

**TERCER CONGRESO DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA  
TECNOLÓGICA EN INGENIERÍA ELÉCTRICA CITTIE 2019  
OCTAVO SEMINARIO NACIONAL DE ENERGÍA SENE 2019.**

Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata

---

***Ingeniería Didáctica: Desarrollo de un Sistema de Seguimiento Solar***

---

Fabiana Prodanoff<sup>1</sup>, Susana Juanto<sup>1</sup>, Diego H. Alustiza<sup>1,2</sup>, Cristian L. Wallace<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> UTN, FRLP Avda. 60 y 124 S/N, Ciudad de Berisso, Prov. de Buenos Aires, Argentina, Tel: +54-221-412-4393, ([iec@frlp.utn.edu.ar](mailto:iec@frlp.utn.edu.ar)).

<sup>2</sup> CIOp (CIC – CONIECT – UNLP), Centenario y 506, Gonnet, La Plata, Prov. de Buenos Aires, Argentina, Tel: +54-221-4714341 ([dalustiza@ciop.unlp.edu.ar](mailto:dalustiza@ciop.unlp.edu.ar)).

**Resumen** – Existen múltiples estrategias a usarse con el objetivo de ejecutar el seguimiento del Sol, proceso que llevado adelante por dispositivos apropiados permite el mejor aprovechamiento de las horas del día para, por ejemplo, producir energía eléctrica. Tales estrategias son representadas por algoritmos diseñados por ingenieros que utilizan diversas herramientas informáticas que tienen en cuenta un gran número de variables que influyen fuertemente en la performance del algoritmo propiamente dicho. Sin embargo, para ensayar diversos algoritmos es deseable contar con un dispositivo electromecánico real, no virtual. En este trabajo se describen las primeras metas alcanzadas en el desarrollo de un sistema electromecánico de seguimiento solar destinado a ser usado como plataforma de prueba de algoritmos de seguimiento. El objetivo fue generar un elemento de uso didáctico que permita comprobar experimentalmente el desempeño de diferentes algoritmos de seguimiento mediante el análisis de uno o varios indicadores determinados, y como alternativa a los mecanismos informáticos tradicionales que están basados en la ejecución de procesos de simulación. El desarrollo del sistema fue realizado por becarios a fin de generar las competencias necesarias en los futuros profesionales. Se abordaron temas relacionados con la Física, Matemática y de desarrollo ingenieril. Entre las competencias desarrolladas se mencionan el análisis de problemas de ingeniería, el pensamiento crítico, y la valoración de posibles soluciones para el desarrollo del plan de acción con el objeto de finalizar la implementación del sistema. Se mencionan los resultados parciales alcanzados definiendo, en función de ellos, los pasos a seguir en la próxima etapa de proyecto.

**Palabras claves** - Desarrollo Tecnológico; Energías Renovables; Competencias; Seguimiento Solar.

**TERCER CONGRESO DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA  
TECNOLÓGICA EN INGENIERÍA ELÉCTRICA CITTIE 2019  
OCTAVO SEMINARIO NACIONAL DE ENERGÍA SENE 2019.**

Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata

---

## INTRODUCCIÓN

Actualmente se conoce la importancia de contar con profesionales que se dediquen y especialicen en los temas ingenieriles relativos a las energías renovables. Esto instauró la necesidad de que las casas de estudio universitarias creen cursos de actualización, especializaciones y carreras de posgrado afines con este eje temático de las ciencias de la ingeniería. Durante los últimos 20 años las universidades de nuestro país han incluido en su oferta curricular diferentes opciones académicas para la formación de profesionales idóneos en materia de, por ejemplo, la generación de energía eléctrica basada en el aprovechamiento de los recursos eólico y solar de nuestra región.

En función de esta adecuación universitaria a las circunstancias que enmarcan la realidad energética nacional, es altamente conveniente que las instituciones educativas cuenten con herramientas de bajo costo para poder contar con un importante número de unidades, que permitan facilitar las tareas docentes y motivar a los estudiantes, ya sean de grado o de posgrado. En vistas de esto, en el Grupo IEC (Investigación en Enseñanza de las Ciencias) del Departamento de Ciencias Básicas de la UTN FRLP en conjunto con el ITER (Espacio de Innovación en Energías Renovables de la UTN FRLP), se ha dado comienzo a un proyecto de desarrollo tecnológico orientado a la generación de material didáctico de bajo costo con el objetivo de permitir a estudiantes de grado enfrentarse con problemas reales de ingeniería, desarrollar el pensamiento crítico y el trabajo en equipo [1].

El proyecto consiste en la generación de un sistema electromecánico (Sistema ST - *Solar Tracker*- de ahora en más) destinado a funcionar como plataforma de verificación y

evaluación de algoritmos de seguimiento solar. [2].

Este proyecto fue gestado en el marco del PID UTN4737 (“Aplicación de Tecnologías Modernas para el Desarrollo Local de Material Didáctico”) homologado por disposición del SCTyP N°35/2018 y desarrollado por el Grupo IEC.

Los objetivos que inicialmente fueron definidos para este emprendimiento son los siguientes:

1. Objetivos principales: desarrollar un sistema electromecánico de seguimiento del Sol basado en tecnologías disponibles en el mercado local y de bajo presupuesto, para uso puramente educativo; propiciar la adquisición de competencias y la formación de recursos humanos en las áreas temáticas involucradas en este desarrollo.
2. Objetivos secundarios: apoyar el desarrollo tecnológico local en el ámbito de la FRLP; robustecer la línea de desarrollo de material de enseñanza en el Grupo IEC.

En virtud de la concreción del objetivo asociado a la formación de recursos humanos se reunió un grupo de docentes investigadores y estudiantes becarios de diferentes especialidades (Ing. Química, Ing. en Sistemas de Información, e Ing. Industrial).

La relevancia de este trabajo multidisciplinario radica en que el desarrollo emergente (y en curso, al día de la fecha) brinda un recurso de experimentación de muy bajo costo, utilizable por los estudiantes en el tiempo usualmente destinado a trabajos de laboratorio.

Asimismo, el sistema permite calificar/evaluar diferentes parámetros de performance que caracterizan la inteligencia de algoritmos de seguimiento solar, hecho que es aprovechable por docentes y alumnos de

**TERCER CONGRESO DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA  
TECNOLÓGICA EN INGENIERÍA ELÉCTRICA CITTIE 2019  
OCTAVO SEMINARIO NACIONAL DE ENERGÍA SENE 2019.**

Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata

cursos en los que se estudien temas relacionados con sistemas de aprovechamiento de la radiación solar en algún aspecto.

### DESARROLLO

El enfoque adoptado para la realización del proyecto de desarrollo consistió en el normalmente usado en un proyecto de ingeniería típico. Esto fue debido a que se buscó propiciar un primer contacto de los becarios afectados al proyecto con las prácticas habituales en el campo de las actividades del ingeniero trayendo aparejado de este modo el consecuente desarrollo de las competencias profesionales involucradas (comunicación oral y escrita; búsqueda e interpretación apropiada de información técnica; trabajo en grupo; actitud proactiva para la mejora).

Como primer etapa se procedió a definir y delimitar el problema a solucionar con el emergente del desarrollo tecnológico a ser abordado en el proyecto. Luego se establecieron los propósitos y objetivos para finalmente establecer los requerimientos didácticos que una vez cumplidos suplirían la solución al problema definido.

En la etapa posterior se realizó un rastillaje de sistemas comerciales disponibles en mercado (con el asesoramiento permanente del ITER) en lo que a seguimiento solar se refiere, así como también en lo relacionado a los sistemas a los que éstos son acoplados.

Habiéndose concluido la etapa anteriormente comentada se delimitó el alcance del desarrollo, restringiéndolo a un sistema de uso exclusivamente educativo, de bajo costo y conceptualmente usable para evaluar el comportamiento de un mecanismo de apuntamiento al sol bajo el control de un

algoritmo de seguimiento genérico capaz de ser editado de alguna manera.

Se prosiguió con la confección de un diagrama en bloques que reflejara el diseño conceptual del sistema bajo desarrollo. El mismo se muestra en la Fig. 1. A continuación se describen brevemente los bloques constitutivos del diagrama:

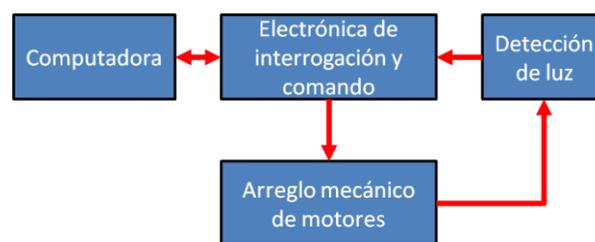


Figura 1. Diagrama en bloques del sistema ST.

- Computadora: alberga el software que permite la implementación del algoritmo de seguimiento a ser evaluado/verificado por el sistema ST.
- Electrónica de interrogación y comando: interroga los sensores del domo de detección de luz y comanda los motores de apuntamiento respondiendo a instrucciones provenientes del software radicado en el bloque Computadora.
- Detección de luz: brinda información de irradiancia solar mediante el uso de un conjunto de cinco sensores ubicados en un domo.
- Arreglo mecánico de motores: proporciona movilidad al domo de detección de luz en dos grados de libertad (movimiento en altitud y en azimut).

Los diferentes bloques que constituyen el diagrama de la Fig. 1 pueden ser implementados de diferentes maneras. Por este motivo se realizó un estudio de tecnologías disponibles para el abordaje de tales implementaciones. Las premisas de

**TERCER CONGRESO DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA  
TECNOLÓGICA EN INGENIERÍA ELÉCTRICA CITTIE 2019  
OCTAVO SEMINARIO NACIONAL DE ENERGÍA SENE 2019.**

Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata

selección de las tecnologías a usarse en cada bloque del diseño conceptual fueron.

- Tecnología de bajo costo.
- Tecnología fácilmente obtenible en mercado local.

Además en esta etapa se definieron las interfaces mecánica, de comunicaciones y de alimentación eléctrica del sistema ST. La interfaz mecánica fue condicionada por los requerimientos de uso en tiempo docente como por ejemplo, peso máximo, tamaño máximo, que sea una sistema abierto (partes constitutivas visibles), que sea transportable. La interfaz de comunicaciones fue establecida en una del tipo USB debido a que la mayoría de las computadoras cuentan con este estándar de comunicación digital. Finalmente en cuanto a la interfaz de alimentación eléctrica se estableció que sea tanto compatible con el uso de una fuente de corriente continua (12VCC), como alterna (220VCA).

Luego del proceso de evaluación de tecnologías disponibles y potencialmente usables, se seleccionaron las siguientes:

1. Computadora: PC con Windows + entorno de desarrollo de software (*Python*).
2. Electrónica de interrogación y comando: placa Arduino Mega2560.
3. Arreglo de mecánico de motores: motores paso a paso 28YBJ-48 + amplificadores ULN2003.
4. Detección de luz: basada en el uso de LDR (*Light Dependent Resistor*), con ventana de 5mm de diámetro.

Posteriormente se prosiguió en el diseño preliminar del sistema comenzando con la electrónica de detección del bloque “Detección de luz” del diagrama de la Fig. 1. Luego de varias propuestas de cómo posicionar los sensores LDR se eligió una en la que los mismos se ubicarían en un domo poliédrico en el que cada eje de detección estaría separado angularmente del eje vecino

en 45 grados sexagesimales. El esquemático de la electrónica de detección es en extremo sencillo y se muestra en la Fig. 2.

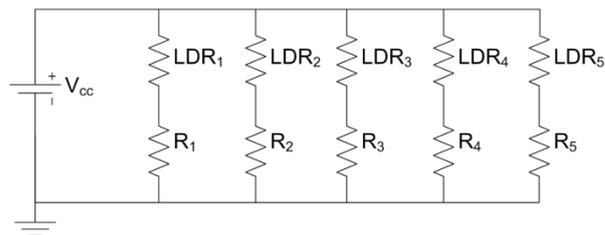


Figura 2. Diagrama esquemático del bloque de detección de luz.

Finalmente y luego de la verificación del circuito en una plataforma de prototipado, se procedió a la implementación del circuito en una placa de circuito impreso del tipo universal y de uso “hobbysta”, con el objeto de formalizar el diseño electrónico probado previamente. La Fig. 3 muestra el impreso con el montaje de los componentes electrónicos ya culminado.

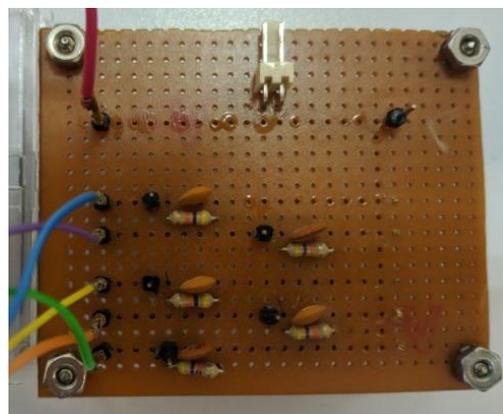


Figura 3. Circuito de detección de luz.

En la figura se pueden observar los divisores resistivos (que incluyen capacitores de filtrado no esquematizado en la Fig. 2 por motivos de claridad), un conector que oficia de puerto de alimentación, y una serie de puertos que brindan conexión de cada uno de los sensores LDR montados en el domo de detección. Éste último propiciaría la sujeción mecánica de los sensores. La Fig. 4 muestra el diseño final del domo de detección, prototipo que fue implementado en una impresora 3D

**TERCER CONGRESO DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA  
TECNOLÓGICA EN INGENIERÍA ELÉCTRICA CITTIE 2019  
OCTAVO SEMINARIO NACIONAL DE ENERGÍA SENE 2019.**

Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata

usando PLA (ácido poliláctico) como material base. En la figura pueden apreciarse tres de los cinco LDRs montados sobre el domo.

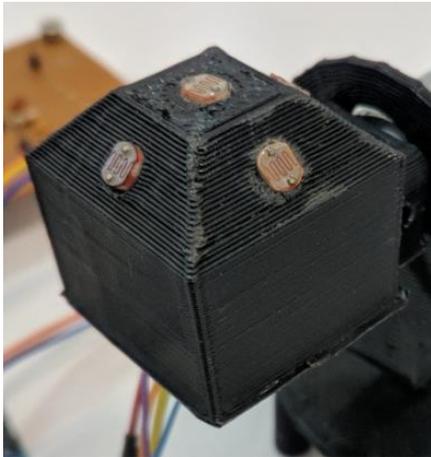


Figura 4. Prototipo del domo de detección.

Posteriormente se generaron las estructuras destinadas al montaje de los motores. También impresas en 3D, el diseño fue extraído de reservorios online de acceso libre, que reúnen los diseños de piezas tridimensionales de diversa índole. El montaje de los motores permiten mover al domo de detección de tal forma que puede actuarse sobre el ángulo de elevación y acimutal de la recta de apuntamiento al Sol, obteniendo un sistema mecánico de dos grados de libertad angular para la evaluación de algoritmos de seguimiento.

La Fig. 5 muestra como luce el sistema completo apreciándose las conexiones entre la PC, la placa Arduino, los amplificadores que bombean las corrientes de los bobinados de los motores, el arreglo mecánico de los motores, y finalmente el domo de detección.

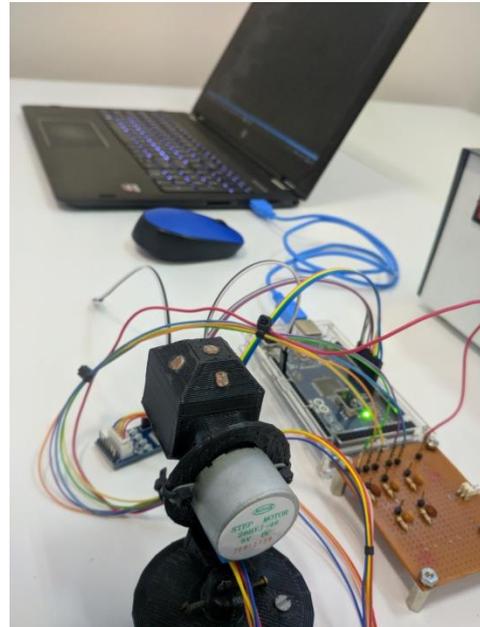


Figura 5. Sistema completo.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se obtuvo un sistema electromecánico que verifica los requerimientos educativos establecidos, cumpliendo con las premisas de diseño convenidas en tiempo de formulación del proyecto. No se cuentan aún con evaluaciones y/o ponderaciones asociadas a algún parámetro de desempeño particular. Se probó un algoritmo de seguimiento particular observando que el sistema respondió ante la excitación luminosa de una fuente artificial de luz de la manera predicha. Actualmente se está diseñando la estrategia de evaluación funcional que brinde mediciones apropiadas de los indicadores de performance necesarios para la caracterización del sistema.

Además se encuentra en proceso de construcción una plataforma que permita ubicar de manera apropiada a todos los elementos que conforman el sistema ST de modo que facilite el traslado del mismo de un lugar a otro.

**TERCER CONGRESO DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA  
TECNOLÓGICA EN INGENIERÍA ELÉCTRICA CITTIE 2019  
OCTAVO SEMINARIO NACIONAL DE ENERGÍA SENE 2019.**

Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata

---

También se planea a futuro el desarrollo de una aplicación de software que corra en la PC y que permita la implementación de algoritmos de seguimiento de una manera visual y amigable, dado que actualmente se recurre a la codificación en Python de la estrategia de seguimiento a probar con el sistema ST.

### CONCLUSIONES

En virtud de los resultados obtenidos se concluye que el grupo humano que intervino en este pequeño desarrollo de tecnología didáctica ha enriquecido sus competencias en ingeniería. Esto habilita la continuación del proyecto a efectos de evaluar y mejorar los puntos necesarios para que el sistema ST pueda ser empleado por docentes y alumnos del nivel apropiado en la verificación y evaluación de algoritmos de seguimiento solar. También se concluye que la generación de material didáctico de bajo costo [3] y fácil adquisición aplicable a la enseñanza de temas relacionados con energías renovables, es plenamente factible.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo agradecen a la dirección del Grupo IEC y las autoridades de la UTN FRLP por el permanente apoyo brindado para la realización del mismo.

### REFERENCIAS

1. Libro electrónico completo: CONFEDI, (2014). *Competencias en Ingeniería. Declaración de Valparaíso*. Recuperado de <https://confedi.org.ar/download/documentos>

[confedi/Cuadernillo-de-Competencias-del-CONFEDI.pdf](#)

2. Capítulo de libro: Reza-Cardena, J. (2018). Chapter 9 - Design Principles of Photovoltaic Irrigation Systems. En, Yahyaoui, *Advances in Renewable Energies and Power Technologies* (pp. 295-333). Elsevier Inc.

3.- Capítulo de libro: Alustiza D., Prodanoff F., Juanto S., Quintero C., Cristofoli N. (2018). "El desarrollo de un sistema adquisidor de bajo costo para datos experimentales como herramienta didáctica". En *Tecnología e Innovación + Ciencia e Investigación en América Latina* (pp 59-79). Colombia. Corporación CIMTED.