pioneros de Dan Shugar of Pasific Gas and Electric (PG&E) han mostrado que el uso de la generación FV puede ser una solución efectiva para los problemas de sobrecarga y de calidad de la potencia eléctrica en puntos críticos de la red de interconexión [4,5]. Esto es aplicado con mayor fuerza en países en vía de desarrollo, ya que en estos países con frecuencia la demanda de electricidad sobrepasa la capacidad de generación, especialmente en épocas de intenso verano.

El primer gran programa de generación FV distribuida fue el programa Alemán conocido como “Programa de los 1000 techos” iniciado en 1990 y que al final terminó instalando sistemas de alrededor de 3 kWp en los techos de 1750 casas [3]. Los sistemas fueron instalados por usuarios privados con apreciable subsidio gubernamental (50-70%). En 1999 el Gobierno Alemán implementó un nuevo programa cuya meta era de 100.000 nuevos sistemas instalados en techos de residencias.

En 1994 se instalaron en Japón 577 sistemas FV residenciales (de alrededor de 3 kW) y posteriormente en 1996 se instalaron otros 1866 sistemas adicionales todos con subsidio gubernamental del 50% [6]. En 1997 se dio un masivo incremento de este tipo de sistemas con subsidios del 33%. El Programa Japonés ha instalado cerca de 70.000 SFV en tejados (210 MW) e instaló 4.6 GW (correspondiente a 1.5 millones de sistemas) al final del 2010 [7].

En los últimos años, la industria fotovoltaica ha tenido un crecimiento explosivo como consecuencia de las políticas gubernamentales de subsidio al uso residencial de sistemas fotovoltaicos. Como consecuencia de esto, la industria fotovoltaica ha crecido en los últimos 5 años a un ritmo del 30% [8,9].

3.2.2 Generador Fotovoltaico

En la actualidad el mercado mundial de módulos FV es dominado por la tecnología de Silicio mono y policristalino (denominada tecnología de primera generación) y se prevé que este dominio continuará durante la próxima década. Sin embargo, la tecnología de película delgada (también denominada tecnología de segunda generación) que recientemente hizo tránsito a la escala de producción industrial, ha sido relativamente exitosa a tal punto que se prevé que esta será la tecnología que dominará el mercado mundial de módulos FV. Mas del 80% de la producción mundial actual de módulos FV corresponde a la tecnología de silicio mono y policristalino mientras que la tecnología de capa delgada contribuye con alrededor del 12 % [10].

La mayor limitante de la generación fotovoltaica es su alto costo comparado con la generación convencional, sin embargo existe una marcada tendencia a la reducción, como consecuencia de la incorporación de nuevas tecnologías, pero sobre todo debido al aumento de la capacidad de producción de módulos. La tendencia global de costos por Wpico de módulos FV fabricados con tecnología de silicio depende de la capacidad de producción [11] y de la capacidad acumulada instalada de sistemas fotovoltaicos a nivel mundial [12]. En los últimos 30 años el precio del Wp ha venido decreciendo aproximadamente en un 19% al tiempo que la capacidad de producción se duplica. Si esta tendencia continua, el precio de US 1\$/Wp podría ser alcanzado cuando la capacidad de producción acumulado por año sea de aproximadamente 105 MWp [11].

De otro lado es importante mencionar que la incorporación de la tecnología de capa delgada ha sido relativamente exitosa ya que efectivamente el costo de manufactura de módulos fabricados con esta tecnología es del orden de 1.5 a 2 US\$/Wp para la primera generación de plantas con una capacidad de producción de unos pocos MWp/año. La proyección futura es que los costos de este tipo de módulos se reduzcan alrededor de 0.4 US\$/Wp para volúmenes grandes de manufactura [13].

Teniendo en cuenta que la tendencia del precio del kWh generado fotovoltaicamente es a reducirse con el aumento de la capacidad de producción de módulos y de la incorporación de la tecnología de capa delgada y que la del precio del kWh generado convencionalmente es incrementarse como consecuencia del aumento del precio de los hidrocarburos y de la demanda, resulta alentador los esfuerzos por usar la tecnología fotovoltaica como alternativa de generación de electricidad. En este contexto vale la pena mencionar que recientemente se

inició a nivel mundial un nuevo programa encaminado a reducir aún más la relación eficiencia/costo de módulos FV a través del desarrollo de nuevos materiales fotovoltaicos orgánicos de bajo costo [14] y el desarrollo de nuevos materiales denominados de tercera generación que aun están en la etapa de diseño y no se producen a nivel de laboratorio. Estos últimos tendrían eficiencias cuánticas mayor que 1, lo cual permitiría fabricar dispositivos FV con eficiencias mucho mayores que las de las celdas actuales [15].

3.2.3 Tecnología de módulos de primera generación

La tecnología de celdas solares de silicio se inició en 1954, cuando investigadores de los laboratorios Bell de USA reportaron por primera la fabricación de una celda solar tipo p/n de silicio con una eficiencia del 6% [16]. Dos años más tarde, la eficiencia de este tipo de dispositivos alcanzó la barrera del 10% y en 1958 se lanzó el primer satélite (Vanguard I) que utilizó módulos solares fabricados con celdas de Si con eficiencias cercanas al 12%. Durante los siguientes 10 años se hicieron avances significativos en esta tecnología, lográndose eficiencias cercanas al 18% y los módulos fueron usados exclusivamente para aplicaciones espaciales. En 1979, la compañía alemana AEG - Telefunken fabricó por primera vez módulos de Si (cristalino y policristalino) para uso terrestre [17] y en 1982 se instaló en California, USA, la primera planta fotovoltaica con capacidad de generación en la escala de los MW. En los siguientes 25 años la eficiencia de las celdas de Si a nivel de laboratorio y a nivel de producción industrial se incrementó significativamente sobre todo por los aportes hechos por el grupo de Martin Green de la Universidad de Nueva Sur Gales (UNSW)-Australia, quienes desarrollaron celdas de 2x2 cm² con eficiencias del 24.4% y módulos de 30x30 cm² con eficiencias del 22.7% usando un concepto tecnológico avanzado denominado PERL (passivated emitter rear-locally diffused) [18]. Estas eficiencias son las máximas logradas hasta el momento para celdas y módulos de Si a nivel de laboratorio. A nivel de producción industrial, la eficiencia de módulos de Si que están disponibles en el mercado varía entre 10.5 y 16% dependiendo de la calidad del material de partida y de la estructura y tecnología usada para la fabricación de las celdas que constituyen el módulo [19]. En promedio, la eficiencia de los módulos de Si disponibles en el mercado es de 13%.

3.2.4 Tecnología de módulos de segunda generación

Las celdas solares desarrolladas con tecnología de película delgada, que surgieron como alternativa frente a las celdas mono y policristalinas de Si, triplicaron su eficiencia en los últimos 25 años. Tres tecnologías lideran esta actividad: CIGS, CdTe y Si amorfo (a-Si); esta última tiene un aporte significativo en la producción mundial con un 11.7%, sin embargo su aplicación es en el rango de baja potencia y no en plantas de gran capacidad de generación. De otro lado, las celdas solares (de CdTe y CIS) producidas con tecnología de película delgada

policristalina presentan una baja eficiencia en la conversión fotovoltaica en comparación con las celdas de Si monocristalino, sin embargo han hecho tránsito en forma exitosa a la producción industrial. A pesar de que la contribución de la tecnología de capa delgada en la producción mundial de módulos es sólo del 0.7% estas se presentan como fuertes competidoras de la tecnología de Si, debido al bajo costo de la producción.

La máxima eficiencia alcanzada a nivel de laboratorio hasta el momento con celdas solares de segunda generación es del 19.3% y fue lograda por científicos de NREL(Nacional Renewable Energy Laboratory) [20] usando una estructura Mo/CIGS/CdS/ZnO.

3.2.5 Perspectivas futuras de la tecnología fotovoltaica

Con los combustibles fósiles en la frontera de la extinción, las fuentes renovables se ven como potenciales prospectos de energía. La tecnología solar fotovoltaica es una de tales fuentes que se ha levantado a través de vasta investigación y ha logrado un considerable mejoramiento en su desempeño [21].

Waldau ha observado que la energía fotovoltaica es una de las industrias de más rápido crecimiento en todo el mundo y con el fin de mantener esta tasa de crecimiento, existe la necesidad de nuevos desarrollos con respecto al uso de materiales y al consumo, mejorar el diseño del dispositivo, la fiabilidad y la producción de tecnologías; así como nuevos conceptos para aumentar la eficiencia global [22].

Feltrin et al. analiza varias tecnologías fotovoltaicas que van desde películas delgadas de silicio multi unión, concentradores solares y sistemas para el despliegue al nivel de teravatios de las celdas solares existentes; y para cada tecnología identifica mejoras e innovaciones necesarias para su posterior ampliación [23].

Actualmente, el mercado de FV se compone de una amplia gama de materiales y procesos de fabricación que conducen a la transferencia de conocimientos en cuanto a eficacia e idoneidad de las tecnologías disponibles [24].

La aparición y rápida expansión de las diferentes tecnologías fotovoltaicas han puesto de relieve el potencial de la energía fotovoltaica para convertirse en una de las principales fuentes de energía del mundo. Un parámetro clave en la integración de diferentes tecnologías fotovoltaicas es el conocimiento de su desempeño y su potencial en las condiciones climáticas del lugar en particular de operación [25].

3.3 JUSTIFICACIÓN

Debido a las reservas finitas de hidrocarburos, al potencial hidroeléctrico limitado y a la creciente demanda de electricidad como consecuencia del crecimiento de la industria y población mundial, los especialistas predicen que a mediano o largo plazo, habrá que generar electricidad a partir de nuevas fuentes para poder mantener un equilibrio entre la oferta y la demanda de electricidad tanto a nivel mundial como nacionalmente. Afortunadamente, las autoridades Colombianas evaluaron en su momento esta situación y a través del Ministerio de Minas y Energía expidió la Ley 697 de 2001 que promueve la utilización de energías alternativas en el país, entre las cuales incluye la generación fotovoltaica de electricidad.

Teniendo en cuenta el enorme potencial solar que existe en muchas regiones del país y el carácter renovable de la energía solar, la generación fotovoltaica es una excelente alternativa que el país tiene para sumarle a la generación convencional y de esta manera lograr en el futuro el equilibrio entre la oferta y la demanda. Por esta razón, creemos que en algún momento el país tomará la decisión política de incorporar plantas solares en el Sistema Interconectado. Si se desea tener la capacidad técnica para la instalación, operación y mantenimiento de plantas solares con ingeniería Colombiana, cuando el país tome esta decisión política, es necesario empezar desde ya a adquirir experiencia en este campo y a capacitar los profesionales que se requieren para realizar con éxito todas las actividades que demanda esta nueva y compleja tecnología. Una de las formas de poder lograr esta meta, es a través de la ejecución de proyectos como el que estamos proponiendo.

Recientemente el país se comprometió (en el marco del protocolo de Kyoto) a reducir la emisión de gases que generan sobrecalentamiento de la tierra. Una contribución importante a la reducción de la emisión de este tipo de gases se podría hacer reduciendo en el futuro, el crecimiento de la generación termoeléctrica e incorporando en su lugar plantas solares al Sistema Interconectado. La sustitución de plantas diesel en zonas remotas no interconectadas por plantas solares también podría contribuir al cumplimiento de las metas establecidas en el protocolo de Kyoto. Por consiguiente, desde el punto de vista ambiental, el desarrollo de este tipo de proyectos es altamente conveniente y pertinente.

Como la generación fotovoltaica se efectúa en el propio lugar de consumo, las plantas solares son ideales para operación embebida. En este tipo de operación, las pérdidas de transporte y distribución se reducen significativamente. Adicionalmente, debido a que las horas de máxima generación coinciden con las horas de mayor demanda, se logra un beneficio adicional al obtener un aplanamiento de la curva de carga de la red de distribución. Por consiguiente, la puesta en operación y monitoreo de una planta solar piloto como la que estamos proponiendo permite evaluar las ventajas e impacto de sistemas embebidos sobre el sistema interconectado.

En esta propuesta se propone el desarrollo de nuevos sistemas de generación de electricidad para lo cual se hace de un lado apropiación tecnológica y de otro lado el dimensionamiento del sistema a partir de información de la radiación solar medida en la zona de instalación y de las características de la carga. También se hace innovación en aspectos relacionados con el diseño y monitoreo del desempeño de los sistemas para garantizar que cumplan con los estándares de calidad de energía exigidos nacionalmente e internacionalmente tanto a la generación fotovoltaica como a la generación convencional.

Otro aspecto importante de este proyecto es que el nuevo sistema de generación de energía que se propone, se basa en la conversión fotovoltaica de la energía solar que se enmarca dentro de las denominadas energías alternativas renovables, que es un campo de especial interés para el país.

3.4 OBJETIVO GENERAL

El objetivo general de este proyecto es dimensionar e instalar un sistema fotovoltaico (SFV) interconectado con la red eléctrica en el campus San Alberto Magno de la Universidad Santo Tomás con el fin de evaluar el impacto de la energía solar como fuente de energía alternativa para apoyar el suministro de electricidad en las líneas de potencia eléctrica y el diseño de una estación automática para la medición, almacenamiento y evaluación de la radiación solar global, la temperatura ambiente y los parámetros de desempeño y de calidad de energía de la planta solar.

3.4.1 Objetivos Específicos

- Determinar el potencial de radiación solar en la sabana de Bogotá mediante la construcción de mapas de radiación solar global y de temperatura ambiente a través de sistemas de información geográfica, para evaluar la producción de electricidad mediante la planta solar fotovoltaica.
- Dimensionar un prototipo de sistema fotovoltaico (SFV): generador e inversor DC/AC conectado a la red eléctrica de 110 Vrms, 60 Hz del campus San Alberto Magno de la institución con el fin de apoyar el suministro de energía mediante la conversión fotovoltaica de la radiación solar.
- Instalar y poner en funcionamiento el prototipo de planta solar interconectada con la red eléctrica acorde a las normas de seguridad eléctrica.
- Diseñar un sistema de monitoreo mediante instrumentación virtual de la radiación solar, la temperatura ambiente y los parámetros que determinan el desempeño y la calidad de energía generada por la planta fotovoltaica.

- Apoyar mediante la realización del proyecto el quehacer investigativo del programa de Ingeniería Ambiental de la Universidad Santo Tomás y la creación de la Maestría en Tecnologías Limpias que actualmente se adelanta en la Facultad de Ingeniería Ambiental.

3.5 METODOLOGÍA

Fase 1: Levantamiento, tratamiento y análisis de los datos de radiación solar y temperatura ambiente para la construcción de mapas que permitan estimar las zonas de mayor concentración de potencial solar en Bogotá. Además se realizará la discusión de los detalles finales del diseño y dimensionamiento de la planta solar piloto e inicio de trámites de adquisición de los equipos requeridos para su instalación y prueba. El diseño se realizará teniendo en cuenta que la planta operará bajo el concepto BIPVS donde el generador FV se instala típicamente en el techo de una casa y se interconecta a través de un inversor con la red local. El inversor debe permitir exportar energía eléctrica a la red cuando haya un excedente e importar energía de la red en las horas de la noche cuando no hay radiación solar.

Fase 2: Instalación y prueba de la Planta Solar Interconectada. Esta actividad se realizará teniendo en cuenta los requerimientos respectivos en cuanto a seguridad eléctrica del Código Eléctrico Colombiano.

Fase 3: Diseño del sistema de monitoreo del desempeño de la planta solar y para medir y evaluar radiación solar, temperatura y los parámetros de calidad de la planta.

El equipo a ser diseñado está constituido por los siguientes elementos:

- a.) Transductores de corriente DC y AC y sensores de radiación y temperatura.
- b.) Computador.
- c.) Software de programación gráfica LabVIEW.

3.6 REFERENCIAS

- [1] R. Poroski. Proc. 2nd World Conference on Solar Energy Conversion, Wien (1998).
- [2] A. S. Diniz, J. G. F. Rosa and C.A. Alvarenga, Proc. 2nd World Conference on Solar Energy Conversion, Wien (1998).
- [3] W.H Bloss, F. Pfisterer, W. Kleinkauf, M. Landau, H. Weber and H. Hullman, Proc.10th European Photovoltaic, Solar Energy Conf., Lisbon (1991).
- [4] D.S. Shugar, Proc. 21th IEEE Photov. Specialist Conf. (1990)836.
- [5] J.J. Iannucci and D.S. Shugar, Proc. 22th IEEE Photov. Specialist Conf. (1991).
- [6] Y. Hamakawa, Solar world Congress (ISES-97), Taejon-S. Korea (1997)
- [7] W. Hoffman, 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Munich (2001)851
- [8] A. Jaeger, " A European Roadmap for PV R&D", E-RMS Spring Meeting, 2003

- [9] M.A. Green, “ recent development in photovoltaics”, Solar Energy 76 (2004) 3-6
- [10] W. Diel, V. Sittinger and B. Szyszka, “ Thin film cell technology in Germany”, Surface & coating technology 193 (2005) 329
- [11] A. Luque and S. Hegedus (Eds.), “ Handbook of photovoltaic science and engineering”, (John Wiley and Sons Inc., 2003)
- [12] K. Ogawa. “Present Status of Research and Development of PV technology in Japan”. 29th IEEE photovoltaic specialists conference, New Orleans, (2002).
- [13] K. Zwibel, Solar Energy Mat. and Solar Cells, 59 (1999)1
- [14] H. Hoppe and N. Sariciftci, “ Organic solar cells: An overview”, J. Mat. Res., Vol.19, No.7 (2004)1924.
- [15] A. Goetzberger, “ Solar cell materials and technology: From the past to the future”, 17th European Photovoltaic Solar energy Conf., Munich-Germany (2001) 9
- [16] D.D.. Chapin, C.S. Fuller and G.L. Pearson, “ A new silicon p-n junction fotocell for converting solar radiation into electricity”, J. Appl. Phys., 25 (1954)676
- [17] H. Goherman and G. Wahl, “ Experimental studien zur Entwicklungsdefinition von terrestrischen Solarzellen-Generation”, BMFT Fortschingsbericht T 79-143, Kernfortschingszentrum, Egenstein, Dec. 1979.
- [18] M. Green, J. Zhao and A. Wang, “ 23% module and other silicon solar cells advances”, 2nd World Conference on Photovoltaic Solar Energy Conversion, Vienna-Austria (1998).
- [19] G. P. Willeke, “The crystalline silicon solar cell- history. Achievements and perspectives”, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Paris (2004)
- [20] H.S. Ullal, “ Polycrystalline thin film photovoltaic technology: progress and technical issues”, 19th European photovoltaic solar energy conference, Paris (2004)
- [21] B. Parida, S. Iniyar, R. Goic; “A Review of Solar Photovoltaic Technologies”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 15, Issue 3 (2011), p. 1625-1636.
- [22] Jager-Waldau A. European photovoltaics in worldwide comparison. Journal of Non-Crystalline Solids 2006;352:1922–7.
- [23] Feltrin A, Freundlich A. Material considerations for terawatt level deployment of photovoltaics. Renewable Energy 2008;33:180–5.
- [24] L. Shi, M. Yit, L. Chew, “A review on sustainable design of renewable energy systems”; Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 16 (2012), p. 192– 207.
- [25] G. Makrides, B. Zinsser, M. Norton, G. Georghiou, M. Schubert, H. Werner; “Potential of photovoltaic systems in countries with high solar irradiation”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 14 (2010), p. 754-762.

3.7 CRONOGRAMA GENERAL

Tabla 3.7.1 Distribución de actividades del proyecto

Actividades	MES										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Construcción de mapas de radiación solar y temperatura ambiente											
Diseño y dimensionamiento de la planta solar											
Adquisición de equipos											
Instalación y prueba de la planta solar											
Diseño del sistema de monitoreo											
Informe final y preparación de artículo											

3.8 RESULTADOS Y PRODUCTOS ESPERADOS

Tabla 3.8.1 Generación de nuevo conocimiento

Resultado/Producto esperado	Beneficiario
Mapas actualizados de radiación solar y temperatura ambiente	Comunidad científica colombiana
Método de dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos interconectados	Universidad Santo Tomás
Diseño de un sistema de monitoreo mediante instrumentación virtual para evaluar el desempeño de la planta y las variables de radiación solar y temperatura ambiente.	Universidad Santo Tomás, comunidad académica, industria.

Tabla 3.8.2 Fortalecimiento de la comunidad científica

Resultado/Producto esperado	Beneficiario
Mapas consolidados de radiación solar y temperatura ambiente disponibles para la comunidad científica.	Comunidad científica colombiana
Prototipo de planta solar FV interconectada con la red eléctrica funcional: para desarrollo de prácticas de energía o caracterización de paneles FVs. Artículo científico	Comunidad científica colombiana
Diseño funcional mediante instrumentación virtual para monitorear no solo sistemas FV sino cualquier tipo de fuente de generación de energía eléctrica.	Universidad Santo Tomás, comunidad académica, industria.

Tabla 3.8.3 Apropiación social del conocimiento

Resultado/Producto esperado	Beneficiario
Curso de energía solar fotovoltaica	Comunidad académica colombiana, creación Maestría en Tecnologías Limpias de la Facultad de Ingeniería Ambiental - USTA
Prototipo para prácticas de energía renovable del curso: Investigación e Innovación Tecnológica de Ingeniería Ambiental de la Universidad Santo Tomás	Universidad Santo Tomás
Informe de desempeño de la planta solar fv y de cumplimiento de normatividad.	Universidad Santo Tomás, comunidad académica, industria.
Informe de evaluación económica del sistema fv	Universidad Santo Tomás, comunidad académica, industria.

3.9 IMPACTOS ESPERADOS A PARTIR DEL USO DE LOS RESULTADOS

Tabla 3.9.1 Impactos esperados:

Impacto esperado	Plazo después de finalizado el proyecto: corto, mediano, largo	Supuestos
Productividad: Uso de los mapas actualizados de radiación solar y temperatura ambiente por parte de la comunidad científica.	Mediano plazo	Publicación de artículos y ponencias para socialización de los resultados de los mapas.
Productividad: Apoyo de las redes eléctricas convencionales mediante la instalación de fuentes distribuidas de potencias mediante energía limpia a nivel urbano en horas pico.	Largo plazo	Impulso masivo de políticas gubernamentales para la financiación e instalación de sistemas de energía limpia distribuida a nivel urbano.
Productividad: mejoramiento de estabilidad de tensión y frecuencia y en general de calidad de potencia de las redes eléctricas mediante la instalación de sistemas de energía limpia.	Largo plazo	Instalación de sistemas de generación distribuida por parte de las empresas prestadoras de energía eléctrica.

Social, productividad, competitividad: Definición y elaboración de normatividad apropiada por parte del gobierno para el uso e instalación de sistemas de generación distribuida.	Mediano plazo	Concientización por parte de Icontec, la CREG, y el gobierno en general de la necesidad de que Colombia haga parte de los países que deben concebir la generación de energía limpia en todos los sectores.
Social: disponibilidad del conocimiento relacionado para el dimensionamiento de este tipo de plantas para cualquier usuario.	Corto Plazo	Publicación de artículo, socialización del proyecto y sus resultados.
Social: disponibilidad de prototipo de planta solar interconectada para la realización de prácticas académicas.	Corto Plazo	Creación de convenios interinstitucionales para la utilización del prototipo
Ambiental: reducción de gases de efecto invernadero mediante la instalación de este tipo de plantas solares	Largo plazo	Impulso masivo de políticas gubernamentales para la financiación e instalación de sistemas de energía limpia distribuida a nivel urbano.
Económicos: se crea un nuevo mercado de tecnología fv y de inversores de conexión a red y se potencializa el actual de generación y comercio de energía eléctrica	Largo plazo	Impulso masivo de políticas gubernamentales para la financiación e instalación de sistemas de energía limpia distribuida a nivel urbano.

4 PRESUPUESTO

Tabla 4.1 Presupuesto global de la propuesta por fuentes de financiación (en miles de \$).

RUBROS FINANCIABLES	FUENTES		TOTAL
	FODEIN	Contrapartida	
PERSONAL		\$ 27.507	\$ 27.507
EQUIPOS	\$ 17.000		\$ 17.000
SOFTWARE			
MATERIALES	\$1.900		\$ 1.900
SALIDAS DE CAMPO			
MATERIAL BIBLIOGRÁFICO			
PUBLICACIONES Y PATENTES			
SERVICIOS TÉCNICOS	\$ 1.000		\$ 1.000
VIAJES			
TOTAL	\$ 19.900	\$ 27.507	\$ 47.407

Tabla 4.2 Descripción de los gastos de personal (en miles de \$).

Investigador	Formación Académica	Función Dentro Del Proyecto	Dedicación Horas / Semana	Recursos		Total
				FODEIN	Contrapartida	
Andrés Julián Aristizábal Cardona	Doctorado en Ciencias Física, Posdoctorado en Energía Solar FV Distribuida	Investigador Principal: coordinación del proyecto, diseño y dimensionamiento de la planta solar, diseño del sistema de monitoreo, realización de informes y artículo.	15		\$ 18.707	\$ 18.707
Claudia Patricia Romero Hernández	Magíster de Sistemas de Información Geográfica	Co investigadora: elaboración de mapas de radiación solar y temperatura ambiente mediante sistemas de información geográfica.	10		\$ 8.800	\$ 8.800
TOTAL					\$ 27.507	\$ 27.507

Tabla 4.3 Descripción de los equipos que se planea adquirir (en miles de \$).

Equipo	Justificación	Recursos		Total
		FODEIN	Contrapartida	
Paneles solares fotovoltaicos	conformarán el generador FV	\$ 11.000		\$11.000
Inversor DC/AC de conexión a red	Para conexión del generador FV a la red	\$ 6.000		\$ 6.000
TOTAL		\$ 17.000		\$ 17.000

Tabla 4.4 Materiales y suministros (en miles de \$)

Materiales*	Justificación	Valor
Estructura metálica	Soporte de los paneles solares FV	\$ 600
Puesta a tierra	Sistema de puesta tierra del sistema FV	\$ 600
Tablero de distribución con protecciones	Conexión en paralelo de la red eléctrica y el SFV.	\$ 500
Cableado y tubería corrugada	Interconexiones eléctricas del SFV	\$ 200
TOTAL		\$ 1.900

Tabla 4.5 Servicios Técnicos (en miles de \$)

Tipo de servicio	Justificación	Valor
Construcción e instalación	Estructura de los paneles solares FV	\$400
Instalación	Instalación y conexión del sistema de puesta a tierra del generador FV y del inversor	\$ 600
TOTAL		\$ 1.000

5. FICHA RESUMEN HOJA DE VIDA

HOJA DE VIDA (RESUMEN)			
DATOS DE IDENTIFICACIÓN:			
Apellidos: Aristizábal Cardona		Fecha de Nacimiento: 12-09-1980	
Nombre: Andrés Julián		Nacionalidad: Colombiano	
Correo electrónico: andres.aristizabal@usantotomas.edu.co		Documento de identidad 16.072.336	Telf. fijo o celular: 3005467943
Cargo o posición actual: Docente Ingeniería Ambiental Universidad Santo Tomás			
PROGRAMA ACADÉMICO EN EL QUE PRESTA SUS SERVICIOS: Ingeniería Ambiental			
FACULTAD/DEPARTAMENTO: Ingeniería Ambiental			
TIPO DE VINCULACIÓN: Tiempo completo ☒ Medio Tiempo ☐ Cátedra ☐			
TIPO DE INVESTIGADOR: PRINCIPAL ☒ COINVESTIGADOR ☐ AUXILIAR ☐			
GRUPO(S) DE INVESTIGACIÓN AL CUAL PERTENECE (INDICAR CATEGORÍA EN COLCIENCIAS): INAM – USTA – Ingeniería Ambiental, sin categoría			
FORMACIÓN (área/disciplina)	TÍTULO OBTENIDO	Entidad	Año
Ph.D en Ciencias Física Posdoctorado en Energía Solar FV Distribuida	Profesional ☒ Especializa. ☐ Maestría ☐ Doctorado ☒	Universidad Nacional de Colombia	2004,2008, 2010
CAMPOS DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA EN LOS CUALES ES EXPERTO: Energía solar fotovoltaica Instrumentación electrónica Instrumentación virtual Sistemas de monitoreo Calidad de potencia eléctrica			
CARGOS DESEMPEÑADOS (tipo de posición, institución, fecha) EN LOS ÚLTIMOS 3 AÑOS: Docente Ingeniería Electrónica, Universidad Central, Marzo 2009 – Diciembre 2012. Docente Ingeniería Ambiental, Universidad Santo Tomás, Agosto 2012 – Actual.			

PUBLICACIONES RECIENTES (Por lo menos las cinco publicaciones más importantes que haya hecho en los últimos tres años):

- **Andrés Julián Aristizábal**, C. Arredondo y G. Gordillo. "Investigation Of AgInSe₂ thin films grown by co-evaporation". 34rd IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Filadelfia, U.S.A, Junio 7 -12 de 2009 (ISSN: 0160-8371).
- **Andrés Julián Aristizábal**, J. Hernández, N. Díaz y G. Gordillo. "Development of Method to estimate the energy generated by a BIPV System". IEEE Electrical Power and Energy Conference, Montrela-Canadá, 2009.
- **Andrés Julián Aristizábal**, M. Botero, G. Gordillo. "Evaluación del Desempeño Energético de un Sistema BIPVSde 3.4 kW y Dimensionamiento de un sistema BIPVS para un Usuario doméstico Típico en Bogotá, Colombia". Segunda Conferencia Ibero-americana de Ingeniería e Innovación Tecnológica CIIIT 2010, Orlando, USA, 2010.
- **Andrés Julián Aristizábal**, J.Rojas, J. Alfonso, J.Cortés. "Diseño e Implementación de un Dispositivo Electrónico Portable para Medir, Procesar, Visualizar y Almacenar Datos de Concentraciones de Gases Contaminantes en las Empresas Manufactureras". Segunda Conferencia Ibero-americana de Ingeniería e Innovación Tecnológica CIIIT 2010, Orlando, USA, 2010.
- **Andrés Julián Aristizábal**, G. Gordillo. "Performance and economic evaluation of the first grid - connected installation in Colombia, over 4 years of continuous operation". International Journal of Sustainable Energy. 2010.
- **Andrés Julián Aristizábal**, Osacr J. Tamín. "Diseño e implementación de una estación de monitoreo automática para medir humedad relativa, temperatura ambiente y luz incidente en invernaderos, usando instrumentación virtual". XXIV Congreso Nacional de Física, Bogotá, Octubre 3 – 7, 2011.
- **Andrés Julián Aristizábal**, Mónica Botero, Daniel Peña. "Implementación de una estación de monitoreo de radiación solar global, velocidad y dirección del viento y temperatura ambiente usando instrumentación virtual". 3er Congreso Internacional de Ingeniería Mecatrónica, Bucaramanga, Octubre 5 – 7, 2011.
- **Andrés Julián Aristizábal Cardona**, "Application of autoregressive model with exogenous inputs to identify and analyse patterns of solar global radiation and ambient temperature". En: Inglaterra International Journal Of Ambient Energy ISSN: 0143-0750, Aprl. 2012

PATENTES, PROTOTIPOS U OTRO TIPO DE PRODUCTOS TECNOLÓGICOS O DE INVESTIGACIÓN OBTENIDOS EN LOS ÚLTIMOS 3 AÑOS:

ANDRES JULIAN ARISTIZABAL CARDONA, Diseño e implementación de una estación automática de medición de radiación solar global, temperatura ambiente, velocidad y dirección del viento empleando instrumentación virtual, Nombre comercial: En: Colombia, 2010,

ANDRES JULIAN ARISTIZABAL CARDONA, Diseño y Construcción de un Dispositivo que permita medir la Turbidez de Agua, Nombre comercial: En: Colombia, 2011,

ANDRES JULIAN ARISTIZABAL CARDONA, Medidor de gases contaminantes emitidos por empresas del sector industrial en Bogotá enfocado hacia las PYMES, Nombre comercial: En: Colombia, 2009,

HOJA DE VIDA (RESUMEN)

DATOS DE IDENTIFICACIÓN:

Apellidos: ROMERO HERNANDEZ	Fecha de Nacimiento 08-12-1973	
Nombre: CLAUDIA PATRICIA	Nacionalidad: COLOMBIANA	
Correo electrónico: Claudia.romero@usantotomas.edu.co	Documento de identidad 52221705	Telf. fijo o celular 3174417038
Cargo o posición actual: Docente tiempo completo		

PROGRAMA ACADÉMICO EN EL QUE PRESTA SUS SERVICIOS:			
FACULTAD/DEPARTAMENTO: Ingeniería Ambiental			
TIPO DE VINCULACIÓN: Tiempo completo ☒ Medio Tiempo ☐ Cátedra ☐			
TIPO DE INVESTIGADOR: PRINCIPAL ☐ COINVESTIGADOR ☒ AUXILIAR ☐			
GRUPO(S) DE INVESTIGACIÓN AL CUAL PERTENECE (INDICAR CATEGORÍA EN COLCIENCIAS):			
IDEA Categoría 1ª INAM-USTA ,Sin Categoría			
FORMACIÓN (área/disciplina)	TÍTULO OBTENIDO	Entidad	Año
Maestría en Sistemas de Información Geográfica	Profesional ☒	Universidad Distrital Francisco José de Caldas	2002
	Especializa. ☐		
	Maestría ☒	Universidad de Sevilla- España	2009
	Doctorado ☐		
CAMPOS DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA EN LOS CUALES ES EXPERTO: Sistemas de Información Geográfica, Sensores remotos y Cartografía Ordenamiento Territorial y desarrollo local.			
CARGOS DESEMPEÑADOS (tipo de posición, institución, fecha) EN LOS ÚLTIMOS 3 AÑOS: Docente Ocasional, Universidad Nacional –IDEA (3Ago-25 Nov 2011) Docente de Catedra –Universidad Central (04 Ago-30Nov 2011) Coordinadora Diplomado SIG; , Universidad Nacional –IDEA (2 Abr-4 Jun 2011) Proyecto de Investigación JointResearch Center EuropeanCommission (01 Mar- 31 May- 2011) Coordinadora Laboratorio Sistemas de Información Geográfica Universidad Nacional –IDEA (12 oct-20 Dic 2010) Coordinadora Diplomado SIG; , Universidad Nacional –IDEA (4 Oct- 27 Nov 2010) Docente de Catedra –Universidad Externado de Colombia (01 Feb-30Jun 2010) Docente de Catedra –Universidad Nacional, Departamento de geográfica (06 Ago-04 Dic 2009) Asistente de Investigación, Universidad de Sevilla (01Jun- 30 Dic 2009)			
PUBLICACIONES RECIENTES (Por lo menos las cinco publicaciones más importantes que haya hecho en los últimos tres años): - Capítulo de Libro: “Mamíferos, Reptiles y Ecosistemas del Bloque Cubiro (Casanare), Universidad Nacional, Colaboración en Libro “Educación Ambiental y Participación ciudadana, en el departamento del Cesar, Universidad Nacional, ISBN 978-958-719-472-2,2010.ISBN 978-958-719-603-0 2011 - Ponencia: “Uso de Imágenes de satélite para el análisis y seguimiento, de los recursos hídricos disponibles en los países en vías de desarrollo”, Encuentro Nacional de Tecnologías y servicios geográficos., 2010 - Ponencia: “Feasabiity study for the analysis of annual and inter-annual evolution (1998 – 2009) of lake chad with spot-vegetation images”, AARSE2010 conference. - Estudio de Viabilidad para el análisis de la dinámica anual e interanual del lago Chad- Africa, JointResearch Center EuropeanCommission ,2009			
PATENTES, PROTOTIPOS U OTRO TIPO DE PRODUCTOS TECNOLÓGICOS O DE INVESTIGACIÓN OBTENIDOS EN LOS ÚLTIMOS 3 AÑOS:			