

# **Logística para la construcción de sistemas solares fotovoltaicos en zonas no conectadas a la red pública: caso Kantinurwa**

**Ana B. Caballero Lafaurie**

Universidad Autónoma del Caribe, Barranquilla, Colombia, anbecala\_845@hotmail.com

**Ernesto F. Cantillo Guerrero**

Universidad Autónoma del Caribe, Barranquilla, Colombia, ecantilloguerrero@hotmail.com

## **RESUMEN**

El presente artículo describe el proceso logístico para la construcción de un proyecto de energía solar fotovoltaica en zonas apartadas de la red energética, teniendo en cuenta las distintas restricciones como son: topografía colombiana y condiciones climatológicas, tiempos de entrega de proveedores y tiempos de operación de los técnicos solares. El caso de análisis es el sistema construido en el resguardo indígena Kantinurwa, ubicado en la Sierra Nevada de Santa Marta, proyecto realizado por una empresa privada colombiana, y narra todos los sucesos relacionados con las restricciones que en la práctica, ocurren en un proyecto fotovoltaico en Colombia, comparado con lo que en planeación logística se tenía previsto que debía ocurrir.

**Palabras claves:** logística, fotovoltaico, red energética, baterías, Kantinurwa.

## **ABSTRACT**

This paper describes how the logistics process for the construction of a Photovoltaic system project in remote areas of the energy grid, taking into account the various constraints, such as: topography and climatic conditions in Colombia, supplier delivery times and times operation of solar technicians. The case analysis is the system built in the indigenous reserve Kantinurwa, located in the Sierra Nevada de Santa Marta, a project undertaken by a private Colombian company, and narrates all events related to the restrictions in practice occurring in a photovoltaic project in Colombia, compared with what was planned logistics planning that should occur.

**Keywords:** logistic, photovoltaic, energy grid, batteries, Kantinurwa.

## **1. INTRODUCCIÓN**

La energía solar fotovoltaica permite transformar en electricidad la radiación solar por medio de células fotovoltaicas integrantes de módulos solares (Méndez, 2007). Esta generación de energía se da gracias al conjunto de equipos conocido en el mercado colombiano como el sistema solar fotovoltaico o instalaciones fotovoltaicas. Para el 2008, la industria solar fotovoltaica registró un crecimiento de un 11% con ventas aproximadas de 37,1 billones de dólares donde Alemania y España representaron más del 50% del mercado (Solar Buzz, 2009). Se destaca también para el mismo año las ventas de 25 Megawatios en edificaciones que poseen sistemas solares fotovoltaicos integrados, conocidas como BIPV por sus siglas en inglés, y el incremento de las centrales solares de gran escala en España y Alemania, y en otros países donde aun no tenía presencia las centrales solares como son República Checa, Italia, Francia, China, India y Estados Unidos (REN21, 2009). De todos los casos internacionales sobre el mercado fotovoltaico, el principal a destacar es el de Alemania, país que tiene claramente definido una política de promoción en energías renovables conocida como la ley de energías renovables (BEE, 2009), donde dichas políticas han logrado promover la expansión de la electrificación urbana, distribuida al 2008

así: 40% en edificios y viviendas particulares, 50% en empresas e industrias y 10% en centrales solares (ICEX, 2008).

Analizando el caso de Colombia, se estima que el mercado consume 300 KW en sistemas solares fotovoltaicos al año (Rodríguez, 2008), cifra demasiado pequeña para ser representativa en el mercado mundial, que a 2010 proyectó un consumo de 8,2 GW (EPIA, 2010). El tipo de sistema característico de Colombia es el sistema fotovoltaico autónomo, el cual no tiene ninguna conexión con redes eléctricas de la red general o red pública (H. R. H., 1994) y tiende a ser usada para electrificación rural, uso agrícola, ganadero o forestal, aplicaciones militares, o en la energización de equipos alejados de la red como comunicaciones, señalización y control. Este sistema en esencia está compuesto por el módulo solar fotovoltaico, el acumulador o batería y el controlador de carga solar, se requerirán de otros equipos según el tipo de instalación o necesidad energética a abastecer.

La generación fotovoltaica en Colombia siempre se ha enfocado en el campo, debido a que los altos costos de generación originados principalmente en los costos de combustibles, y los costos de operación y mantenimiento en las distintas zonas remotas, hacen que la generación solar resulte más económica en el largo plazo y confiable (Rodríguez, 2008b). Sin embargo, para la realización de este tipo de proyectos en estas zonas, se requiere de una logística completa que permita alimentar los equipos eléctricos que lo requieran en estas áreas alejadas de la red eléctrica y cuyas condiciones de las áreas de acceso generalmente imposibilitan la transmisión de los equipos y redes que permitan cubrir las necesidades de electrificación en estas zonas (Prado, 2009).

En la sección 2 se encuentra el Estado del Arte, donde se presenta la tendencia actual hacia las energías alternativas, mostrando la inclinación por los sistemas fotovoltaicos. De igual forma, se mencionan las variables técnicas a tener en cuenta en la logística de instalación de estos sistemas en las zonas rurales. Luego, en la sección 3 se muestra el caso Kantinurwa, describiendo los procesos que se llevaron a cabo antes y durante la instalación del sistema. Finalmente, las conclusiones se describen en la sección 4.

## **2. ESTADO DEL ARTE**

La tecnología solar fotovoltaica tuvo su inicio en 1954, cuando investigadores de los laboratorios Bell de los Estados Unidos desarrollaron la primera celda solar de estado sólido usando silicio cristalino como material fotovoltaico (Chaplin et al., 1954). La energía solar fue usada inicialmente en los programas espaciales, y a partir de la década de los 70 comenzaron los programas encaminados al desarrollo de nuevos materiales fotovoltaicos con el propósito de fabricar módulos solares fotovoltaicos para uso terrestre (Oyola et al., 2007). Colombia posee pocos datos sobre el tamaño de la industria solar fotovoltaica.

El estudio más completo que se posee es el censo y evaluación de sistema solares fotovoltaicos instalados en Colombia, elaborado por el desaparecido Instituto de Ciencias Nucleares y Energías Alternativas – INEA, para el año 1996, documento en el que se realiza un diagnóstico de la industria en Colombia entre los años 80 y 90, resaltando como con el paso del tiempo la tecnología de los módulos solares fotovoltaicos mejoró su eficiencia energética; el documento también resalta datos sobre la demanda y oferta en el sector fotovoltaico colombiano, destacando como principales segmentos de mercado el sector de las telecomunicaciones (soluciones solares en zonas remotas) y la electrificación rural.

La electrificación en zonas no conectadas a la red pública, hace referencia a llevar energía eléctrica a comunidades por fuera de las redes centralizadas que generalmente son áreas rurales. Para suplir las demandas de estas comunidades, se presentan otras alternativas de fuentes energéticas, diferentes a las tradicionales, que permiten cubrir con eficiencia el servicio, logrando un desarrollo autónomo y sostenible empleando los recursos que se encuentran en la región (Escobar, 2009).

La solar fotovoltaica, como es muy conocida en los medios internacionales hispanohablantes, se ha convertido en una de las alternativas más importantes para la generación de energía en estas áreas descentralizadas. Los principales componentes para un sistema fotovoltaico son el generador fotovoltaico (paneles solares), el sistema

de almacenamiento (banco de baterías), el regulador de carga y el sistema de adaptación de corriente (inversor) (Prado, 2009b). El dimensionamiento de cada uno de estos componentes, se convierte en el primer análisis a realizar al momento de instalar un sistema fotovoltaico, pues este depende de las condiciones específicas del lugar y sus requerimientos.

Sin embargo, el análisis más profundo, debe hacerse al proceso logístico que debe tenerse en cuenta para la construcción de un proyecto de energía solar fotovoltaica en zonas apartadas de la red energética. Para esto, existen distintas restricciones, como son la topografía, las condiciones climatológicas, los tiempos de entrega de proveedores y los tiempos de operación de los técnicos solares que influyen directamente sobre los resultados del proyecto y las cuales deben ser previamente coordinadas para la oportuna entrega del mismo.

### **3. CASO KANTINURWA**

Kantinurwa es un pueblo indígena en la Sierra Nevada de Santa Marta (Colombia), donde habitan familias de la comunidad Arhuaca. Está localizado en la cara sur occidental de la Sierra y se ingresa a él por la vía que comunica a Santa Marta con Valledupar. Su altitud es de 400 metros sobre el nivel del mar, con un clima cálido y una temperatura que alcanza los 28 grados centígrados (Presidencia de la República de Colombia, sf).

La empresa “Unión Temporal Kantiniurwa Solar”, quien se conocerá de ahora en adelante y para efectos prácticos el ofertante, realiza la oferta del diseño y construcción de un sistema de generación de energía fotovoltaica el día 16 de marzo del 2009, solicitada por la Fundación Pro-sierra Nevada de Santa Marta. Ese sistema ofertado, debía de poseer la capacidad para suministrar una demanda energética aproximada de 4,8 KWh representada en iluminación, equipos consumidores en AC y dos neveras solares en DC, instalados en un colegio y una unidad de atención básica médica (UAB). Antes de la fecha descrita, el ofertante realiza los cálculos necesarios para elaborar su oferta, teniendo en cuenta dos factores de peso: el costo de equipos, accesorios de instalación y mano de obra, y los costos causados por la logística de transporte y operación de los productos y el equipo de trabajo hacia la zona.

Son características propias de la zona y que no fueron conocidas en detalle por el ofertante: acceso al resguardo a través de una trocha cuya distancia es de 24 km entre la población más cercana y el resguardo, pero la duración de transporte por carretera es de aproximadamente 4 horas (sumadas a las 2 horas de transporte desde la ciudad capital donde se ubica el ofertante, hasta la población rural más cercana al resguardo); inexistencia alguna de señal comunicación entre el resguardo y el resto del país; alto nivel de peligrosidad en la trocha dado que es de una sola vía y en gran parte de ella bordea abismo; además, en la época en que fue aprobada la construcción (Junio del 2009), empezaba las épocas de lluvias, lo que dificulta más el acceso a este tipo de sitios.

Sin tener en cuenta esos inconvenientes, el ofertante elabora el siguiente plan de trabajo, bajo el supuesto de que la obra inicia labores en un máximo de 45 días después de presentada la oferta. Es política de provisión del ofertante, manejar los proyectos bajo pedido (después de generada la orden de compra, orden de servicio, contrato o el nombre respectivo al documento que genere la solicitud oficial y legal de un producto o servicio), para no afectar el flujo de caja y poder jugar con los precios de sus proveedores quienes mantienen la oferta hasta 45 días máximo, para solicitarles los productos:

#### **3.1 PLAN DE TRABAJO**

El plan de trabajo a seguir una vez adjudicado el contrato, se define en la Tabla 1:

**Tabla 1: Cronograma de Actividades**

Ítem	ACTIVIDAD	SEMANAS										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Diseño y memorias de cálculo											
2	Solicitud a Prov. internacionales											
2,1	Orden de compra neveras			Tiempo pronosticado de llegada de pedidos	TR de llegada productos							
2,2	Orden de compra paneles solares											
2,3	Orden de compra controladores											
2,4	Orden de compra inversores											
2,5	Orden de compra tableros											
2,6	Orden de compra acc. eléctricos											
2,7	Orden de compra cableado											
2,8	Fabricación de estructuras soporte											
3	Pre-armado Juegos de Instalación											
4	Llegada de productos a Colombia						Tiempo ocioso	TR de llegada, transporte, empaque e inicio de obra				
6	Empaque de productos											
7	Transporte de materiales a la obra											
8	Inicio construcción sistema del UAB							Tiempo real de construcción				
9	Inicio construcción sistema del colegio											
10	Pruebas											
11	Capacitación y Entrega de la obra								TR			
12	Informes finales sobre los montajes										TR	

\*TR simboliza tiempo real

### 3.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS ACTIVIDADES

1. Diseño y memoria de cálculos: para las memorias de cálculo se utilizan las formulas citadas las cuales permiten establecer la dimensión o tamaño del sistema solar en generación eléctrica. Las memorias de cálculo ya estaban elaboradas para la fecha de presentación de la oferta pero dado a que la Fundación Pro-sierra Nevada de Santa Marta dejó vencer los tiempos de validez de la oferta, fue necesario recurrir al uso de otros equipos. Cantillo et al. (2011) proponen un método de cálculo. Ese método de cálculo sigue el siguiente procedimiento de formulas:

1) Cálculo del consumo eléctrico Total (ET) en Wh, utilizando los consumos en DC (EDC) y consumos en AC (EAC):

$$ET = EDC + (EAC / (1 - Fe)) \quad (1)$$

Donde, EDC es aproximadamente 0,8 KWh, dado que no contemplamos consumo eléctrico en DC; EAC equivale a 4 KWh, y Fe es el factor de pérdida de eficiencia del inversor de voltaje, equipo que transforma el voltaje en DC que se reciben de los módulos solares, en voltaje AC para que se le pueda suministrar a la mayoría de los equipos eléctricos que trabajan en AC. Ese factor de eficiencia ronda en el 10%.

2) Cálculo de la Corriente generada por el sistema fotovoltaico (GF) en Amperios (A):

$$GF = ((ET/V_s) * F_s) / Rad \quad (2)$$

Donde  $V_s$  es el voltaje del sistema o voltaje en corriente directa (VDC) en el cual armará el arreglo de módulos solares requeridos, que para este caso se sugiere sea a 24 VDC por ser una demanda energética alta en términos de energía solar fotovoltaica en Latinoamérica;  $F_s$  es el factor de seguridad, variable que tiene en cuenta el desgaste de los módulos solares con el pasar del tiempo, considerándose en la mayoría de los casos un sobredimensionamiento del 20%, lo que conlleva a que  $F_s$  sea igual 1,2.  $Rad$ , es las horas la radiación solar perpendicular sobre una superficie plana, que para efectos prácticos, suele usarse la radiación más baja reportada durante el año, que para el caso de las cuatro ciudades es de 4,89.

3) Cálculo del número de módulos requeridos:

$$\text{Módulos requeridos} = (GF * (V_s / V_m) / Imp) \quad (3)$$

$Imp$  equivale a la corriente en Amperios (A) en máxima potencia emitida por el modulo solar, valor que se encuentra en el catálogo del producto. El resultado de la operación, se aproxima al entero mayor, para poder garantizar que se poseerá los módulos necesarios para cubrir la necesidad energética;  $V_s$  el voltaje del sistema solar fotovoltaico y  $V_m$  el voltaje nominal del módulo solar a utilizar.

Otras fórmulas indispensables para determinar los otros componentes del sistema solar fotovoltaico son:

4) Cálculo de la Capacidad del banco de baterías (BB) en Amperios-hora (Ah) y número de baterías requeridas:

$$BB = ((ET / V_s) * D_a) / (1 - \% \text{ Descarga}) \quad (4)$$

Donde,  $D_a$  son los días de autonomía que se desean tener en caso de fallas en el módulo solar o inconvenientes climáticos que afecten las horas de radiación, para lo cual, se recomienda trabajar con 3 días; y el % Descarga, es la descarga máxima permitida diaria que debe realizarse a la batería con el fin de alargar la vida útil del acumulador, dato que por lo general es suministrado en los catálogos técnicos de los fabricantes de las baterías. Los instaladores en la práctica suelen trabajar con un % Descarga entre el 20 y el 30%. Calculado el BB, se debe determinar el número de baterías conectadas en serie y en paralelo, requeridas para cubrir la capacidad; para ello, se selecciona las baterías que cumplan con la capacidad, y se utiliza la siguiente formula:

$$\text{Numero de Baterías requeridas} = (BB / Ah\text{-bat}) * (V_s / V_B) \quad (5)$$

Donde  $Ah\text{-bat}$  son los Amperios-hora generados por la batería seleccionada y  $V_B$  es el voltaje de la batería seleccionada.

Controlador solar requerido (CS):

$$CS = \text{Max} (I_g, I_c) \quad (6)$$

$$\text{Donde, } I_g = Imp * NR \quad (7)$$

$$I_c = (\sum WDC_i / V_{bat}) + (\sum WAC_i / V_{ac}) \quad (8)$$

$I_g$  es la corriente en Amperios producida por el modulo solar fotovoltaico,  $NR$  es el número de ramas en paralelo del generador; y la variable  $I_c$  calculada por el cociente de las sumatorias de potencias directas (WDC) y alternas (WAC) por los respectivos voltajes según el tipo de voltaje, el voltaje de los acumuladores para la carga DC ( $V_{bat}$ ), y el voltaje en AC ( $V_{ac}$ ) si es 110 o 220. La corriente mayor será tomada para seleccionar el tipo de controlador a utilizar. Para nuestro caso, dado que no tenemos establecida una carga,

damos por sentado que la corriente producida por el modulo fotovoltaico debe ser la aceptada, y como es para el análisis de un (1) solo modulo, la variable NR es igual a 1.

5) Cálculo del inversor de voltaje requerido (IV):

$$IV = \sum WACi / 0,85 \tag{9}$$

Aplicando las anteriores fórmulas, se obtiene un sistema inicial acorde a la primera oferta, y un segundo sistema ajustado a las necesidades en el momento en que fue aprobada la instalación y según lo que podían ofrecer los proveedores internacionales:

**Tabla 2. Antes y después de los sistemas fotovoltaicos ofertados**

Sistema ofertado en 16/03/09	Sistema real ofrecido en 06/09
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 19 módulos solares 24 V 150 W 4,5 Amp marca sunwize</li> <li>• 2 nevera solar 12/24 VDC 165 litros marca sundanzer</li> <li>• 18 Batería 12 V 150 Ah marca DEKA</li> <li>• 6 Controladores Solares Bluesky 30 Amp 24 V</li> <li>• 3 Inversores Xantrex 1000 W 24 VDC / 120 VAC</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 12 módulos solares 24 V 150 W 4,5 Amp marca sunwize</li> <li>• 2 módulos solares 18 VDC 180 W 7,63 Amp.</li> <li>• 2 nevera solar 12/24 VDC 165 litros marca Steca</li> <li>• 6 Batería 12 V 305 Ah marca Sunextender</li> <li>• 3 Controladores Solares Bluesky 30 Amp 24 V</li> <li>• 2 controladores solares marca Steca 12/24 VDC 20 Amp</li> <li>• 2 Inversores Samlex 1000 W 24 VDC / 120 VAC</li> </ul>

2. Solicitud a proveedores: en este paso, los proveedores internacionales colocaron sus condiciones, las cuales modificaron la oferta a realizar. El orden cronológico y de programación de solicitud para arrancar los despachos es como el que se sigue en la tabla 1, en el cual se calculó un tiempo determinado para la llegada y nacionalización de los productos, pero sin tener en cuenta restricciones como: la exigencia por parte del ministerio colombiano encargado de velar por la salud pública y protección laboral, entidad que exigía para el ingreso de las neveras, certificado de que en realidad no poseía gases de efecto invernadero; además, atrasos en la entrega de los módulos de 24 V 150 W, por problemas de abastecimiento del proveedor ubicado en California – EEUU. En cuanto a los proveedores nacionales, no existieron retrasos en la solicitud y entrega de pedidos. En cuanto a la fabricación de la estructuras de soporte, se recurrió a talleres de metalmecánica para que fabricaran la estructura acorde al diseño solicitado, solución para la cual no existieron inconvenientes.
3. Pre-armado de Juegos de Instalación: el prearmado dependía de la disponibilidad de los accesorios y cables eléctricos, para lo cual no existió inconvenientes.
4. Llegada de los productos a Colombia.
5. Empaque de productos: el tipo de producto exige un excelente embalaje para su protección, además de la realizada por el fabricante, dado el sitio donde se transportaba los productos, lo que llevo a recurrir a mayor protección en cartón y en madera.

6. Transporte de materiales a la obra: los productos y los técnicos salen de la ciudad de Barranquilla hacia la ciudad de Santa Marta sede de una de las empresas que conforman la unión temporal ofertante, para salir desde Santa Marta con un transporte especial que conoce la zona de instalación, se producen operaciones de cargue y descargue en ambas ciudades, pasando los materiales de un transporte a otro. El transportador conocedor de la zona informa que él es de las pocas personas que accede al lugar debido a que es esta ubicado en zona de conflicto y a que esas trochas eran antiguas rutas de narcotráfico que muy pocas personas conocen.
7. Construcción Sistema de la Unidad de Atención Básica: Para la construcción de la UAB, se tuvo en cuenta el siguiente proceso:
  - Anclaje de los postes metálicos de las diferentes estructuras que soportan los paneles solares.
  - Armado de las estructuras y colocación de los paneles solares de la UAB.
  - Instalación, de dos gabinetes en la UAB: uno para alojar baterías, y otro para alojar Inversor y controlador.
  - Cableado eléctrico y conexión de equipos fotovoltaicos, puntos de iluminación y Tomacorrientes AC del sistema fotovoltaico de la UAB.El tiempo estimado de trabajo era 8 días, en jornadas de 6 a 8 horas de trabajo. Los 3 técnicos contratados, redujeron el tiempo a 4 días trabajando hasta 14 horas diarias debido a lo incomunicado del sitio y el temor por la distancia y las referencias del lugar.
8. Construcción Sistema del Colegio: Al igual que para el sistema de la UAB, se requirió del mismo proceso, esta vez en las instalaciones del colegio. De igual forma, se requirió de la instalación, de dos gabinetes para los bancos de batería de los sistemas de nevera solar: uno ubicado en el colegio, y otro ubicado en la Unidad de Atención Básica. Asimismo, el cableado eléctrico y conexión de las dos neveras solares con los equipos fotovoltaicos, ubicadas en cada una de las instalaciones. El tiempo de montaje fue de 6 días cuando el estimado era de 10 días.
9. Pruebas: Una vez instalado, se procede a realizarse pruebas de funcionamiento eléctrico de los sistemas fotovoltaicos instalados en el Colegio y la Unidad de Atención Básica. En compañía solo de los indígenas, desconocedores por completo de la tecnología
10. Capacitación y entrega de la obra: se realiza una capacitación y acompañamiento al docente indígena y al líder de la comunidad, referente al uso de los sistemas, los técnicos no levantan el acta.

### **3.3 PROBLEMAS OCASIONADOS POR LA INSTALACIÓN**

La instalación prevista, debido al temor de los técnicos por las condiciones de seguridad, las constantes lluvias en la zona y la preocupación por algún tipo de enfermedad en medio de la insalubridad (los suministros alimenticios y el agua, a mitad de la obra, lo que generó costos extras en transportes y compra de suministros), la entrega a personas no autorizadas, además de que las personas autorizadas no plantearon las condiciones en el momento de interventoría y la falta de pericia de los técnicos en el armado de estructuras metálicas, llevaron a que se generaran una serie de inconformidades en la visita de la interventoría quien no tampoco previó la cantidad de inconvenientes generados por el acceso a la zona. Esas inconformidades debían ser solucionadas por el ofertante, suceso que estaba generando un sobre costo en la obra, cuyos imprevistos no estaban calculados con precisión para ese ímpase.

De igual forma, se llevó a cabo la instalación, con algunos soportes metálicos que tenían ciertos defectos, tal como se aprecia en la Figura 1.



**Figura 1: Soportes metálicos con defectos**

### **3.4 SOLUCIÓN PRESENTADA POR EL OFERTANTE**

Se requirió contratar dos operarios del taller de metalmecánica para que realizaran el correspondiente arreglo a las estructuras, supervisados por el técnico solar, lo que llevo a la contratación de un equipo especial de soldadura para el montaje, transportar otros materiales y obviamente, contratar el transporte especial que ingresa a la zona. En este proyecto existió anticipo del 40% que garantizaba pagar los equipos instalados, pero no garantizaba mano de obra y los costos logísticos. Estos nuevos costos eran causados directamente al ofertante. Fundación Pro-sierra nevada de Santa Marta, pagaría 30 días después de la facturación, y para facturar se requería, del visto bueno del interventor. El plan de trabajo original no se cumplió, y de una proyección teórica de 9 semanas, que incluía unos supuestos imprevistos, se amplió la instalación a 11 semanas. Sumado esto, los problemas a resolver, manifestados por el interventor, atrasaron el proyecto otras 3 semanas. El proyecto que estaba proyectado al 10 de septiembre del 2009, fue entregado el 13 de octubre del 2009.

Una vez terminado, la entidad que facilitaba los recursos a la fundación, exigió una explicación técnica y amplia que demostrara por que se habían cambiado algunos suministros de la oferta inicial, ignorando por completo las condiciones colocadas por el ofertante de un máximo de 45 días de validez de la oferta. Los informes de sustento a la entidad que facilitaba los recursos, generó nuevos atrasos para facturar, hasta que el problema fue resuelto a través de la demostración técnica por parte del ofertante, se pudo facturar en diciembre del 2009. Los costos se incrementaron en un 10% donde, el valor total de la oferta fue de ciento tres millones de pesos colombianos (aproximadamente \$51.000 dólares americanos), y los costos representaban el 65% de la oferta, afectando directamente a la utilidad del proyecto (Ver Figura 2 y 3).





**Figura 2: Corrección de estructuras metálicas**



**Figura 3: Sistemas corregidos y nivelados**

#### **4. CONCLUSIONES**

El presente artículo muestra en grandes pasos, los inconvenientes logísticos que se pueden generar en el proceso de construcción de un sistema solar fotovoltaico en zonas no conectadas a la red pública, destacando que en su mayoría, las variables que afectan un proceso logístico, pueden ser variables del entorno no controlables (políticas, condiciones de acceso, cambios en las condiciones de mercado culturales, ambientales, etc.)

Para el caso de estudio La unión temporal Kantiniurwa Solar es contratada para instalar un sistema que cubra una demanda energética de 4,8 KWh en el resguardo indígena Kantinurwa ubicado en la sierra nevada de Santa Marta, zona administrada por la fundación Pro-sierra nevada de Santa Marta. Para ese proyecto, se previeron 9 semanas de trabajo que parten con la orden de compra y finalizan con el visto bueno del interventor. La realidad, que incluye en la práctica más no en la teoría las restricciones del entorno, genera un atraso de casi 12 semanas más de las pronosticadas, suceso que genero un incremento en los costos del 10%, afectando severamente la utilidad del proyecto.

#### **REFERENCIAS**

- BEE. (07 de 01 de 2009). *Informe de prensa "Bee Jahreszahlen 2008*. Recuperado el 15 de 03 de 2010, de German Renewable Energy Federation: [www.bee-ev.de](http://www.bee-ev.de)
- Cantillo E. y Conde F. (2011), Plan de marketing de sistemas solares fotovoltaicos para electrificación urbana. Tesis de maestría, Universidad Autónoma del Caribe, 2011.
- Chapin D.M., Fuller C.S. & Pearson G.L. (1954) A new silicon p-n junction photocell for converting solar radiation into electrical power. *Journal. of Applied. Physics.* 25, 676-677.
- EPIA. (05 de 2010). *Una mirada al 2014 del mercado mundial de la industria fotovoltaica*. Recuperado el 09 de 2010, de [www.epia.org](http://www.epia.org)
- Escobar. (2009 ). *Energías renovables en la electrificación rural descentralizada*. Medellín, Colombia: Minas Universidad Nacional de Colombia.
- H., R. H. (1994). *Manual de radiación solar en Colombia*. Bogotá, Colombia: Rodríguez y editores.
- ICEX. (mayo de 2008). *El sector de la energía solar fotovoltaica en Alemania*. Recuperado el 02 de 2010, de [www.icex.es](http://www.icex.es)
- Méndez, J. (2007). *Energía solar fotovoltaica 2da edición*. Madrid, España: Fundación confemetal.
- Oyola J.S., Gordillo G. (2007). Estado del arte de los materiales fotovoltaicos y de la tecnología solar fotovoltaica. *Prospectiva*, 6(2), 11-15.
- Prado. (2009). *Diseño de un sistema eléctrico fotovoltaico para una comunidad aislada*. Ingeniería Universidad de Costa Rica.
- Presidencia de la República de Colombia. (s.f.). *Sitio Web de la Presidencia de la República de Colombia*.
- REN21. (03 de 2009). *Renewables Global Status Report 2009 Update*. Pág. 12. Recuperado el 03 de 2010, de [www.ren21.net](http://www.ren21.net): [www.ren21.net](http://www.ren21.net)
- Rodríguez. (2008 ). Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas. *Ingeniería Universidad de los Andes* , 83-89.
- Solar Buzz. (2009). *Marketbuzz 2009: Annual World Solar PV Market Report*. Recuperado el marzo de 2010, de Solar Buzz: [www.solarbuzz.com](http://www.solarbuzz.com).

### ***Autorización y Renuncia***

*Los autores autorizan a LACCEI para publicar el escrito en las memorias de la conferencia. LACCEI o los editores no son responsables ni por el contenido ni por las implicaciones de lo que esta expresado en el escrito*