



## Estancia inversa para un proyecto en sostenibilidad

**Lorenzo Gastón Bosch<sup>a</sup>, Lorenzo Solano García<sup>b</sup> y Javier Orozco-Messana<sup>b</sup>**

lgastonbosch@gmail.com; lsolano@mcm.upv.es; jaormes@cst.upv.es

<sup>a</sup> IUT d'Orsay Paris-Saclay, Plateau de Moulon, 91400 Orsay (Francia)

<sup>b</sup> Universitat Politècnica de València, DIMM, Camino Vera s/n, 46022 Valencia (España)

---

### **Abstract**

*Flipped teaching has reached a wonderful new application through internship based project development. A student from IUT Paris-Orsay joined the proposed sustainable energy project for understanding the performance of a coupled a-Si PV panel / PEM reversible fuel cell for gathering the technical competencies related to physical measurements and data acquisition while at the same time developing a practical understanding of sustainable energy developments for application on the built environment.*

*The results have allowed the development of a pilot model of a photovoltaic (PV) powered residence in stand-alone. The model assesses the sizing, capital costs, control strategies, and efficiencies of coupled renewable energy systems. The internship turned out into a self-exploratory environment where the student acquired the expected technical skills in a natural application environment with excellent results.*

**Keywords:** *Flipped internship, PBL, sustainable energy*

---

### **Resumen**

*La enseñanza invertida logra una nueva aplicación a través del desarrollo de proyectos en pasantías. Un estudiante del IUT Paris-Orsay se unió al proyecto de energía sostenible propuesto desde el DIMM para comprender el desempeño de un sistema híbrido compuesto por un panel fotovoltaico de aSi y una célula de combustible reversible tipo PEM para obtener, no solo las competencias técnicas relacionadas con las mediciones físicas y adquisición de datos requeridas, sino también una comprensión práctica de las bases fundamentales de la energía sostenible en la edificación.*

*Los resultados han permitido el desarrollo de un modelo piloto de una residencia fotovoltaica autónoma. El modelo evalúa el tamaño, los costos de capital, las estrategias de control y las eficiencias de los sistemas de energía*

*renovable acoplados. La pasantía se convirtió en un entorno autoexploratorio en el que el estudiante adquirió las habilidades técnicas esperadas en un entorno de aplicación natural con excelentes resultados.*

**Palabras clave:** *Pasantía inversa, PBL, energía sostenible.*

## **1. Introducción**

Dentro del acuerdo de colaboración existente entre la Universidad de Paris Saclay y la UPV se reciben periódicamente estudiantes del IUT de Orsay para realizar pasantías financiadas por el gobierno francés. Se trata de estudiantes en su último curso antes de decidir su entrada en una Carrera Universitaria, o bien pasar al mundo laboral.

En este caso se planteó una estancia donde los objetivos académicos acordados correspondían al desarrollo de competencias en metrología, instrumentación y adquisición de datos. La pasantía se concretó con la supervisión de los profesores Solano y Orozco para la evaluación de sistemas comerciales de generación fotovoltaica y células de combustible, con vistas a su integración en una vivienda autónoma desde el punto de vista energético.

Al estudiante se le facilitó un pre-diseño de los elementos a acoplar junto a unos objetivos concretos para el acoplamiento e integración de los mismos. El plan de trabajo fue diseñado conjuntamente con el alumno para concretar de forma natural el desarrollo metodológico, las necesidades de mediciones a realizar y el establecimiento de los parámetros de control y diseño de la instalación piloto.

## **2. Trabajo experimental**

Los dispositivos (hardware) utilizados por el alumno durante la pasantía fueron: un panel fotovoltaico, una célula de combustible, diversos equipos para la adquisición y medida de señales eléctricas y los elementos necesarios para el conexionado de los mismos. A continuación se describe brevemente la puesta a punto del sistema y el trabajo experimental desarrollado.

### **2.1 Cadena de medición**

Uno de los requisitos necesarios para llevar a cabo el trabajo propuesto consistía en medir señales de corriente y voltaje simultáneamente entre los bornes de un panel fotovoltaico. Para ello se utilizó una tarjeta electrónica de National Instruments con referencia NI 9219, implantada en un chasis NI cDAQ-9174. Esta tarjeta ofrece 4 canales y permite medir señales provenientes de distintos sensores, como pueden ser galgas extensométricas o termopares.

Previamente, tuvo que comprobarse el correcto funcionamiento de la tarjeta y que ésta era reconocida por el ordenador a través de las aplicaciones de software de National Instruments:

LabVIEW y MAX (Measurement and Automation Explorer). En esta fase, para suministrar voltaje a la tarjeta se utilizó una fuente de alimentación de corriente continua.

La adquisición de señales de voltaje desde el entorno de NI MAX presentó algunas dificultades que fueron solventadas por el alumno. Cada uno de los 4 canales de la tarjeta NI 9219 está compuesto por 6 pines que miden distintas magnitudes físicas. De modo que fue preciso averiguar cuál de estos pines debía emplearse en la medición de voltaje. Además, para solventar las deficiencias iniciales en el conexionado y garantizar el contacto eléctrico entre los cables y la tarjeta se recurrió a la utilización de punteras especiales. Con el montaje a punto, pudo comprobarse que la curva del voltaje visualizada en función del tiempo se correspondía a la generada por la fuente de alimentación.

El siguiente paso consistió en calibrar la medición realizada por la tarjeta de NI mediante la comparación entre los voltajes de referencia generados por la fuente de alimentación y los medidos por la tarjeta. La fórmula siguiente expresa el cálculo de la diferencia relativa entre los valores de referencia y los valores medidos por la tarjeta o valores no calibrados (fig. 1)

$$\Delta = \frac{\text{valor de referencia} - \text{valor medido}}{\text{valor de referencia}} \times 100$$

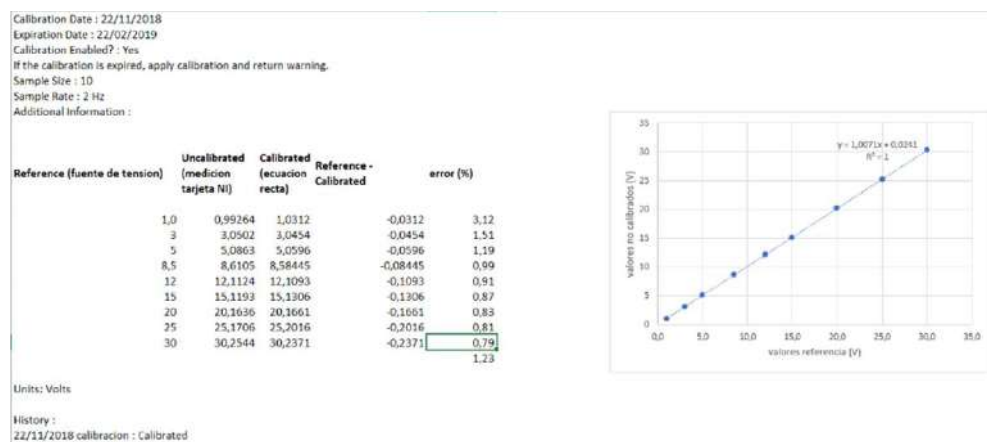


Figura1. Curva de calibración de la tarjeta.

También se dispuso del multímetro digital 34401A de Keysight Technologies, con una resolución de 0.1  $\mu\text{V}$ , que puede medir voltajes de hasta 1000 V y que tiene un rango de trabajo entre 10 mA y 3 A.

## 2.2 Célula de combustible

La célula de combustible reversible utilizada es de tipo PEM fabricada por Cebekit con referencia C-7121. Se calibró un acoplamiento de 3 de estas células con un generador de tensión para determinar los ratios de producción de hidrógeno (fig. 2).



Figura 2. Calibración Célula PEM.

## 2.3 Panel fotovoltaico

El panel fotovoltaico utilizado, de la empresa Xunzel, es de silicio amorfo y tiene una potencia eléctrica máxima de 7 W.

Para cubrir todo el rango de voltajes (entre el voltaje de corto circuito y el de circuito abierto, es decir 18.7 V medidos con el multímetro Keysight) se dispuso de una resistencia variable de 20 k $\Omega$  en dos tramos seleccionables según la forma de conexión de sus tres terminales.

Tras configurar dos de los canales de la tarjeta NI para las dos magnitudes físicas a medir (corriente y voltaje) se pudieron adquirir las lecturas correspondientes mediante el asistente DAQ obteniéndose la curva de la fig. 3.

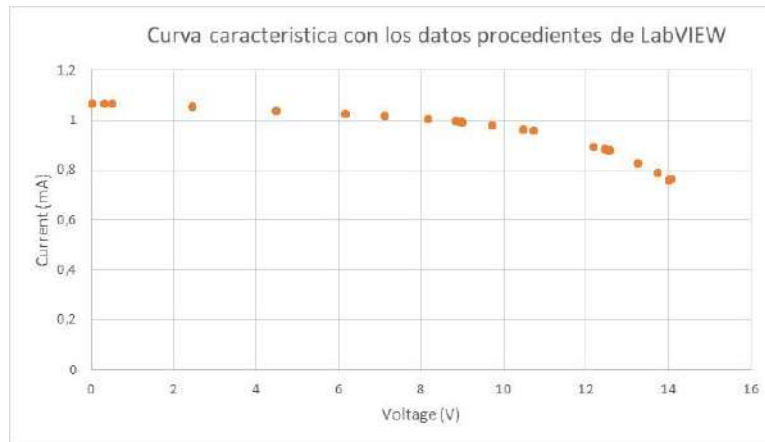


Figura 3. Curva de generación del panel PV de Xunzel.

Con los datos de esta curva se determinaron la eficiencia de conversión ( $\eta$ ) y el factor de llenado o fill factor (FF).

$$\eta = \frac{\text{Potencia eléctrica máxima}}{\text{Potencia luminica de entrada}} = \frac{I_{max} \cdot V_{max}}{P_{entrada}}$$

$$FF = \frac{I_{max} \cdot V_{max}}{I_{cortocircuito} \cdot V_{circuito\ abierto}} = \frac{8.77 \cdot 10^{-4} \cdot 12.58}{1.065 \cdot 10^{-3} \cdot 21.5} = 0.482 = 48.2 \%$$

El primero de estos parámetros, la eficiencia de conversión traduce la capacidad de la célula para convertir la energía lumínica que recibe en energía eléctrica.

### 3. Almacenamiento de energía fotovoltaica y edificios

De cara a un futuro basado en el desarrollo sostenible, el vector energético hidrógeno, producido a partir de energías renovables, está adquiriendo cada vez más protagonismo. Y dentro de este campo, el hidrógeno producido con energía solar se presenta como un modo adecuado de almacenar, en forma de energía química, la energía procedente del sol. Con ello se consigue subsanar uno de los principales obstáculos para el aprovechamiento de la energía solar, su carácter intermitente, ya que, aunque existen métodos de almacenamiento de dicha energía, todos ellos presentan muy bajo rendimiento.

La electrólisis del agua es una tecnología conocida, en la que se lleva investigando muchos años. De forma teórica se puede afirmar que la electrólisis del agua se produce cuando se hace pasar una corriente eléctrica entre dos electrodos sumergidos en un electrolito. Este

método permite el almacenamiento de energía en forma de combustible generado por las células de combustible (en este estudio se trabaja con células PEM reversibles).

Una celda de combustible es un dispositivo electroquímico donde la electricidad se genera a partir de una fuente externa de combustible (habitualmente hidrógeno) y de oxígeno, sin combustión. Una celda de combustible no se agota ni requiere recarga. Producirá energía en forma de electricidad y calor mientras se le provea de combustible. El único subproducto que se genera es agua, operando también a la inversa por lo que puede generar hidrógeno y oxígeno a partir de electricidad.

Los paneles solares idóneos con la tecnología actual industrializada son los de silicio amorfo (aSi) que ofrecen rendimientos integrados altos para un amplio rango de orientaciones y condiciones climáticas.

El presente trabajo ha integrado ambos sistemas y pretende cuantificar los rendimientos cruzados a fin de documentar los datos de partida que permitan diseñar instalaciones con estos elementos acoplados (celdas de combustible y paneles solares) de forma segura con vistas al funcionamiento de una vivienda en modo de isla energética.

Conociendo los rendimientos de la generación de electricidad fotovoltaica y de la célula de hidrógeno, junto a la capacidad que tiene la misma célula para almacenar energía en forma de hidrógeno, se dispone de todos los datos de diseño necesarios.

#### **4. Metodología docente**

La pasantía propuesta parte de unos elementos tecnológicos que requieren el desarrollo de las competencias técnicas previstas en el alcance académico propuesto. Sobre este requerimiento académico se ha estructurado una necesidad real, integrada en un trabajo de investigación existente en el DIMM (Departamento de Ingeniería Mecánica y de Materiales), donde el alumno desarrolla en un contexto real la preparación competencial adquiriendo a través de la metodología de aprendizaje basado en proyectos (PBL) la capacitación competencial. Los elementos sobre los que se estructura esta aplicación de la metodología son:

- Objetivos reales con cuantificación natural de restricciones y datos de campo.
- Aprendizaje inverso desde la necesidad hasta la solución, donde el propio estudiante incorpora, con la tutorización adecuada, los objetivos técnicos de aprendizaje.
- Integración en el trabajo de normativa y aplicación técnica desde la necesidad real planteada a través de los objetivos.
- Auto-pautado del ritmo y secuencia de trabajo en base a un plan impuesto por el proyecto donde está inmersa la pasantía.

- Elevada motivación y satisfacción por ver los resultados plausibles del trabajo realizado.

## 5. Resultados

La pasantía obtuvo unos excelentes resultados académicos en la evaluación realizada en la Universidad de origen, recibiendo una felicitación expresa del equipo responsable del programa de pasantías francés.

El alumno evaluó su experiencia con el nivel más alto de satisfacción y su experiencia se ha incorporado de forma destacada en su curriculum.

Se va a ampliar el programa de pasantías con la UPV.

## 6. Conclusiones

El actual desarrollo de las metodologías docentes basadas en problemas y/o proyectos se complementa de forma idónea con la metodología de docencia inversa cuando se aplican en entornos reales, consiguiendo una muy alta motivación y excelentes resultados en el proceso de aprendizaje.

## Referencias

- Hmelo-Silver, C E, Chinn, C A, O'Donnell, A M and Chan, C. 2013. The international handbook of collaborative learning., New York: Routledge, 148 pp. II 79 pp.
- Chi, M T and VanLehn, K A. 2012. Seeing deep structure from the interactions of surface features. *Educational Psychologist*, 47: 177–88.
- Kinkade, S. 2005. A snapshot of the status of problem-based learning in US medical schools, 2003–04. *Academic Medicine*, 80: 300–1.