

CCC²⁰¹⁵

Quinta Conferencia Iberoamericana de Complejidad, Informática y Cibernética

10 al 13 de Marzo de 2015 – Orlando, Florida, EE.UU.

en el contexto de

The 6th International Multi-Conference on
Complexity, Informatics, and Cybernetics: IMCIC 2015

MEMORIAS

Editores:

Nagib Callaos
Alexandre Guimarães
Belkis Sánchez
Andrés Tremante



Organizada por
International Institute of Informatics and Systemics
Miembro de la International Federation for Systems Research (IFSR)

Aplicaciones de Informática y Cibernética en Ciencia e Ingeniería

- Alanís, José D.; Bermúdez, Blanca; Hernández Rebollar, José L. (México): "Solución de Ecuaciones Diferenciales tipo Bilaplaciano para la Simulación de MEMS tipo Acelerómetro" 72
- Carnero, María Carmen (España): "Auditoría de Sostenibilidad Medioambiental en Organizaciones Sanitarias" 76
- Gómez, Andrés; Carnero, María Carmen (España): "Diseño de un Sistema de Apoyo a la Decisión de la Política de Mantenimiento en un Quirófano" 82
- Guevara Pérez, Miguel Ángel; Hernández González, Marisela; Sandoval Carrillo, Ivett Karina; Pérez Hernández, Marai (México): "LondresPC: Programa Computacional que Evalúa la Planeación" 87
- Jiménez Hernández, Mario F.; Quiñones Quiñones, Armando A.; Juez Castillo, Graciela (Colombia): "Método Computacional para la Medición Automática del área de Quistes del Parásito *Toxoplasma Gondii*" 91
- Quiñones Quiñones, Armando A.; Jiménez Hernández, Mario F.; Juez Castillo, Graciela (Colombia): "Procesamiento y Análisis Digital de Imágenes Biológicas para el Reconocimiento Automático de Quistes de *Toxoplasma Gondii*" 97
- Rios, Claudio F.; Guimarães, Gil E. (Brasil): "Robô Pneumático, uma Alternativa Econômica para a Automação Industrial" 103

Cibernética (Comunicación y Control)

- Benítez, Víctor H.; Pacheco, Jesús; Armas-Flores, Ramón V. (México): "Propuesta para la Implementación de una Red Inalámbrica de Sensores Inteligentes para un Sistema de Concentración Solar con Tecnología de Torre Central" 107

Ciencias de la Complejidad

- Almeida Neto, Antônio Clodoaldo de; Ribeiro, Núbia Moura (Brasil): "O Modelo de Gestão dos 8R's e Algumas Correlações que o Validam" 113
- Benítez-Baltazar, Víctor H.; Iriarte-Cornejo, Cuitlahuac; Enríquez-Montoya, Elberth A. (México): "Diseño de un Banco de Pruebas para un Sistema de Control de Seguidor Solar" 119
- Contreras Cueva, Angélica Beatriz (México): "Capital Humano en México. Análisis del Ingreso y la Inserción en el Mercado Laboral" 125
- Finatti, Luiz Augusto; Pechliye, Magda Medhat (Brasil): "Teoria da Complexidade e suas Abordagens no Ensino de Ciências Naturais em Trabalhos Acadêmicos de 2000 a 2014" 131
- Haro, Arquímides X. (Ecuador): "Predicción de Datos Meteorológicos en Cortos Intervalos de Tiempo en la Ciudad de Riobamba Usando la Teoría del Caos" 137

Propuesta para la implementación de una red inalámbrica de sensores inteligentes para un sistema de concentración solar con tecnología de torre central

Víctor H. Benítez

Dpto. Ingeniería Industrial, Universidad de Sonora
Hermosillo, Sonora, México

Jesús Pacheco

Dpto. Ingeniería Industrial, Universidad de Sonora
Hermosillo, Sonora, México

Ramón V. Armas-Flores

Dpto. Ingeniería Industrial, Universidad de Sonora
Hermosillo, Sonora, México

RESUMEN

Los sistemas de transformación de energía solar en potencia eléctrica han emergido en las últimas décadas como una fuente viable de energía limpia y renovable. La tecnología de planta de torre central solar es un buen ejemplo de este tipo de sistemas, la cual consiste en varios espejos móviles, llamados heliostatos, que reflejan la radiación del Sol hacia un mismo punto, localizado en la cima de una torre al centro del campo de heliostatos, para su recolección o transformación en otro tipo de energía. El presente trabajo se enfoca en el desarrollo, implementación y validación de un sistema de comunicación inalámbrica, por medio de sensores inteligentes, para ser aplicado en un campo de heliostatos localizado en la periferia de la ciudad de Hermosillo, Sonora, México, el cual está dedicado a la investigación, y que actualmente carece de una instrumentación apropiada. Para lograr lo anterior se propone una metodología que permita el desarrollo de este proyecto, y se muestran algunos resultados obtenidos de pruebas preliminares que apoyan la viabilidad de su implementación en el campo.

Palabras claves: Energía solar, heliostatos, comunicación inalámbrica, redes de sensores y sensores inteligentes.

1. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, los sistemas de energía solar han emergido como una fuente viable de energía limpia y renovable, por lo que su uso en aplicaciones domésticas e industriales es cada vez mayor. La función de estos sistemas, consiste en recolectar la energía proveniente del Sol y transformarla en otro tipo de energía, como puede ser eléctrica o térmica [1].

Los sistemas de comunicación que se basan en sensores inteligentes pudieran suponer un avance en las investigaciones dentro de los campos de heliostatos al facilitar la transferencia de información haciendo más efectiva y rápida la ejecución de pruebas para el desarrollo de nuevas tecnologías de energía solar, esto gracias a las características con las que cuentan este tipo de sistemas [10].

Debido a la creciente importancia de este tipo de tecnologías, se propone en este trabajo una metodología para el desarrollo, implementación y validación de un sistema de comunicación en un campo de pruebas de heliostatos, dedicado al desarrollo de nuevas tecnologías solares.

En la siguiente sección se describen algunos conceptos de lo que son la tecnología de torre central solar, las redes inalámbricas de sensores y algunos trabajos de investigación anteriores relacionados a la temática. En la sección tres se describe el entorno donde se pretende implementar la presente propuesta y se explica el problema de manera más detallada. Posteriormente se define la solución propuesta en la sección cuatro. Por último se enumeran los resultados que se espera obtener al final del proyecto, así como algunas conclusiones en las secciones cinco y seis respectivamente.

2. MARCO TEÓRICO Y TRABAJO PREVIO

Tecnología de Torre Central Solar

Con la finalidad de capturar la energía solar y transformarla en energía útil, actualmente se han desarrollado dos métodos principales que han sido comercializados: sistemas fotovoltaicos y sistemas foto-térmicos [3]. En los sistemas fotovoltaicos, las celdas fotovoltaicas o celdas solares, pueden generar energía eléctrica directamente de la luz del Sol.

Los sistemas termo-solares son un método de recolección de energía solar, en los cuales se convierte la radiación proveniente del Sol en energía térmica. Dicha energía puede ser utilizada directamente, o puede ser transformada en otra diferente, como energía eléctrica o química [4]. Aunque la energía se genera solamente durante el día, es posible recolectar y almacenar energía térmica adicional, generalmente en un medio de cambio de fase como sal fundida [5]. Este calor puede ser utilizado durante la noche para generar energía.

Un buen ejemplo de sistema de transformación de energía solar a térmica, es la tecnología de planta de torre central solar, la cual consiste en varios espejos móviles, llamados heliostatos, que reflejan la radiación del Sol directamente hacia un solo punto, localizado en la cima de una torre que se encuentra al centro del campo de heliostatos (Figura 1). En este punto, componentes dentro de la torre, convierten la energía solar en térmica y posteriormente en electricidad [2].

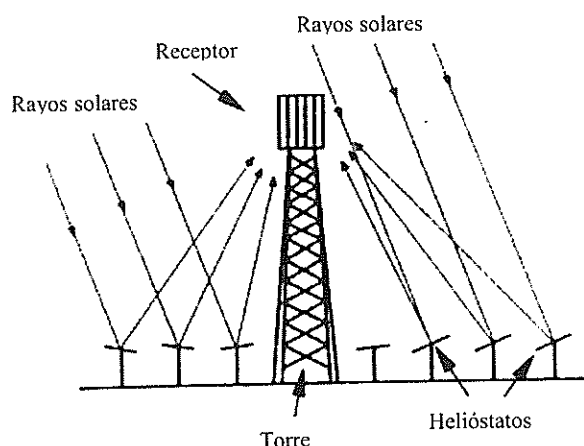


Figura 1. Esquema de un sistema de concentración de torre central solar [7]

En un Sistema de Torre Central Solar, para que los helióstatos puedan reflejar la radiación del Sol hacia el mismo punto de la torre en todo momento, es necesario que estos se muevan de acuerdo al movimiento del Sol. Para lograrlo, se utilizan sensores y controladores que regulan el movimiento de los seguidores y se comunican con una computadora central que los controla. Tal como mencionan Her-Terng y Chieh-Li [6], pueden encontrarse varios estudios en la literatura donde se intenta resolver el problema del seguimiento solar desde diferentes aproximaciones o puntos de vista, para lograr la máxima obtención de energía del sistema. Sin embargo, todos estos trabajos se enfocan solamente al control individual de los seguidores solares.

Redes Inalámbricas de Sensores

Una Red Inalámbrica de Sensores (WSN, por sus siglas en inglés) se crea cuando varios sensores monitorean un ambiente físico grande de manera cooperativa, utilizando comunicación inalámbrica, [8]. Los diferentes nodos dentro de la red se comunican entre ellos, pero también se comunican con una Estación Base (BS) por medio de sus radios inalámbricos, lo que les permite diseminar los datos detectados y así poder procesar la información, visualizarla, analizarla y almacenarla. En la Figura 2 se muestra el esquema de dos WSN diferentes, que monitorean ambientes físicos separados, pero que a su vez se encuentran conectadas entre sí por medio de internet. La posición de los nodos, o topología de la red, puede ser establecida para obtener la óptima comunicación, tal como mencionan Cuomo, Abbagnale y Cipollone [9].

Las investigaciones en el área de las WSN han tenido gran atención en los últimos años, esto debido a los beneficios y las características únicas que presentan como su capacidad de auto-configurarse, bajo costo, facilidad para su implementación y su capacidad de detección distribuida, por mencionar algunas. Una WSN está compuesta de una gran cantidad de sensores, los cuales se encuentran desplegados dentro o muy cerca del fenómeno o área a observar [10].

Spencer, Ruiz-Sandoval y Kurata [11] establecen que los sensores inteligentes tienen cuatro características importantes: unidad central de procesamiento integrada, pequeño tamaño, comunicación inalámbrica y bajo costo.

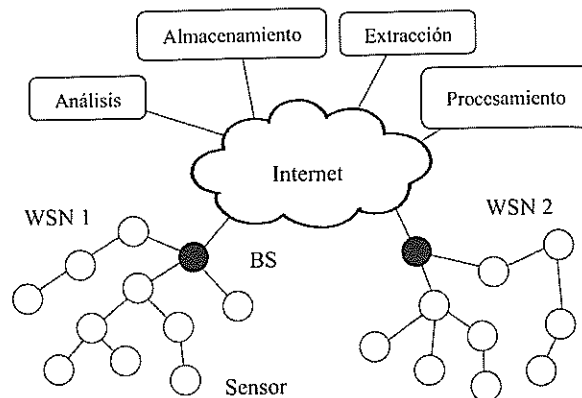


Figura 2. Redes Inalámbricas de Sensores [8]

En muchos casos, la información obtenida por los nodos de la red es utilizada para llevar a cabo posteriormente acciones correctivas que permitan el control de un proceso o ambiente. Estas redes de sensores inteligentes, donde se emula el comportamiento cíclico de percepción-razonamiento-acción, son útiles para una gran cantidad de aplicaciones. Lo que hacen es recolectar y diseminar información de los sensores en tiempo real, procesar la información a través de tareas colaborativas entre los diferentes sensores, y propagar señales de control a los actuadores correspondientes para controlar el comportamiento de los sistemas físicos [12]. Las redes de sensores inteligentes son útiles para una amplia variedad de aplicaciones, como pueden ser: industriales, militares, médicas, domóticas, etc.

Trabajo Previo

Un trabajo en el que se implementa una red de comunicación en un sistema de energía solar, es el que se llevó a cabo por Papageorgas, et al. [13], en el cual se diseñó una metodología para monitorear el funcionamiento de varios paneles fotovoltaicos, utilizando una red de sensores inalámbrica para la comunicación, control y supervisión del sistema. En este trabajo se pueden apreciar las bondades de la implementación de redes inalámbricas en la comunicación, sin embargo es distinto a lo que sería el diseño de una metodología para el control y monitoreo de helióstatos, ya que en estos últimos se deben tomar en cuenta factores, variables, funcionamiento e información, diferentes a los que se requiere considerar para paneles fotovoltaicos.

En el trabajo realizado por Pfahl, et al. [14] se presenta una propuesta para el diseño de seguidores solares, enfocada en la optimización de recursos. Para esto se implementan materiales y dispositivos que reducen los costos de producción de los helióstatos y que a la vez son más ligeros y eficientes para el funcionamiento de los seguidores.

Otro aspecto en el que se enfocan los autores para la reducción de recursos necesarios, es en lo que corresponde a la energía necesaria para la comunicación y funcionamiento de los seguidores solares, para lo cual proponen un sistema de comunicación dedicado, el cual utiliza tecnología inalámbrica para la transmisión de información.

3. ANTECEDENTES Y DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Debido a la abundancia de radiación solar que se tiene en la región, la Universidad de Sonora, junto con otras instituciones, llevaron a cabo un proyecto donde se construyó la Plataforma Solar de Hermosillo (PSH, antes conocida como Campo de Pruebas de Helióstatos) [15], ubicada en la ciudad de Hermosillo, Sonora, México. Esta plataforma consiste en un campo donde se cuenta con un número creciente de heliostatos, desarrollados por la misma universidad y otras instituciones de investigación, así como una torre central de 36 metros de altura, cuarto de control y laboratorio electrónico, la finalidad de los cuales es la generación de energía y realización de pruebas experimentales (Figura 3).

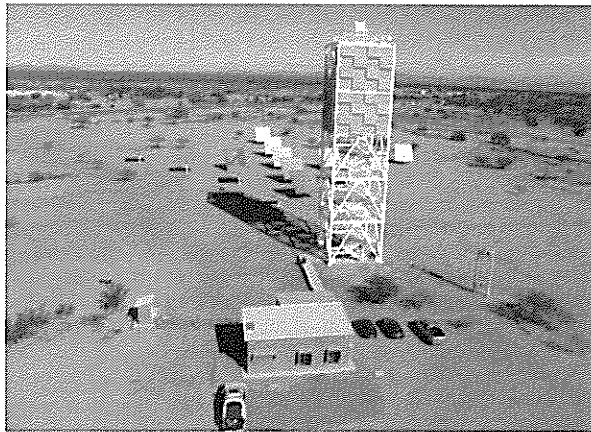


Figura 3. Planta Solar de Hermosillo [16]

La PSH es una infraestructura que permite la evaluación de heliostatos aplicados a plantas solares de generación de energía de torre central. El control del campo de heliostatos se realiza con equipo de la marca National Instruments con hardware Compact Rio (cRIO) y la plataforma de desarrollo de software LabVIEW, con un sistema de control supervisorio y adquisición de datos (SCADA) implementado inicialmente para el proyecto del Horno Solar de Alto Flujo Radiactivo (HSAFR) [16].

Todo el sistema de seguidores solares se controla de manera general desde una Unidad Central de Control (UCC). La UCC solo obtiene cierta información sobre el funcionamiento de los heliostatos y controla el estado en que estos se encuentran. La comunicación entre los heliostatos y la UCC, se lleva a cabo por medio de tecnología Ethernet, y se limita solamente a la comunicación de la UCC con cada seguidor de manera individual, es decir, no existe comunicación entre heliostatos.

Actualmente los heliostatos en la PSH carecen de los sensores e instrumentación necesaria para analizar o determinar su desempeño considerando las condiciones de operación en que se encuentran. Esto representa un problema para el desempeño del campo de heliostatos, debido a que no se miden las variables bajo las que operan estos, y que pueden afectar al funcionamiento de los mismos, como pueden ser la temperatura, velocidad del viento, humedad, entre otras variables. Al carecer de información sobre estos factores, el desarrollo de estudios, experimentos y el funcionamiento de las unidades, se ven comprometidos, y se dificulta el desarrollo de nuevas tecnologías.

Para solucionar lo anterior se pretende instalar en las unidades la instrumentación requerida, sin embargo no es posible llevar esto a cabo con el sistema de comunicación que se tiene actualmente en la plataforma, debido a que la transmisión de información por medio de Ethernet no sería suficiente, a causa de la gran cantidad de datos y el alto número de nodos de comunicación que se tendrían una vez instalado el instrumental en los heliostatos. Adicionalmente, la arquitectura e instalación de la red en la PSH, hace costoso y prácticamente imposible incorporar sensores a las unidades. Para poder efectuar la instrumentación de los heliostatos, se propone el diseño de un sistema de comunicación inalámbrica, de bajo costo, que pueda transmitir información de manera eficiente sobre las condiciones de operación de los heliostatos, y que pueda ser implementado en la plataforma, tomando en cuenta todos los factores que pueden interferir con la comunicación en este entorno, como son: factores ambientales, interferencias y ruido eléctrico, interferencias por los materiales, etcétera.

4. PROPUESTA DE SOLUCIÓN

Con la finalidad de que los heliostatos en la PSH puedan contar con la instrumentación que se requiere, se propone el desarrollo y la implementación de un sistema de comunicación inalámbrica, utilizando sensores inteligentes, para la transmisión eficiente de información que permita un control efectivo del sistema de concentración solar. A continuación se describe la metodología propuesta para la realización de este proyecto. La Figura 4 muestra un diagrama con las diferentes fases en que se divide la metodología del trabajo y la secuencia en que se llevarán a cabo.

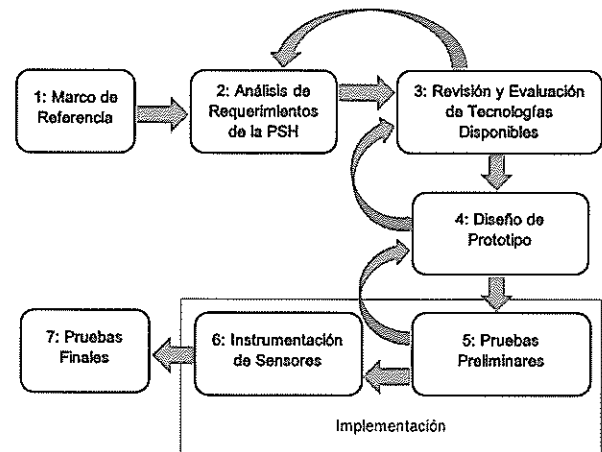


Figura 4. Metodología propuesta

Fase 1: Marco de Referencia

Primeramente se requiere de un análisis lo más completo posible de la literatura, para encontrar y estudiar todos los trabajos de investigación que sean referentes al tema de este proyecto o que puedan servir como base para el mismo. Esto con la finalidad de recolectar los fundamentos teóricos en los que se apoyará este trabajo. Para esto se deben analizar todos los trabajos de investigación posibles, que sean referentes a las áreas de energía solar y redes de sensores inteligentes (Figura 5).

Fase 2: Análisis de los Requerimientos de la PSH

La segunda fase del proyecto consiste en una definición de la situación actual de la PSH y de las características bajo las que

operan los heliostatos, y que por lo tanto son bajo las que debe operar el sistema de comunicación que se pretende implementar. En esta etapa se revisan las instalaciones para encontrar los factores, condiciones o elementos que puedan tener algún efecto sobre el funcionamiento del sistema de comunicación inalámbrico. La base para esta revisión será lo planteado en el marco de referencia, es decir, se buscarán los factores de la PSH que puedan ser relevantes o afectar de alguna manera las señales de radio del sistema de comunicación (Figura 6).

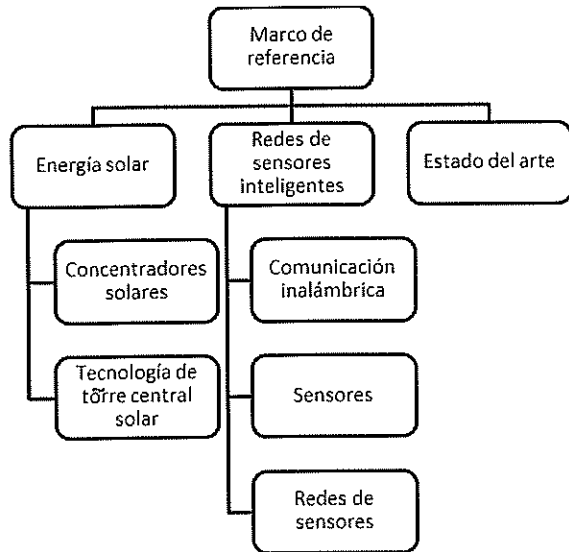


Figura 5. Marco de referencia

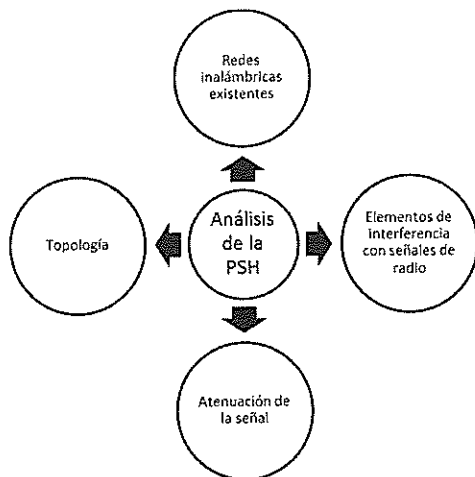


Figura 6. Análisis de la PSH

Fase 3: Revisión y Evaluación de Tecnologías Disponibles

El objetivo de esta fase es el análisis de las diferentes opciones que se tienen en cuanto a tecnologías, que puedan implementarse como solución al problema presentado. Esto incluye las tecnologías para comunicación inalámbrica, y también las de sistemas embebidos, las cuales se integrarán para formar el sistema de comunicación. La base de este análisis es lo revisado en el marco de referencia. Una vez identificadas las tecnologías disponibles se debe determinar cuáles pueden utilizarse, tomando en cuenta las características y limitaciones

de la PSH que se determinaron en la fase anterior y bajo las cuales deberá funcionar el sistema de comunicación. Además de las características del campo, otros factores que se deben tomar en cuenta son la disponibilidad de las tecnologías económicamente y en cuanto a conocimientos y habilidades requeridos para su aplicación. De ser necesario puede requerirse volver a la fase anterior para identificar otros factores que no se detectaron antes (Figura 7).

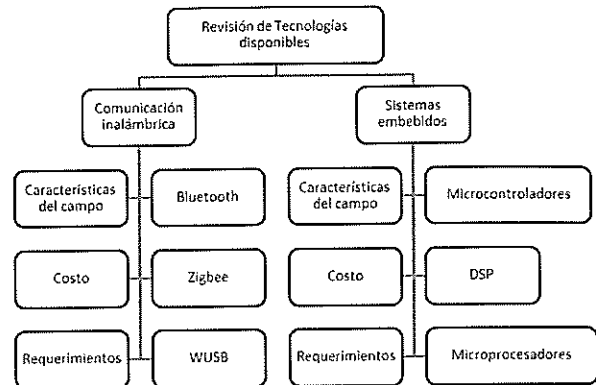


Figura 7. Revisión y evaluación de tecnologías disponibles

Fase 4: Diseño de Prototipo

Una vez determinadas las tecnologías que sea factible implementar en la PSH, el siguiente paso es el diseño y elaboración de un prototipo del sistema de comunicación, el cual utilice estas tecnologías y que sea fácil de instalar en el campo de heliostatos, con la finalidad de realizar pruebas preliminares que permitan identificar la eficiencia de las tecnologías que se eligieron (Figura 8).

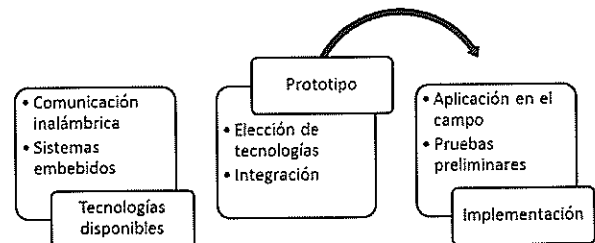


Figura 8. Diseño de prototipo

Fase 5: Pruebas Preliminares

En la quinta etapa se implementará el prototipo elaborado en la fase anterior, llevando a cabo pruebas en la PSH en las cuales se realicen transferencias de información entre heliostatos y la UCC. Las pruebas se enfocarán en la medición de la tasa de errores en los envíos de información, la intensidad de la señal y la ubicación de los nodos de la red. Se medirá la efectividad con que se transfieren los datos en las pruebas realizadas y en base a los resultados se pasará a la siguiente fase o, de ser necesario, se regresará al diseño de un nuevo prototipo, a la selección de otras tecnologías o a la identificación de los requerimientos del campo que podrían causar malos resultados en las pruebas; repitiendo después todas las fases necesarias hasta tener un prototipo que funcione de manera efectiva.

Fase 6: Instrumentación de Sensores

Como se mencionó anteriormente, actualmente los heliostatos no cuentan con instrumentación que permita realizar

mediciones, por lo que es necesaria la implementación de sensores que permitan medir las condiciones en que funcionan los seguidores. La información obtenida por los sensores servirá para realizar pruebas con el sistema de comunicación que permitan determinar la efectividad final del sistema propuesto. La cantidad y el tipo de sensores que se implementarán dependerán de los recursos económicos con que se cuente, de los materiales y equipos disponibles, y del tiempo restante para la culminación del proyecto.

Fase 7: Pruebas Finales

Finalmente, cuando se tengan instalados los sensores, se implementará el sistema de comunicación, basado en el prototipo antes diseñado. Después se procederá a realizar las pruebas finales que permitan validar la efectividad del sistema propuesto, el logro de los objetivos planteados y determinar si se resuelve el problema formulado al inicio del proyecto. Los resultados obtenidos de estas pruebas determinarán que tan viable es la propuesta de solución para ser implementada en la PSH o si es necesario realizar ajustes en la propuesta para poder dar el proyecto por terminado. Para determinar su efectividad, se realizarán pruebas en las que se transmita información de los sensores instalados en los heliostatos, midiendo la tasa de errores que se produzca y la fuerza y calidad de la señal que se tenga.

~ 5. RESULTADOS PRELIMINARES

Después de llevar a cabo las primeras fases de la metodología, realizando un análisis de la literatura existente, determinando las características y limitaciones de la PSH, y seleccionando tecnologías para el desarrollo de un sistema de comunicación, se realizaron algunas pruebas preliminares en el campo, que pueden apoyar la viabilidad de la implementación de dicho sistema.

En base a la revisión literaria realizada, se determinó que los heliostatos del campo son los principales obstáculos que pueden afectar un sistema de comunicación que funcione a base de ondas electromagnéticas, debido a que el metal y los espejos de los seguidores pueden reflejar las señales de radio, obstruyendo su paso y causando fallas en la comunicación. Se determinó también que la existencia de otras señales inalámbricas que están presentes en el campo, no representan una amenaza relevante para un sistema de comunicación.

Tomando en cuenta las características del campo, los factores que pueden afectar la comunicación, y los recursos con que se cuenta para el proyecto, se optó por el uso de un prototipo del sistema que utilice tecnología ZigBee para la comunicación inalámbrica, junto con microcontroladores basados en la plataforma Arduino, para el procesamiento y el control de la información. Se eligieron estas tecnologías debido a su accesibilidad económica, a su facilidad de aplicación y sus características y especificaciones en cuanto a funcionamiento, las cuales se considera que deben ser suficientes para desarrollar un sistema de comunicación efectivo en la PSH.

Utilizando un prototipo que utiliza las tecnologías mencionadas, se realizaron pruebas en la PSH, colocando dos radios (nodos) a diferentes distancias alrededor de un heliostato, con la posición del espejo en su punto más bajo, que es donde este crea la mayor interferencia. Las pruebas se realizaron utilizando el software X-CTU, el cual permite el análisis de la tasa de error

de envíos y la intensidad de la señal de radio, como se muestra en la Figura 9.

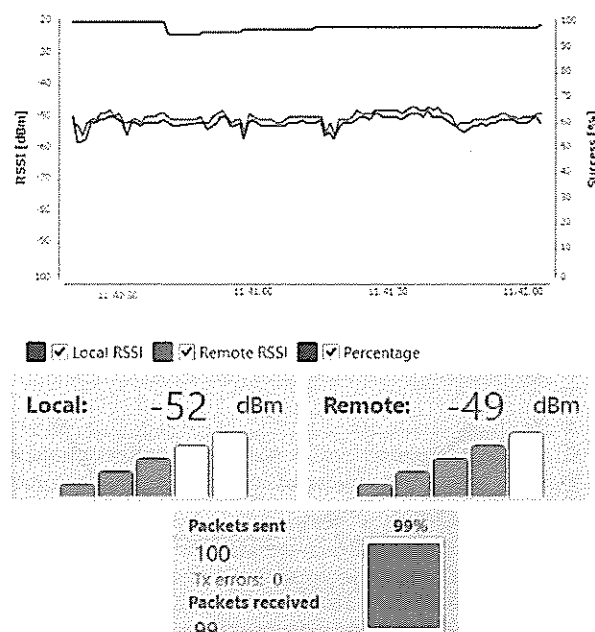


Figura 9. Gráficas de error e intensidad de señal, utilizando el software X-CTU

Colocando uno de los nodos en el heliostato y moviendo el otro alrededor, se realizaron mediciones enviando paquetes de datos entre ellos, aumentando cada vez más la distancia entre radios. En la Figura 10 se muestra una gráfica donde se representan las mediciones obtenidas, aumentando la distancia entre nodos en dirección al sur (donde el espejo del heliostato obstruye más la señal), y aumentando cada vez más la distancia. Se puede observar que la tasa de errores conserva valores altos, al igual que la fuerza de la señal, la cual tiene siempre un valor aceptable en relación a las especificaciones de redes de comunicación que utilizan tecnología ZigBee.

Los errores que se tuvieron fueron mínimos, y tomando en cuenta las necesidades de la PSH y la robustez de la tecnología ZigBee, se concluye de los datos obtenidos que la implementación de un sistema de comunicación que utilice esta tecnología inalámbrica funcionaría de una manera efectiva, y podría solucionar el problema planteado en este proyecto. Para una validación de estas conclusiones se requiere llevar a cabo la instrumentación de los seguidores y la transferencia de datos en base a estos, lo cual se pretende realizar en las siguientes fases del proyecto.

6. RESULTADOS Y BENEFICIOS ESPERADOS

La implementación en la PSH de un sistema de comunicación inalámbrica a base de sensores inteligentes, permitirá contar con la instrumentación requerida en los seguidores para la valoración y el análisis de su funcionamiento bajo diferentes condiciones. Con esto será posible la obtención de una mayor cantidad y variedad de datos, y así considerar nuevas variables para optimizar el funcionamiento de los seguidores y del desarrollo de pruebas experimentales.

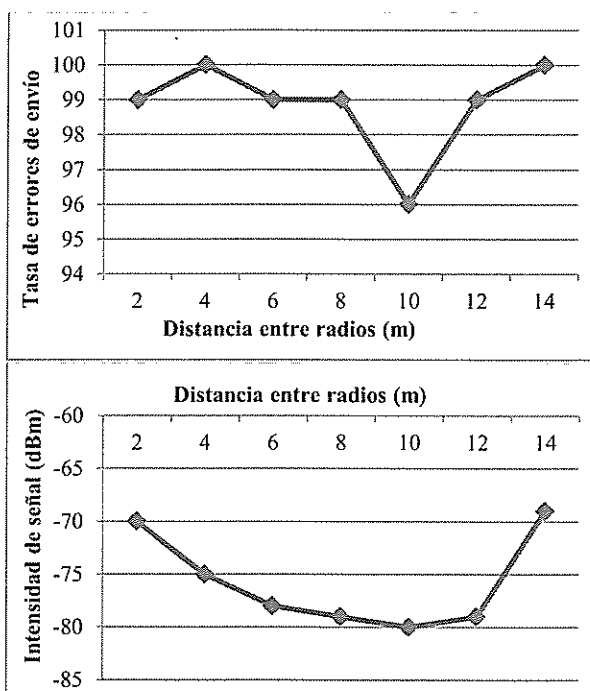


Figura-10. Valores de la tasa de errores e intensidad de señal en una de las pruebas realizadas en la PSH, aumentando la distancia entre los radios en dos metros cada vez, en dirección al sur (donde existe mayor bloqueo de señal por el heliostato)

Otras ventajas que se obtendrán de la instrumentación de los heliostatos de la PSH con la red de sensores inteligentes son: facilidad de instalación y reducción de costos en instalación y mantenimiento, así como mayor robustez en la comunicación.

La metodología y diseño que resulten de este proyecto, serán desarrollados posteriormente en una empresa dedicada a la producción de tecnología termosolar.

7. CONCLUSIONES

En este artículo se propuso una metodología para el desarrollo, la implementación y validación de un sistema de comunicación inalámbrica. La aplicación de la misma, y el uso de las tecnologías seleccionadas, se encuentra en ejecución. Al momento de la redacción de este artículo se ha realizado hasta la fase 5 de la metodología propuesta. Las pruebas preliminares realizadas hasta el momento, apoyan la validación de la efectividad de implementar tecnologías inalámbricas para la comunicación entre los seguidores. Este trabajo de investigación continúa actualmente en la implementación de las siguientes fases de la metodología señalada. Los resultados obtenidos son alentadores para continuar con la aplicación de la metodología.

8. REFERENCIAS

[1] Lee, C.-Y., Chou, P.-C., Chiang, C.-M., Lin, C.-F., 2009. Sun tracking systems: a review. *Sensors* (Basel, Switzerland), 9(5), pp.3875-90.
 [2] García-Sobrinos, G., Salvador-Villa, I., Serradilla-Echarri, J., 2007. Tower of power. *Civil Engineering* (08857024), 77(October), pp.42-50.

[3] Mojiri, A., Taylor, R., Thomsen, E., Rosengarten, G., 2013. Spectral Beam Splitting for Efficient Conversion of Solar Energy - A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, pp.654-663
 [4] Weinstein, L., Kraemer, D., McEnaney, K., Chen, G., 2014. Optical cavity for improved performance of solar receivers in solar-thermal systems. *Solar Energy*, 108, pp.69-79
 [5] Krothapalli, A., Greska, B., 2012. Solar Concentrators. En: Chen, W. Y., Seiner, J., Suzuki, T., Lackner, M., ed. *Handbook of Climate Change Mitigation*. Springer US, pp.1263-1294
 [6] Her-Teng, Y., Chieh-Li, C., 2011. Fuzzy sliding mode controller design for maximum power point tracking control of a solar energy system. *Transactions of the Institute of Measurement and Control*, 34(5), pp.557-565.
 [7] Kalogirou, S. A., 2004. Solar thermal collectors and applications. *Progress in Energy and Combustion Science*, 30(3), pp.231-295
 [8] Dargie, W., Poellabauer, C., 2010. Motivation for a Network of Wireless Sensor Nodes. En: Shen, X., Pan, Y., ed. *Fundamentals of Wireless Sensor Networks, Theory and Practice*. Reino Unido: Wiley, pp.3-15
 [9] Cuomo, F., Abbagnale, A., Cipollone, E., 2013. Cross-layer network formation for energy-efficient IEEE 802.15.4/ZigBee Wireless Sensor Networks. *Ad Hoc Networks*, 11(2), pp.672-686.
 [10] Akyildiz, I. F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y., Cayirci, E., 2002. Wireless sensor networks: a survey. *Computer Networks*, 38, pp.393-422
 [11] Spencer, B., Ruiz-Sandoval, M., Kurata, N., 2004. Smart sensing technology: opportunities and challenges. *Structural Control and Health Monitoring*, 11(4), pp.349 - 368.
 [12] Lim, A., 2010. Smart Sensor Networks. In: V. Cutsuridis, A. Hussain and J.G. Taylor, eds., *Perception-action cycle models, architectures and hardware*. New York ;London :: Springer.
 [13] Papageorgas, P., Piromalis, D., Antonakoglou, K., Vokas, G., Tseles, D. and Arvanitis, K.G., 2013. Smart Solar Panels: In-situ Monitoring of Photovoltaic Panels based on Wired and Wireless Sensor Networks. *Energy Procedia*, 36, pp.535-545.
 [14] Pfahl, A., Randt, M., Holze, C., Unterschütz, S., 2013. Autonomous light-weight heliostat with rim drives. *Solar Energy*, 92, pp.230-240
 [15] LACYQS, 2011. Campo de Pruebas de Heliostatos (CPH). [Online] Disponible en: <http://lacyqs.cie.unam.mx/es/index.php/instalaciones/campo-de-pruebas-de-heliostatos>
 [16] Iriarte-Cornejo, C., 2013. Automatización de Sistema de Control para Campo de Heliostatos. MC. Instituto Tecnológico de Chihuahua