



VNiVERSiDAD
D SALAMANCA
CAMPUS OF INTERNATIONAL EXCELLENCE

TRABAJO DE FIN DE GRADO

Redes de sensores inalámbricos

Autor: Francisco Javier Roca González

Tutores: Esteban Sánchez Hernández

Teodoro I. Martínez Fernández

Béjar, septiembre de 2015

Índice

Capítulo 1. Introducción	4
1.1. Historia de la fotovoltaica.....	4
1.2. Desarrollo de la fotovoltaica en España	7
1.3. Motivaciones para el proyecto	9
1.4. Fases de desarrollo	10
1.5. Planificación del proyecto	11
Capítulo 2. Objetivos.....	12
Capítulo 3. Marco teórico	14
3.1. Sistema de adquisición de datos	14
3.2. Comunicación inalámbrica	14
3.3. Redes de sensores inalámbricos.....	15
3.4. Tecnología fotovoltaica	19
3.5. National Instruments	30
3.6. LabView	31
3.7. NI LabView WSN Pioneer Module	38
3.8. Matlab.....	42
3.9. CompactRio	44
3.10. Módulos de E/S de la Serie C.....	49
3.11. Nodos de medida de Redes Inalámbricas de Sensores	50
3.12. Sensor de temperatura y humedad Galltec Mela KPC 2/4-TS.....	51
3.13. Sensor de temperatura PT-100	53
3.14. Sensor piranómetro Kipp & Zonen SP-Lite 2.....	54
3.15. Carga electrónica BK Precision 8500.....	55
3.16. Comunicación serie RS232	57
3.17. Fuente de alimentación NI PS-15.....	59

Capítulo 4. Desarrollo del software.....	61
4.1. Instalación de LabView y complementos.....	61
4.2. Instalación y configuración de la CompactRio	62
4.3. Adición y configuración de un nodo WSN	72
4.4. Conexión de los sensores y de la carga electrónica	74
4.5. Creación de un proyecto de LabView	75
4.6. Desarrollo de los VIs.....	79
4.7. Desarrollo del panel de visualización en tablet.....	98
4.8. Instalando los VIs.....	101
4.9. Desarrollo del software de MatLab.....	104
Capítulo 5. Resultados obtenidos	111
Capítulo 6. Presupuestos.....	119
6.1. Personal	120
6.2. Hardware	121
6.3. Software.....	124
6.4. Resumen global.....	125
Capítulo 7. Conclusiones	126
Capítulo 8. Bibliografía	127
Anexo I. Programas de LabView	131
Anexo II. Programas de MatLab	139
Anexo III. Datasheets	144
Anexo IV. Comandos serial	180

Capítulo 1. Introducción

1.1. Historia de la fotovoltaica

El desarrollo de la energía fotovoltaica tiene lugar a finales del siglo XXI, sin embargo, ya desde el año 1838, Alexandre Edmond Bequerel descubrió el efecto fotovoltaico experimentando con una pila electrolítica con electrodos de platino, comprobando que la corriente subía en uno de los electrodos cuando se exponía al sol.

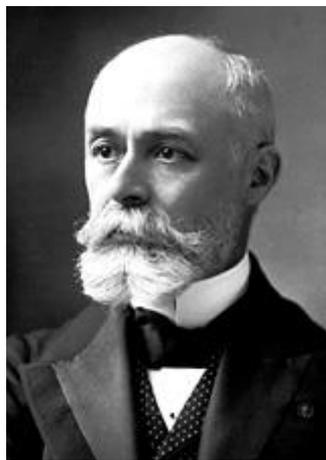


Ilustración 1: Alexandre Edmond Bequerel

Posteriormente, en 1877, William Grylls Adams, profesor en la King College de Londres, junto con Richard Evans Day, crean la primera célula fotovoltaica de selenio.

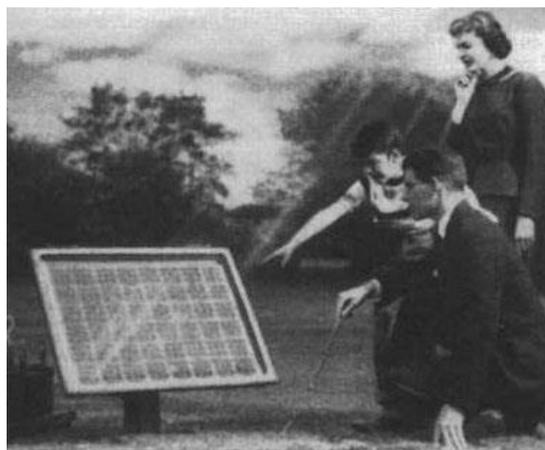


Ilustración 2: Propaganda publicitaria de la célula fotovoltaica de William Grylls Adams

Sin embargo, la cantidad de electricidad que se obtenía de dichas células era muy poca, por lo que no se podía utilizar para ninguna aplicación práctica. No fue hasta 1953, cuando Gerald Pearson de Bell Laboratories, de manera accidental fabricó una célula

fotovoltaica basada en el silicio, resultando mucho más eficiente la obtención de energía con este material. Otros investigadores consiguieron mejorar este descubrimiento, como Daryl Chaplin y Calvin Fuller, consiguiendo proporcionar suficiente energía como para aprovecharla en aplicaciones prácticas.

Sin embargo, a mediados del siglo XX, esta tecnología estaba muy verde, y resultaba muy costosa (como ejemplo gráfico, podemos pensar en que un watio generado por una central convencional costaba alrededor de 50 céntimos, mientras que un watio generado por paneles fotovoltaicos costaba unos 300 dólares).

Por lo tanto, solo era rentable su utilización para pequeños aparatos electrónicos, sobretodo su utilización en juguetes, radios... Sin embargo, una industria se interesó por dicha tecnología, lo que provocó que científicos e investigadores se preocuparán aún más por ella; estamos hablando de la industria aeroespacial, concretamente la alimentación de los satélites, ya que instalando en ellos paneles fotovoltaicos, se conseguía proveer energía de manera fiable, en un entorno de difícil acceso.



Ilustración 3: Satélites alimentados por paneles fotovoltaicos

Llegó entonces el año 1955, y la NASA encargó a EEUU la producción de paneles fotovoltaicos para las aplicaciones aeroespaciales. Tal fue el avance en la investigación, que en aquella época se ofrecían células fotovoltaicas con un rendimiento del 3 % y, tan solo dos años después, aumentaron hasta un 8 % su rendimiento.

En el año 1958, se lanzó el Vanguard I, el primer satélite alimentado por paneles fotovoltaicos. En un principio, los paneles fotovoltaicos solo se utilizaban para alimentar un transmisor, sin embargo, acabaron convirtiéndose en la fuente de energía principal al considerar que el uso de baterías no era algo tan duradero como la alimentación por paneles solares. El equipo consiguió aguantar 5 años.



Ilustración 4: Vanguard I en órbita

Debido al éxito de los paneles solares en la industria aeroespacial, alrededor de los años 70 se comenzaron a utilizar en actividades terrestres. Esto fue en parte posible debido al abaratamiento de los paneles, que rondaban entonces a unos 20 dólares por cada watio. Además, había situaciones en las que era mucho más barato instalar estas células solares que trazar todo el cableado que requería una instalación convencional.

Poco a poco fueron ganando terreno en algunos aspectos, se utilizaban para la iluminación de boyas y faros, para repetidores en sistemas de telecomunicaciones, para la iluminación de líneas férreas... Hasta tal punto, que en el año 1975 ya se producían más paneles fotovoltaicos para aplicaciones terrestres que para aplicaciones aeroespaciales.



Ilustración 5: Farola alimentada por paneles fotovoltaicos

Ya durante los años 80 se planteaba la idea de la utilización en países empobrecidos. En estos países, es completamente inviable utilizar un modelo energético basado en un sistema de distribución. Por lo tanto, era mucho mejor utilizar la generación eléctrica en el mismo lugar de consumo.

En esa misma década también aparecen las primeras casas alimentadas con placas fotovoltaicas en los países desarrollados, con el objetivo de que cada hogar genere su propia energía en vez de establecer una gran central y un sistema de distribución.

En la década siguiente, las células fotovoltaicas han experimentado un descenso de su coste, a la vez que se ha conseguido mejorar su eficiencia. Esto provocó un gran impulso.

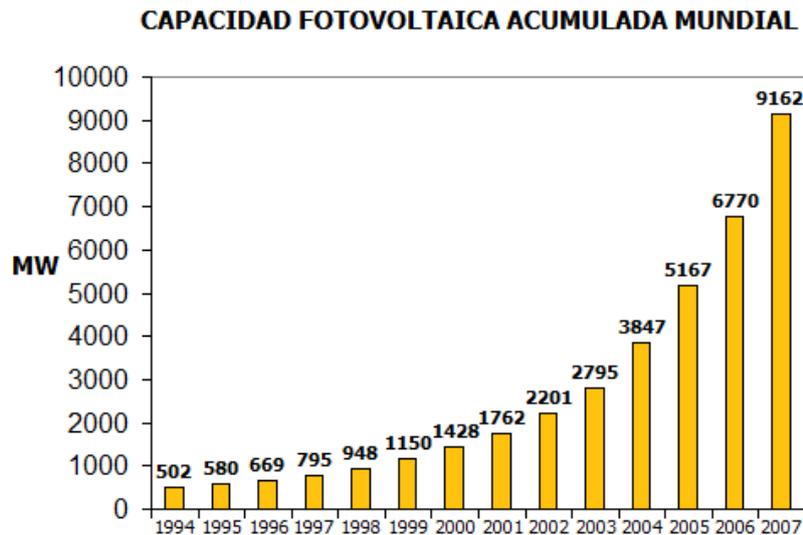


Ilustración 6: Crecimiento exponencial de la energía fotovoltaica

Esto fue acompañado, como no, por el seguimiento de los gobiernos, donde aparecen las primeras primas que obligan a las compañías de luz a comprar la electricidad fotovoltaica a una tarifa mucho más alta que la venta. Además, muchos gobiernos apoyaban el desarrollo de esta tecnología con subvenciones y financiaciones para afrontar los costes.

1.2. Desarrollo de la fotovoltaica en España

En España también hay que destacar el campo de la investigación en la industria fotovoltaica. Destacan el CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas y Medioambientales), el IES (Instituto de Energía Solar de la Universidad Politécnica de Madrid), con dos eminencias en el campo de la fotovoltaica, Antonio Luque y Gabriel Salas; así como el IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro Energético) y otros grupos de investigación en las distintas universidades del país.

Fue en 1984, por Iberdrola, cuando se hizo la primera instalación fotovoltaica conectada a la red eléctrica, concretamente en San Agustín de Guadalix (Madrid), y tenía una potencia de 100 kW.

Actualmente, la planta solar más grande instalada en España se encuentra en Toledo, con una potencia de 1 MW, propiedad de Endesa, y financiada por varios países, como España, Alemania...

A lo largo de la década de los 90 y la primera década del siglo XXI, han surgido varias normativas que regulaban las primas que se debían de cobrar a las compañías eléctricas por la venta de la energía proveniente de células fotovoltaicas. Nos encontramos con el Real Decreto 2818/1998, del 23 de diciembre, donde se pagaba, (en aquel entonces en pesetas) a 0,396 €/kWh para instalaciones de menos de 5 kW; y a 0,216 €/kWh para instalaciones de más de 5 kW.

En el 2002 apareció otro Real Decreto, en concreto el 841/2002, donde las primas se marcaban a 0.36 €/kWh para instalaciones de menos de 5 kW; y a 0,18 €/kWh para instalaciones de más de 5 kW.

Estos modelos marcaban el modelo conocido como FIT (Feed-In Tariff). Sin embargo, el “boom” en España de la fotovoltaica lo marcó el Real Decreto 436/2004, de 12 de marzo, donde se establece una tarifa del 575 % durante 25 años y 460 % para los siguientes para las instalaciones de menos de 100 kW. Como resultado del mismo, se consiguió la parcelación de las huertas solares en unidades de 100 kW, ya que así se conseguía la tarifa más favorable. Esto dio lugar a la “burbuja fotovoltaica”, ya que era



Ilustración 7: Huertos solares

una tecnología con bastantes años de uso, bastante investigada y desarrollada y, para los inversores, era un producto con poco riesgo y alto rendimiento.

Ejemplos en España los encontramos en la prensa, con titulares como “Inauguran en Beneixama la planta solar más grande del mundo”, en el 2007 (<http://www.20minutos.es/noticia/214983/0/Inauguran/Beneixama/solar/>); “Salamanca contará con la segunda planta solar más grande del mundo”, en el 2007 (<http://www.20minutos.es/noticia/276883/0/INAUGURACION/planta/solar/>).

Se preveía que, en el 2010 se hubieran instalado, en España, 363 MW; sin embargo, se instalaron 3892 MW, una cifra muy superior a la prevista. Esto se fue traduciendo en modificaciones a ese Real Decreto, como el R.D. 661/2007, del 25 de mayo; pero no hubo reducción en la tarifa y se siguió permitiendo la parcelación. En el R.D. 1578/2008 se incorporaron nuevas modificaciones que solucionaban el problema, acabando la parcelación; sin embargo, esta normativa llegó tarde y el problema ya había dado sus frutos.

Con el R.D. 1/2012, del 27 de enero, se termina con el FIT (Feed-In Tariff), ya que se suspenden los procedimientos de preasignación de retribución, se suspenden los incentivos económicos para nuevas instalaciones de producción de energía eléctrica...

A partir de entonces, la energía fotovoltaica en España entra en decadencia. Las primas son insuficientes para asumir los costes de hacer una instalación fotovoltaica, la generación de electricidad es más caro que comprarla a las compañías eléctricas...

En este momento, no es posible, tanto a nivel de España, como a nivel mundial, predecir el futuro de la energía fotovoltaica. Sin embargo, parece ser que, en el desarrollo de las energías renovables, la fotovoltaica tomará parte en él.

1.3. Motivaciones para el proyecto

Debido al desarrollo en los últimos años de la industria fotovoltaica y a la generación de muchos huertos solares, aparece la necesidad de poder controlar los parámetros fundamentales de cualquier instalación fotovoltaica (temperatura de los módulos, temperatura ambiente, humedad, radiación...), así como las características de las placas fotovoltaicas (curva I-V), para poder conocer su estado y su rendimiento.

Además, debido al desarrollo de los sistemas inalámbricos se hace notable la necesidad de desarrollar un sistema que permita monitorizar dichos parámetros, mediante un sistema inalámbrico desde cualquier lugar del mundo.

Para el desarrollo de dicho sistema, se ha decidido utilizar un sistema de National Instruments, basado en la programación gráfica de LabView y un sistema compacto y robusto, que permita instalarse en cualquier instalación fotovoltaica, conocido como CompactRio, que se utilice como “cerebro” de la operación, cuyas “extremidades” encargadas de recoger la información sean módulos WSN (Wireless Sensor Network) conectados directamente a termorresistencias, sensores de temperatura y humedad, y a una carga electrónica cuyo cometido sea recoger los parámetros de tensión e intensidad de los módulos fotovoltaicos.

1.4. Fases de desarrollo

Para el desarrollo de este proyecto se han tenido que seguir los siguientes pasos:

- Aprendizaje de la utilización de los productos de National Instruments a través de manuales para la utilización de la CompactRio, los módulos WSN, así como manuales de la carga electrónica.
- Configuración de la CompactRio, los sensores inalámbricos WSN, la configuración del software LabView y la instalación del hardware y el software de la carga electrónica BK Precision 8500.
- Implantación del complemento NI LabView WSN Pioneer Module, que permite modificar el software que implementan los módulos WSN de fábrica para mejorar aspectos en la comunicación y en el ahorro de baterías.
- Diseño del software, tanto los “.vi” que se utilizarán en la CompactRio, como los que se utilizarán en los módulos WSN para la adquisición de datos provenientes de los sensores. También se ha diseñado un sistema para la descarga de dichos datos a través del software Matlab.
- Realización de pruebas para el correcto funcionamiento tanto del hardware como del software desarrollado.

1.5. Planificación del proyecto

Vamos a establecer 8 capítulos en el presente proyecto, así como dos anexos siguiendo la planificación descrita a continuación:

- En el capítulo 1, se describe una pequeña introducción a la aparición y desarrollo de la fotovoltaica, así como las motivaciones que han llevado a cabo el desarrollo de este proyecto y cuáles han sido los pasos necesarios para su realización.
- En el capítulo 2, se describen los objetivos principales del proyecto que se pretenden conseguir con su realización.
- En el capítulo 3, aparece el marco teórico que engloba todo el proyecto, es decir, la descripción de todo el hardware y el software utilizado para su realización.
- En el capítulo 4, se incluye el desarrollo del software, tanto a nivel de instalación como de creación de los distintos programas que se utilizan para la adquisición de los datos.
- En el capítulo 5, aparecen los experimentos realizados y los resultados obtenidos para probar que el sistema desarrollado cumple con los objetivos para los que ha sido creado.
- En el capítulo 6, se describe el presupuesto, a nivel de detalle, describiendo los componentes utilizados y el precio de mercado que tienen.
- En el capítulo 7, aparecen las conclusiones que se han obtenido al realizar y comprobar el funcionamiento del sistema.
- En el capítulo 8, se enumeran las referencias bibliográficas que se han utilizado.
- En el anexo I, se incluyen los programas de LabView.
- En el anexo II, se incluyen los programas de MatLab.
- En el anexo III, se incluyen los datasheets del hardware utilizado.
- En el anexo IV, se incluyen los comandos serial de la carga electrónica BK Precision 8500.

Capítulo 2. Objetivos

Debido al desarrollo de la fotovoltaica, así como de su implantación en múltiples campos desde hace varios años, se hace notable la necesidad de monitorizar los parámetros esenciales que la rodean, tanto ambientales como de los propios módulos fotovoltaicos. Además, el desarrollo de las nuevas tecnologías, ha producido el auge de los sistemas inalámbricos, así como de los sistemas en línea, que permiten conectar cualquier punto del planeta, por remoto que sea, a través de internet.

Es por ello, que se pretende unir, esa necesidad que ha sido creada por el desarrollo de la tecnología fotovoltaica, con las nuevas tecnologías inalámbricas. Por lo tanto, nos marcamos como objetivo conseguir monitorizar los parámetros ambientales (temperatura, humedad relativa e irradiancia) que son típicos en cualquier instalación, así como la obtención de la curva tensión-intensidad y tensión-potencia, que nos dan los parámetros esenciales de cualquier módulo fotovoltaico (véase corriente de corto circuito y tensión de circuito abierto, así como los puntos de máxima potencia para la tensión, la intensidad y la potencia).

Además, se ha decidido utilizar software de National Instruments, pionero en la obtención de datos a través de sensores; por lo que es una buena herramienta para dicho fin. El “cerebro” de la operación va a ser un controlador CompactRio, que destaca por su versatilidad, así como por su facilidad de implementación de software y de hardware; lo que lo hace una herramienta adaptable a cualquier entorno y situación prevista.

Por lo tanto, el desarrollo del proyecto tendrá las siguientes fases:

1. Instalación y configuración del software utilizado, es decir, ordenadores (instalación de LabView, drivers, módulo complementario Pioneer...), CompactRio, módulos inalámbricos WSN, sensores (PT-100, sensor de temperatura ambiente y humedad KPC2/4-TS y sensor piranómetro SP-Lite 2).
2. Instalación y configuración de la carga electrónica BK Precision 8500.
3. Aprendizaje de la utilización del sistema CompactRio, así como de la programación de los módulos inalámbricos a través del complemento Wireless Sensor Module Pioneer.

4. Desarrollo del software utilizado (virtual instruments, conocidos como .vi) en la CompactRio y en los módulos WSN para la medición de los parámetros y su almacenamiento.
5. Desarrollo de un software implementado bajo Matlab para la descarga y el procesamiento de los datos anteriormente descritos, así como para el envío de notificaciones al correo electrónico.
6. Desarrollo de un sistema que permita conocer el estado de los parámetros a tiempo real.

Capítulo 3. Marco teórico

3.1. Sistema de adquisición de datos

Un sistema de adquisición de datos consiste en medir un fenómeno físico, como la tensión, la corriente, la temperatura..., a través de un controlador (puede ser un PC, o, como en nuestro caso, un sistema CompactRio) y su representación mediante un software de aplicación (en nuestro caso, dichos datos pueden verse a tiempo real mediante nuestro .vi de monitorización o mediante el software Matlab).

Para adquirir dichos datos, se utilizarán sensores (termorresistencias, piranómetros, etc.), que son los encargados de traducir (por ello también se denominan transductores) ese fenómeno físico en una señal eléctrica, que sea reconocible por el sistema que se encarga de adquirir los datos. Dicha señal puede ser un voltaje, una corriente, una resistencia, la frecuencia..., que dependerá de qué tipo de señal es capaz de reconocer el sistema.

Además, hay que tener en cuenta que hay algunos sistemas de adquisición de datos que requieren de un acondicionamiento de la señal para que puedan poderla utilizar, por ejemplo, amplificadores, acondicionadores, rectificadores...



3.2. Comunicación inalámbrica

Es aquella en la que la comunicación no se encuentra unida mediante un medio de propagación físico, sino que se utiliza la modulación de ondas electromagnéticas a través del espacio.

Este tipo de comunicación es frecuente encontrarla en los ordenadores para su conexión a internet (WIFI); sin embargo, su utilización no se limita en eso, sino que podemos encontrarlo en televisión, telefonía, seguridad... y, como no, para la adquisición de datos de manera remota.

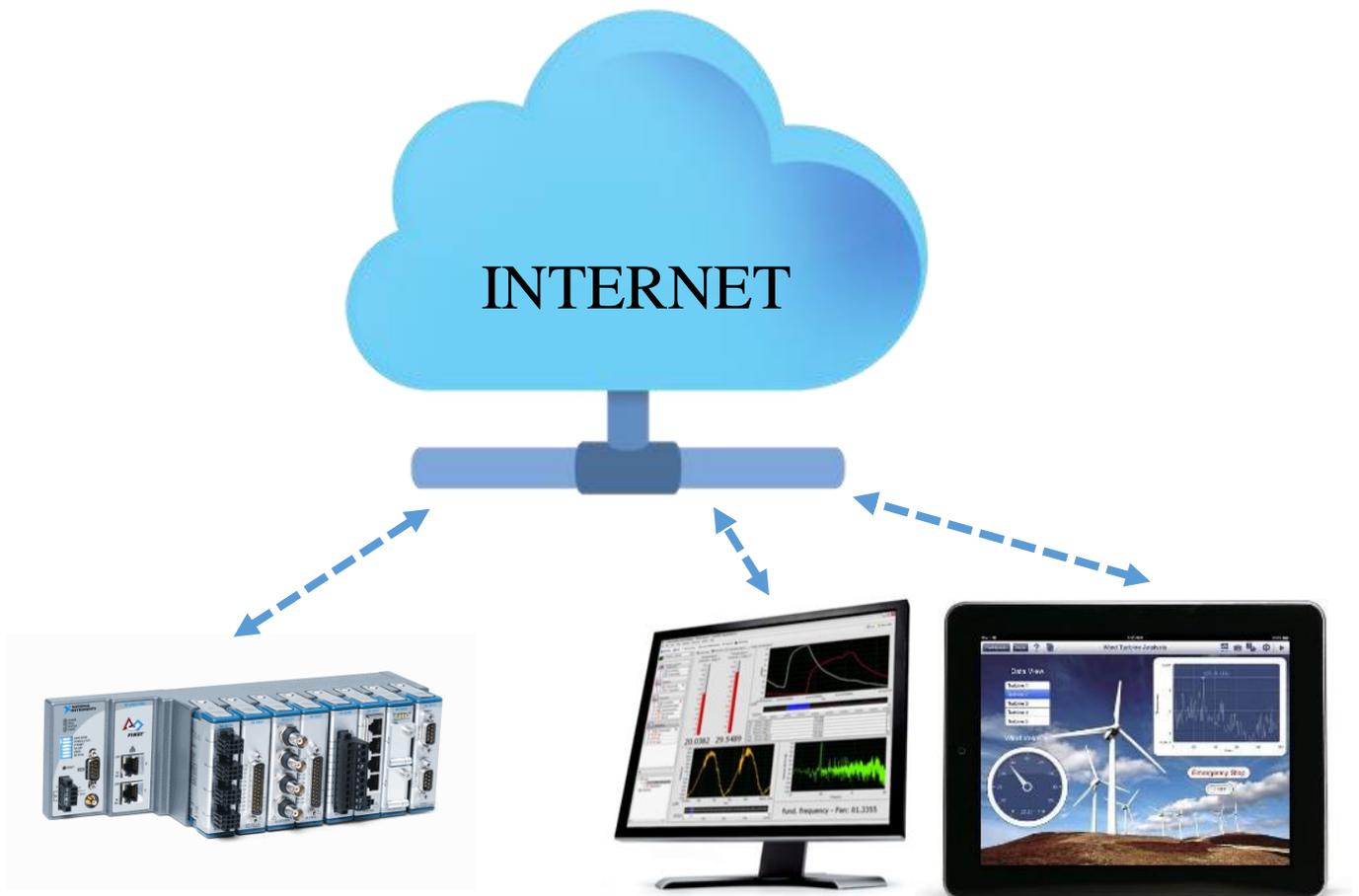


Ilustración 9: Sistema de comunicación inalámbrica

3.3. Redes de sensores inalámbricos

Las redes de sensores inalámbricas, también conocidas como WSN (Wireless Sensor Network), consisten en formar una red de dispositivos distribuidos en el espacio utilizando sensores, con el objetivo de monitorizar ciertas condiciones físicas o ambientales.

Cada uno de esos sensores inalámbricos, también llamados motas, están formados por microcontroladores, sensores y transmisores y receptores. El microcontrolador realiza la tarea de hacer funcionar el sensor inalámbrico, por lo que se podría decir que es el “cerebro” del sistema. Los sensores son los encargados de detectar la variación de un fenómeno físico (temperatura, humedad...), y los transmisores y receptores de enviar y recibir dichos datos al sistema encargado de controlar la operación.



Ilustración 10: Partes de un sensor inalámbrico WSN

En nuestro caso, vamos a utilizar sensores inalámbricos WSN, de National Instruments, y la unidad receptora encargada de su supervisión será un sistema CompactRio. Para realizar la conexión entre los nodos WSN y la CompactRio, es necesario utilizar una pasarela (conocida por su nombre en inglés, gateway), que, en nuestro caso, es el modelo NI 9795 (modelo que se describirá posteriormente). Dichos módulos inalámbricos, por sí solos no son capaces de medir los parámetros que nosotros requerimos para nuestro proyecto, por lo que será necesario acoplarles otros sistemas que se encarguen de realizar dicha medición (termorresistencias PT-100, sensores de humedad, piranómetros...).



Ilustración 11: WSN conectado a COMPACTRIO, a través de GATEWAY NI 9795

Con todo este sistema se consigue llevar a cabo la completa monitorización de los parámetros esenciales de una estación fotovoltaica y, además, como se trata de un sistema inalámbrico y muy flexible; es muy fácil adaptarlo a cualquier instalación.

Otra de las ventajas que tiene la utilización de una red inalámbrica de sensores es la capacidad que tiene de salvar obstáculos en el terreno con gran facilidad y, es por tanto, algo a tener en cuenta a la hora de valorar si utilizarlos o utilizar los sistemas cableados tradicionales. Además, el desarrollo de los mismos en las últimas décadas ha hecho posible su abaratamiento frente a otros sistemas.

Sin embargo, uno de los problemas que tienen dichos nodos es la manera de obtener la energía para su funcionamiento. La comunicación vía radio de estos nodos incrementa notablemente el consumo de energía, lo cual es un problema a tener en cuenta si se desea que el sistema trabaje de manera ininterrumpida. Por lo tanto, una de las soluciones que hemos propuesto, ha sido modificar el software que incluyen los módulos inalámbricos WSN para que sólo utilicen la comunicación radio (causante principal del excesivo consumo de energía) cuando sea estrictamente necesario (esto se explicará en profundidad en el siguiente capítulo).

Otro de los aspectos a tener en cuenta es la cobertura de la red que aporta el nodo. En el caso de los módulos inalámbricos de National Instruments que estamos utilizando, la cobertura no es un gran problema, ya que cada nodo puede utilizarse como router, ampliando la cobertura de los mismos.

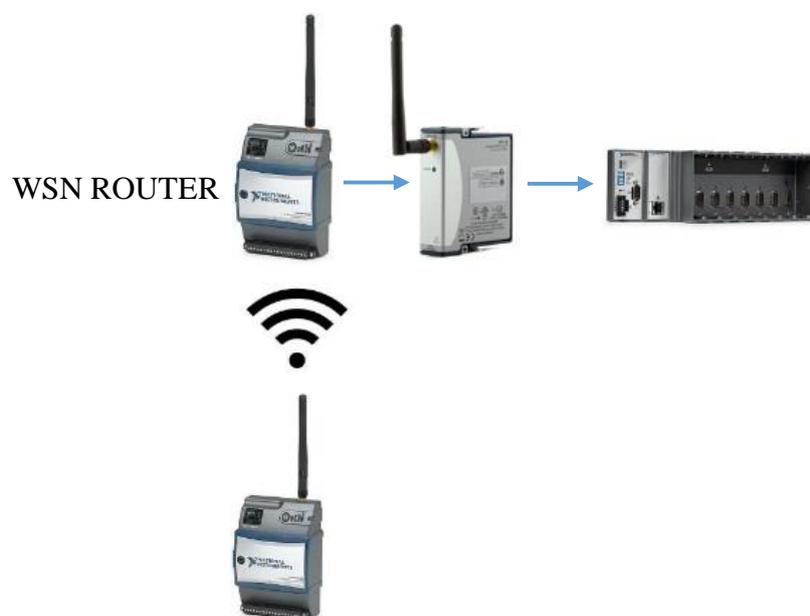


Ilustración 12: Conexión de un WSN a otro que funciona como router

Esto da lugar a varios tipos posibles de tipologías de dicha red:

- Estrella: Cada nodo se conecta directamente a la pasarela (gateway).
- Árbol: Algunos nodos se conectan directamente a la pasarela y otros se conectan a ella a través de nodos intermedios que funcionan como router, siguiendo el nivel de jerarquía.
- Malla: Igual que el anterior, solo que los nodos siempre buscan el mejor camino, sin tener en cuenta los niveles jerárquicos.

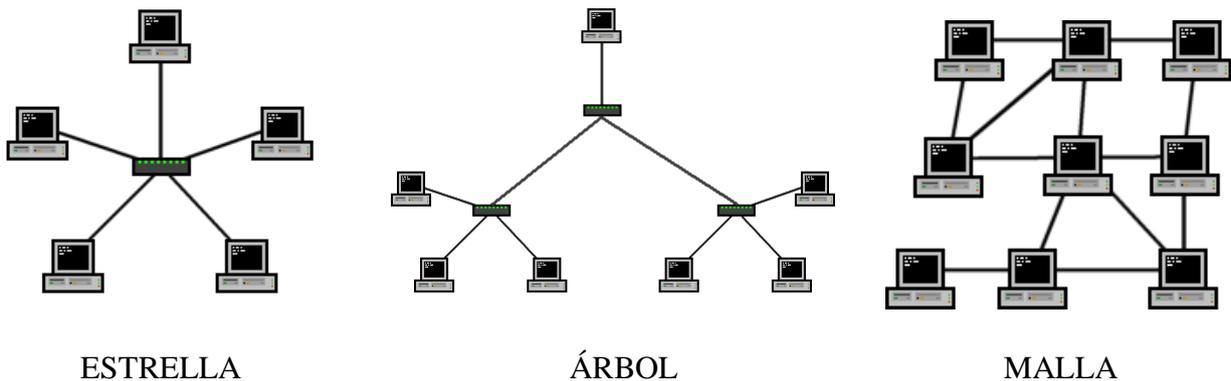


Ilustración 13: Topologías tipo estrella, árbol y malla

La idea del enrutamiento es que, cuando un nodo aparece en la red, anuncie su presencia y escuche las respuestas de sus vecinos, para así poder elegir el camino más conveniente hasta llegar a pasarela o gateway.

Como podemos imaginar, las posibles aplicaciones de dichos nodos son muy variadas, entre las que podemos destacar:

- Monitorización del medio ambiente.
- Realizar mediciones en el campo de la agricultura (condiciones climáticas, datos sobre el terreno...).
- Control de procesos (robots, guiado de herramientas...).
- Sistemas de automatización (control de invernaderos, control de alimentación en animales...).
- Sistema de seguridad ante intrusos.
- Monitorización de parámetros en situaciones especiales (centrales nucleares, refinerías...).

3.4. Tecnología fotovoltaica

El Sol es una fuente de energía inagotable que emite un flujo de energía radiante de $3,8 \cdot 10^{26}$ W, de los cuales, $1,367 \text{ kW/m}^2$ llegan, de media, a la tierra. La tecnología fotovoltaica es una tecnología que pretende aprovechar esa energía, que nos llega del Sol, transformándola en electricidad mediante un dispositivo semiconductor, denominado célula fotovoltaica, o mediante la deposición de metales sobre un material sustrato, denominada célula solar de película fina (thin-film).

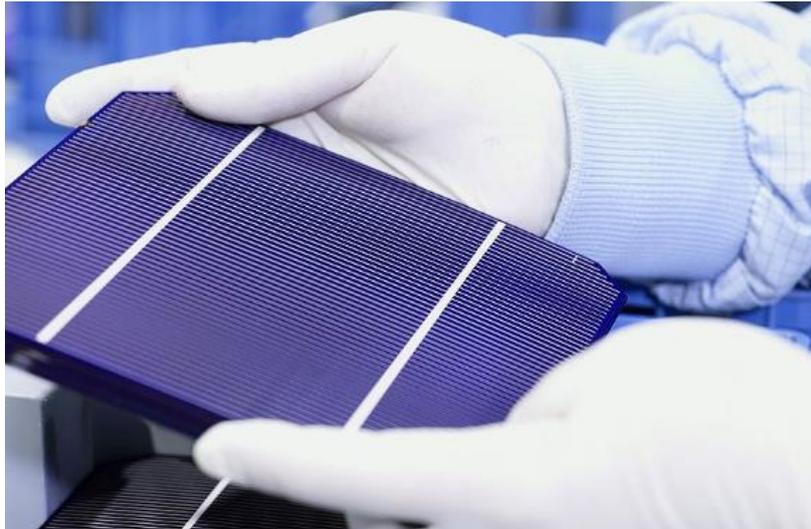


Ilustración 14: Célula fotovoltaica en proceso de fabricación

Gracias a los avances tecnológicos, el coste de la energía solar fotovoltaica se ha reducido considerablemente desde que se fabricaron las primeras células comerciales. Además, el rendimiento de las mismas ha aumentado en gran medida en los últimos años. Todo esto ha dado lugar a que, a principios del año 2015, estén instalados más de 184 TWh; lo que equivale al 1 % de la demanda mundial de electricidad.

Principio de funcionamiento

Las células fotovoltaicas se basan en el “efecto fotovoltaico” para obtener la electricidad. Cuando un semiconductor se expone a la luz, un fotón arranca un electrón, y crea un hueco en ese átomo excitado. Las células fotovoltaicas “obligan” a los electrones y a los huecos a ir hacia el lado opuesto para recombinarse en él, esto produce una diferencia de potencial y, por tanto, tensión entre las dos partes de material. Para lograr este efecto, la capa semiconductor debe doparse para producirse dos capas, una p y una capa n , con exceso de portadores positivos y negativos, respectivamente. Estas dos capas con las que hacen posible que se dé el “efecto fotovoltaico” descrito anteriormente.

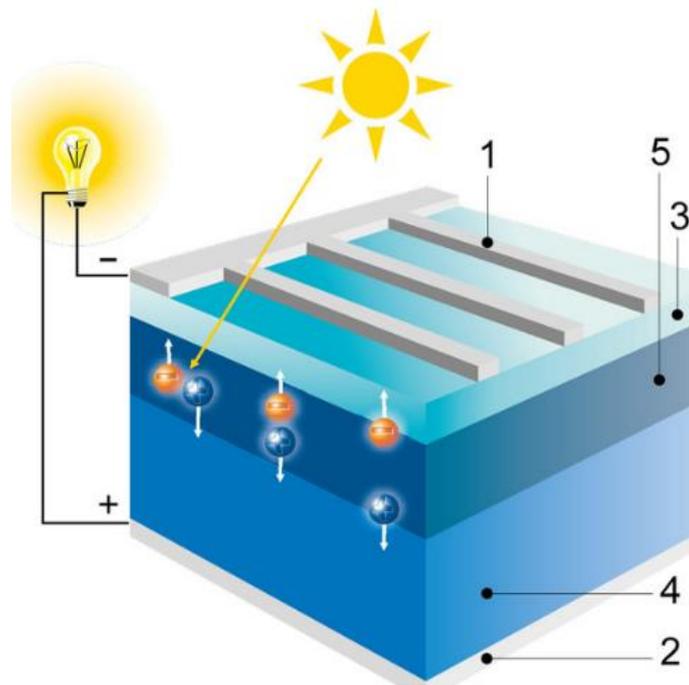


Ilustración 15: Célula fotovoltaica. 1-Electrodo negativo; 2-Electrodo positivo; 3-Semiconductor dopado n; 4-Semiconductor dopado p; 5-Capa barrera

Las células están recubiertas de vidrio transparente que deja pasar la luz solar y minimiza las pérdidas de calor. Sin embargo, una sola célula no es productiva, por lo que en la práctica se fabrican paneles solares que engloban conjuntos de células fotovoltaicas. Normalmente las placas actuales constan de 48, 60 ó 72 células en serie. Además, suelen constar de diodos bypass para evitar que la corriente circule a través de las células sombreadas.



Ilustración 16: Placa solar

Una vez instaladas las placas solares, se agrupan en “strings” que son conectados a un inversor, que será el encargado de transformar la corriente continua que se obtiene de las propias placas, en corriente alterna a 50 Hz, que podrá ser volcada a la red para su

transporte y su distribución. Hay algunas instalaciones que intercalan baterías como sistema de almacenamiento de la energía.

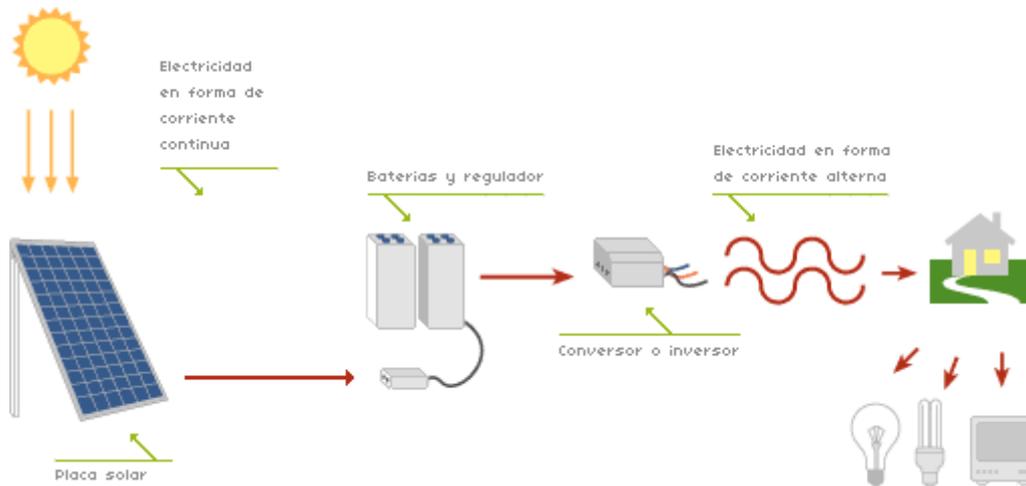


Ilustración 17: Esquema de una instalación fotovoltaica

Las placas pueden instalarse sobre el suelo, que pueden ser fijas (orientadas al sur y con una elevación fija) o móviles, que disponen de seguidores solares para orientar siempre las placas hacia el punto más óptimo. También hay placas que se instalan sobre cubierta, para aprovechar ese espacio.



Ilustración 18: Placas instaladas sobre cubierta

Tecnologías de fabricación

En la actualidad, en la fabricación de las células fotovoltaicas se utiliza silicio, ya que es un material muy económico. Es necesario, durante el proceso de fabricación, tener en cuenta el “efecto mismatch”, también conocido como efecto de dispersión. Este problema consiste en que la potencia máxima total no es igual a la suma de las potencias máximas individuales; y, para evitarlo, es necesario seleccionar las células con características próximas a la hora de formar el módulo fotovoltaico. También es conveniente seleccionar módulos semejantes a la hora de formar los strings.

Se pueden distinguir dos tipos de tecnologías:

- **Capa gruesa:** Tienen un rendimiento entorno al 22 %, siendo las de silicio monocristalino las que tienen el rendimiento más elevado. Para su fabricación, se utilizan barras de silicio puro (lingotes) que se cortan en obleas que se procesan hasta obtener la célula fotovoltaica. También están presentes las células de silicio policristalino, con un rendimiento del 16 %. En este caso, y a diferencia de las de silicio monocristalino, el silicio se funde en bloques; y, de esta manera, se forman estructuras cristalinas de diferentes tamaños. El problema es que, en los límites, aparecen defectos que reducen el rendimiento del material.
- **Capa fina:** Dentro de la tecnología de fabricación de capa fina, aparecen las placas de silicio amorfo que, aunque tienen un rendimiento bastante más bajo que las anteriores (5 – 10 %), tienen un mejor comportamiento bajo luz difusa ya que se emplea menos material y, además, su coste de fabricación es mucho menor. También destacan las conocidas como CIGS (acrónimo de Cobre, Indio, Galio y Selenio), que presentan unos rendimientos entre el 13 y el 15 %. Este tipo de placas ofrece la ventaja de presentar baja carga estática, ya que sus células son muy ligeras, capaces de captar tanto la radiación solar directa, como la radiación solar indirecta (lo que favorece su utilización, ya que se pueden utilizar en tejados planos y en invierno). Por último, debemos citar las placas de Teluro de Cadmio (CdTe), con unos rendimientos entorno al 16 %. Este material es más barato que el cadmio, aunque también es menos eficiente. Sin embargo, tienen un problema grave; y es que, este tipo de placas, llevan metales pesados (cadmio), por lo que es necesario su retirada por personal cualificado cuando se produce su desinstalación.



Ilustración 19: Placa solar de silicio monocristalino, policristalino y amorfo, respectivamente

Hay otros tipos de tecnologías de fabricación menos destacables, ya que son tecnologías muy nuevas, como las células fotovoltaicas orgánicas (FVO), fabricadas con compuestos de hidrocarburos que se aplican sobre un material sustrato. La ventaja que tienen es que no se ve afectado su rendimiento, aunque aumente la temperatura o aunque disminuya la radiación. Sin embargo, todavía tienen bajos rendimientos; lo que no las hacen competir con las tecnologías tradicionales.

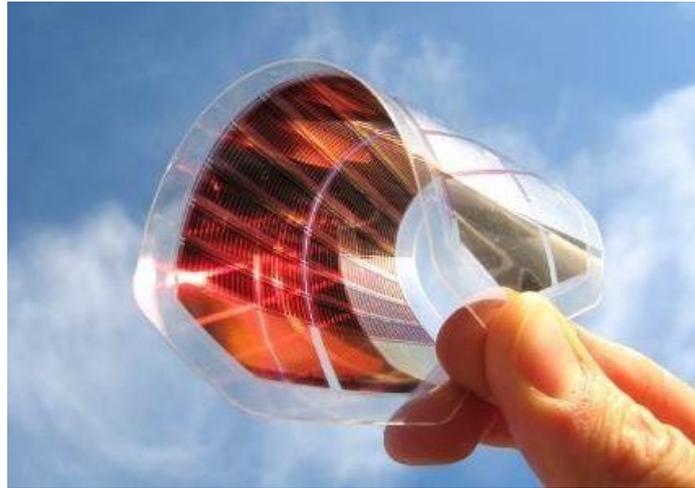


Ilustración 20: Prototipo de célula fotovoltaica orgánica

En la actualidad se está investigando posibles mejoras en las placas actuales, como podemos observar en los sistemas de concentración (FVC), que utilizan materiales semejantes a los utilizados en las placas CIGS junto con espejos y lentes para concentrar la incidencia de la luz sobre la célula fotovoltaica. Esto permite mejorar notablemente los rendimientos (hasta el 46,5 %). Sin embargo, este sistema eleva mucho los costes de fabricación, además de que se hace obligatorio el uso de sistemas de seguimiento para las placas.



Ilustración 21: Placa con sistema de concentración

Parámetros característicos

Hay ciertos parámetros que son característicos de una instalación fotovoltaica, y que son interesantes conocer para saber si está funcionando correctamente y poder conocer su rendimiento:

- Irradiancia: Flujo total de energía solar (a todas las longitudes de onda) incidente sobre una unidad de área perpendicular a los rayos solares a una distancia de 1 Unidad Astronómica (U.A., siendo ésta la distancia media entre el planeta Tierra y el Sol, es decir, 149597870700 m). Se mide en kW/m^2 .
- Irradiación: Energía por unidad de superficie. Se mide en kWh/m^2 .
- Aire Masa (AM): Cuanto más perpendicular se encuentra el Sol respecto a la superficie terrestre, menor es el camino que recorre la radiación solar a través de la atmósfera. Cuanto mayor sea el camino a recorrer por la atmósfera menor es la radiación que llega a la superficie terrestre.

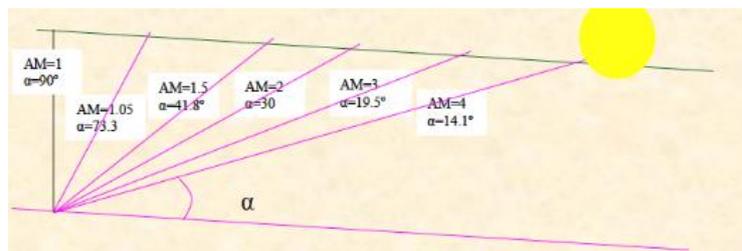


Ilustración 23: Concepto de Aire Masa (AM)

Se define como $AM = \frac{1}{\sin \alpha}$.

- Horas Solares Pico (HSP): Es el número de horas de un día con una irradiancia ficticia de 1000 W/m^2 que tendría la misma irradiación total que la real de ese día. Gráficamente, la hora pico solar se interpreta como una función de valor constante que delimita la misma área que la irradiación real incidente sobre la superficie terrestre.

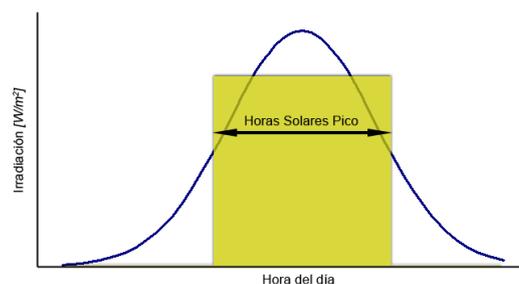


Ilustración 24: Horas Solares Pico (HSP)

- Circuito equivalente de una célula fotovoltaica: El circuito equivalente está formado por una fuente de intensidad, un diodo y dos resistencias (una en serie y otra en paralelo).

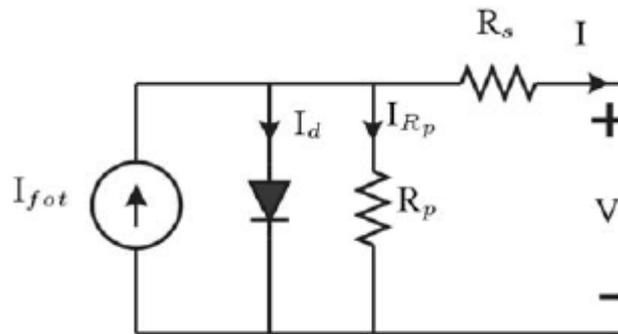


Ilustración 25: Circuito equivalente de una célula fotovoltaica

I_{fot} es la corriente producida por el efecto fotovoltaico, e I y V son la corriente y la tensión generadas por la célula fotovoltaica. Normalmente, R_s (resistencia en serie) y R_p (resistencia en paralelo, o shunt) son despreciadas (R_s es muy pequeña y R_p es muy grande); dando lugar al circuito equivalente simplificado de una célula fotovoltaica.

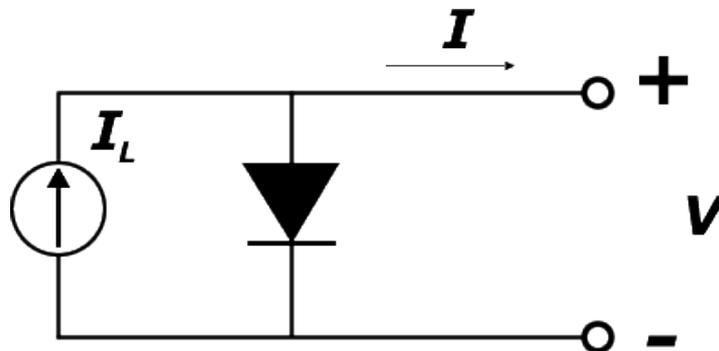


Ilustración 26: Circuito equivalente simplificado de una célula fotovoltaica

Lo que da lugar a la siguiente ecuación:

$$I = I_L - I_0 \cdot \left(e^{\frac{e \cdot V}{k \cdot T_c}} - 1 \right)$$

Esta ecuación, si se representa, se origina la curva I-V característica de las células fotovoltaicas.

- Curva I-V: A partir de la ecuación anterior podemos obtener la curva I-V, como ya hemos dicho. De esta curva se obtienen dos parámetros importantes, la intensidad de corto circuito (I_{sc}) y la tensión de circuito abierto (V_{oc}). La intensidad de cortocircuito se consigue cortocircuitando los terminales del panel, y la tensión de circuito abierto se obtiene dejando

los terminales abiertos; en ambos casos, la obtención de dichos parámetros debe realizarse siguiendo unas condiciones estándar, es decir, una irradiancia de 1000 W/m^2 , 1,5 A.M., con una incidencia normal y para una temperatura de la célula de $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Además, depende directamente de la irradiación, ya que a mayor irradiación mayor es la intensidad de cortocircuito y la tensión de circuito abierto (aunque ésta última varía poco).

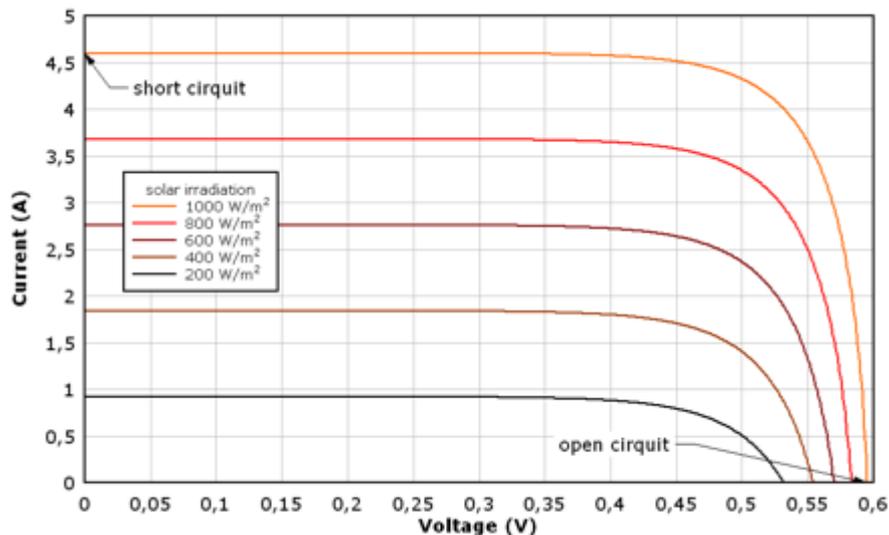


Ilustración 27: Curva I-V de una célula fotovoltaica

- Curva P-V: También es posible obtener la curva P-V. De esta curva se puede obtener el punto de máxima potencia (pmp), que es el punto de trabajo de la célula para la cual puede entregar la máxima potencia para un nivel de radiación determinado. Dicho punto aumenta al aumentar la

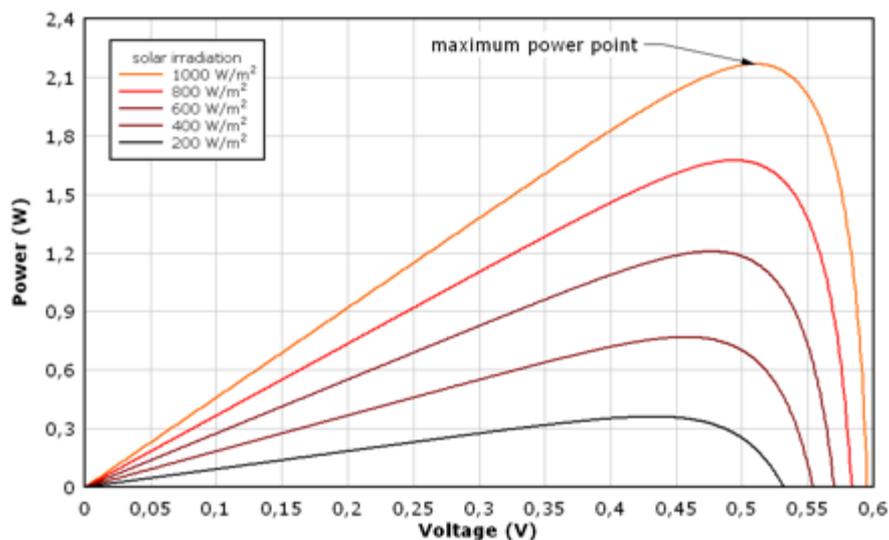


Ilustración 28: Curva P-V de una célula fotovoltaica

irradiancia. De este punto de máxima potencia se obtienen la corriente en el punto de máxima potencia (I_{pmp}) y la tensión en el punto de máxima potencia (V_{pmp}).

- Factor de Forma (Fill Factor, FF): Se define como el cociente entre la potencia real y la salida de potencia en cortocircuito.

$$FF = \frac{I_{pmp} \cdot V_{pmp}}{I_{sc} \cdot V_{oc}}$$

Sirve para evaluar el rendimiento de las células, ya que si este parámetro es superior a 0,7 nos encontramos con una célula típica.

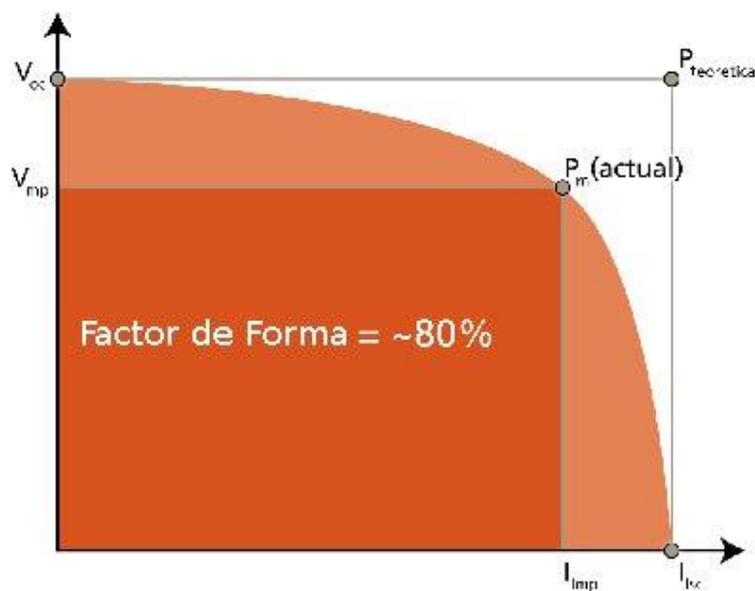


Ilustración 29: Factor de Forma de una célula fotovoltaica

Dependencia de la temperatura

La temperatura es uno de los factores más determinantes de una célula fotovoltaica. Afecta a la corriente, a la tensión y a la potencia.

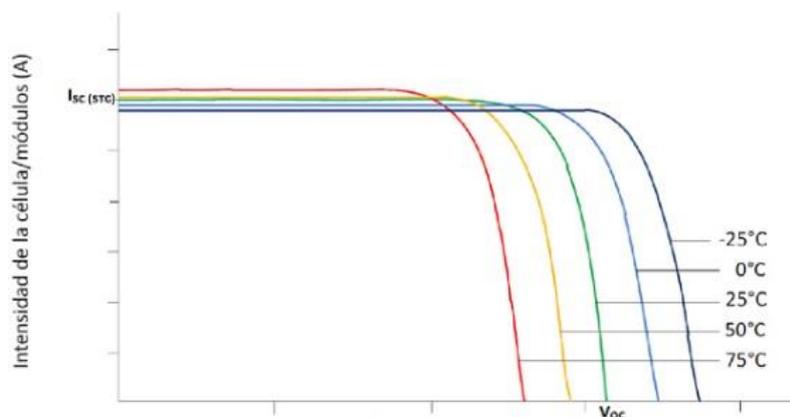


Ilustración 30: Efecto de la temperatura en la curva I-V en una célula fotovoltaica

Cuando aumenta la temperatura de la célula aumenta ligeramente la corriente de cortocircuito (I_{sc}), disminuye notablemente la tensión de circuito abierto (V_{oc}) y disminuye el punto de máxima potencia (P_{pmp}).

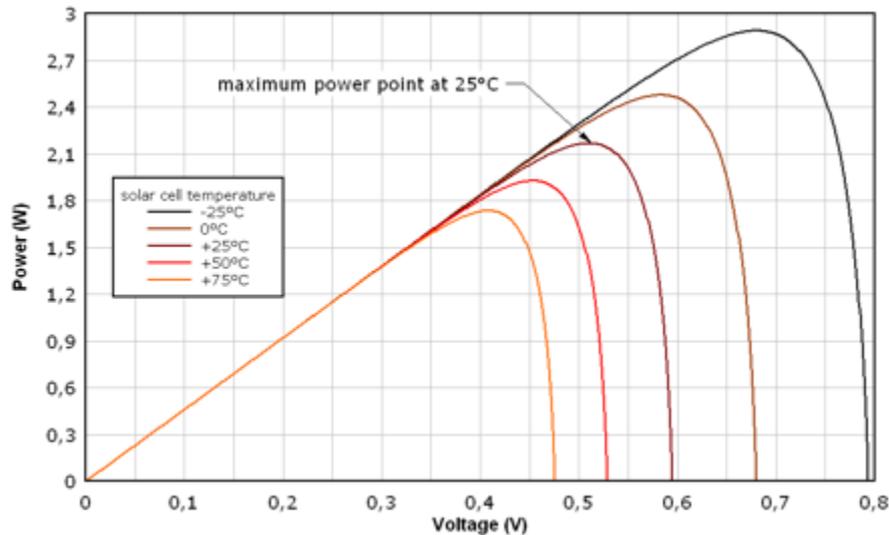


Ilustración 31: Efecto de la temperatura en la curva P-V en una célula fotovoltaica

Para poder controlar esta variación de los parámetros con respecto a la temperatura se definen tres coeficientes de temperatura para las células solares. El parámetro α es positivo y se relaciona con la corriente de cortocircuito; el parámetro β es negativo y se relaciona con la tensión de circuito abierto; y el parámetro γ es negativo y se relaciona con la potencia en el punto de máxima potencia.

Por último, tenemos que definir el NOCT (Normal Operating Cell Temperature), o en español TONC (Temperatura de Operación Nominal de la Célula), que es la temperatura que alcanza la célula en condiciones estándar (STC o SOC). Dichas condiciones STC son: irradiación de $0,8 \text{ kW/m}^2$, $20 \text{ }^\circ\text{C}$ de temperatura ambiente, velocidad del viento de 1 m/s y con la célula en circuito abierto. La NOCT estándar oscila entre $45 \text{ }^\circ\text{C}$ y $49 \text{ }^\circ\text{C}$.

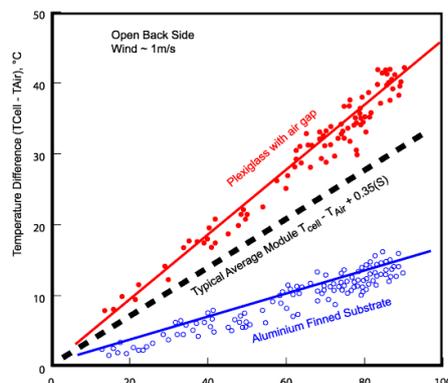


Ilustración 32: Diferencia de temperatura de una célula en función de la irradiancia

3.5. National Instruments

National Instruments es una empresa fundada en 1976, pionera en el desarrollo de sistemas de medida y automatización. Dicha empresa ofrece a sus clientes la posibilidad de adquirir sistemas para la adquisición, el análisis y la visualización de datos, así como para supervisar y controlar procesos.



Ilustración 33: Logotipo de National Instruments

Su principal producto es LabView, que apareció en el año 1986, y sobre el que se basa todo su hardware. En los últimos años, National Instruments se ha centrado sobre todo en conseguir los mejores sistemas integrados (embedded systems), donde aparece la CompactRio en el año 2004.

Las principales páginas web desarrolladas por National Instruments son:

- www.ni.com: Desde esta página es posible acceder a todo el hardware y software que ofrece National Instruments. La propia tienda online ofrece soluciones a los diferentes problemas, así como ayudas a la hora de elegir qué productos adquirir.
- zone.ni.com: Es la página del soporte técnico de National Instruments. Desde ella, es posible consultar con técnicos y especialistas que solucionarán cualquier posible problema del sistema de medida y automatización. Además, podemos encontrar miles de programas de ejemplo, cientos de drivers para los diferentes instrumentos, y cientos de tutoriales.
- my.ni.com: Si iniciamos sesión en la página principal de National Instruments se nos ofrece la posibilidad de personalizarla de acuerdo a nuestras necesidades. Por ejemplo, si nosotros disponemos de un sistema CompactRio, es posible que solo nos interesen los tutoriales, programas de ejemplo, productos... relacionados con CompactRio, por lo que a partir de my.ni.com, es posible personalizar la página. Además, se nos informará de los eventos programados por National Instruments que estén cercanos a nuestra zona.

3.6. LabView

Como ya hemos dicho, LabView es el principal producto de National Instruments, y es el acrónimo de Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench. Surgió en el año 1986, y consiste en una plataforma y un entorno de programación para diseñar sistemas, basado en programación gráfica, conocido como “Lenguaje G”. En un principio fue un software diseñado para la plataforma Mac, sin embargo, hoy en día es posible su utilización en otros sistemas operativos, como Windows, UNIX y Linux.



Ilustración 34: Logotipo de LabView

Los programas que se desarrollan con LabView se denominan instrumentos virtuales (Virtual Instruments o, simplemente VIs), ya que en un principio se utilizaban exclusivamente para el control de instrumentos electrónicos. Sin embargo, hoy en día, su utilización se ha extendido en otros ámbitos, como herramienta de programación de los sistemas integrados (embedded systems), de componentes a tiempo real, tarjetas FPGA (Field Programmable Gate Array), etc.



Ilustración 35: Icono de un VI

Además, LabView es un sistema muy intuitivo de programación, ya que, con pocas horas de estudio, es posible el desarrollo de programas, puesto que no se basa, como hemos dicho, en escribir largas líneas de código con una sintaxis cerrada (como ocurre con otros lenguajes de programación), sino que se realiza mediante bloques unidos con cables, que representan el flujo de datos entre ellos. National Instruments ofrece, de manera gratuita, cursos para poder aprender a utilizar LabView. Tan solo hay que registrarse en su página web (www.ni.com) para poder tener acceso a cursos, ejercicios y exámenes para poder evaluar las capacidades adquiridas.

LabView está principalmente diseñado para la adquisición de datos, la instrumentación electrónica, el análisis de las mediciones obtenidas y su visualización; ya que dispone de librerías diseñadas exclusivamente para ello.

Como ya hemos dicho, LabView se basa en programación gráfica (Lenguaje G). Dicha programación incorpora las mismas posibilidades que cualquier lenguaje escrito, como C o Python, es decir, disponemos de estructuras case, while, for..., así como de operadores and, or, not...

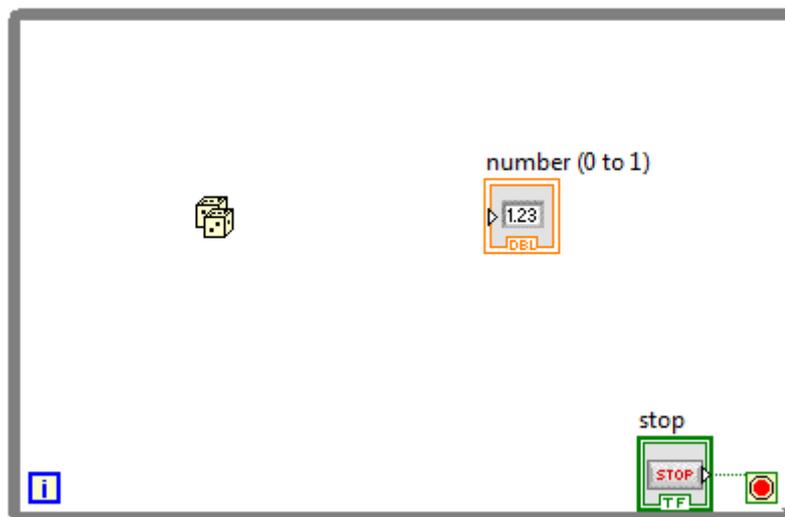


Ilustración 36: Estructura while en LabView

Para generar un programa en LabView, se utilizan bloques que realizan una función previamente definida, por ejemplo, podemos utilizar un bloque que se encargue de sumar dos números. Dichos bloques, se unen mediante cables, que representan el flujo de datos en el programa. Y, como no podía ser de otra manera, LabView también dispone de una potente herramienta de depuración gráfica, donde se puede ver a tiempo real los valores que pasan de un bloque a otro. Dicha herramienta de depuración permite, como en otros lenguajes, para el programa en un instante determinado, ejecutarlo paso a paso, visualizar el funcionamiento de una subrutina; y todo ello de manera muy intuitiva, ya que es un proceso de depuración gráfico.



Ilustración 37: Paleta de herramientas de depuración de LabView

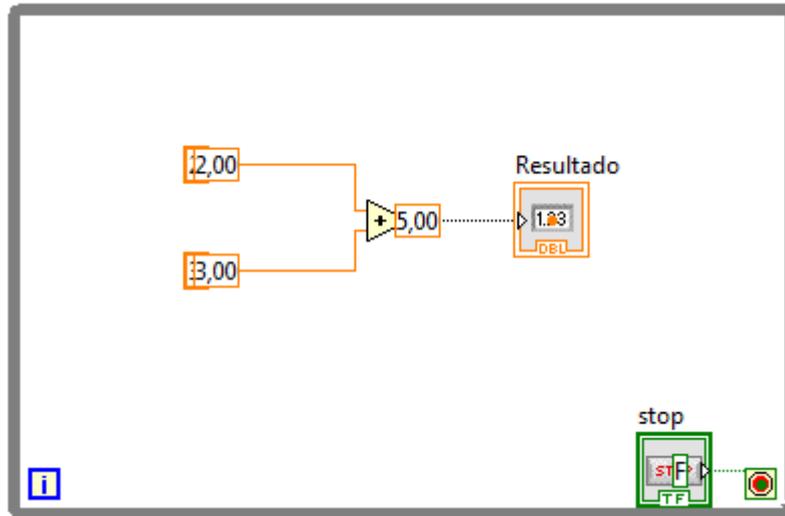


Ilustración 38: Suma en LabView y su herramienta de depuración

Otro punto fuerte de LabView es su compilador. A medida que vamos generando el programa, el compilador está buscando posibles errores en el código y, si encuentra alguno, la flecha que permite ejecutar el programa aparece partida y, si pulsamos en ella, podemos obtener un mensaje donde se indica qué error hay y dónde se encuentra.



Ilustración 39: Flecha rota en LabView

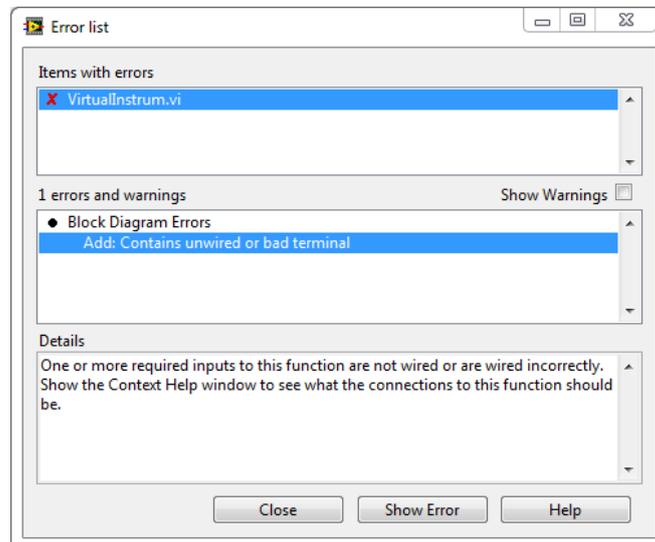


Ilustración 40: Lista de errores detectados por LabView

También debemos destacar la posibilidad de LabView de ejecutar procesos en paralelo, cosa que no es posible con otros lenguajes de programación tradicionales basados en texto, como en C (en realidad si es posible, pero muy complejo). Este paralelismo, en LabView, es conocido como “paralelismo implícito”, ya que no es necesario indicarle al programa que queremos ejecutar un proceso en paralelo a otro, sino que siempre que sea capaz, el propio LabView lo hará. En nuestro proyecto, vamos a basarnos en este paralelismo para que, utilizando un solo sistema CompactRio, podamos realizar las tareas de obtener medidas ambientales (temperatura, humedad e irradiancia) en paralelo a obtener las medidas del módulo fotovoltaico (tensión, intensidad y potencia, así como las curvas características).

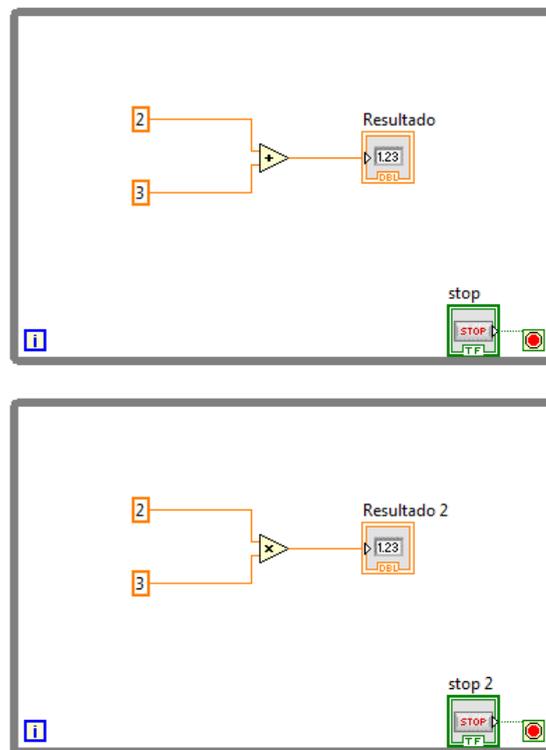


Ilustración 41: Código en paralelo en LabView

Por último, pero no menos importante, hay que destacar la posibilidad de LabView para incorporar código de programación escrito en otro lenguaje distinto del gráfico, por ejemplo, código escrito en C o en Matlab.

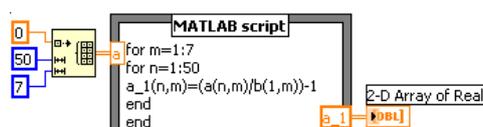


Ilustración 42: Código de Matlab en LabView

Elementos de la programación en LabView

Cada VI consta de dos partes fundamentales:

- Panel frontal: Es la parte con la que interacciona el usuario cuando el programa se ejecuta. En esta parte, se pueden incorporar controles (para poder modificar las variables que utiliza el programa, por ejemplo, establecer la ruta donde queremos que se guarden archivos, o cambiar el valor que deseamos para la temperatura, o un botón para activar un led...) e indicadores (que son los elementos que nos permiten representar las variables, pueden ser gráficas, o campos donde escriba el valor que toma la humedad; además, hay algunos con formas especiales, como termómetros o discos).
- Diagrama de bloques: Es el programa en sí, donde se colocan los iconos y las conexiones entre ellos para formar el programa. Cada conexión tiene un color diferente en función del dato que transporta, por ejemplo, los datos de texto (string) tienen un color rosa; los booleanos tienen un color verde; y los números enteros tienen un color azul...

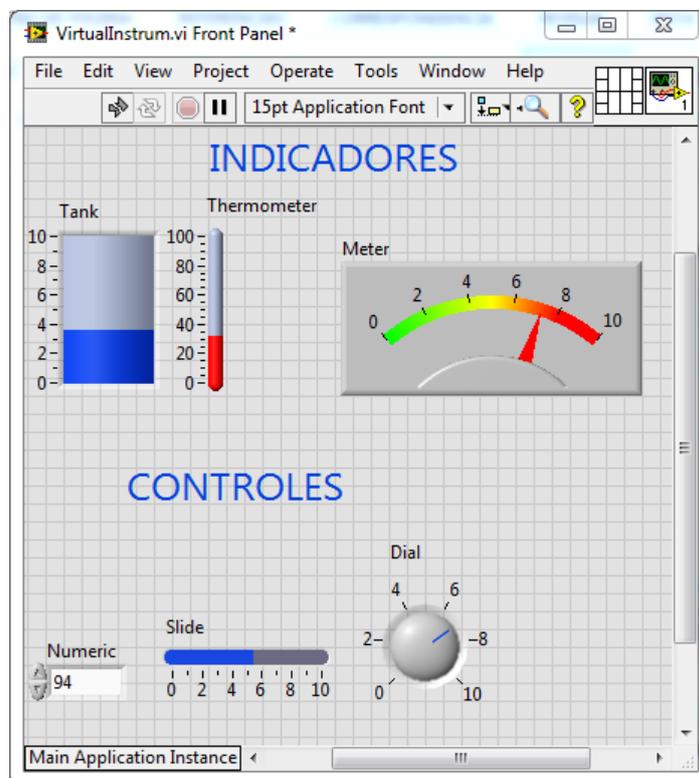


Ilustración 43: Panel frontal de LabView

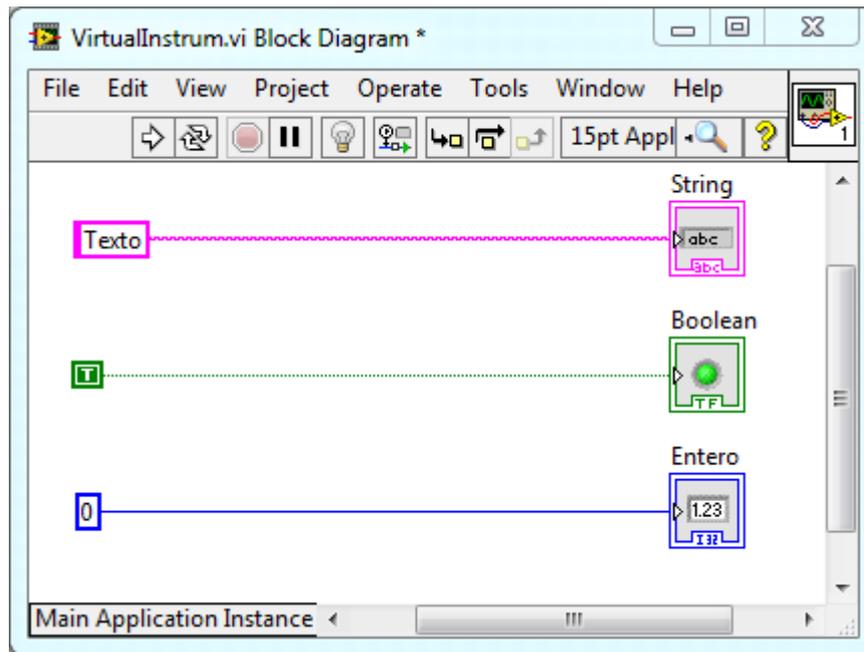


Ilustración 44: Diagrama de bloques de LabView

Además, hay otras partes que debemos destacar:

- **Icono y conectores:** Permiten hacer que un VI se pueda localizar fácilmente colocándole un icono característico y definir sus entradas y sus salidas para poder utilizarlo en otros VI. Se conocen como Sub VI y realizan las mismas funciones que una subrutina en un lenguaje de programación tradicional.



Ilustración 45: Icono y conectores de LabView

- **Paleta de herramientas:** Tiene las herramientas básicas de LabView para mover los elementos, conectarlos entre sí, escribir en ellos...



Ilustración 46: Paleta de herramientas de LabView

- Paleta de controles: Aparecen los controles e indicadores que se pueden colocar en el panel frontal.

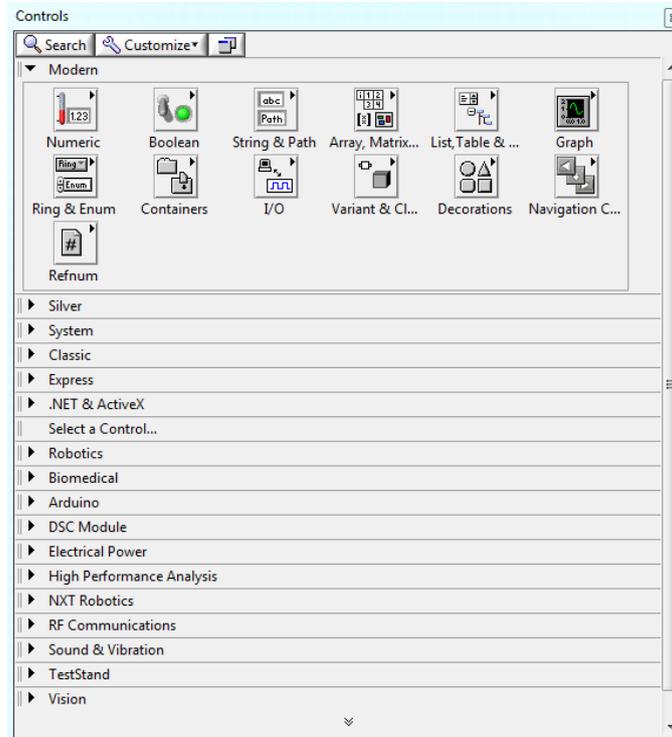


Ilustración 47: Paleta de controles de LabView

- Paleta de funciones: Aparecen las funciones que se pueden utilizar en el diagrama de bloques para crear nuestros programas. Si hay instalado algún complemento de LabView, o instalado algún driver de un instrumento compatible con LabView, dichas funciones aparecen en este menú.

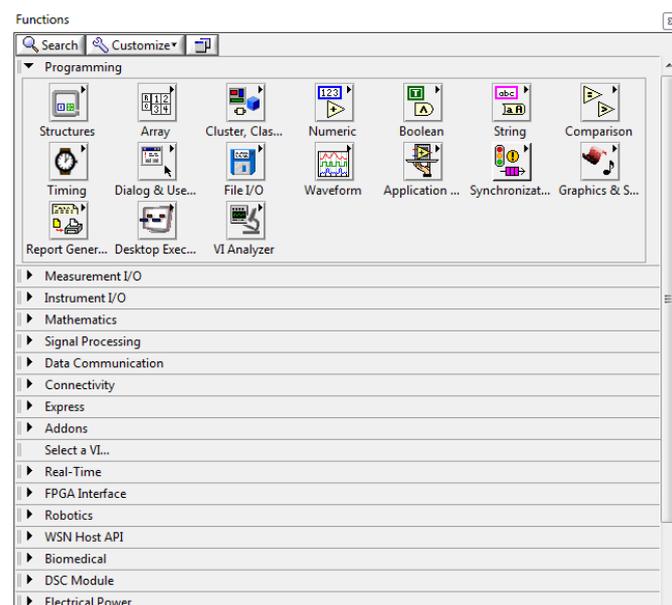


Ilustración 48: Paleta de funciones de LabView

- Paleta de ejecución: Incluye las herramientas para comenzar la ejecución del programa, pausarlo y detenerlo.



Ilustración 49: Paleta de ejecución de LabView

Complementos de LabView (Add-Ons)

LabView, como otros muchos programas de desarrollo de aplicaciones, permite incorporar complementos al programa base, con el objetivo de aumentar su funcionalidad en algunos aspectos. Estos complementos son conocidos como Add-Ons, y hay de diferentes tipos según las necesidades. Hay complementos para mejorar el diseño de los programas, para su implementación, para poder conectar los diferentes sistemas, para integrar, analizar...

En nuestro caso, hemos utilizado un complemento de LabView llamado NI LabView WSN Pioneer Module; que sirve para poder cambiar el software que traen por defecto los nodos inalámbricos WSN. Esto nos permitirá implementar un programa que mejore la utilización de la batería de dichos nodos, reduciendo el número de veces que deben establecer comunicación con la pasarela (gateway) para transmitir los datos de medida de los sensores.

3.7. NI LabView WSN Pioneer Module

Como ya hemos dicho, hemos añadido a LabView un módulo adicional para mejorar sus funcionalidades. Concretamente es el NI LabView WSN Pioneer Module, que permite incorporar VIs a los módulos inalámbricos WSN con el objetivo de optimizarlos.

Sample Interval	Transmit Interval	Battery Life (months)
1 Second	1 Second	1.36
1 Second	10 Seconds	5.88
1 Second	100 Seconds	7.96
1 Second	1000 Seconds	8.03
5 Seconds	5 Seconds	6.33
5 Seconds	50 Seconds	24.71
5 Seconds	500 Seconds	25.99
5 Seconds	5000 Seconds	26.99
60 Seconds	60 Seconds	36.0

Ilustración 50: Tabla de relación de los intervalos de muestreo y transmisión y la duración de la batería

Dotar de inteligencia a los nodos WSN permite mejorar la capacidad de lectura y procesamiento de datos, así como aumentar la duración de la batería de los nodos, ya que permite reducir el número de veces que el nodo conecta por radio con la pasarela o gateway.

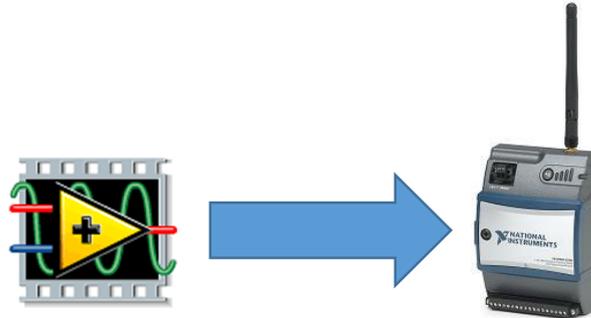


Ilustración 51: Esquema módulo WSN Pioneer

El software que se puede incorporar a los nodos WSN se basa en una programación de estados. Hay cinco estados y cada uno es programable.

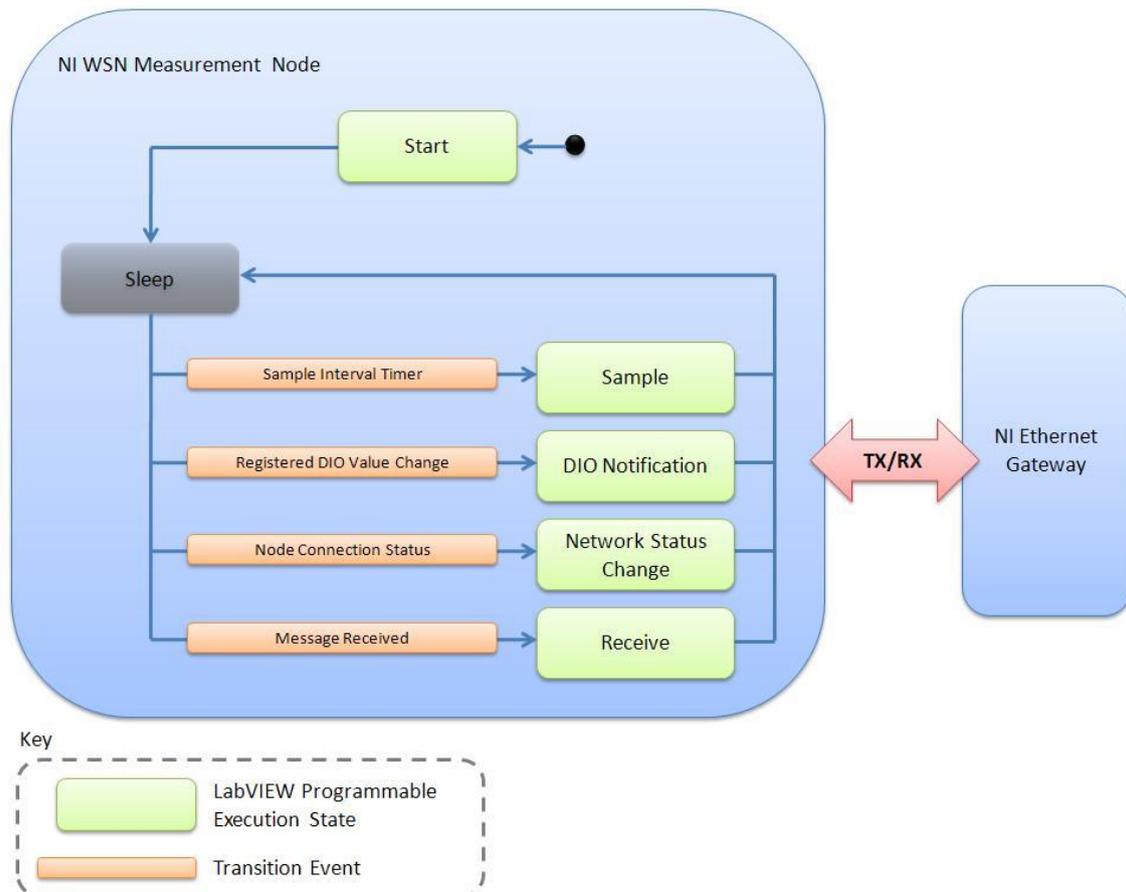


Ilustración 52: Estados de la programación de los nodos WSN

El primer estado “start” se ejecuta solo cuando el nodo se conecta a la pasarela y se establece la comunicación. En este estado, se configuran los parámetros fundamentales

del nodo, como el intervalo de muestreo, la inicialización de las variables y la inicialización de las estructuras de programación. Sin embargo, no se puede realizar el envío ni la recepción de mensajes de radio.

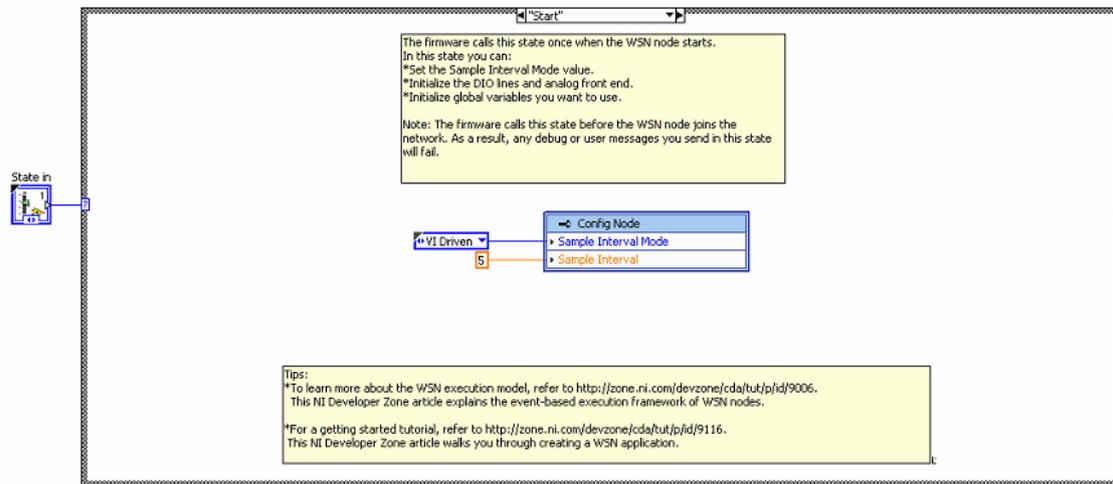


Ilustración 53: Estado "Start" de un nodo WSN

El siguiente estado es el "sample", que es el estado fundamental del VI. Cuando pasa el tiempo que hemos marcado en el intervalo de muestreo, se llama a este estado y se ejecuta la programación que halla en él. Generalmente, en este estado se leen y se escriben en las salidas y entradas del nodo, se envían y se reciben datos del controlador a través de la pasarela, se añaden funciones para reducir el envío de transmisión de datos vía radio, se modifica el intervalo de muestreo si el nivel de batería es bajo, etc.

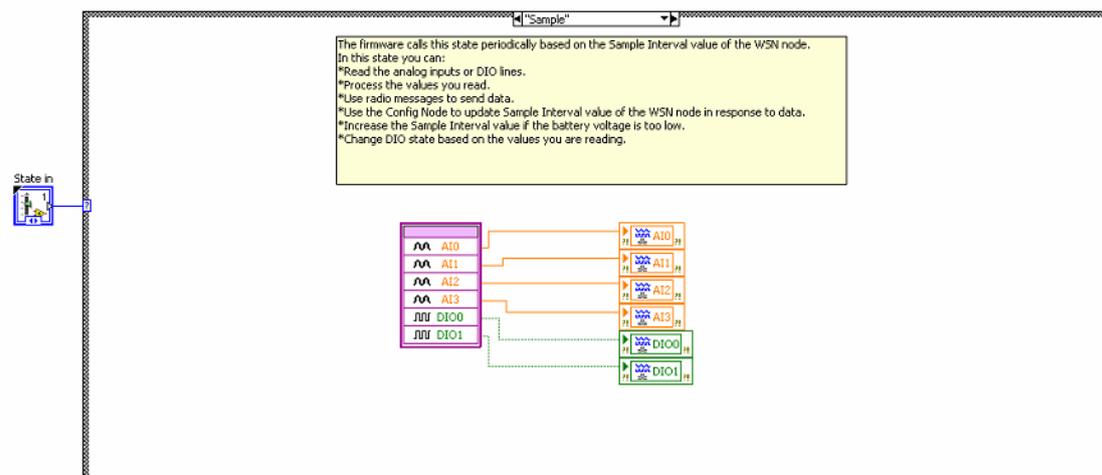


Ilustración 54: Estado "Sample" de un nodo WSN

El estado “receive” se ejecuta solo cuando se envía un mensaje de radio desde el controlador al WSN. Generalmente se utiliza para recibir comandos y actualizar los valores de los parámetros.

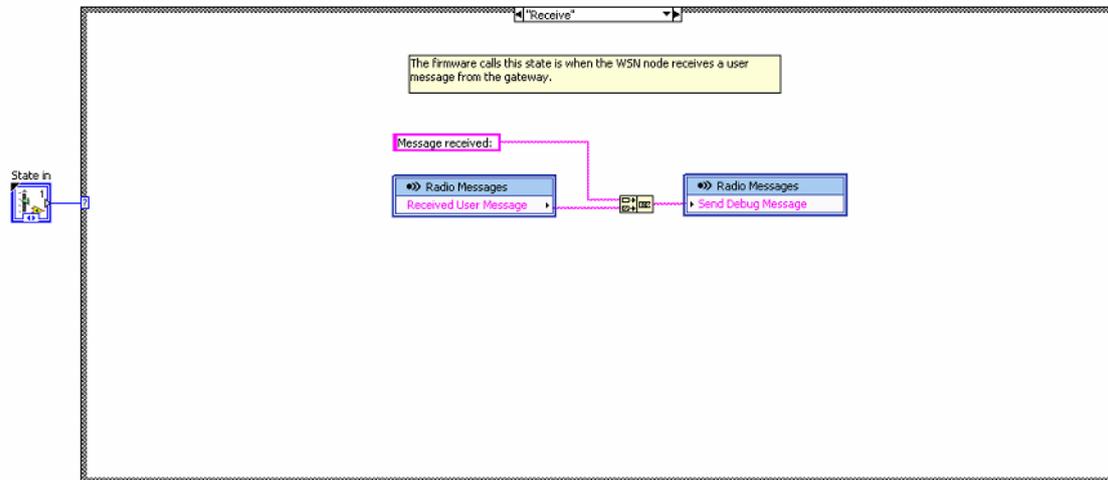


Ilustración 55: Estado “Receive” de un nodo WSN

Cuando se establece o se pierde la conexión con la pasarela se ejecuta el estado “network status change”. Este estado se utiliza, principalmente, para notificar que la conexión se ha establecido o para cambiar su modo de funcionamiento en caso de que se pierda la comunicación.

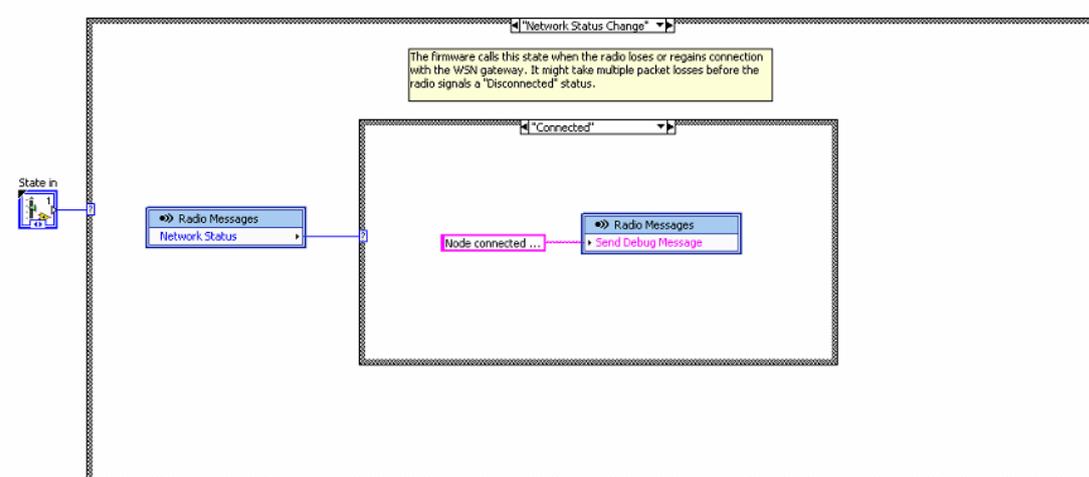


Ilustración 56: Estado “Network Status Change” de un nodo WSN

Por último, tenemos el estado “DIO Notification”, que se ejecuta cuando se actúa sobre una entrada digital del nodo WSN. Se utiliza para contar eventos o para responderlos.

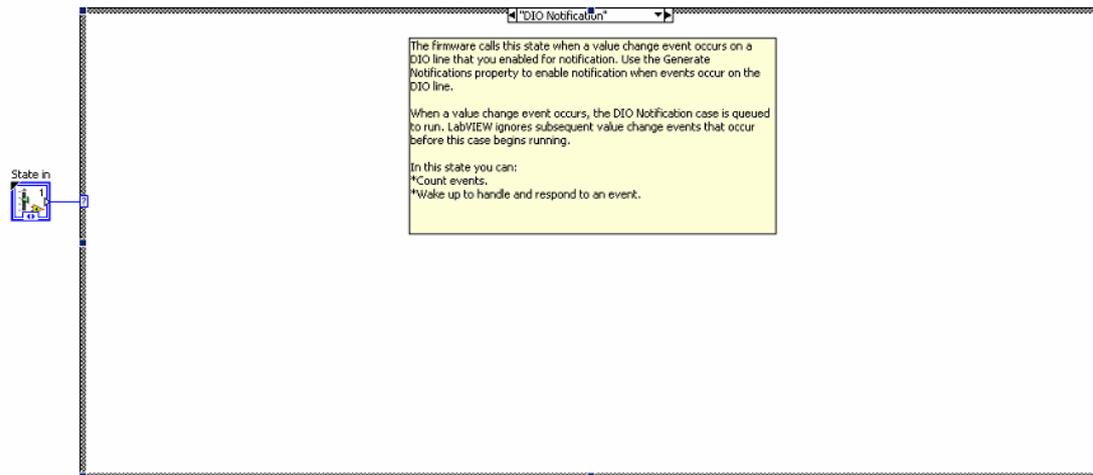


Ilustración 57: Estado "DIO Notification" de un nodo WSN

3.8. Matlab

Matlab es la abreviatura de "Matrix Laboratory", es decir, "Laboratorio de Matrices". Es un software, desarrollado por MathWorks en el año 1984, cuyo principal objetivo es el cálculo numérico y la visualización de datos.

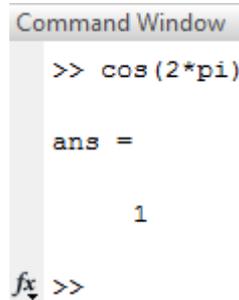


Ilustración 58: Logotipo de Matlab

Matlab se apoya en un lenguaje de programación propio, conocido como lenguaje M, para poder manipular matrices, representar datos y funciones e implementar algoritmos. Además, el propio software dispone de las llamadas "toolboxes", es decir, ciertas herramientas que complementan al software base para ampliar sus capacidades. Entre ellas destaca Simulink, que es una toolbox para realizar simulaciones y Guide, que es un editor de interfaces de usuario.

El entorno Matlab

Una vez que se arranca Matlab, aparece en la pantalla la línea de comandos (prompt).



```
Command Window
>> cos(2*pi)

ans =

    1

fx >>
```

Ilustración 59: Prompt de Matlab ejecutando la función coseno

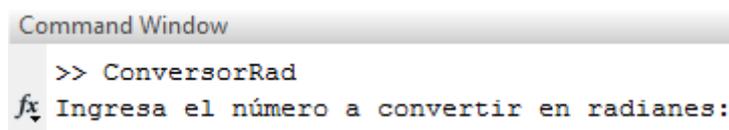
En el prompt se pueden ejecutar las diferentes funciones de las que dispone Matlab; sin embargo, si se desea, se puede generar un fichero script (un fichero .m), que es un programa ejecutable dentro del entorno de Matlab. Estos script ejecutan secuencialmente los comandos, apareciendo los resultados en el prompt.



```
Editor - C:\Users\Javi\Documents\MATLAB\ConversorRad.m
File Edit Text Go Cell Tools Debug Desktop Window Help
- 1.0 + ÷ 1.1 x % % % % !
1 %Programa que convierte un número en radianes.
2 - Numero=input('Ingresa el número a convertir en radianes: ');
3 - Resultado=(Numero*pi)/180;
script Ln 4 Col 1 OVR
```

Ilustración 60: Ejemplo de fichero .m

En los ficheros .m aparecen en color verde los comentarios (comienzan por “%”), en negro las variables y las palabras reservadas; y en violeta las cadenas de caracteres. Para ejecutar los script solo hace falta escribir en el prompt el nombre del fichero .m.



```
Command Window
>> ConversorRad
fx Ingresa el número a convertir en radianes:
```

Ilustración 61: Ejecución de un archivo .m en Matlab

3.9. CompactRio

El sistema CompactRio consta de un controlador integrado (embedded system) para la comunicación y el procesamiento de datos. Una CompactRio consta de varias partes:

- Chasis: Es la estructura donde se aloja el controlador y donde se insertan los diferentes módulos de E/S (entradas y salidas).



Ilustración 62: Chasis de CompactRio

- Controlador: El controlador de la CompactRio incorpora un procesador y un FPGA (Field Programmable Gate Array) reconfigurable, que puede ser programado según nuestras necesidades. Gracias al procesador podemos realizar el registro, control y procesamiento de datos, y con la FPGA se puede realizar el control de sistemas que requieran alta velocidad, así como el procesamiento de datos complejos.



Ilustración 63: Controlador de CompactRio

- Módulos de E/S: El sistema CompactRio utiliza módulos de la serie C, que están destinados a la monitorización y el control de sistemas. Estos módulos pueden utilizarse en “caliente”, es decir, pueden extraerse e insertarse en el chasis de la CompactRio en cualquier momento. Hay multitud de módulos que pueden ser utilizados, dependiendo de la aplicación en la que vayan a ser utilizados. Nos encontramos, por ejemplo, con módulos para la E/S de voltaje, de corriente, para la medición de temperatura, acelerómetros, micrófonos, para control de motores... Además, hay algunos módulos destinados para dar soporte a un tipo de comunicación industrial determinada como, por ejemplo, los módulos de comunicación Profibus, Profinet o DeviceNet.



Ilustración 64: Módulos de E/S de CompactRio

National Instruments ofrece dos líneas de CompactRio, cada una especializada en unas aplicaciones determinadas. Por una parte tenemos la línea de alto valor utilizada para analizar redes, monitorización, control de robots, monitorización de dispositivos médicos, control de procesos químicos...; y, por otra parte, tenemos la línea de alto rendimiento destinada para sistemas que requieran de visión artificial, control de maquinaria, control de motores y turbinas, control de procesos de petróleo y gas...

	Valor	Alto Rendimiento
Rendimiento del Procesador	667 MHz dual-core	Hasta 1.91 GHz quad-core
Rendimiento del FPGA	85.000 celdas de lógica 220 multiplicadores	Hasta 326.000 celdas lógicas Hasta 840 multiplicadores Hasta 128 MB DRAM
Sistema Operativo	SO NI Linux Real-Time	SO NI Linux Real-Time
Interfaz de Usuario	UI Remota	UI Remota/UI Embebida
Robustez	Hasta -40 a 70° C, enfriado pasivamente	Hasta -40 a 70° C, enfriado pasivamente
Tamaño	Empezas en 18 x 9.3 x 8.7 cm ³	Empezas en 22 x 10.7 x 8.7 cm ³
Ejemplos de Aplicaciones	Analizador para smart grid Monitoreo de energía Monitoreo estructural Robots móviles Diagnósticos y control de dispositivos médicos Monitoreo de condición de maquinaria Control de procesos químicos	Visión artificial Control de máquinas Control automatizado de soldadura Generación de prototipos de Unidades de Control de Motores (ECU) Control de turbinas Robótica industrial Generación rápida de prototipos de control Monitoreo de petróleo y gas

Ilustración 65: Tabla de comparación entre CompactRio línea valor y línea alto rendimiento

Además, los sistemas CompactRio pueden ampliar sus capacidades utilizando chasis de expansión según las necesidades. Tenemos cuatro posibilidades:

- **MXI-Express Rio:** Este módulo de expansión se utiliza en aplicaciones que requieran un gran sistema de procesamiento de señales y/o la implantación de grandes sistemas de control. Aportan una FPGA de alta velocidad, por lo que son ideales para realizar pruebas en tiempo real. Cada uno de estos chasis de expansión tiene 8 ó 14 ranuras para insertar módulos de la serie C. Se pueden instalar seis chasis por cada enlace y hasta ocho enlaces por controlador (es decir, hasta 48 módulos de expansión).



Ilustración 66: Chasis de expansión MXI-Express Rio

- **Ethernet Rio:** En este caso, este chasis de expansión permite añadir a una red Ethernet cualquier FPGA programada y cualquier módulo de E/S, teniendo o no acondicionamiento de señal. Siguen el estándar Ethernet 10/100. Estos chasis disponen de 4 u 8 ranuras para insertar módulos de la serie C y un FPGA integrado.



Ilustración 67: Chasis de expansión Ethernet Rio

- EtherCat Rio: El chasis EtherCat se utiliza en sistemas que requieren una temporización y sincronización muy exactas. Este módulo permite utilizar Ethernet en tiempo real, además de disponer de 8 ranuras para módulos de la serie C. Al disponer de dos puertos Ethernet, es posible enlazar este chasis con otros para disponer de mayor capacidad.



Ilustración 68: Chasis de expansión EtherCat Rio

- Red Inalámbrica de Sensores: Con los nodos WSN (Wireless Sensor Network) se podrá monitorizar cualquier variable del entorno de manera inalámbrica. Dichos nodos permiten realizar medidas muy fiables y sin cables, ya que disponen de alimentación por baterías. Gracias a estos nodos se puede realizar una red inalámbrica de sensores que pueden contener desde unos pocos hasta cientos, según las necesidades.



Ilustración 69: Nodos WSN

CompactRio 9076

Para nuestro proyecto, hemos utilizado un sistema CompactRio 9076. Dicho modelo posee las siguientes características:

- Es un sistema robusto e integrado de monitorización y control con un rango de temperaturas de -20 °C a 55 °C.
- Posee un procesador industrial en tiempo real de 400 MHz para el control, registro de datos y el análisis.
- Tiene un chasis FPGA LX45 con 4 ranuras para la temporización, el control y el procesamiento de E/S totalmente personalizable.
- Dispone de un puerto Ethernet 10/100BASE-T, un puerto USB 2.0 y un puerto serie RS232 para poder conectar periféricos.
- Dispone de una entrada para el suministro de potencia de 19 a 30 VDC.
- El sistema ofrece 256 MB de DRAM y 512 MB de memoria no volátil para el registro de datos.
- Dispone de servidores HTTP/FTP integrados y un servidor web de panel remoto de LabView para establecer una interfaz con páginas HTML, archivos y una interfaz de usuario de aplicaciones LabView embebidos.



Ilustración 70: Sistema CompactRio 9076

El sistema CompactRio 9076 dispone de varias opciones de montaje: en PC de escritorio, en panel, en riel DIN y en rack.



Ilustración 71: Sistema de montaje en panel para CompactRio 9076

3.10. Módulos de E/S de la Serie C

National Instruments ofrece una gran variedad de módulos para poder ser utilizados en nuestra CompactRio. Según nuestras necesidades utilizaremos unos módulos u otros. Además, dichos módulos tienen la facilidad de poder insertarse “en caliente” es decir, podemos extraerlos e instalarlos en el sistema CompactRio estando éste en funcionamiento. Estos módulos ofrecen acondicionamiento de señales específicos para medidas, aislamiento entre bancos y entre canales y, además, soportan amplios rangos de temperatura.



Ilustración 72: Módulo NI 9505

Módulo NI 9795

En nuestro caso hemos utilizado un módulo de la serie C, concretamente el módulo NI 9795. Este módulo realiza la función de pasarela (gateway) entre los nodos inalámbricos WSN y el sistema CompactRio. Este modelo en concreto permite, una vez insertado en cualquier ranura de la CompactRio, dar conectividad hasta a 36 nodos inalámbricos WSN.

En los proyectos de LabView aparece como cualquier otro módulo de la Serie C, sin embargo, de él cuelgan los nodos WSN conectados a dicha pasarela y sus correspondientes E/S. Solo es posible utilizar un módulo NI 9795 por cada CompactRio.



Ilustración 73: Módulo NI 9795

3.11. Nodos de medida de Redes Inalámbricas de Sensores

Gracias a los nodos inalámbricos WSN podemos realizar mediciones de manera inalámbrica. Dichos nodos se alimentan con 4 pilas AA otorgando hasta 3 años de vida ininterrumpida, aunque también se pueden alimentar con una fuente de alimentación de 9 a 30 V de corriente continua.

Los nodos contienen un microprocesador de baja potencia que permite, mediante el módulo NI LabView WSN Pioneer, ser programado para realizar operaciones de acondicionamiento de señales y para reducir la tasa de transferencia y de utilización del sistema de radio, así como para establecer una interfaz con los sensores.

Los nodos se conectan directamente a los sensores de los que reciben los datos, los procesan y los envían a la pasarela (gateway) que, en nuestro caso, es el módulo NI 9795. Dicha conexión con la pasarela se realiza a 2,4 GHz y con un alcance de hasta 300 metros con línea de vista. A cada pasarela se le pueden conectar hasta 36 nodos con una tipología de malla o 8 nodos finales con una tipología de estrella.



Ilustración 74: Nodos inalámbricos WSN

Hay disponibles varios tipos de montaje para dichos nodos, como por ejemplo, montaje en placas de panel magnético, montaje en panel y montaje en riel DIN.



Ilustración 75: Sistema de montaje en panel para nodos WSN

Nodos NI WSN-3226

El nodo que vamos a utilizar es el modelo NI WSN-3226 que dispone de 4 canales de entrada analógica para medir voltaje (con rango desde -10 a +10 V) y resistencia. Concretamente, este nodo dispone de soporte para RTDs y potenciómetros. El rango de salida de potencia del sensor soporta hasta 50 mA a 12 V y, además, cuenta con dos canales de entrada y salida digitales configurables.

Este nodo soporta temperaturas de operación desde -40 a 70 °C e impactos de hasta 5 g. Como todos los nodos que ofrece National Instruments, puede alimentarse con cuatro baterías AA de 1,5 V o bien utilizarse una fuente de alimentación externa de 9 a 30 V de corriente continua. En el caso de que se alimente con una fuente de alimentación externa, el dispositivo cambia automáticamente a batería.

Además, este dispositivo puede configurarse como router para aumentar la distancia de conexión a la pasarela y poder conectar más nodos a la red.



Ilustración 76: Terminales de conexión del nodo NI WSN-3226

3.12. Sensor de temperatura y humedad Galltec Mela KPC 2/4-TS

Para medir la temperatura ambiente y la humedad hemos utilizado el sensor KPC 2/4-TS de Galltec Mela. Dicho sensor consta de un sensor en forma de varilla insertado en una estructura de aluminio formada por varios platos, para que se realice una medida de la temperatura lo más exacta posible. El sensor incluye un cable para su conexionado de una longitud de 5 metros, y necesita una alimentación de corriente continua entre 6 y 30 V.

Este sensor soporta diferentes configuraciones para obtener el resultado de la medición en diferentes rangos de valores. Por ejemplo, podemos configurar el sensor para

que nos de valores de temperatura entre 0 y 1 V, y de humedad entre 4 y 20 mA; o, por ejemplo, configurarlo para que dé solo valores de temperatura entre 0 y 10 V...



Ilustración 77: Sensor Galltec Mela KPC 2/4-TS

En nuestro caso, vamos a utilizar una configuración de 0 a 10 V tanto para la medida de temperatura como para la medida de la humedad. Por ese motivo, a la señal que nos llegará del sensor hay que aplicarle las siguientes expresiones:

$$\text{Temperatura} = \frac{\text{Medida de temperatura} \cdot 99}{10} - 29$$

Hay que aplicarle esa expresión porque la temperatura del sensor está escalada entre -29 °C y 70 °C (es decir, tiene un fondo de escala de 99 °C) y, además, como ya hemos dicho la medida se toma desde 0 a 10 V.

$$\text{Humedad} = \text{Medida de humedad} \cdot 10$$

En este caso, solo hay que aplicar la corrección de que la medida se tome de 0 a 10 V, ya que la medida de humedad que se obtiene es relativa, es decir, de 0 a 100 %.

Las conexiones del sensor son las siguientes:

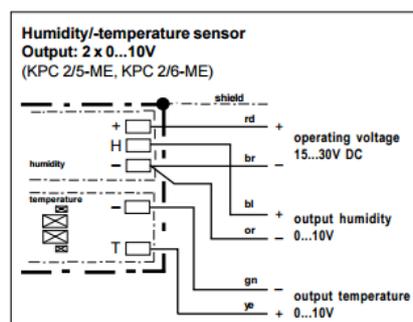


Ilustración 78: Conexiones del sensor Galltec Mela KPC 2/4-TS

3.13. Sensor de temperatura PT-100

Vamos a utilizar un sensor de temperatura PT-100 para medir la variación de ésta en las placas fotovoltaicas. Los sensores PT-100 son detectores de temperatura resistivos (RTD, Resistance Temperature Detector), es decir, un sensor que varía la resistencia en función de la temperatura.



Ilustración 79: PT-100 con recubrimiento de silicona

Por regla general, se cumple que los sensores RTD siguen la siguiente ecuación:

$$R = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

Siendo R_0 la resistencia a la temperatura de referencia, $\Delta T = T - T_0$ la desviación de temperatura respecto a T_0 y α el coeficiente de temperatura, que interesa que sea lo más grande posible y lo más constante (para que el sensor RTD sea lo más lineal posible).

Hay muchos tipos de RTD según el material con el que se fabriquen, sin embargo, el que mejores resultados arroja es el fabricado con platino. En nuestro caso, tenemos un RTD de platino, que tiene la característica de presentar una resistencia de 100 ohmios cuando se presenta una temperatura de 0 °C, que se conoce como PT-100.

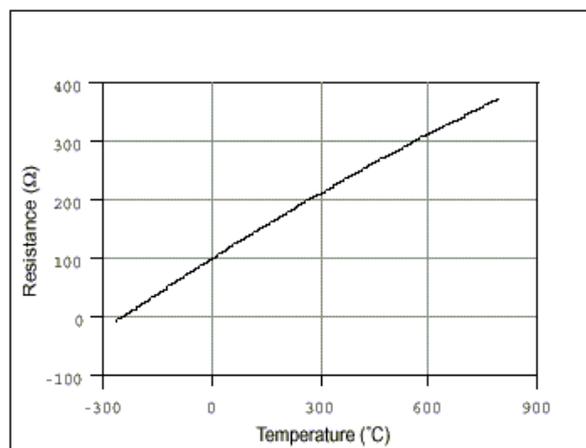


Ilustración 80: Curva característica de una PT-100

3.14. Sensor piranómetro Kipp & Zonen SP-Lite 2

Los piranómetros son instrumentos meteorológicos que se utilizan para medir la radiación solar incidente. En nuestro caso, hemos utilizado un sensor piranómetro de la marca Kipp & Zonen, concretamente el modelo SP-Lite 2. Este piranómetro es de termopila, ya que se basa para medir la radiación solar en el principio de detección termoeléctrica, es decir, la radiación entrante es absorbida totalmente por una superficie ennegrecida. Esto produce un aumento de la temperatura y, por medio de termopares, se mide dicha variación de temperatura. Todo ello en conjunto es lo que forma la termopila.

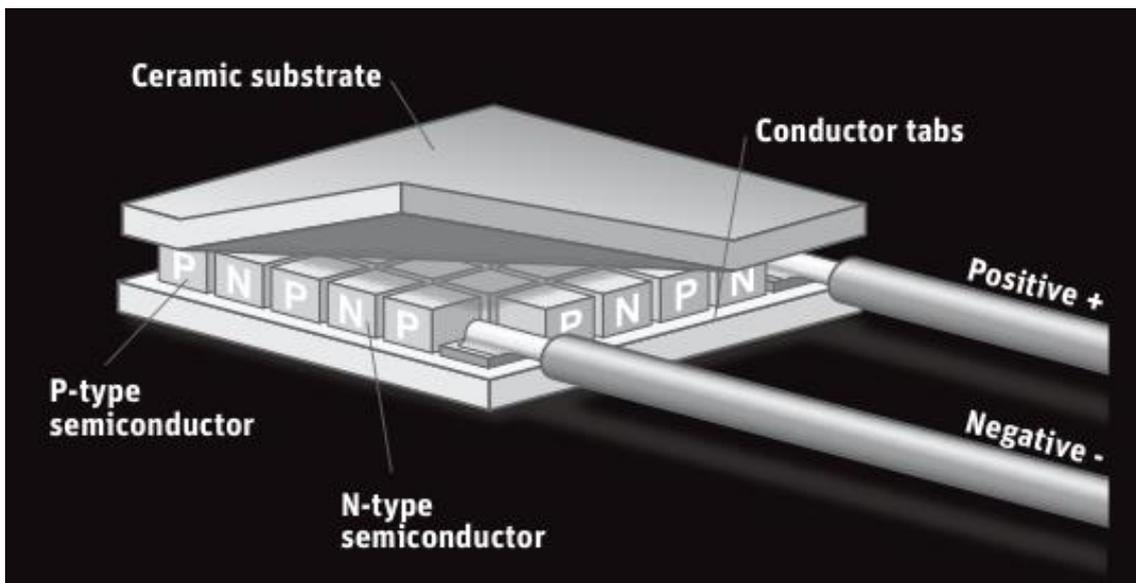


Ilustración 81: Partes de una termopila

Para proteger el revestimiento de color negro de todas las influencias externas (suciedad, polvo, lluvia, viento...), se protege con una cúpula semiesférica de cristal de calidad óptica.

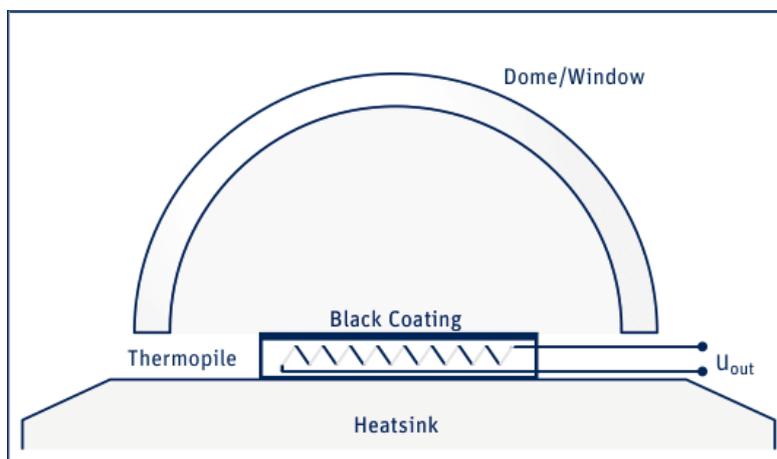


Ilustración 82: Partes de un piranómetro de termopila

Cada piranómetro posee un coeficiente de calibración diferente, impreso en el cuerpo del piranómetro, que sirve para traducir la señal de tensión en la medida de irradiancia que se obtiene con él, en W/m^2 . En nuestro caso, dicho coeficiente de calibración es de $71 \mu V/W \cdot m^{-1}$, por lo que se debe aplicar la siguiente ecuación (haciendo la inversa del coeficiente de calibración y pasando a V):

$$Irradiancia = Medida \text{ de irradiancia} \cdot 14084,5$$



Ilustración 83: Piranómetro Kipp & Zonen SP- Lite 2

3.15. Carga electrónica BK Precision 8500

La carga electrónica y, en concreto, la que hemos utilizado es una herramienta fundamental a la hora de analizar el comportamiento de cualquier fuente de alimentación de corriente continua. El modelo 8500 permite, gracias a sus amplios rangos de medida que permiten alcanzar los 500 V y los 240 A, obtener precisas medidas en fuentes de alimentación de corriente continua, baterías, convertidores de corriente continua a corriente continua y, cómo no, en placas solares.

Dicho modelo permite establecer cuatro modos de operación: corriente (CC), resistencia (CR), voltaje (CV) y potencia (CP) constante. Además, dispone de una gran resolución (0,1 mA/1 mV) y de una pantalla donde se muestran los resultados a tiempo real. Además, dispone de sistemas de protección ante sobrecorrientes, sobretensiones, sobrepotencia y sobretemperatura.



Ilustración 84: Carga electrónica BK Precision 8500

Este modelo de carga electrónica permite su control, además del sistema tradicional manual, por medio de puerto serie RS232 e, incluso, se puede adquirir un convertidor RS232-USB para poder conectarlo a los nuevos ordenadores que no dispongan de salida de puerto serie.



Ilustración 85: Interfaz puerto serie a USB

La propia página del fabricante (www.bkprecision.com) permite descargar los drivers para poder incluir la carga electrónica en proyectos de LabView y para poder desarrollar programas en Python. Además, en su manual de usuario se incluyen los códigos para poder controlar la carga vía remota mediante puerto serie RS232, que serán incluidos en el presente proyecto en el anexo de hojas de características.

También podemos encontrar, en la página del fabricante, un pack para su montaje en rack.



Ilustración 86: Estructura para montaje en rack para la carga electrónica BK Precision 8500

3.16. Comunicación serie RS232

Puesto que vamos a utilizar el control remoto de la carga electrónica, y éste se hace por medio de comunicación por puerto serie RS232, es preciso poner en situación cómo funciona éste tipo de comunicación.

La comunicación serie RS232 (también conocida como V.24) es una interfaz que designa una norma para el intercambio de una serie de datos binarios entre un equipo y otro. En nuestro caso, vamos a comunicar la CompactRio con la carga electrónica para poderla controlar de manera remota y obtener, así, los parámetros de los módulos fotovoltaicos.

Para realizar la comunicación RS232 se utiliza un conector que tiene 25 pines (conocido como DE-25), sin embargo, es frecuente utilizar la versión de 9 pines por ser mucho más económica (conocida como DE-9).



Ilustración 87: Conversor DE-25 a DE-9

Las características de la comunicación RS232 son los siguientes:

- La velocidad máxima de transmisión de datos es de 19200 bps, aunque en algunas aplicaciones puede llegarse a 115,2 kbps.
- La capacidad máxima de la línea es de 2500 pF, que equivale a una longitud máxima de 15 ó 20 metros de cable.
- La transmisión puede ser síncrona (el emisor y el receptor utilizan el mismo reloj, por lo que la sincronía es perfecta) o asíncrona (el proceso de sincronización se realiza en cada carácter que se transmite).
- La transmisión puede ser half (solo en un sentido) o full-duplex (en los dos sentidos).

Con respecto al tema eléctrico, las características de la interfaz RS232 son las siguientes:

- Debe haber una línea para la transmisión y una para la recepción, referidas a la misma masa. Por lo tanto, se trata de una señal no balanceada.
- Sigue la lógica de transmisión NRZ-L, es decir, para el transmisor un 0 lógico es de 5 a 15 V, y un 1 lógico es de -5 a -15 V; mientras que para el receptor un 0 lógico es de 3 a 15 V, y un 1 lógico es de -3 a -15 V.
- La corriente máxima de cortocircuito es de 0,5 A.

Como ya hemos dicho, el tipo de conector más utilizado es el DB-9, que consta de 9 líneas que se clasifican en 4 grupos:

- Líneas de datos: TxD y RxD.
- Líneas para establecer la conexión: DTR (Data Terminal Ready), DSR (Data Set Ready) y RI (Ring Indicator).
- Líneas de control de flujo: RTS (Request To Send), CTS (Clear To Send) y DCD (Data Carrier Detected).
- Líneas de masa: GND (Ground o masa).

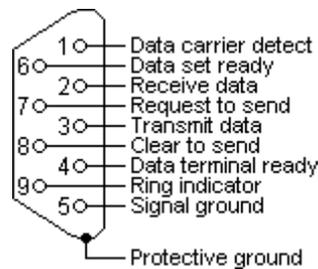


Ilustración 88: Terminales del conector DB-9 para RS232

Cuando se establece la comunicación ocurre lo siguiente:

- Indica la llamada (RI).
- El terminal que va a recibir señala que está preparado (DTR).
- El terminal que envía los datos se activa (DSR).
- El terminal que envía los datos hace una petición de envío (RTS).
- El terminal que va a recibir señala que está preparado (CTS).
- Se activa el DCD.
- Se transmiten los datos por TxD y se reciben por RxD.

Este tipo de comunicación es muy utilizado, ya que su implementación requiere un bajo coste y, además, es muy sencillo de implementar. Sin embargo, presenta ciertos inconvenientes, ya que hay que tener en cuenta el posible ruido en la comunicación, la diafonía (puede haber cruzamiento de señales si se aumenta demasiado la velocidad y/o la longitud de la línea) y solo permite la conexión entre un terminal y otro.

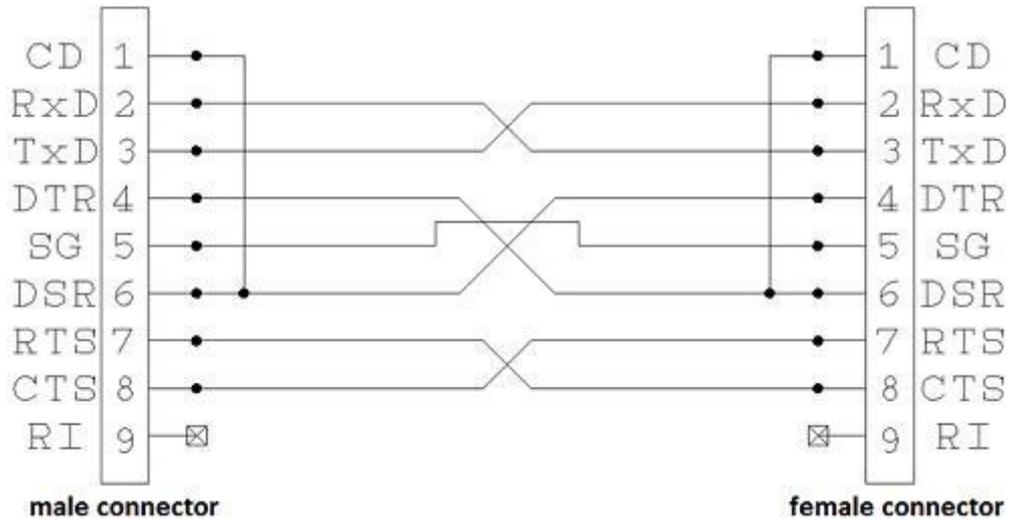


Ilustración 89: Conexión RS232 entre conector macho y hembra DB-9

3.17. Fuente de alimentación NI PS-15

Para alimentar todos los equipos que vamos a usar hemos decidido utilizar una fuente de alimentación de National Instruments, concretamente el modelo NI PS-15.



Ilustración 90: Fuente de alimentación NI PS-15

Las características de dicha fuente de alimentación son las siguientes:

- Entrada de 115 a 230 V de corriente continua.
- Salida de 24 a 28 V de corriente continua.
- Salida de 5 A.
- Potencia de salida de 120 W para un rango de temperatura entre -25 y 60 °C.
- Terminales de conexión rápidos.
- Incluye montaje para riel DIN y para montaje en panel.

Además, esta fuente de alimentación está recomendada, por National Instruments, para CompactRio.

Capítulo 4. Desarrollo del software

4.1. Instalación de LabView y complementos

Lo primero que debemos hacer es instalar LabView. En nuestro caso, vamos a utilizar la versión LabView 2013 Service Pack 1.

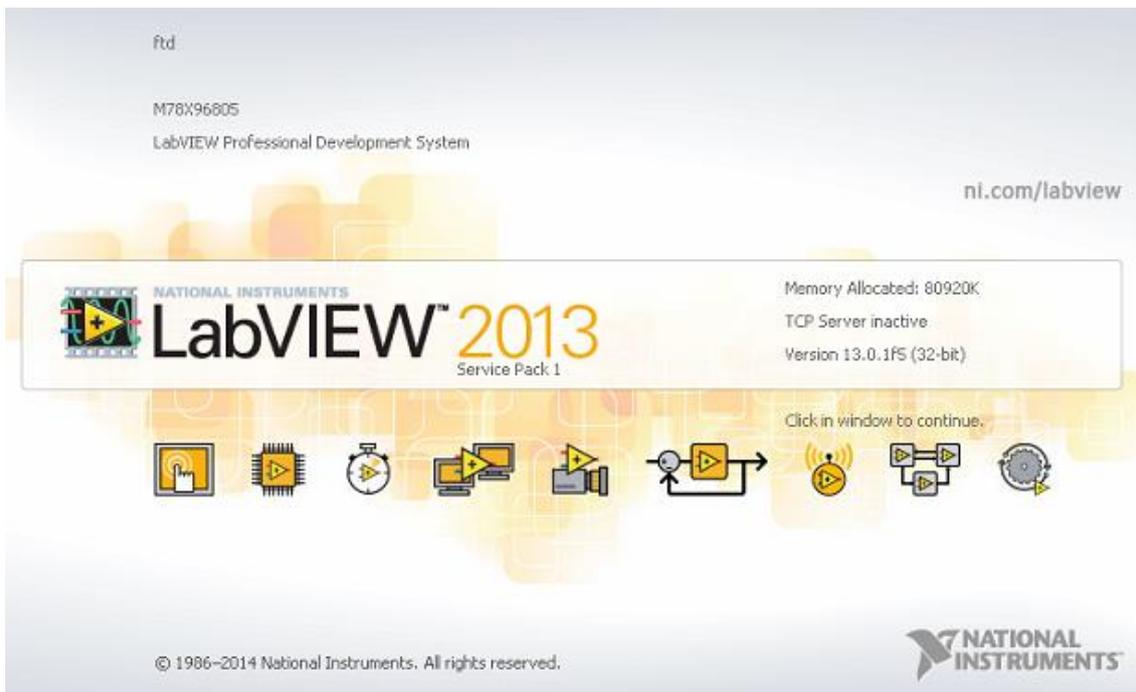


Ilustración 91: "About" en LabView 2013

Una vez concluida la instalación nos aparecerán dos programas que vamos a utilizar, LabView 2013 y NI MAX. Con LabView vamos a crear un proyecto donde incluiremos todos nuestros equipos y crearemos el software. Con NI MAX vamos a configurar la CompactRio y vamos a poder ver toda la configuración de los nodos WSN.

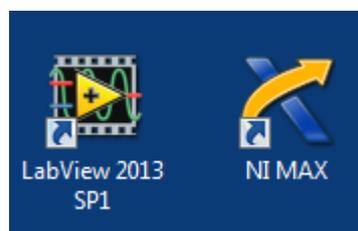


Ilustración 92: Iconos de LabView 2013 y NI MAX

El siguiente paso es instalar el módulo NI LabView WSN Pioneer Module, que era el que permitía instalar software a los nodos WSN. Para ello, debemos insertar el CD

y seguir los pasos para realizar la instalación. Entrando en el administrador de licencias (License Manager) podemos observar que está correctamente instalado y activado.

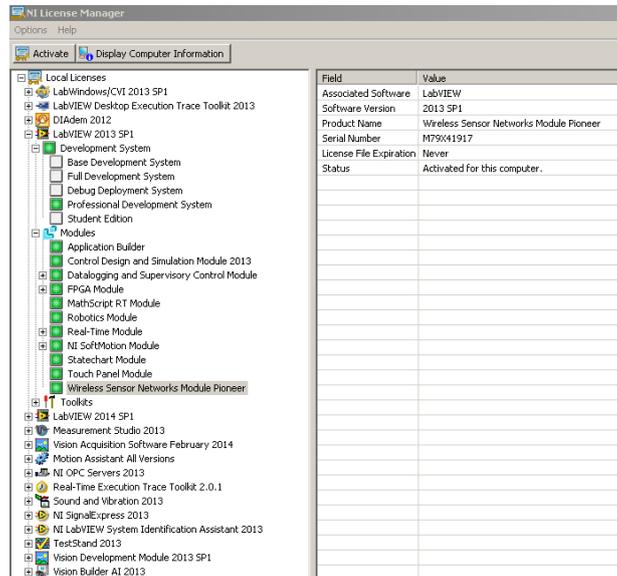


Ilustración 93: NI License Manager

4.2. Instalación y configuración de la CompactRio

Lo primero hemos realizado un montaje en carril DIN donde hemos colocado la fuente de alimentación NI PS-15 y la CompactRio 9076. A ésta le hemos añadido el módulo de la serie C 9795, que será la pasarela entre los nodos WSN y la CompactRio. Hemos alimentado la CompactRio con la fuente de alimentación y, a su vez, la hemos conectado a un punto de acceso Ethernet por medio de un cable RJ-45.



Ilustración 94: Carril DIN, fuente de alimentación y CompactRio

Una vez realizadas las conexiones, lo primero es instalar el software a la CompactRio. Para ello, abrimos el NI MAX y, en el apartado de sistemas remotos (Remote Systems) se deberá localizar la CompactRio que deseamos configurar, en nuestro caso, la que viene marcada como “NI-Crio9076-0166B7C4”, que es el nombre que se le asigna por defecto. Posteriormente, podremos cambiarle el nombre por uno que sea más conveniente, así como poder añadir un comentario a dicho sistema.

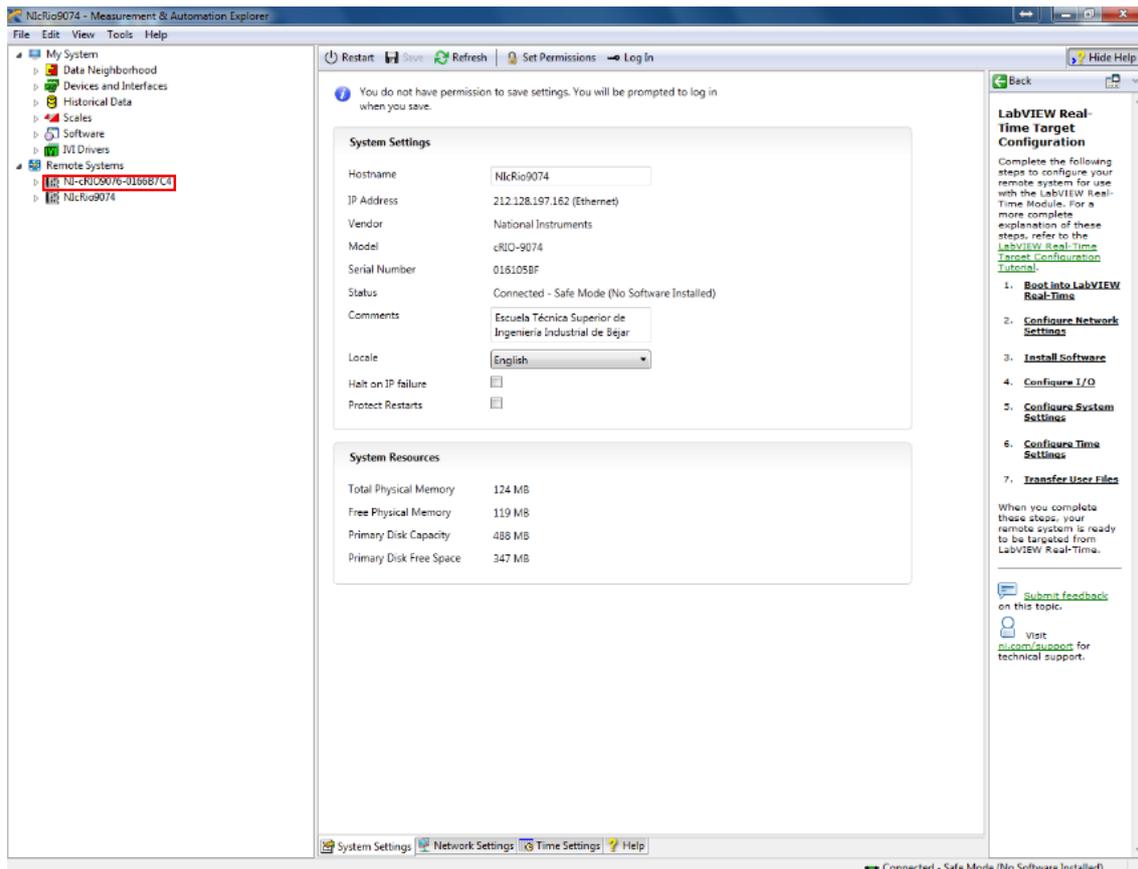


Ilustración 95: Detección de los sistemas remotos en NI MAX

Como podemos observar en la ilustración anterior, aparecen los parámetros fundamentales, como el nombre con el que se detecta en la red, la dirección IP, el nombre del fabricante, el modelo, el número de serie, el status, así como el estado de la memoria.

También podemos pasar a la pestaña de configuración de la red, donde aparecen reflejados de nuevo la dirección IP, la dirección MAC del dispositivo, la máscara de subred, el servidor DNS (Domain Name System)...

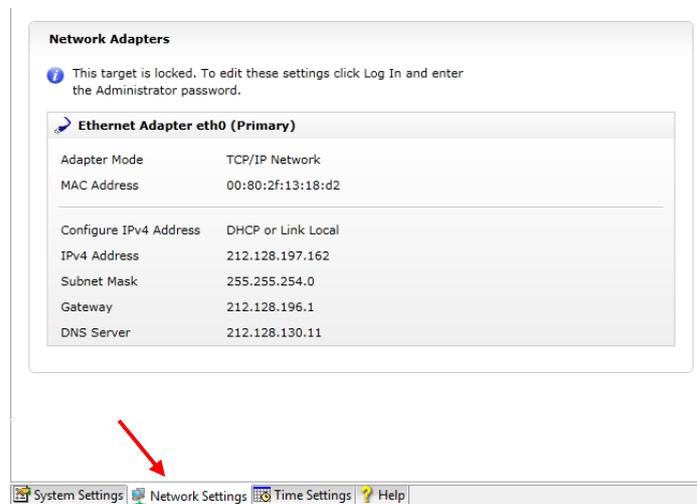


Ilustración 96: Parámetros de la red en NI MAX

Si abrimos el desplegable en la CompactRio, aparecen dos opciones: Devices and Interfaces y Software. Haciendo click derecho sobre software aparece la opción Add/Remove Software.

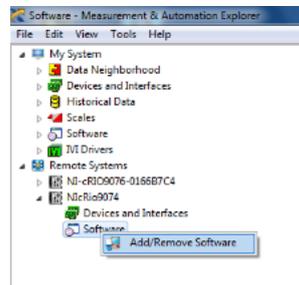


Ilustración 97: Add/Remove Software en NI MAX

Se nos abrirá una ventana para elegir el software que queremos instalar. En nuestro caso, vamos a seleccionar la última versión disponible para nuestro modelo de CompactRio, es decir, “NI CompactRIO 13.0-August 2013”. A la derecha podemos ver qué entra dentro de ese paquete de software.

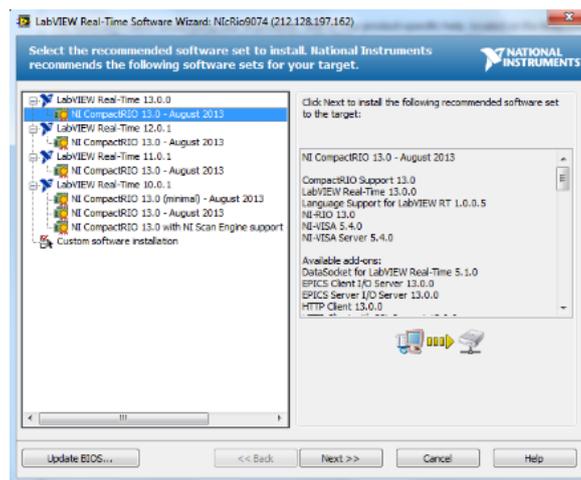


Ilustración 98: Elección del paquete de software a instalar en NI MAX

Después nos indica si queremos instalar todo el software incluido en el paquete o no. En nuestro caso, vamos a instalar todo, excepto los paquetes de idiomas distintos al inglés. De esta manera, conseguimos liberar algo de espacio.

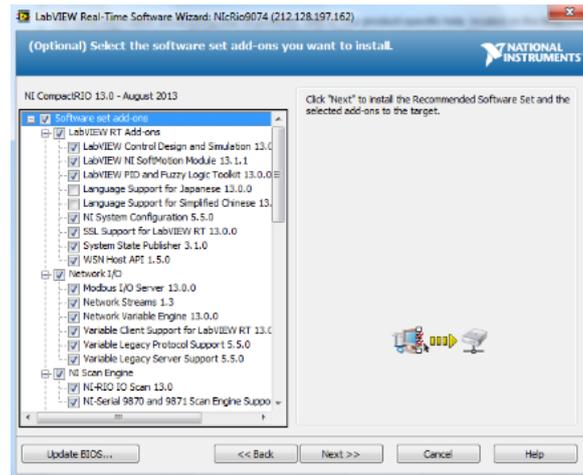


Ilustración 99: Elección del software a instalar en NI MAX

En la siguiente ventana nos confirma de nuevo el software que queremos instalar y, si estamos de acuerdo, comenzará la instalación.

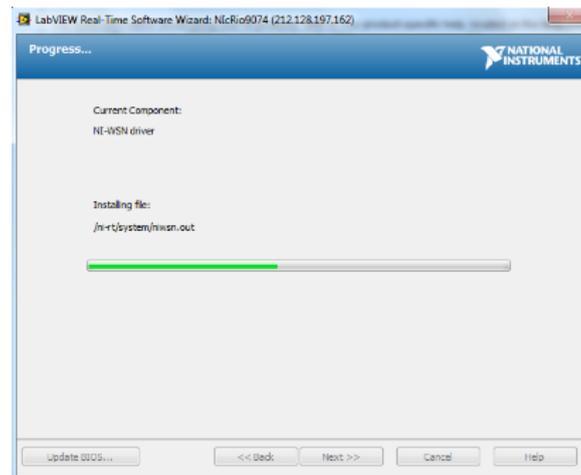


Ilustración 100: Proceso de instalación en NI MAX

Una vez termine, se reiniciará la CompactRIO y nos mostrará un mensaje confirmando que ha terminado la instalación correctamente.

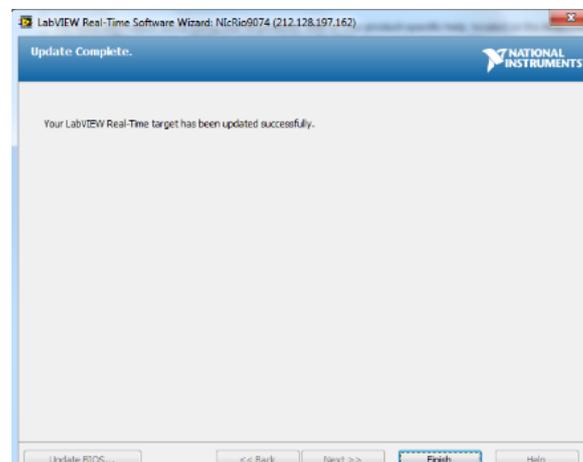


Ilustración 101: Mensaje de instalación terminada correctamente en NI MAX

Ahora ya, dentro del apartado de Software, aparece todo lo que acabamos de instalar.

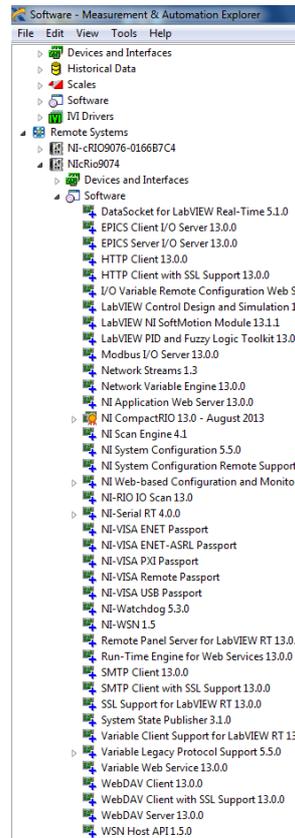


Ilustración 102: Software recién instalado en la CompactRio

Una vez instalado el software, es necesario saber si la CompactRio es visible desde otros dispositivos y confirmar la dirección IP que le ha sido. Para ello, hemos utilizado el programa “Advanced IP Scanner”, que analiza todos los dispositivos conectados a la red.

Estado	Nombre	IP	Fabricante	Dirección MAC
	revidexp.bej.usal.es	212.128.196.168	ABIT COMPUTER CORPORATION	00:50:8D:78:C0:98
	ConserjeriaBej	212.128.197.193	Asiarock Technology Limited	00:19:66:37:C0:FB
	p2.bej.usal.es	212.128.197.147	Asound Electronic	00:02:2A:D3:88:6D
	araceli.bej.usal.es	212.128.196.226	ASRock Incorporation	00:25:22:A5:34:5D
	BRN001BA90421EA	212.128.197.223	BROTHER INDUSTRIES, LTD.	00:1B:A9:04:21:EA
	ETSIIBEJAR	212.128.196.23	CARADON TREND LTD.	00:10:70:05:47:67
	212.128.196.1	212.128.196.1	CISCO SYSTEMS, INC.	00:18:89:63:83:C7
	IMCarmen-PC.bej.usal.es	212.128.197.181	COMPAL INFORMATION (KUNSHAN) CO., LTD	DC:0E:A1:18:CC:3E
	HP-Elite	212.128.197.124	COMPAL INFORMATION (KUNSHAN) CO., LTD.	70:5A:B6:B5:3F:19
	212.128.196.22	212.128.196.22	CYCLADES CORPORATION	00:60:2E:01:BF:DA
	Vieta.bej.usal.es	212.128.197.149	Eltegroup Computer System Co.	00:1B:89:80:77:39
	fac-bejar-tv.bej.usal.es	212.128.197.6	ELITEGROUP COMPUTER SYSTEM CO., LTD.	44:87:FC:D4:AD:D8
	212.128.196.15	212.128.196.15	Ericsson Group	00:80:37:5E:A8:B2
	212.128.196.186	212.128.196.186	Fujitsu Technology Solutions	00:19:99:3A:64:DF
	a30d15.bej.usal.es	212.128.197.8	Fujitsu Technology Solutions	00:19:99:23:C0:DA
	USAL-PC014.bej.usal.es	212.128.196.227	Fujitsu Technology Solutions	00:19:99:30:28:CA
	a30d15.adus.usal.es	212.128.197.99	Fujitsu Technology Solutions	00:19:99:3A:65:03
	a3k420	212.128.197.28	Fujitsu Technology Solutions	00:19:99:3A:64:D3
	GimBej	212.128.196.159	GIGA-BYTE TECHNOLOGY CO.,LTD.	FC:AA:14:1A:A4:88
	AntonioPC	212.128.196.233	GIGA-BYTE TECHNOLOGY CO.,LTD.	00:1F:00:8E:87:11
	JAGB-PC	212.128.196.131	Hewlett-Packard Company	2C:41:38:62:6D:43
	NP14040E7	212.128.196.210	Hewlett-Packard Company	D4:85:64:40:40:E7
	NP1E52B28.bej.usal.es	212.128.197.186	Hewlett-Packard Company	00:21:5A:ES:28:28
	NP110161E	212.128.197.209	Hewlett-Packard Company	00:1B:78:10:16:1E
	ValleBikilo	212.128.196.208	Intel Corporate	00:13:20:C1:B1:81
	212.128.196.19	212.128.196.19	Juniper Networks, Inc.	00:10:D8:6A:17:DF
	NI-r109076-016687C4.bej.usal.es	212.128.197.80	NATIONAL INSTRUMENTS CORP.	00:80:2F:13:4C:06
	NIRio9074.bej.usal.es	212.128.197.162	NATIONAL INSTRUMENTS CORP.	00:80:2F:13:18:D2
	ALEX-HP	212.128.196.149	PEGATRON CORPORATION	E8:40:F2:10:3F:25
	212.128.196.18	212.128.196.18	TOUCHWAVE, INC.	00:ED:45:07:01:91
	Fotocop	212.128.197.54	Xnet Technology Corp.	00:05:1C:0E:0C:82

Ilustración 103: Análisis de la red con Advanced IP Scanner

En nuestro caso, la CompactRio tiene asignada la dirección IP 212.128.197.80; y, escribiéndola en la barra de direcciones del navegador web, podremos acceder a los parámetros de configuración de la CompactRio. Lo primero que aparece es la pantalla principal, donde aparece recogida la configuración (el nombre, la dirección IP, el nombre del DNS, el modelo, el número de serie...), varias opciones de configuración (modo seguro, reseteo de IP...) y el estado de la memoria.

Arriba aparecen tres opciones: Restart, Login y Help. Con la opción Restart podemos reiniciar la CompactRio, lo cual es necesario si cambiamos algo de la configuración. Con la opción Login podemos entrar con nuestro usuario y contraseña (si no creamos ninguno nuevo, podemos entrar con el que viene por defecto) para poder habilitar algunas opciones que solo, si entramos como usuarios registrados, se puede acceder a ellas. Y, por último, con la opción Help se puede acceder a la ayuda de National Instruments.

En el menú de la izquierda aparecen varias opciones, que comentaremos a continuación, como el software instalado, los nodos WSN conectados a la CompactRio, el sistema de carpetas y archivos, etc.

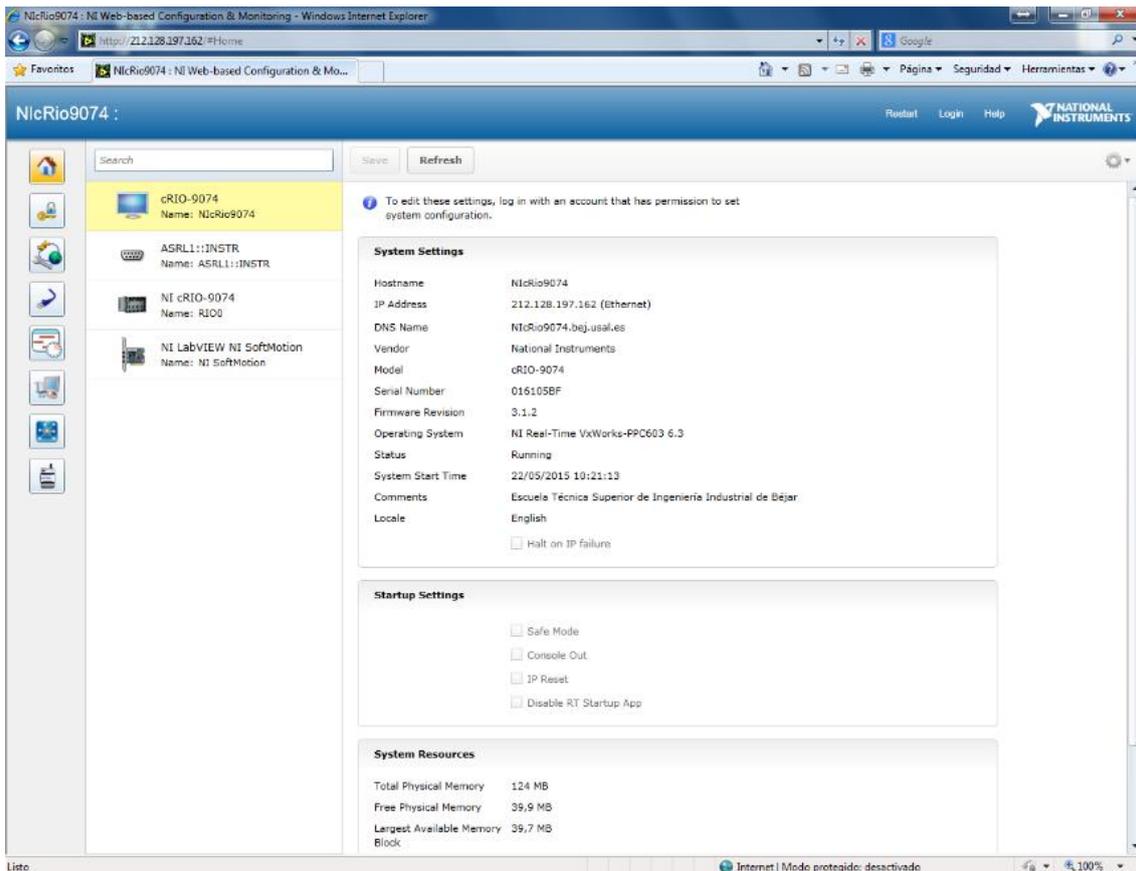


Ilustración 104: Página principal de la interfaz web de la CompactRio

La siguiente opción es la ventana de gestión de usuarios. En ella, podemos crear usuarios y eliminarlos, con más o menos permisos.

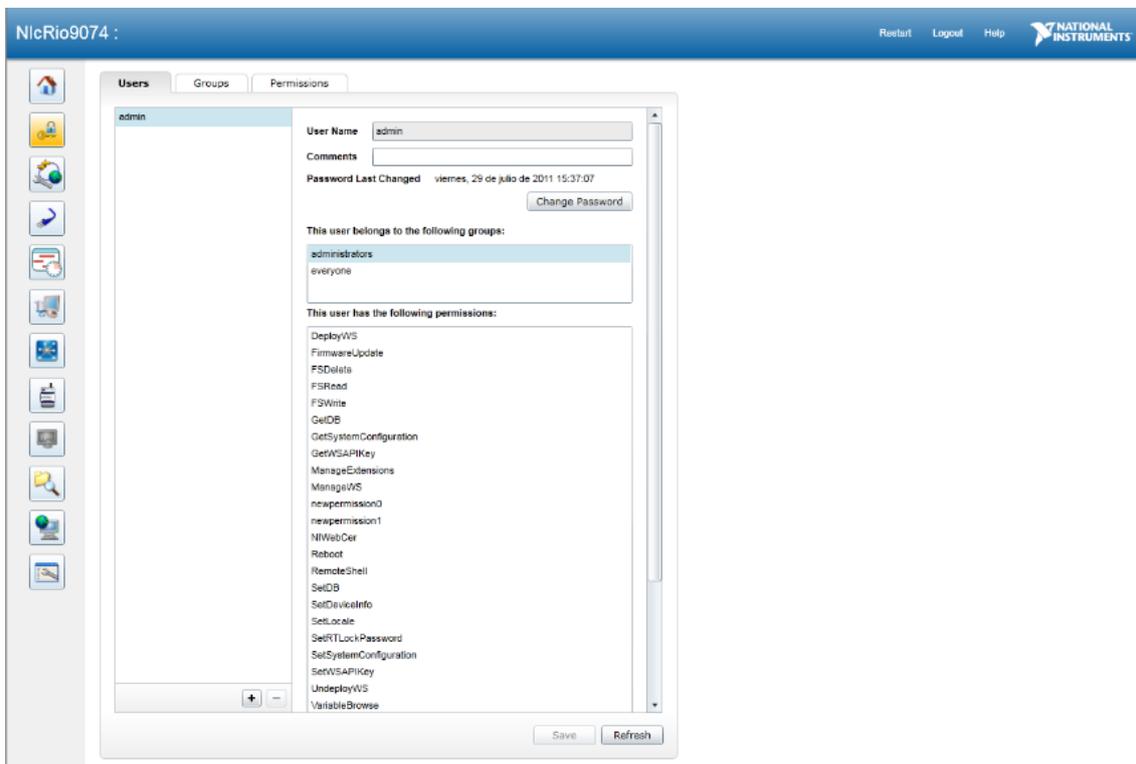


Ilustración 105: Gestión de usuarios de la interfaz web de la CompactRio

La interfaz web de la CompactRio tiene otra opción para la gestión de la conexión a Ethernet. De nuevo en ella aparecen opciones y nos resume todos los parámetros que configuran la red.

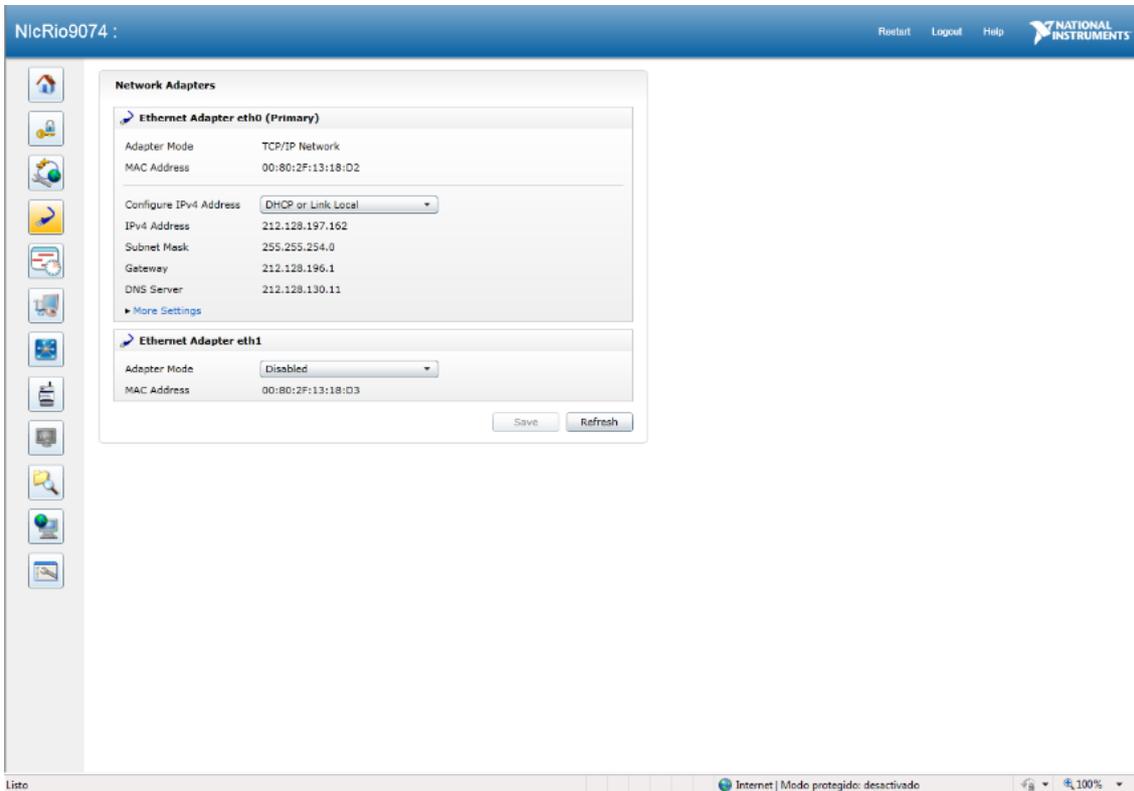


Ilustración 106: Panel de configuración de red de la interfaz web de la CompactRio

La siguiente opción es la ventana para ajustar la hora y la fecha. Esto es importante, ya que nos basaremos en esta configuración para etiquetar las medidas recogidas por los sensores.

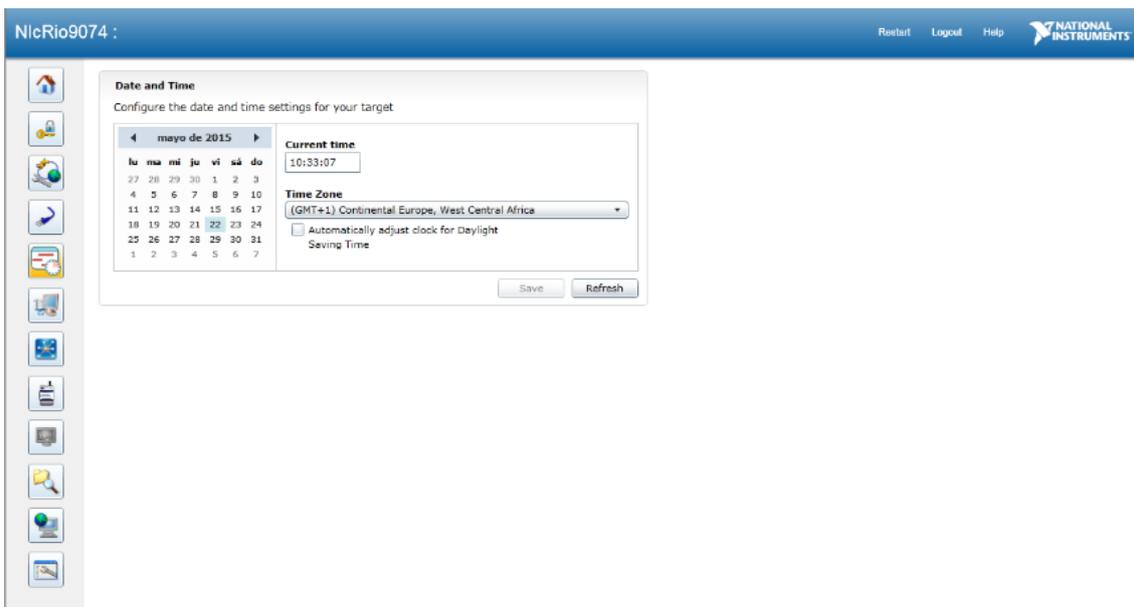


Ilustración 107: Pantalla de configuración de la fecha y la hora de la interfaz web de la CompactRio

La siguiente ventana nos resume el software que tiene instalado la CompactRio. Si pinchamos en cualquiera nos aparece en detalle la versión del software, así como su descripción.

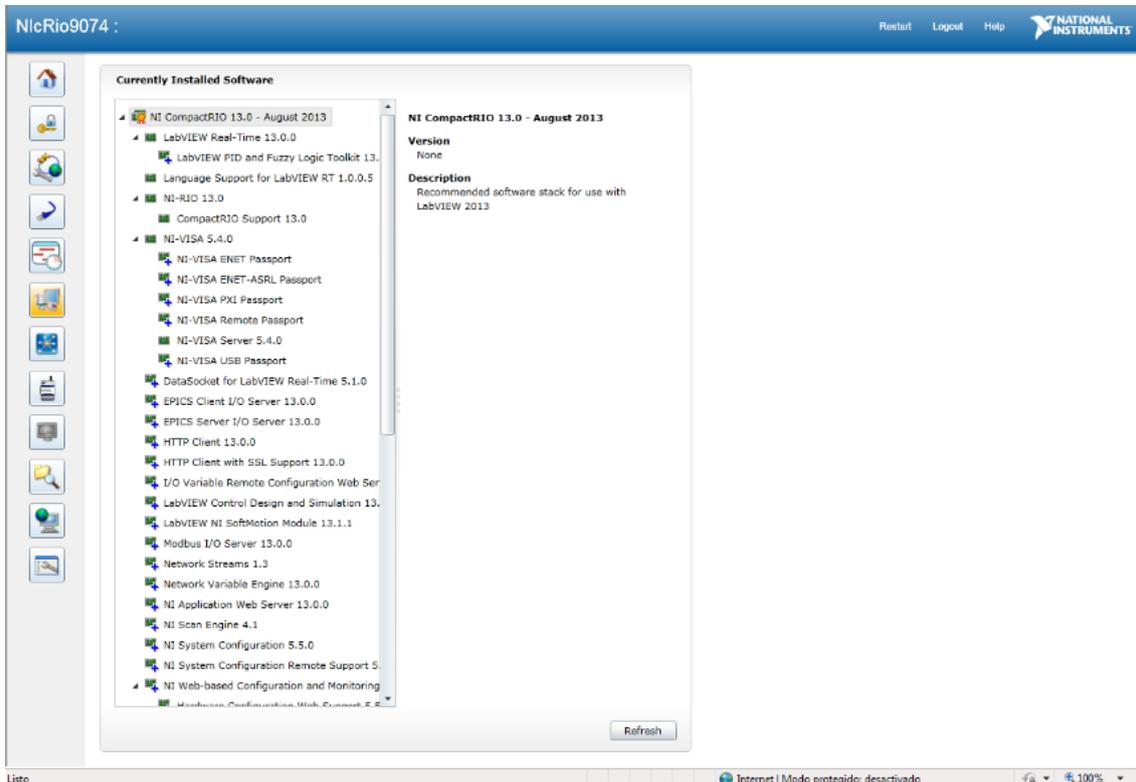


Ilustración 108: Software instalado en la interfaz web de la CompactRio

La siguiente opción nos permite ver qué otros dispositivos de National Instruments están conectados a la red, su modelo, la dirección IP y el estado. En nuestro caso detecta dos sistemas CompactRio, una modelo 9074 y otra modelo 9076.

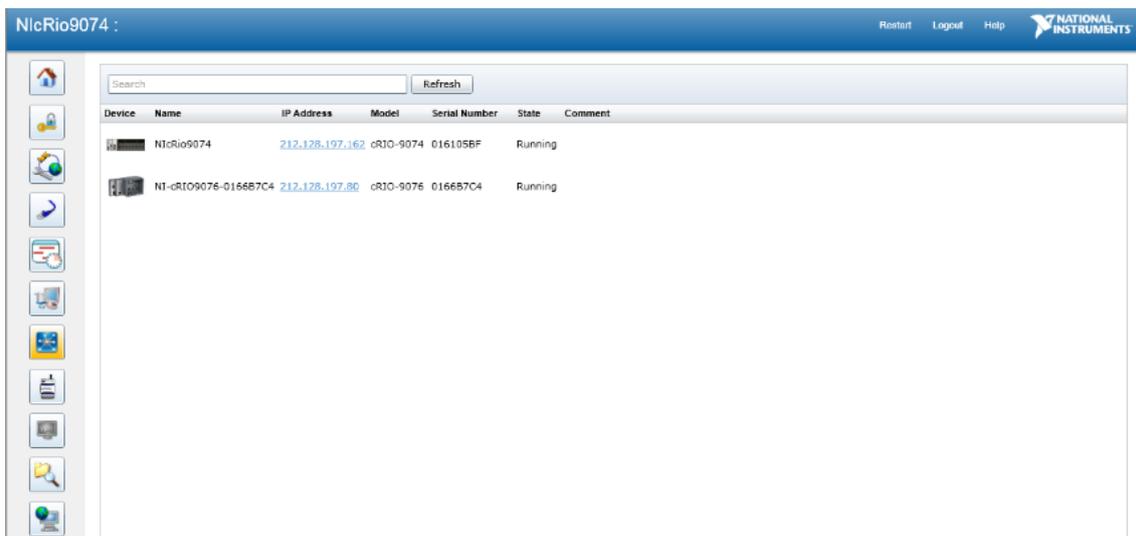


Ilustración 109: Dispositivos de National Instruments conectados a la red en la interfaz web de la CompactRio

El siguiente apartado es la ventana de configuración de los nodos inalámbricos WSN. Después de explicar la última ventana que nos queda de la interfaz web de la CompactRio, vamos a utilizar esta ventana para añadir el nodo WSN que vamos a utilizar.

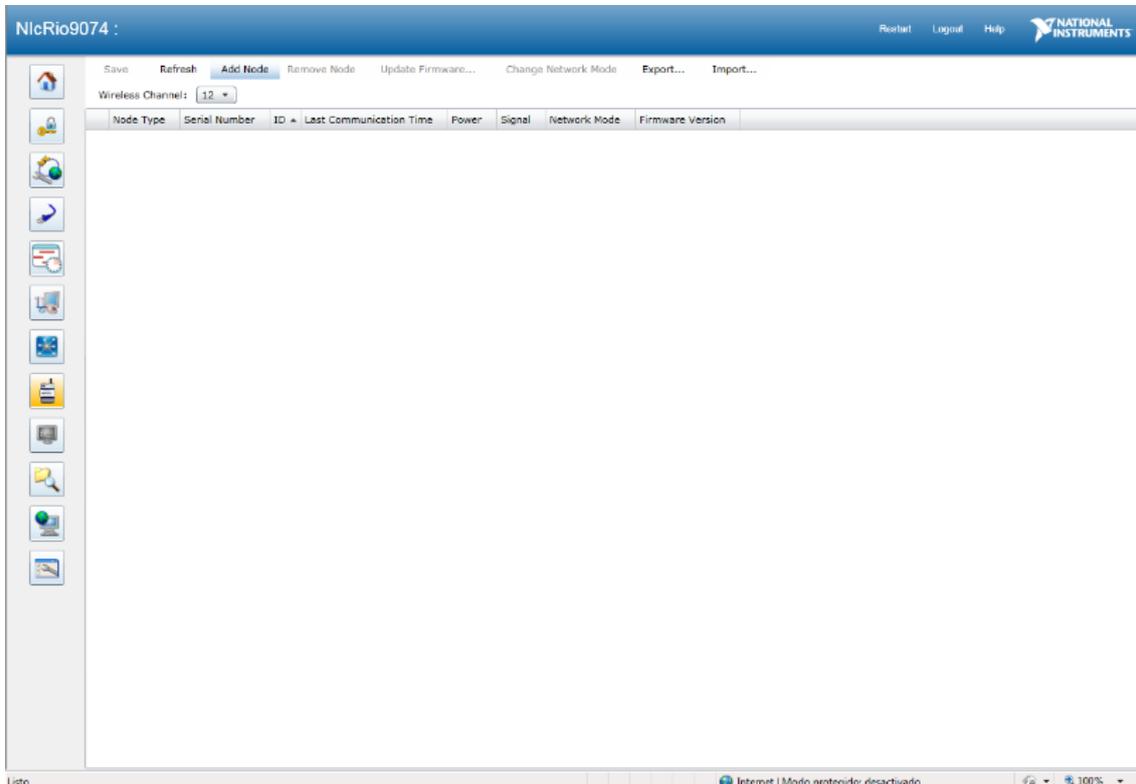


Ilustración 110: Ventana de configuración de los nodos WSN de la interfaz web de la CompactRio

La última opción es el explorador de archivos, que permite navegar por los diferentes directorios de la CompactRio y visualizar los archivos de configuración, las aplicaciones que se ejecutan en tiempo real y los archivos de los datos que vamos a generar con las medidas de los sensores.

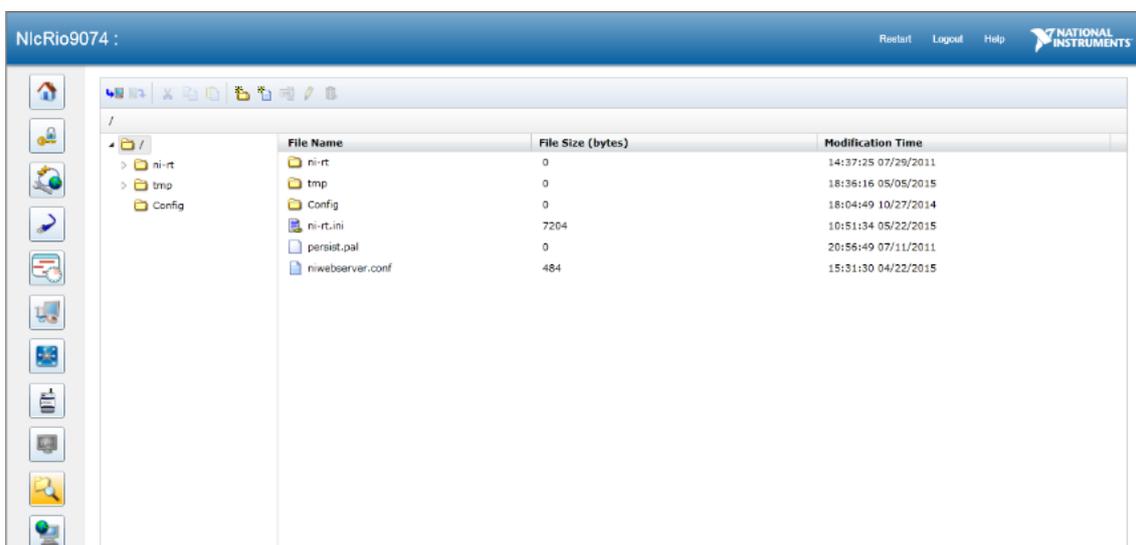


Ilustración 111: Explorador de archivos de la interfaz web de la CompactRio

4.3. Adición y configuración de un nodo WSN

El siguiente paso es añadir un nuevo nodo WSN a nuestro sistema CompactRio. Para ello, es necesario entrar dentro de la interfaz web de la CompactRio y acceder como administradores. Con esto hemos conseguido habilitar la ventana de configuración de los nodos WSN. Una vez accedamos a ella pulsamos en el botón “Add Node”.

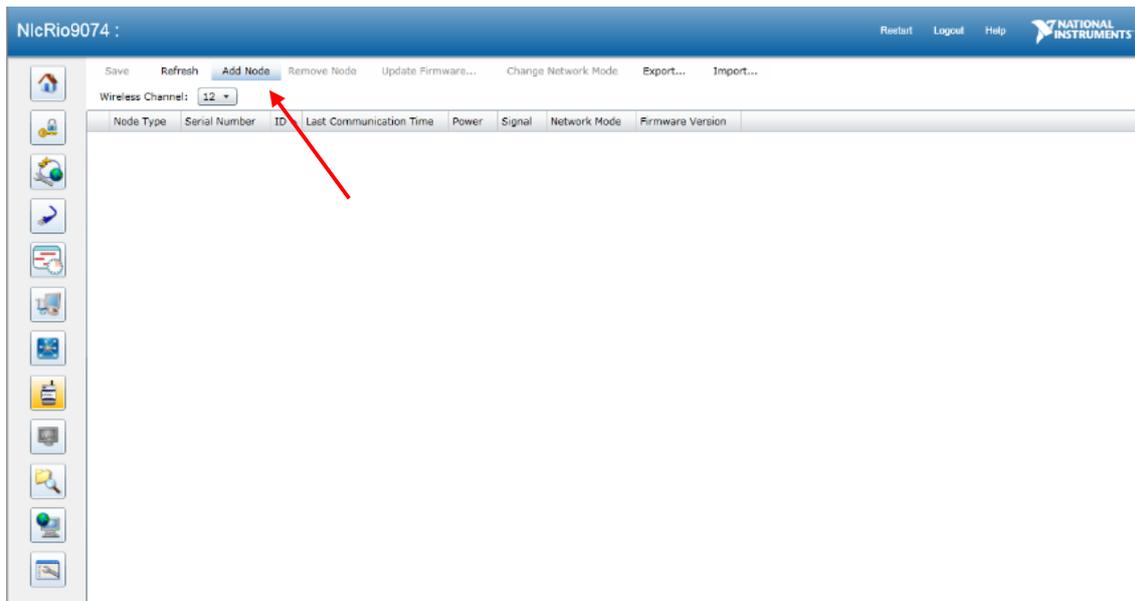


Ilustración 112: Botón "Add Node" de la interfaz web de la CompactRio

Nos saldrá, entonces, un nuevo nodo. En él deberemos indicar el tipo de nodo (Node Type) que queremos añadir a la red, en nuestro caso es el modelo NI WSN-3226.

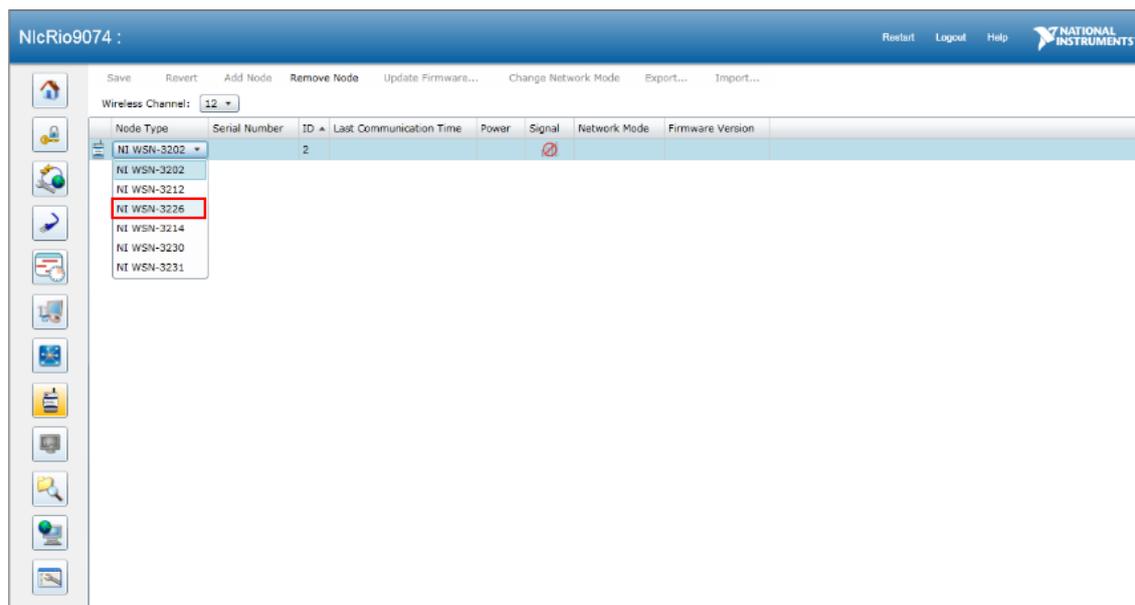


Ilustración 113: Selección del modelo de WSN en la interfaz web de la CompactRio

El siguiente campo que debemos rellenar es el número de serie del nodo inalámbrico. Este número lo podemos encontrar en la parte trasera del nodo WSN.



Ilustración 114: Número de serie en la interfaz web de la CompactRio

Simplemente queda guardar los cambios. A partir de ese momento, si el nodo se encuentra en rango de la pasarela se conectará y aparecerá, en esta pantalla de la interfaz web, la fecha de la última comunicación y la hora, qué tipo de alimentación tiene el nodo (por cable o por baterías), la intensidad de la señal, si el nodo es final o router y la versión de firmware que tiene el nodo.



Ilustración 115: Información de la interfaz web de la CompactRio sobre un nodo WSN conectado

4.4. Conexión de los sensores y de la carga electrónica

Antes de comenzar a desarrollar el software, es necesario realizar las conexiones de los sensores y de la carga electrónica. Vamos a conectar los sensores de temperatura ambiente, humedad, irradiancia y PT-100 al nodo inalámbrico NI WSN-3226. La carga electrónica BK Precision 8500 vamos a conectarla directamente a la CompactRio, al puerto serie que ésta incluye. La idea original era conectarla a un nodo inalámbrico NI WSN-3230, que es un nodo que incluye la interfaz para un puerto serie RS232. Sin embargo, no ha sido posible hacer la conexión a través de dicho nodo debido a que el puerto que genera el nodo no es un puerto real, sino virtual, y la carga electrónica no puede funcionar con el mismo, ya que no lo detecta.

Al nodo inalámbrico NI WSN-3226 vamos a conectar, en la entrada analógica AI0 el sensor de temperatura PT-100 (para lo cual utilizaremos tres hilos), en la entrada analógica AI1 vamos a conectar el sensor piranómetro, en la entrada analógica AI2 vamos a conectar el sensor de humedad y, por último, en la entrada analógica AI3 vamos a conectar el sensor de temperatura ambiente.

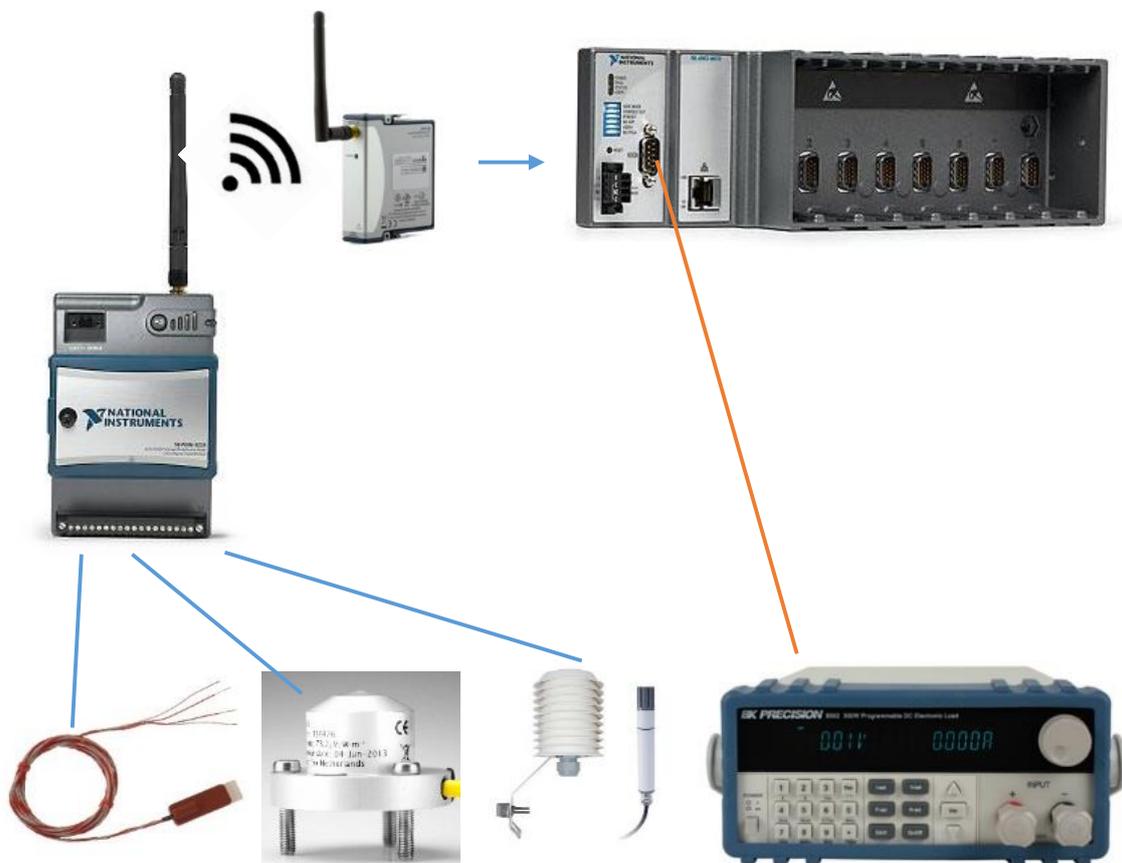


Ilustración 116: Conexiones de los sensores y la carga electrónica

La carga electrónica la vamos a conectar directamente a la CompactRio, al puerto serie que tiene.

4.5. Creación de un proyecto de LabView

El siguiente paso es crear el proyecto de LabView. Como vamos a utilizar la carga electrónica BK Precision 8500, es necesario añadir la librería con los drivers para poder usar la carga electrónica. Para ello, abrimos LabView y, antes de crear un nuevo proyecto nos vamos a Tools, Instrumentation y Find Instrument Drivers...

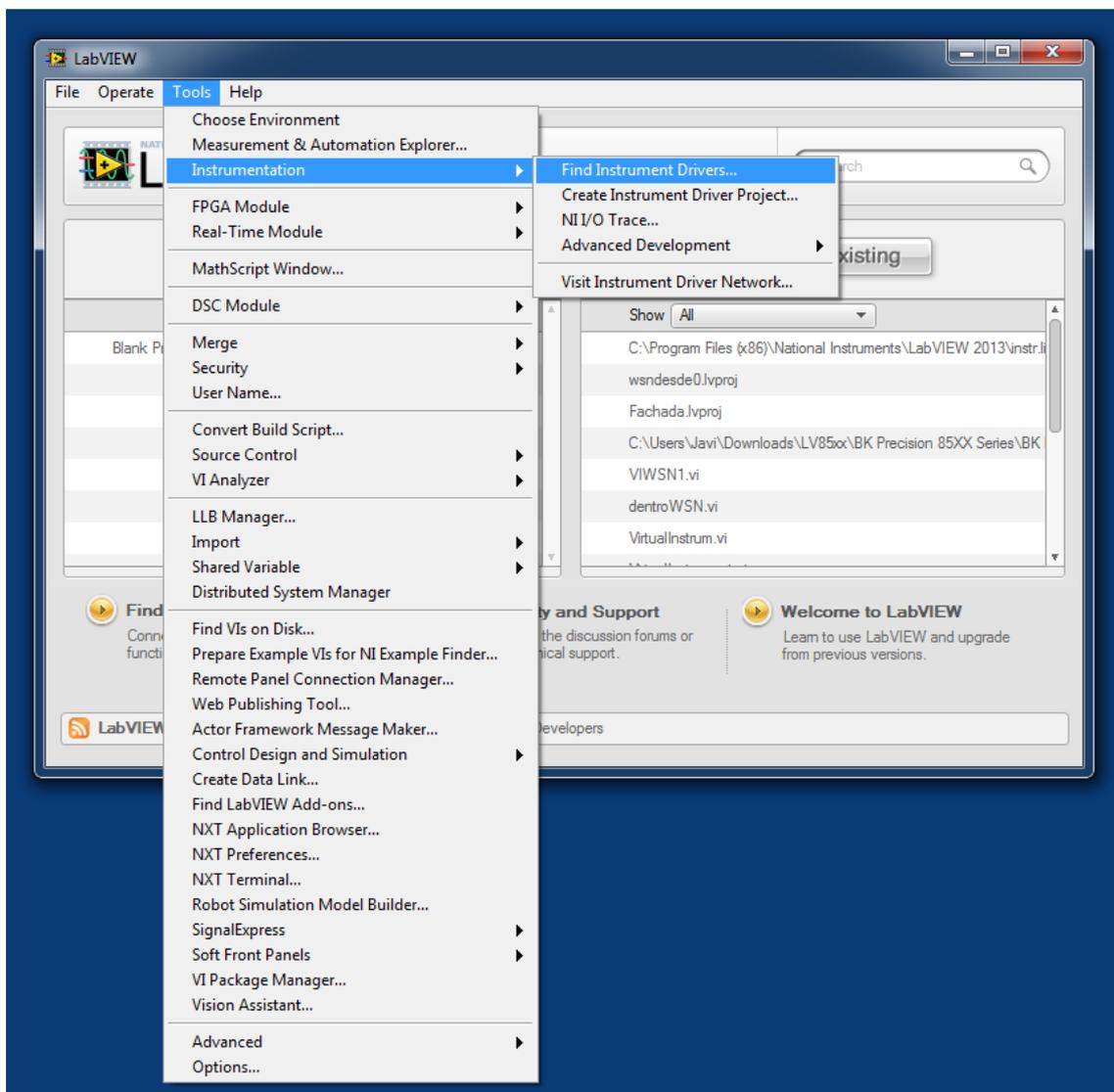


Ilustración 117: Opción Find Instrument Drivers... en LabView

En la ventana que se nos abre, vamos a elegir, en el apartado Manufacturer, B+K Precision; y, en el apartado Additional Keywords, escribimos 8500 (el modelo de la carga). Pulsamos en Search.

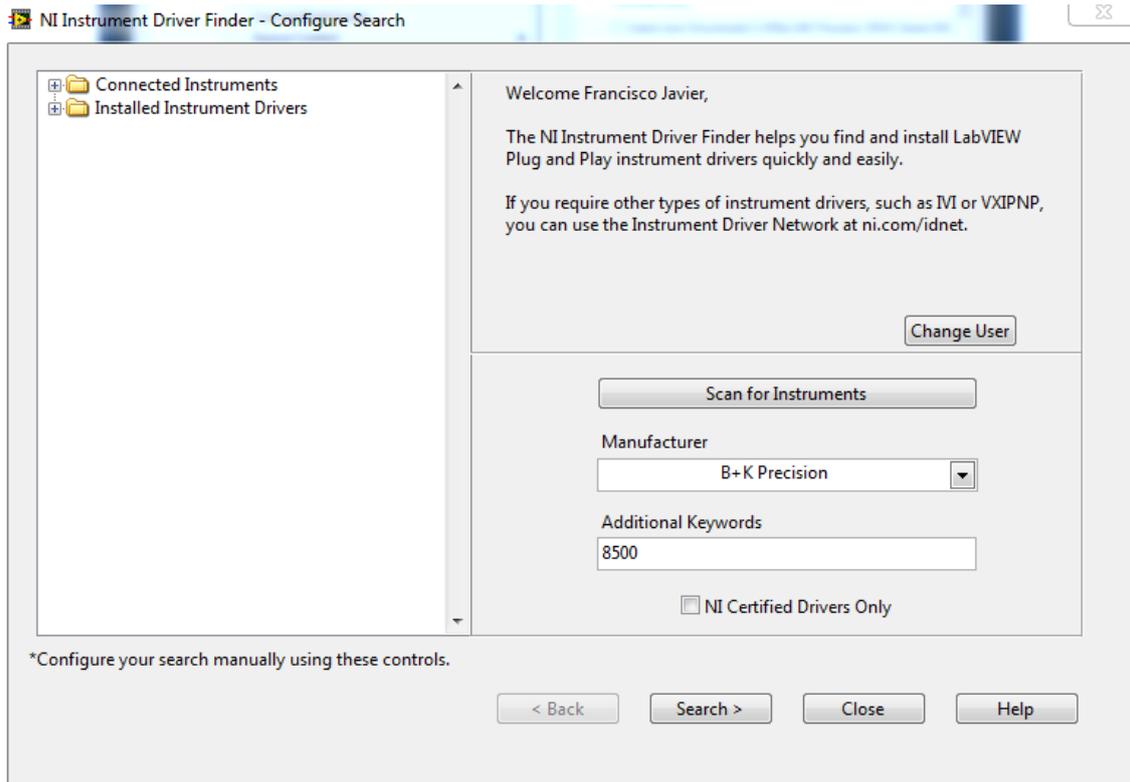


Ilustración 118: Configuración de la búsqueda de los drivers de la carga electrónica para LabView

Nos encontrará los drivers, podemos observar como son unos drivers certificados por National Instruments y, a la derecha, podemos ver todas las características, como la versión, los requerimientos, los modelos soportados... Pulsamos Install y se procederá a su instalación.

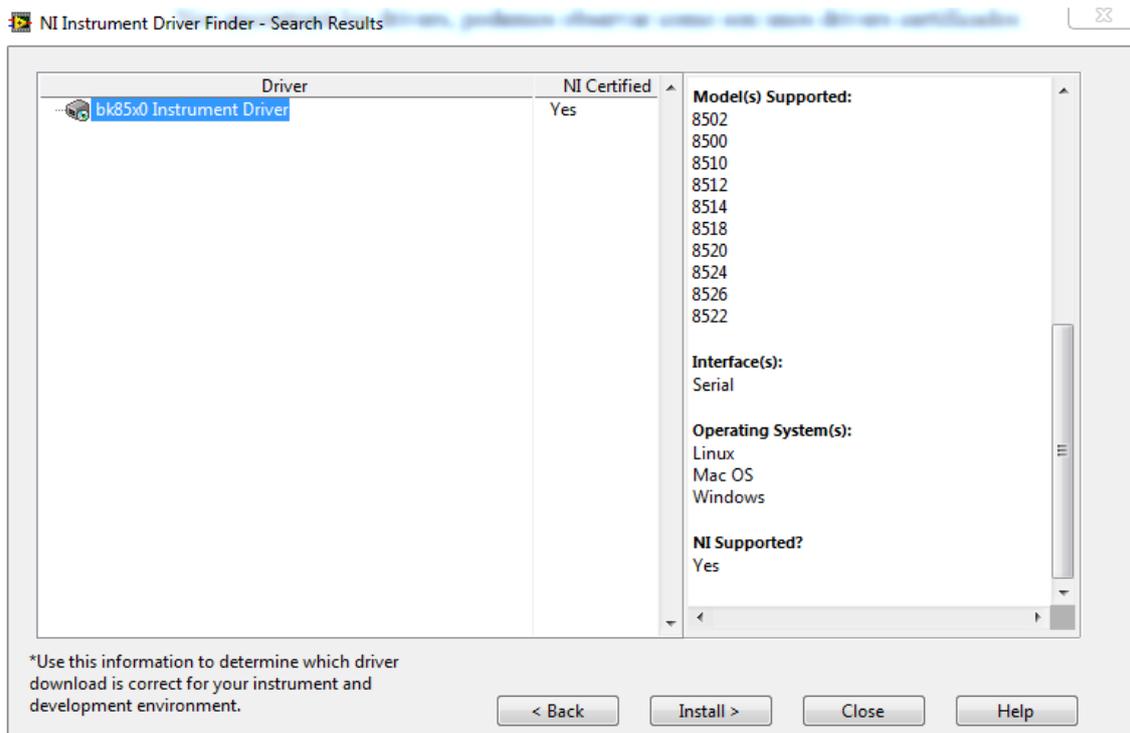


Ilustración 119: Instalación de los drivers de la carga electrónica en LabView

Cuando termine la instalación, nos saldrá una ventana donde nos permite instalar otro driver o comenzar a utilizar el driver que acabamos de instalar. Seleccionamos esta última opción.

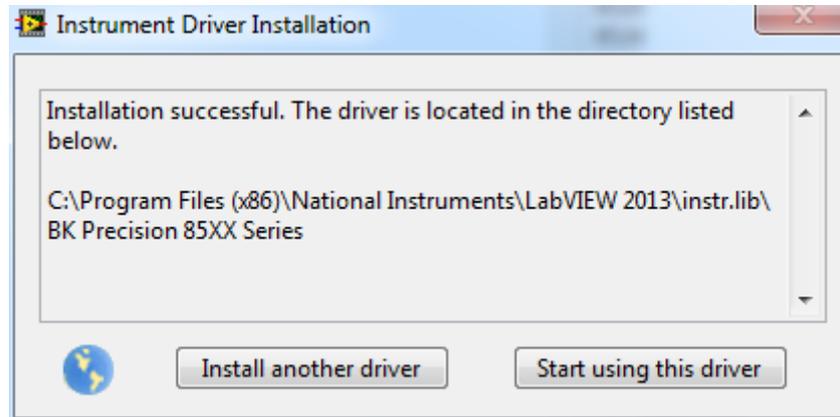


Ilustración 120: Instalación del driver de la carga electrónica en LabView completada

Nos aparece, entonces, una ventana donde aparecen 5 ejemplos, que vienen por defecto, de utilización de los drivers, y dos opciones, Open Project (abrir un proyecto nuevo utilizando estos drivers) y Open Palette (abrir la paleta de los drivers). Vamos a elegir la opción de abrir un nuevo proyecto.

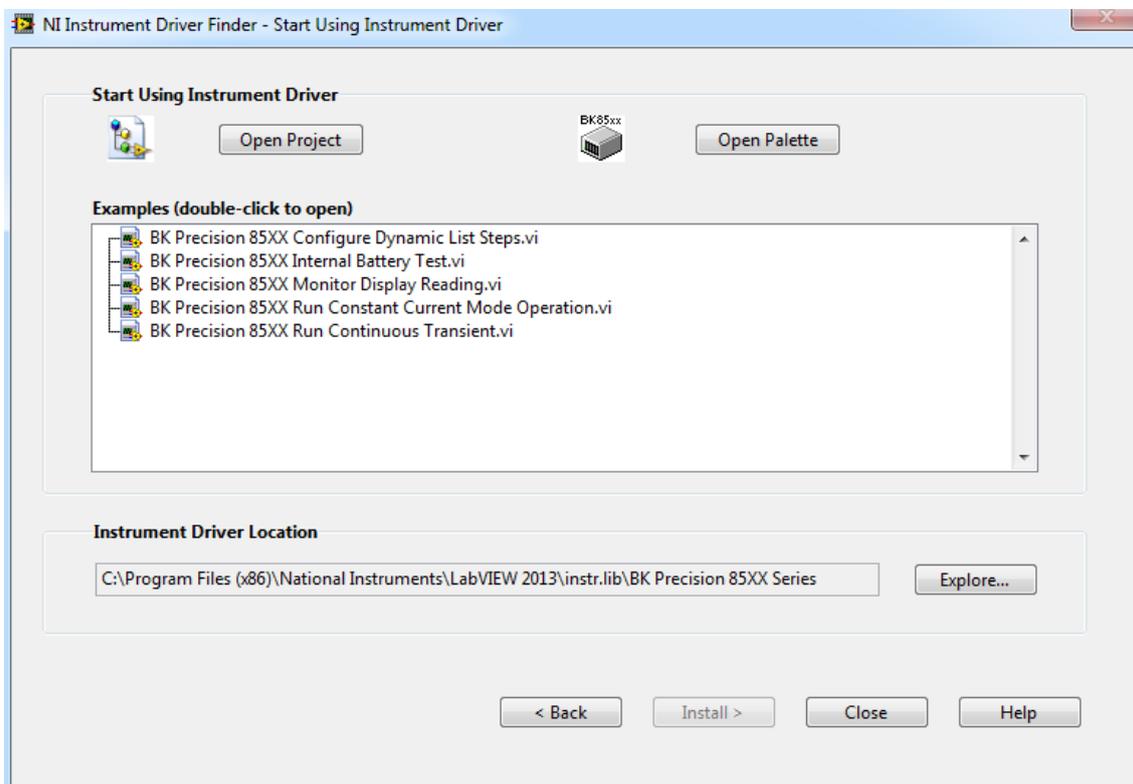


Ilustración 121: Menú para la utilización de los drivers de la carga electrónica en LabView

Ya tenemos creado el proyecto y, como podemos apreciar, nos aparece la librería (.lvlib) que contiene los drivers de la carga electrónica (BK Precision 85XX Series.lvlib).

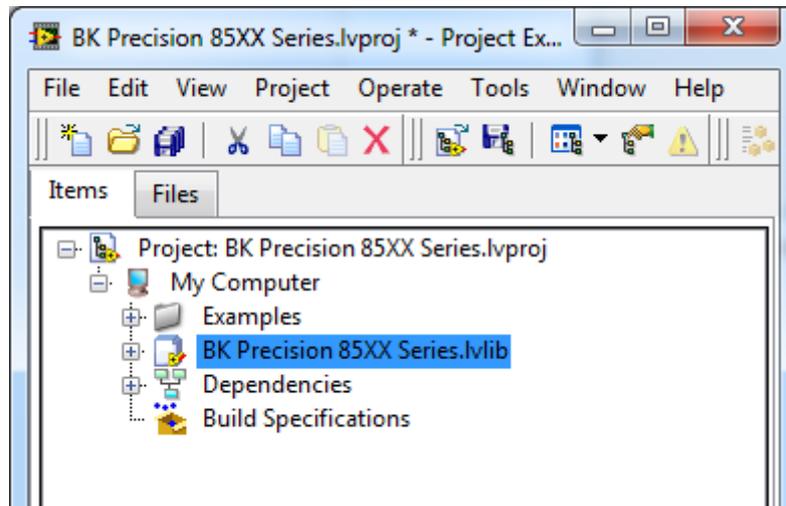


Ilustración 122: Ventana del proyecto

Además, cuando creamos un nuevo .VI nos ha aparecido, en la paleta de funciones de LabView, la librería de la carga electrónica.

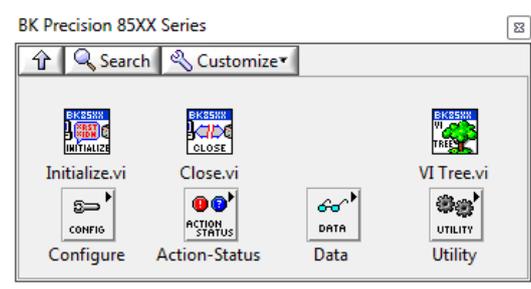


Ilustración 123: Paleta de funciones de la carga electrónica en LabView

El siguiente paso es añadir, a nuestro nuevo proyecto, la CompactRio, el módulo gateway y los nodos inalámbricos WSN. Para añadir la CompactRio damos click derecho sobre el nombre del proyecto, New y Target and Devices...

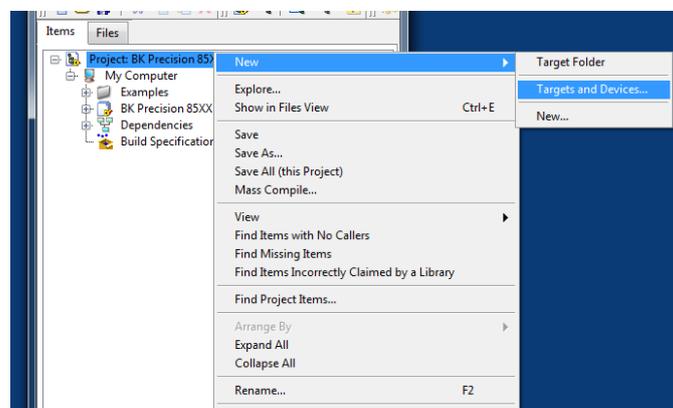


Ilustración 124: Opción Target and Devices... en proyecto de LabView

Se nos abrirá una ventana donde deberemos seleccionar el sistema CompactRio que queremos agregar a nuestro proyecto. Para ello, vamos a hacer que el propio LabView detecte los dispositivos que están conectados a la misma red que el ordenador y desplegamos la opción Real-Time CompactRIO.

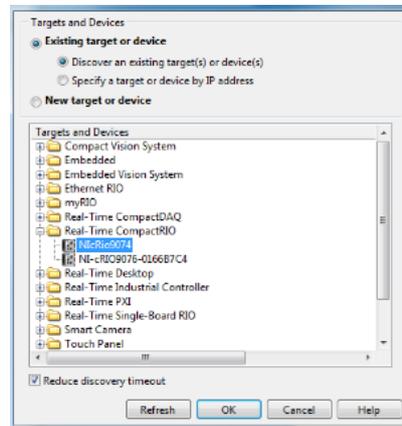


Ilustración 125: Selección del dispositivo CompactRio a agregar al nuevo proyecto

Por último, debemos seleccionar el modo de trabajo en el que queremos que funcione el sistema CompactRio. Debemos elegir entre Scan Interface Mode o LabVIEW FPGA Interface Mode. En nuestro caso deberemos elegir el modo Scan Interface, que es el modo compatible con los módulos inalámbricos WSN.

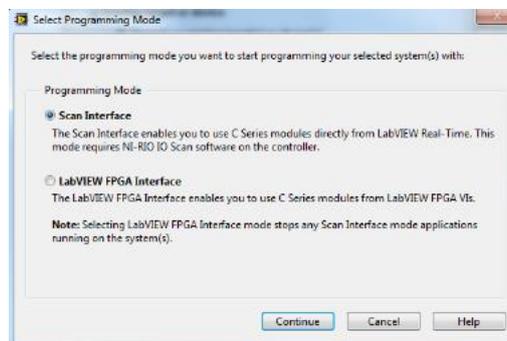


Ilustración 126: Selección del modo Scan Interface

Ahora ya tenemos nuestro proyecto preparado para generar los VIs.

4.6. Desarrollo de los VIs

Vamos a crear cuatro VIs:

- Un primer VI, que irá compilado en el nodo inalámbrico WSN (gracias al módulo NI LabView WSN Pioneer Module). Este primer VI se encargará de tomar las medidas de los sensores de temperatura, irradiancia, humedad y temperatura ambiente, ir las acumulando en una variable y, cuando se han

realizado 60 medidas (una cada segundo), calcule la media y la transmita por radio a la CompactRio.

- El segundo y tercer VIs serán los que vayan compilados en la CompactRio. Éstos serán los encargados de realizar dos tareas simultáneamente. Por una parte, deben recibir las medidas del nodo inalámbrico WSN y almacenarlas en un archivo de texto que se guardará en la memoria de la CompactRio; y, por otra parte, deberán mandar los comandos, por puerto serie RS232, a la carga electrónica, para que tome las medidas del módulo fotovoltaico, recibir dichos datos y almacenarlos en un archivo de texto que, también, se guardará en la memoria de la CompactRio. Se necesitan dos VIs, ya que uno de ellos será una función que se requiera para desarrollar lo anteriormente descrito, es decir, funcionará como subrutina (SubVI).
- Por último, desarrollaremos un cuarto VI encargado de poder monitorizar, desde cualquier lugar, los parámetros que se tienen en cada momento en la estación fotovoltaica. Es decir, podremos ver desde cualquier lugar del mundo la temperatura, la humedad, la irradiancia, observar la curva I-V, etc.

Desarrollo del VI del nodo inalámbrico WSN

Para comenzar a desarrollar dicho VI, es necesario, primeramente, habilitar dicho nodo para poder compilar en él un VI. Para ello, vamos a desplegar los nodos inalámbricos, seleccionamos el nodo deseado y hacemos click con el botón derecho del ratón, seleccionando la opción Add LabVIEW WSN Target.

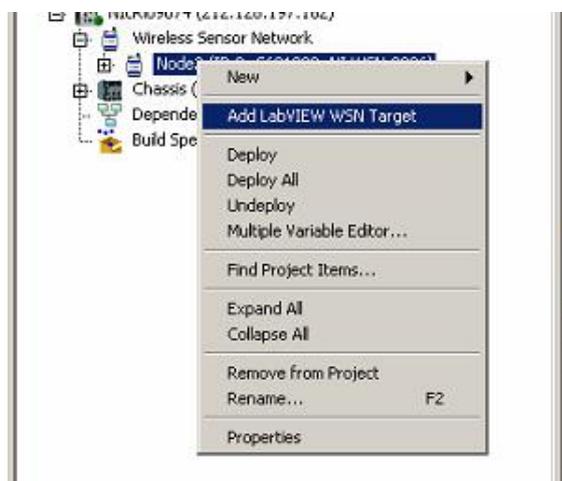


Ilustración 127: Add LabVIEW WSN Target

Deberemos, ahora, crear un nuevo VI dentro del nodo inalámbrico WSN. Para ello, hacemos click derecho sobre él y seleccionamos la opción New WSN VI. Este VI que se ha creado, tiene la estructura de los VIs creados para nodos WSN, estructura que ya ha sido comentada en el apartado 3.7. NI LabView WSN Pioneer Module.

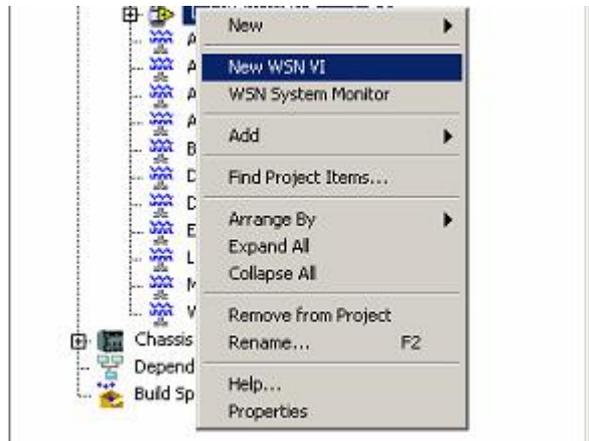


Ilustración 128: New WSN VI

Antes de desarrollar el VI, vamos a crear las variables que se asocien a las medidas que se reciben de los sensores. En esas variables almacenarán los datos que deben enviarse a la CompactRio. El tipo de dato que van a almacenar es Single, es decir, un dato de 32 bits, que es la máxima resolución que se puede obtener de un nodo inalámbrico WSN.

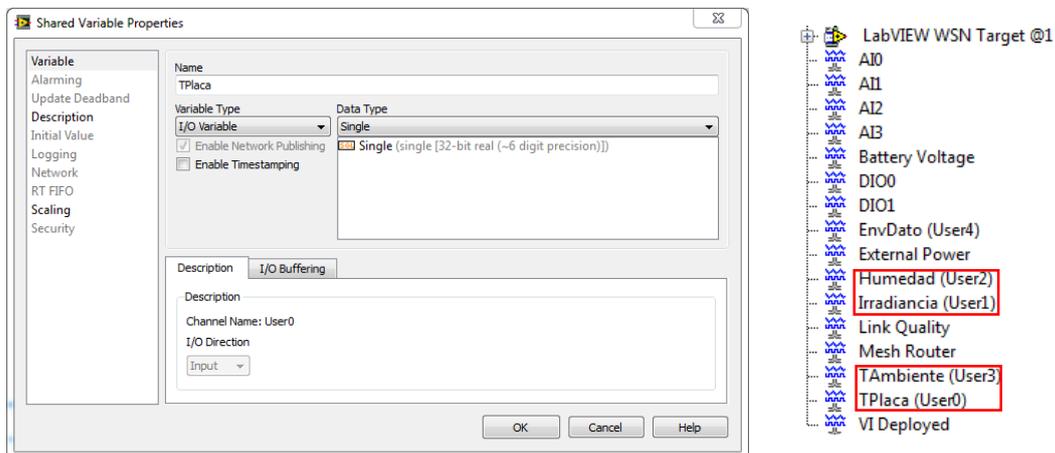


Ilustración 129: Variables tipo Single del nodo inalámbrico WSN

Además, vamos a utilizar una variable de tipo booleano, que vamos a utilizar cuando queramos enviar un dato a la CompactRio.

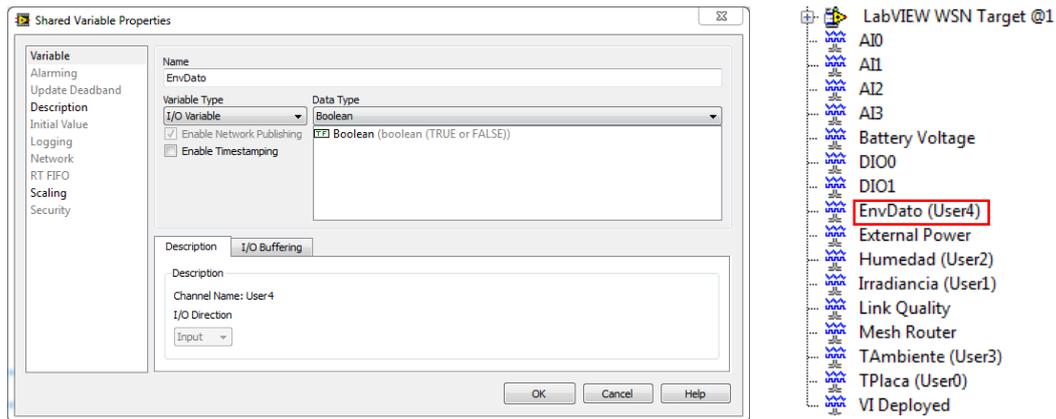


Ilustración 130: Variable tipo Booleana del nodo inalámbrico WSN

Una vez creadas las variables, abrimos el VI y, en el apartado “Start” vamos a configurar el periodo de muestreo, en nuestro caso, queremos que tome un valor cada segundo, por lo que a Sample Interval le asignamos un 1.

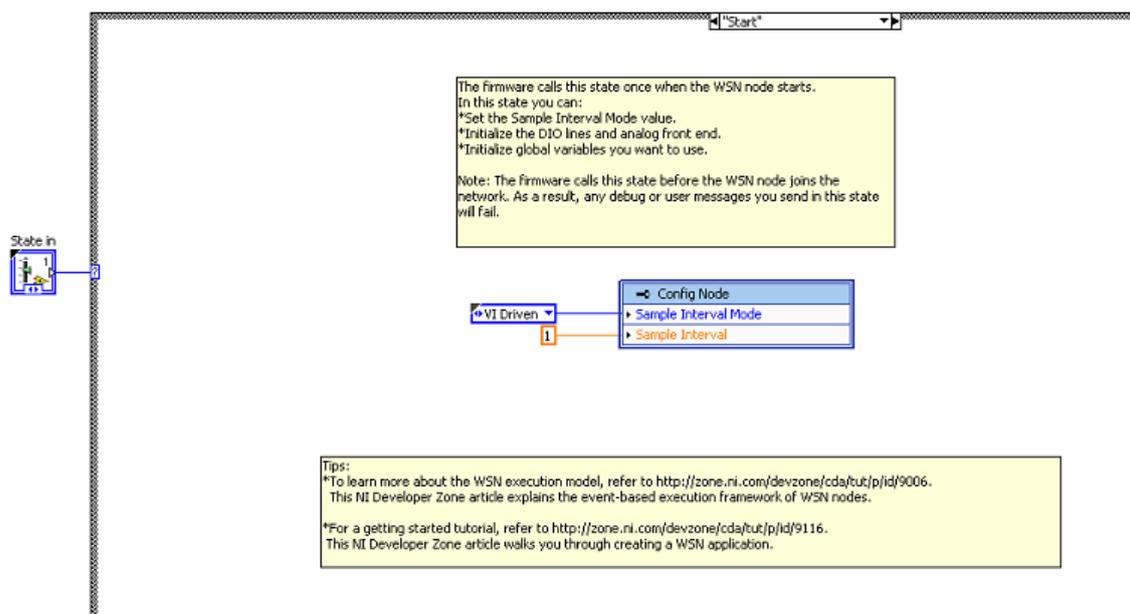


Ilustración 131: Asignación del intervalo de muestreo en el módulo WSN

Cuando pasa un segundo, se ejecuta el código que aparece en el apartado “Sample”. En dicho apartado, vamos a configurar la toma de datos de los sensores, el cálculo de la media y, cuando haya pasado un minuto, el envío a la CompactRio. Para ello, tenemos una variable llamada Contador que, en cada ejecución del programa, compara si su valor es igual a 60. Si no lo es, se incrementa en uno, su valor.

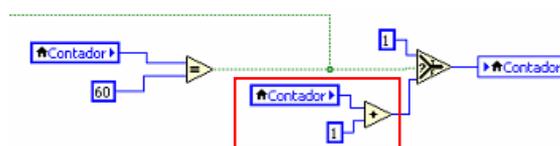


Ilustración 132: Comparación de la variable Contador y su incremento en uno

Además, si la variable Contador no es igual a 60, la estructura Case se establece en False, por lo que toma valores de los sensores, aplica las operaciones pertinentes para obtener la temperatura, la irradiancia, la humedad y la temperatura ambiente, y las almacena en variables que hemos llamado Acumulador Temperatura, Acumulador Irradiancia, etc.

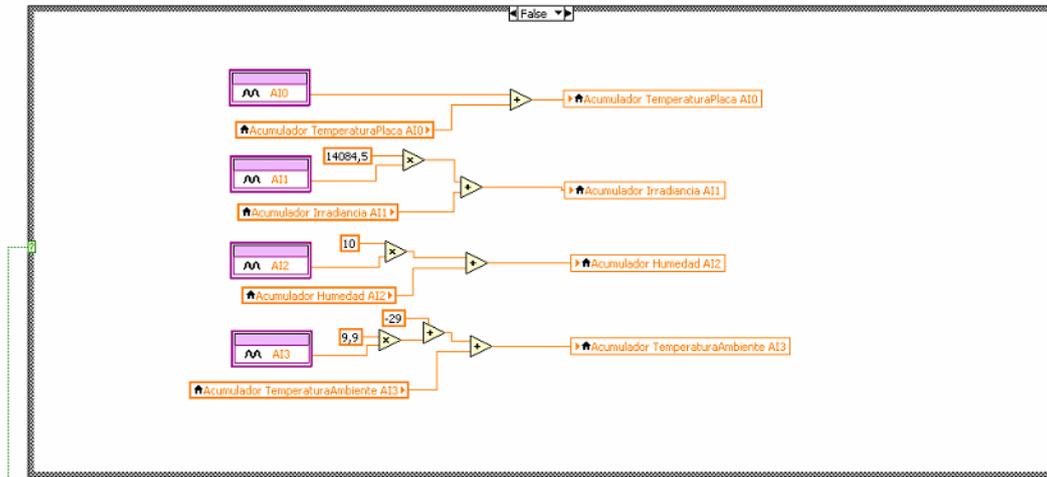


Ilustración 133: Recogida de datos de los sensores

Cuando la variable Contador llega a 60, es decir, cuando ha pasado un minuto, la variable se reinicia, tomando valor 1. Además, la variable “EnvDato” que indica a la CompactRio que debe leer los datos de los sensores, se pone en False, indicando que no debe leer nada.



Ilustración 134: Comparación de la variable Contador y su reinicio

En caso de que la variable Contador llegue a 60, la estructura Case se establece en True, por lo que se recoge el valor acumulado de los sensores, se divide entre 60 (ya que estamos calculando la media, y se han acumulado 60 valores), y se guarda en la variable que hemos creado anteriormente para que pueda leer su valor la CompactRio. Además, una vez que envía el valor, registra un nuevo parámetro de los sensores que almacena de nuevo en las variables acumulador (al igual que ocurría cuando la estructura Case tomaba el valor False).

La variable booleana “EnvDato”, que indica a la CompactRio que tiene que leer y registrar los datos de temperatura, irradiancia, humedad y temperatura ambiente, se pone en True. Esta variable, posteriormente, la utilizaremos en el VI de la CompactRio para saber cuándo el nodo inalámbrico WSN va a transmitir por radio los datos.

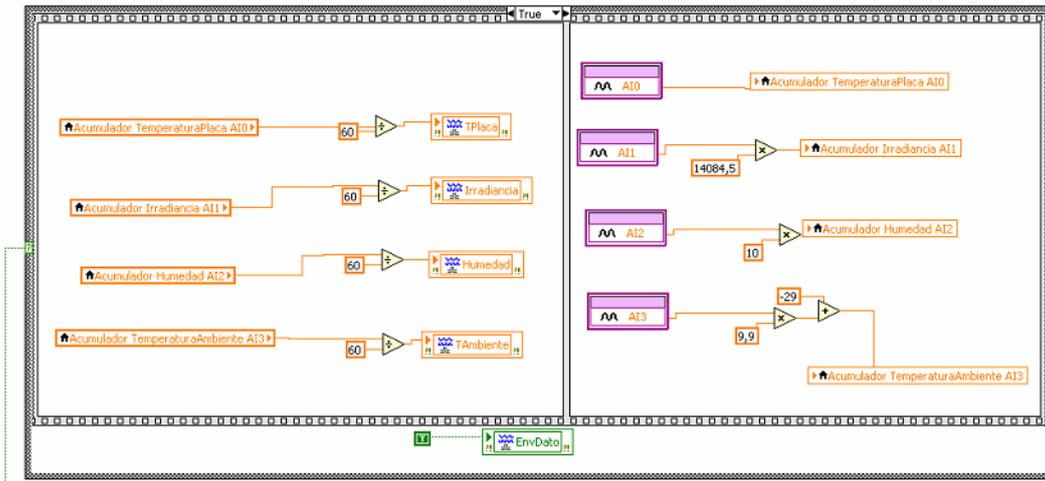


Ilustración 135: Cálculo de las medias y almacenamiento en las variables

De esta manera, hemos acabado de configurar el apartado “Sample” y, con ello, el VI del nodo inalámbrico WSN; ya que el resto de apartados, como el “DIO Notification”, no vamos a utilizarlos para este proyecto.

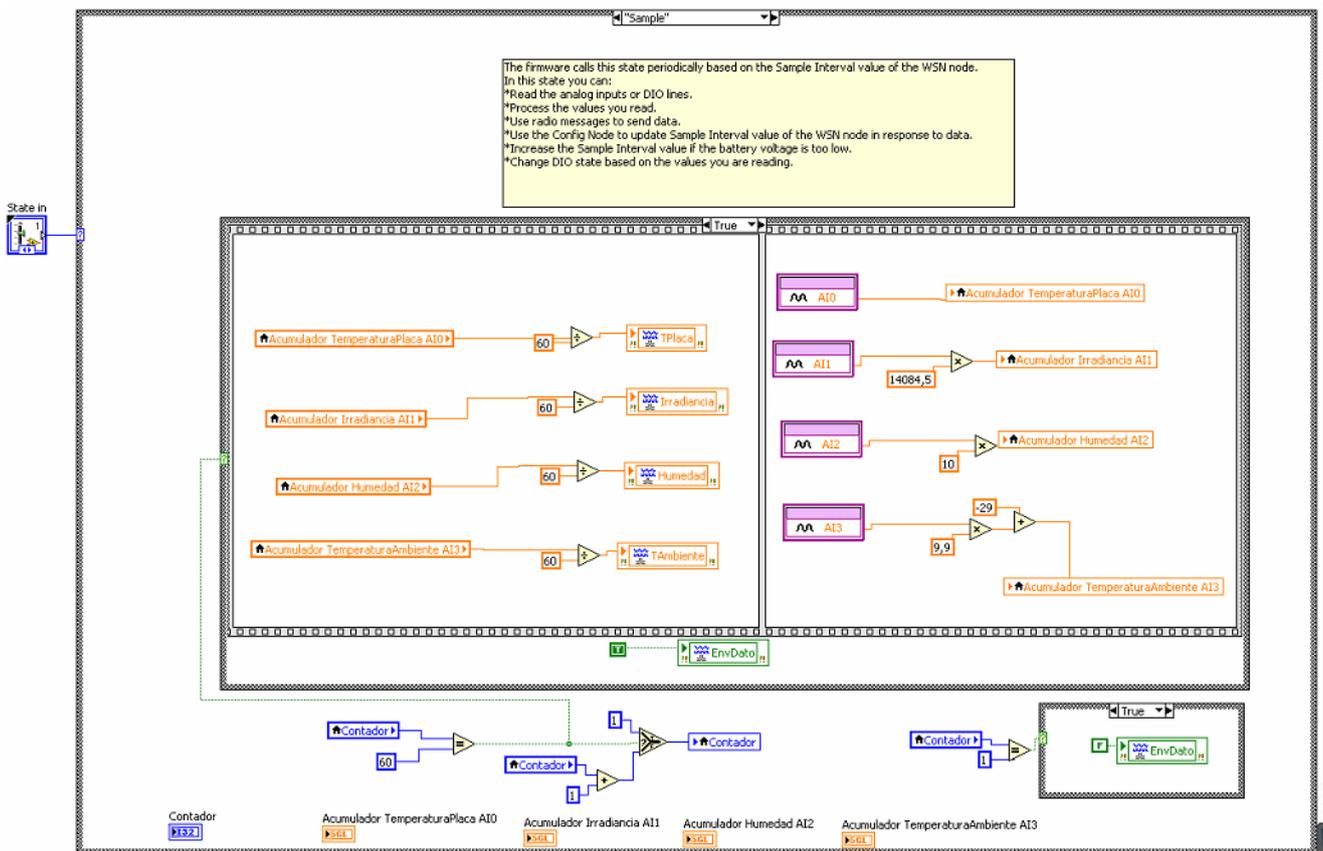


Ilustración 136: Apartado Sample del nodo inalámbrico WSN

Desarrollo de los VIs de la CompactRio

Como ya hemos explicado anteriormente, en la CompactRio van dos VIs, uno va a funcionar como subrutina, es decir, como SubVI que será utilizado por el VI principal,

que es el encargado de recibir los datos del WSN y de controlar la carga electrónica, así como enviar los datos al servidor de la CompactRio.

Vamos a comenzar explicando el SubVI, que se encarga de obtener la hora, los minutos y los segundos. Para ello, vamos a basarnos en la función “Get Date/Time String”, que permite obtener la fecha y la hora. En nuestro caso, solo vamos a utilizar la hora, que conectaremos con funciones “Decimal String To Number Function”, que tienen como objetivo convertir el formato String en un número y, además, acortarlo para separar las horas, minutos y segundos.

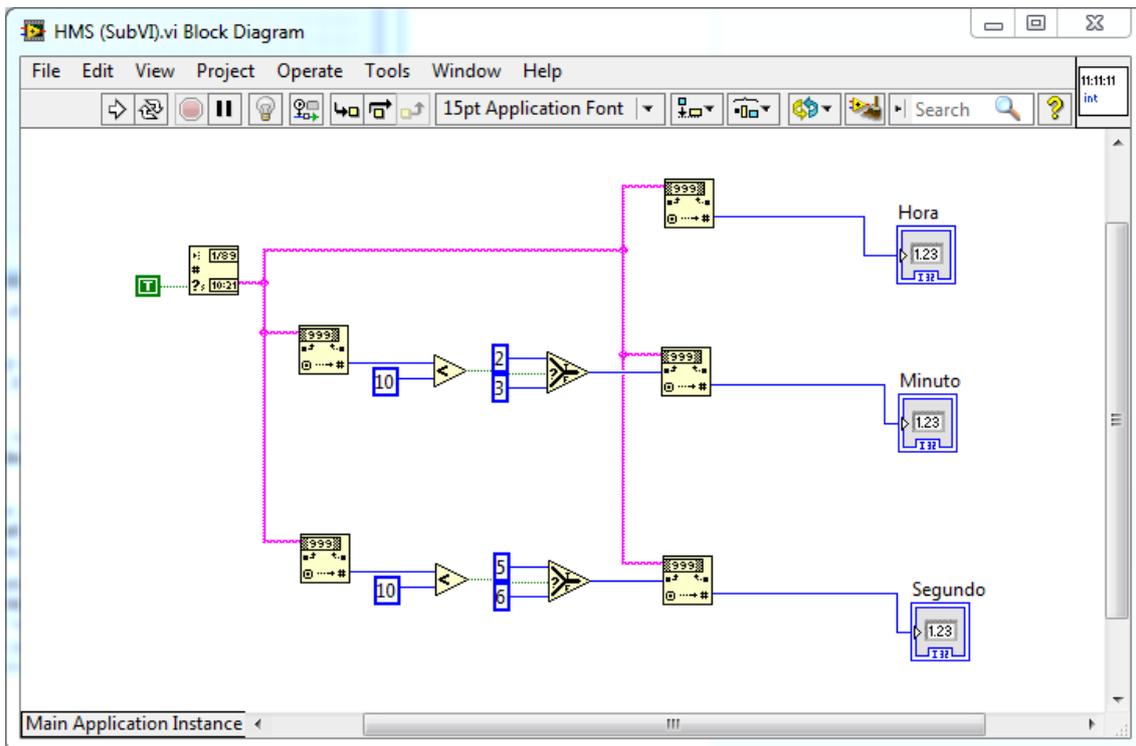


Ilustración 137: SubVI para obtener la hora, los minutos y los segundos

El siguiente paso es cambiar el icono, que será lo que aparezca en el VI principal cuando llamemos a este SubVI. Vamos a reflejar en el icono una hora, unos minutos y unos segundos y, señalando, que el resultado se obtiene como un número entero (“Int”). Además, vamos a asignar los tres conectores, que serán las salidas del SubVI, que, como vemos, aparecen en color azul ya que son de tipo “Int”.



Ilustración 138: Icono y conectores del SubVI

Ahora vamos a pasar a desarrollar el VI principal de nuestro sistema CompactRio. Antes de comenzar la programación, vamos a configurar las variables globales que se

utilizarán para poder visualizar los valores de las variables temperatura, humedad, irradiancia, curva I-V, etc., a tiempo real y desde cualquier punto del mundo. Estas variables, se van a almacenar en una librería que vamos a denominar LibreríaCRio.lvlib. Cada variable será del tipo que corresponda, en función de lo que vaya a almacenar. Por ejemplo, la variable IrradCRio será del tipo Single y, por ejemplo, la variable SerialNumberCRio será de tipo String.

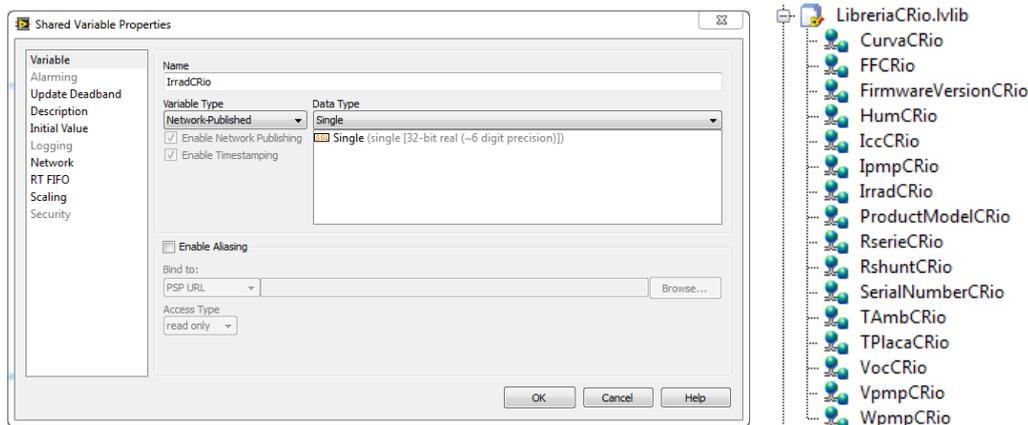


Ilustración 139: Librería de variables globales de la CompactRio

Las variables globales y su tipo son las siguientes:

- CurvaCRio (Cluster de Doubles): Recoge la curva I-V y la curva P-V.
- FFCRio (Double): Recoge el Factor de Forma (Fill Factor).
- FirmwareVersionCRio (String): Firmware de la carga electrónica.
- HumCRio (Single): Recoge la humedad relativa.
- IccCRio (Double): Recoge la corriente de cortocircuito.
- IpmpCRio (Double): Recoge la corriente en el punto de máxima potencia.
- IrradCRio (Single): Recoge la irradiancia.
- ProductModelCRio (String): Recoge el modelo de la carga electrónica.
- RserieCRio (Double): Valor de la resistencia en serie.
- RshuntCRio (Double): Valor de la resistencia en paralelo.
- SerialNumberCRio (String): Número de serie de la carga electrónica.
- TAmbCRio (Single): Recoge la temperatura ambiente.
- TPlacaCRio (Single): Recoge la temperatura de la placa fotovoltaica.
- VocCRio (Double): Recoge la tensión de circuito abierto.
- VpmpCRio (Double): Recoge la tensión en el punto de máxima potencia.
- WpmpCRio (Double): Recoge la potencia en el punto de máxima potencia.

Para comenzar la programación, vamos a establecer dos estructuras WHILE, una para cada proceso, englobadas las dos en otra estructura WHILE.

En primer lugar, vamos a desarrollar la primera estructura WHILE, que se corresponde con la recogida de datos del nodo inalámbrico WSN. La primera parte del programa se encarga de crear un archivo de texto que se guardará en C:\MED, directorio que se encuentra en la memoria de la CompactRio. Cada día se generará un nuevo archivo de texto con el formato “Año,Mes,DíaSensores.txt”.

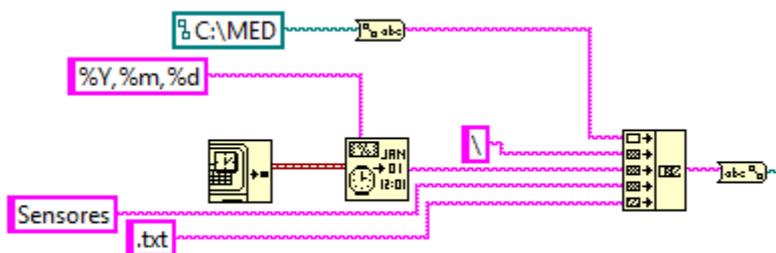


Ilustración 140: Rutina para crear los archivos de texto para almacenar los datos de los sensores

Mediante la variable compartida “EnvDato”, que era TRUE si el nodo WSN quería enviar datos y FALSE si no había datos que enviar, vamos a controlar una estructura Case. Dicha estructura, cuando sea FALSE, es decir, cuando no haya datos que recibir del nodo WSN, sencillamente estará vacía, ya que no debe hacer nada la CompactRio. Sin embargo, cuando sea TRUE, es decir, cuando sí haya que recibir datos del nodo WSN, la CompactRio deberá leer los valores de las variables que habíamos creado para guardar la temperatura, la irradiancia, la humedad y la temperatura ambiente, y, primeramente, guardarlos en variables globales para luego poder leer los datos desde cualquier lugar del mundo y, además, convertirlos en String, junto a la hora, minuto y segundo de medida, y almacenarlos en el archivo de texto del día que corresponda.

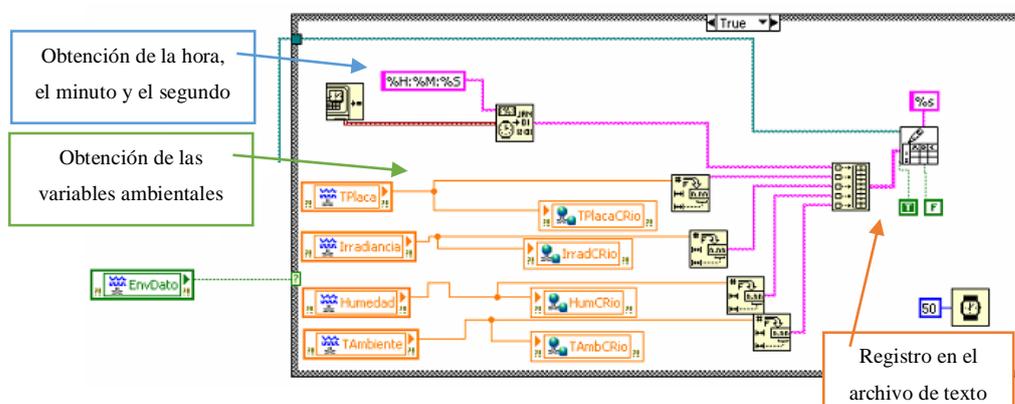


Ilustración 141: Estructura Case para la recogida de variables ambientales

Ahora vamos a desarrollar la estructura WHILE para el control de la carga electrónica, la recogida de datos y su publicación en el servidor de la CompactRio. Lo primero vamos a establecer los parámetros que configurarán la carga electrónica, es decir, la dirección de comunicación (Communication Address), que por defecto será la 0, ya que solo cambia cuando se utiliza un duplicador de puerto serie y también tenemos que configurar los parámetros que establecen la comunicación serie. Estos parámetros aparecen especificados en el manual de instrucciones de la carga electrónica, que son:

- Baud Rate: 9600
- Parity: None
- Data Bits: 8
- Stop Bits: 1

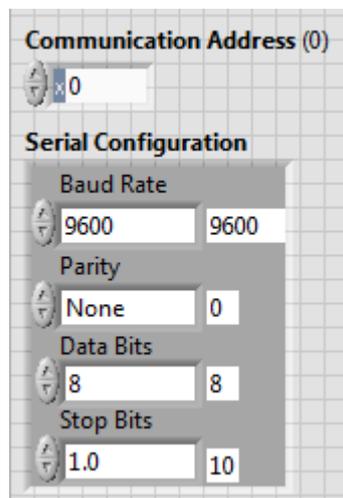


Ilustración 142: Parámetros de configuración de la carga electrónica

Después debemos especificar los parámetros que van a afectar a la toma de datos, es decir, los límites de entrada, que son:

- Máximo voltaje: 100 V
- Máxima corriente: 13 A
- Máxima potencia: 300 W

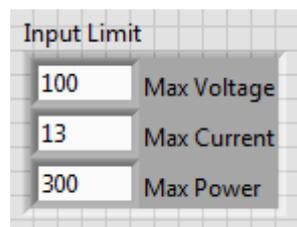


Ilustración 143: Límites máximos para la tensión, la corriente y la potencia

También debemos configurar los porcentajes que delimitan el paso de tensión y el paso de intensidad, así como el nivel de transición al modo corriente controlada. Por defecto serán:

- Paso para la tensión: 7 %
- Paso para la intensidad: 20 %
- Nivel de tensión para el modo de corriente controlada: 90 %

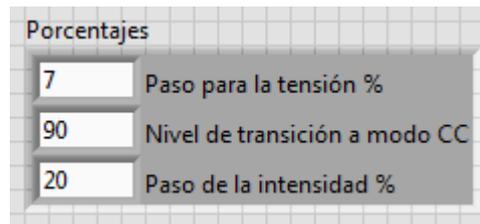


Ilustración 144: Porcentajes para la configuración de la carga electrónica

La comunicación serie para comunicarlos con la carga electrónica se realiza enviando paquetes de bytes. Cada paquete siempre contiene 26 bytes, tanto para enviar comandos a la carga electrónica como para recibir sus respuestas. Siempre se sigue la siguiente regla:

ENVIO DE PAQUETE 26 BYTES → LECTURA DE PAQUETE 26 BYTES

La lectura que se obtiene como respuesta puede ser, o bien el estatus del paquete que se ha enviado (es decir, si se ha enviado correctamente o si ha habido algún tipo de error) o, bien, si se ha pedido algún dato, la lectura que se obtiene como respuesta será el dato que se ha pedido.

La estructura del paquete de 26 bytes es la siguiente:

Byte 0	Byte 1	Byte 2	Byte 3 – 24	Byte 25
0xAA	Dirección de comunicación	Comando	Argumentos del comando	Checksum

- El primer byte de cualquier paquete enviado o recibido es siempre 0xAA (0x significa hexadecimal).
- La dirección de comunicación por defecto es 0, es decir 0x00.
- El comando es un byte que identifica qué queremos pedirle a la carga electrónica que haga, por ejemplo, para iniciar la carga en modo remoto es

necesario enviar el comando 0x20 o, por ejemplo, para encender la carga es necesario enviar el comando 0x21.

- Los argumentos del comando es la información necesaria que se requiere al enviar un determinado comando, por ejemplo, en el caso de que queramos encender la carga (para lo cual era necesario mandar el comando 0x21) hay que añadir como argumento el bit 3 como 0 para apagar y como 1 para encender; el resto de bits, que no son necesarios, se envían como ceros, es decir, 0x00.
- Por último, el checksum (o, en español, suma de verificación) es una función que permite detectar errores en la secuencia de datos. En nuestro caso debe ser la suma aritmética de cada byte en módulo 256.

La respuesta de la carga, como hemos dicho, puede ser un paquete de estado. Esto ocurre cuando hemos ejecutado un comando que no pide una respuesta a la carga, y nos informa si ha habido algún problema en la comunicación. La estructura que se sigue es la siguiente:

Byte 0	Byte 1	Byte 2	Byte 3	Byte 4 – 24	Byte 25
0xAA	Dirección de comunicación	0x12	Byte de estado	0x00	Checksum

El byte de estado incluye la información sobre los posibles errores que se puedan dar, siendo su contenido el siguiente:

- 0x90: Checksum incorrecto.
- 0xA0: Parámetro incorrecto.
- 0xB0: Comando no reconocido.
- 0xC0: Comando inválido.
- 0x80: Envío correcto.

En el caso de que hayamos pedido una respuesta a la carga electrónica, si el comando es incorrecto o la comunicación ha dado algún tipo de error, se mandará este paquete de estado en vez de la respuesta que se esperaba.

Los parámetros que podemos enviar a la carga electrónica los podemos encontrar en el manual de la misma.

En LabView, vamos a crear matrices de 26 elementos para crear el paquete de 26 bytes que vamos a enviar a la carga electrónica. Rellenamos los elementos de la matriz creada y, en el último hueco, añadimos el checksum.

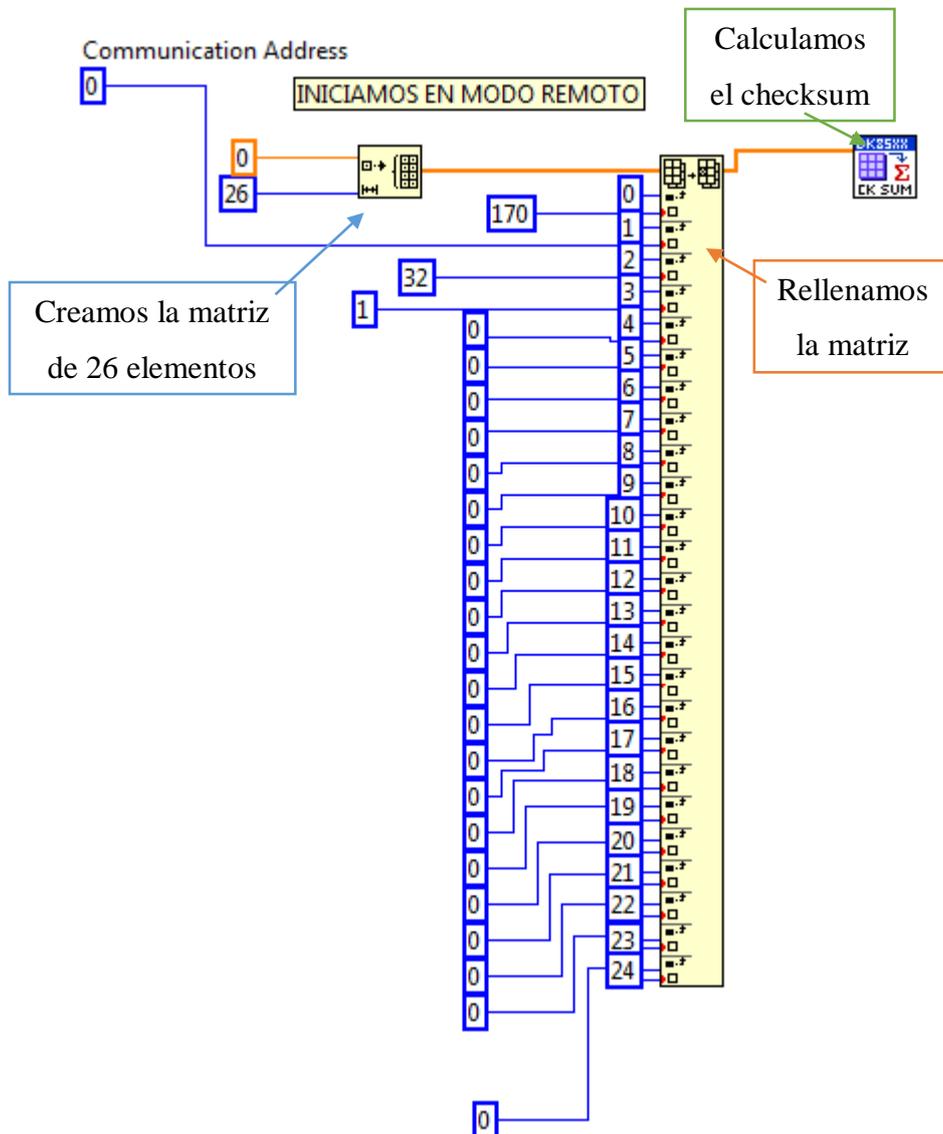


Ilustración 145: Formato de creación de los paquetes de control de la carga electrónica

Siguiendo este patrón, se generan todos los comandos que vamos a enviar a la carga electrónica.

Para implementar el control de la carga electrónica con la CompactRio, establecemos el puerto serie por el que vamos a comunicarnos. En nuestro caso, como vamos a utilizar el puerto serie de la CompactRio, vamos a utilizar el puerto denominado "ASRL1::INSTR". El primer paso es iniciar la carga en modo remoto (enviamos el comando 0x20 y, como argumento, 1), y solicitamos a la carga electrónica que nos envíe

la versión del firmware, el modelo y el número de serie. Estos datos los vamos a guardar en variables globales para luego poder utilizarlas en nuestro programa de visualización.

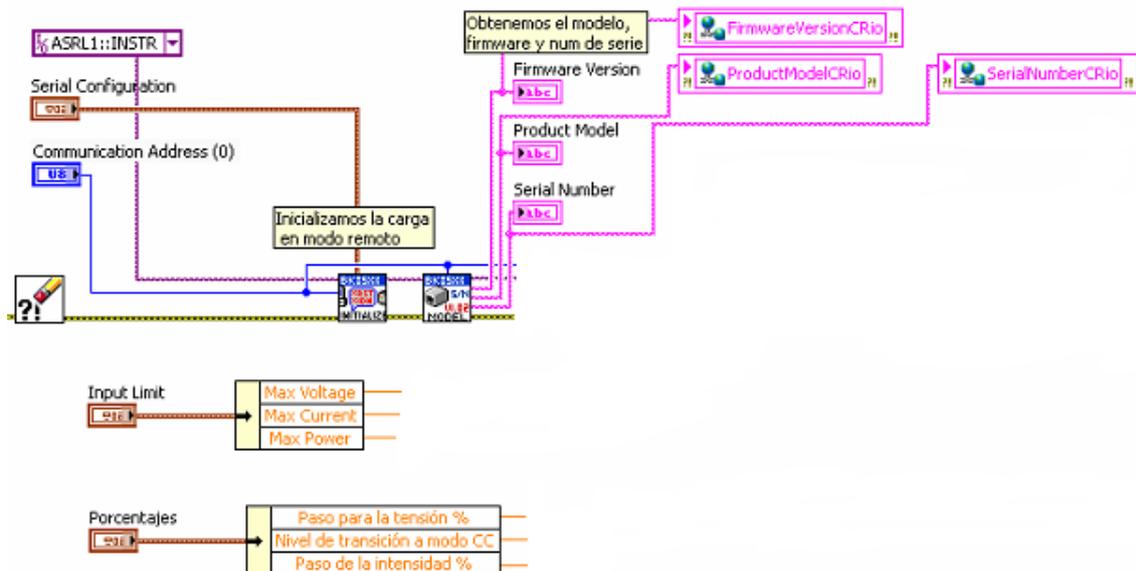


Ilustración 146: Parámetros de configuración, inicialización del modo remoto y petición del firmware, modelo y número de serie.

El siguiente paso es activar la carga electrónica (enviando el parámetro 0x21 y, como argumento, 1) y establecemos los parámetros que configuran el máximo voltaje, intensidad y potencia. Después, vamos a obtener el valor de la tensión de circuito abierto, para lo cual activamos el modo de intensidad controlada (CC), fijamos el valor de la intensidad en cero, introducimos un pequeño retardo y leemos el valor de la tensión, que será el valor de V_{oc} .

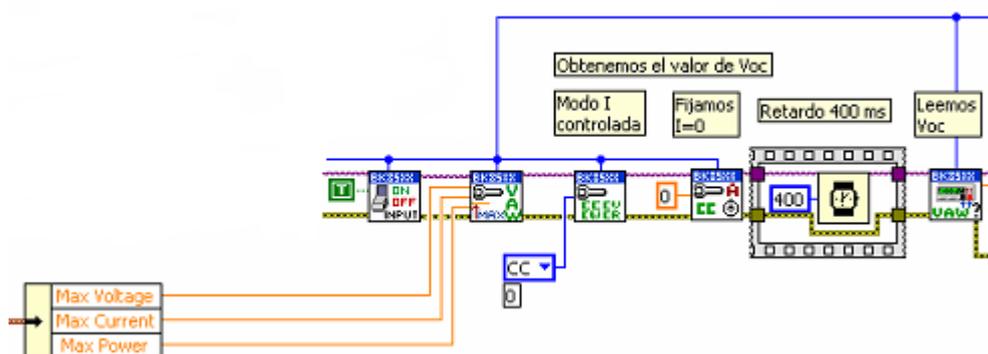


Ilustración 147: Obtención de la tensión de circuito abierto

Si ese valor de tensión no es superior a 3 V, directamente estableceremos todos los valores en 0. Sin embargo, si es superior a 3 V, vamos a obtener el valor de la corriente de cortocircuito. Para ello, vamos a establecer el modo de tensión controlada (CV) y fijamos el valor más pequeño de tensión que nos permite la carga electrónica, es decir 0,1

V, introducimos un pequeño retardo y leemos el valor de la intensidad, que será el valor de la I_{cc} .

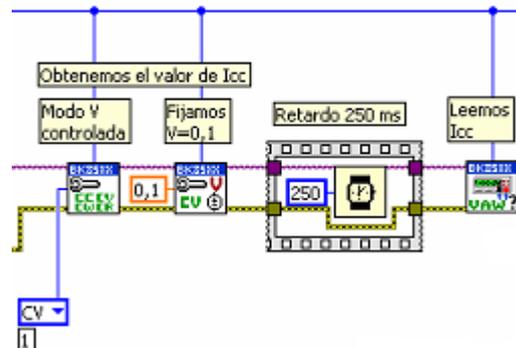


Ilustración 148: Obtención de la corriente de cortocircuito

A partir de aquí, lo primero vamos a obtener la parte horizontal de la curva I-V, por lo que vamos a establecer el modo de tensión controlada (CV) y, desde 0,1 V hasta $\frac{\text{Nivel de transición}}{100} \cdot V_{oc}$ se va a ir aumentando el valor de la tensión. Antes de que se llegue al 75 % del nivel de transición, se aumenta el valor de la tensión en relación a $\frac{\text{Paso de tensión}}{100}$ y, cuando se supere el 75 % del nivel de transición, con el objetivo de ajustar más la curva, se aumenta el valor de la tensión en relación a $\frac{\text{Paso de tensión}}{4}$. En cada iteración se obtiene la medida de la tensión, la intensidad y la potencia, almacenándose en una matriz, junto con la hora, los minutos y los segundos de la toma de medida.

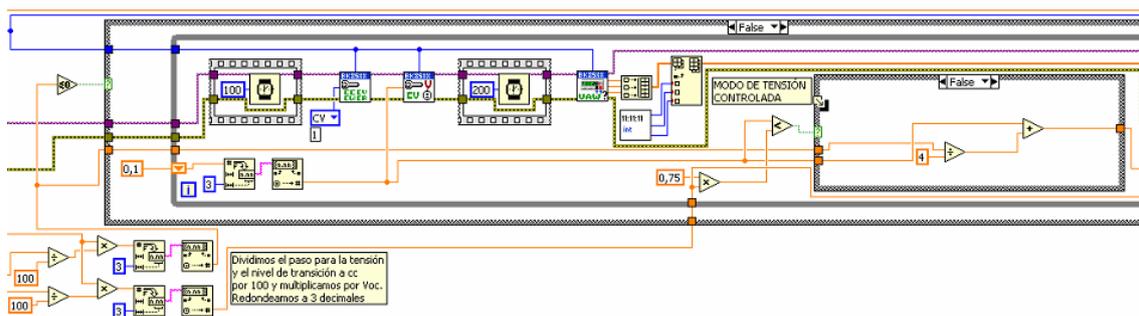


Ilustración 149: Lectura de la curva en el modo de tensión controlada

Para obtener la parte vertical de la curva I-V, se establece el modo de intensidad controlada (CC). Para ello, se coge el último valor de intensidad que se ha obtenido en el modo de tensión controlada y vamos restando dicho valor en relación a $\frac{\text{Paso de intensidad}}{100}$, hasta llegar a cero. De nuevo, en cada iteración se obtiene la medida de la tensión, la intensidad y la potencia, almacenándose en la matriz anterior junto a la hora, los minutos y los segundos de dicha toma de medida.

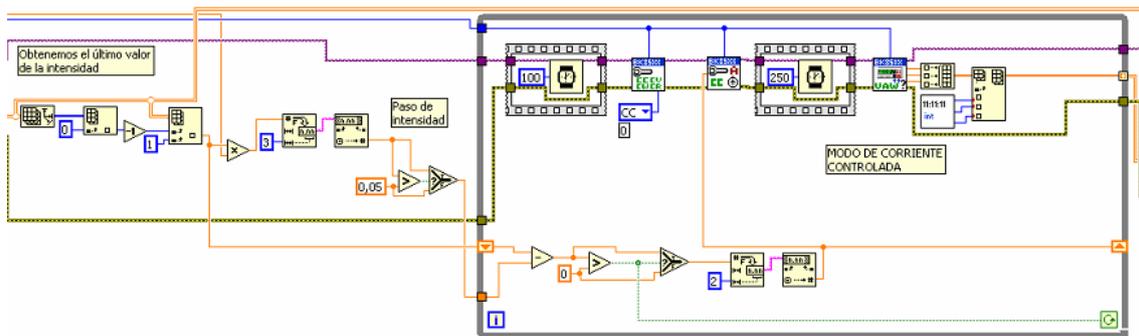


Ilustración 150: Lectura de la curva en el modo de corriente controlada

Antes de almacenar los datos en un archivo de texto, hay que separar de la matriz de datos los valores de la tensión, la intensidad y la potencia. Con estos datos, podemos obtener la resistencia serie y la resistencia shunt (paralelo). Para ello, hacemos un ajuste lineal (lineal fit) de la tensión y la intensidad y, obteniendo la pendiente se conseguirá R_s , y con la inversa obtendremos R_{sh} . También debemos crear una gráfica que contenga la curva I-V y, por otro lado, la curva P-V. Dicha curva también la almacenaremos en una variable global para poder utilizarla en cualquier sistema para ver el valor de dichas curvas en cualquier momento y en el cualquier lugar. También cerramos la conexión con la carga electrónica.

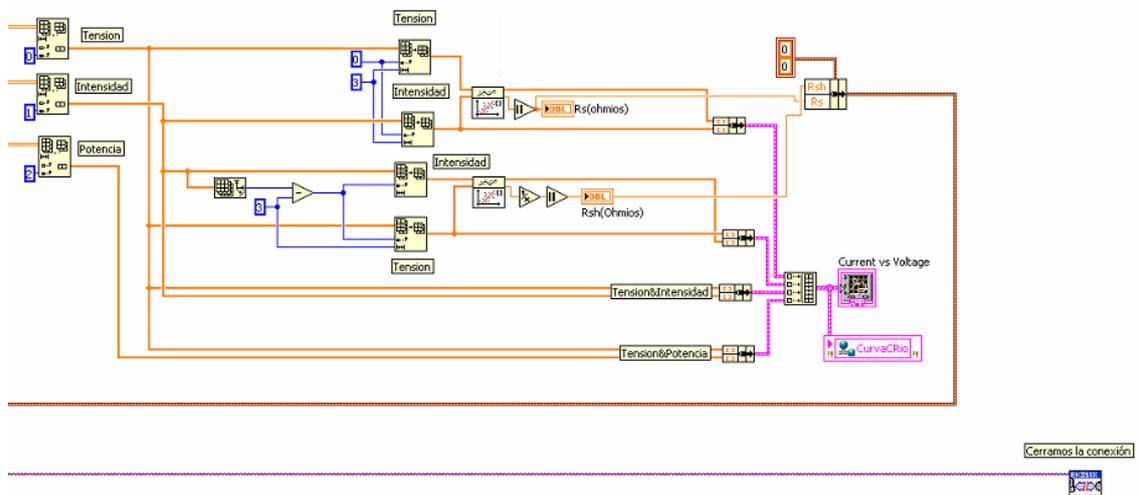


Ilustración 151: Representación de la curva y obtención de R_s y R_{sh}

Pueden darse dos situaciones que no se han contemplado:

- Si la corriente de cortocircuito es inferior a 0,2 A solo se realiza la obtención de las medidas por medio de la tensión controlada, es decir, se hace todo lo anteriormente descrito excepto la parte de la corriente controlada.

- Si el paso de la tensión es igual o menor a cero, se produce un error y se establece en cero todas las variables.

Todo esto se controla por medio de estructuras CASE.

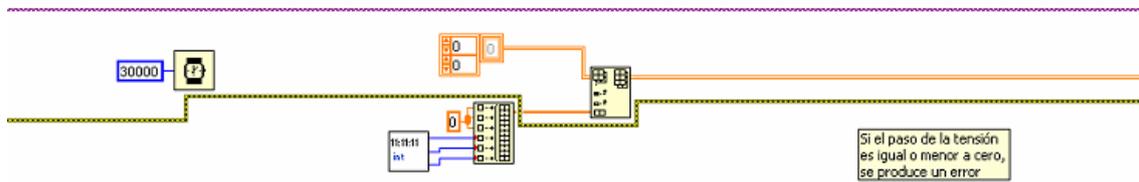


Ilustración 152: Caso en el que el paso de la tensión es igual o menor a cero

Para almacenar los datos, se crea un archivo de texto en la carpeta C:\CURVA con el formato “Año,Mes,Día,Hora,Min,Seg.txt”. Cada vez que se obtenga una curva, se genera un archivo nuevo, y esto se produce cada 10 minutos.

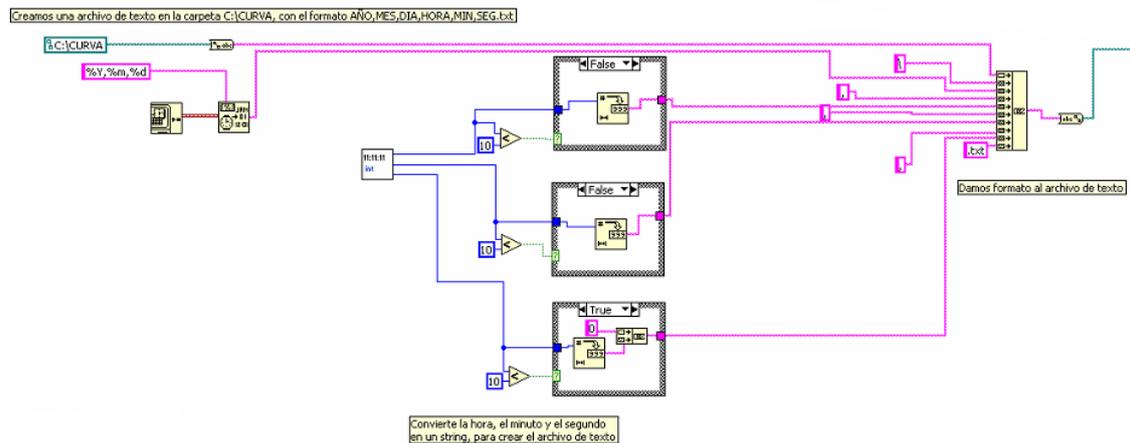


Ilustración 153: Rutina para crear los archivos de texto para almacenar los datos de la curva

Como trabajamos con muchos datos que escribir, se hace imprescindible crear una cabecera en los archivos de texto donde se establezca el orden de escritura de dichos datos, que será la siguiente: FF, Voc, Icc, Rsh, Rs, Vpmp, Ipmp, Wpmp. Se escriben los datos que se corresponden a esas medidas y, posteriormente, en el mismo archivo de texto, aparecen los datos de la curva en el siguiente orden: V, I, P, Hora, Min, Seg.

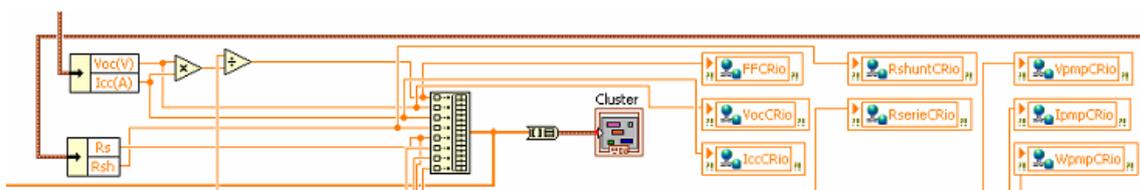


Ilustración 154: Almacenamiento de los parámetros de la carga electrónica en variables globales

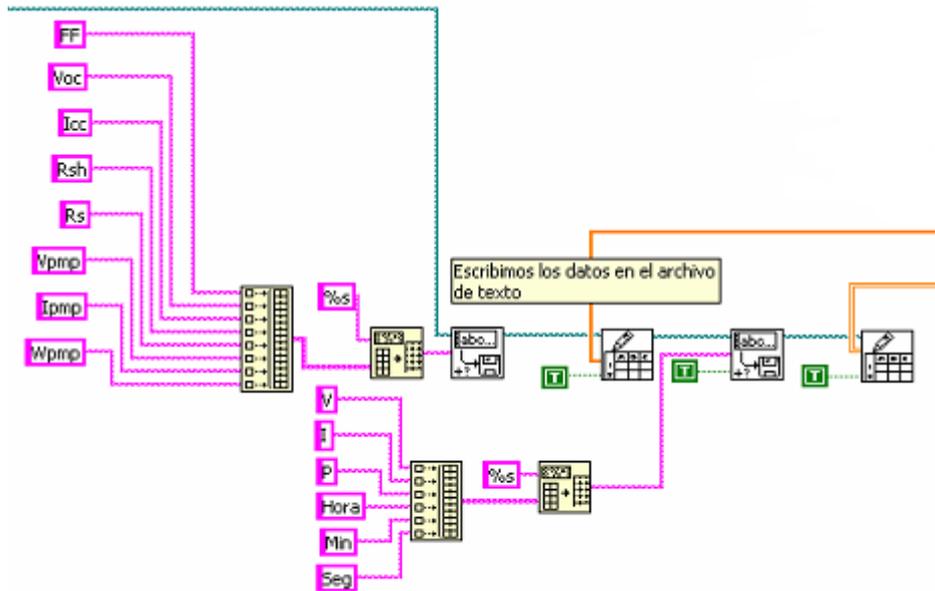


Ilustración 155: Almacenamiento de los datos de la carga electrónica

Desarrollo del VI de monitorización

Antes de desarrollar el VI de monitorización, vamos a configurar las variables globales que se van a utilizar y a asociarlas con las variables de la CompactRio. La librería que vamos a crear se denomina *LibreríaVisualizaciónPC.lvlib*, y contiene todas las variables, al igual que la librería de variables de la CompactRio que afectan a nuestro proyecto. Lo que debemos hacer es, en cada una de ellas, activar la opción “Enable Aliasing” y seleccionar la opción de “PSP URL”, que nos permitirá asociar dicha variable con una en la CompactRio para que ésta tome su valor. Hacemos click en “Browse...” y buscamos por la dirección IP de la CompactRio la librería “*LibreríaCRio*”, asociando cada variable con su nombre correspondiente.

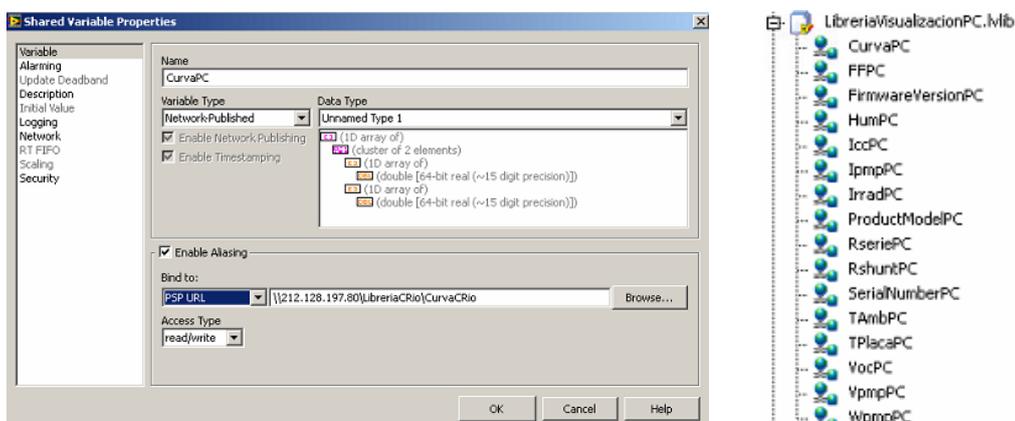


Ilustración 156: Librería de variables globales del VI de visualización

Ahora ya podemos crear el VI. Éste es muy sencillo, ya que solo debemos arrastrar cada variable al diagrama de bloques y asociarla con un indicador para poder visualizar el valor de la variable global en cada momento. Todo ello lo rodeamos con un ciclo WHILE para que se repita constantemente hasta que pulsemos la tecla STOP.

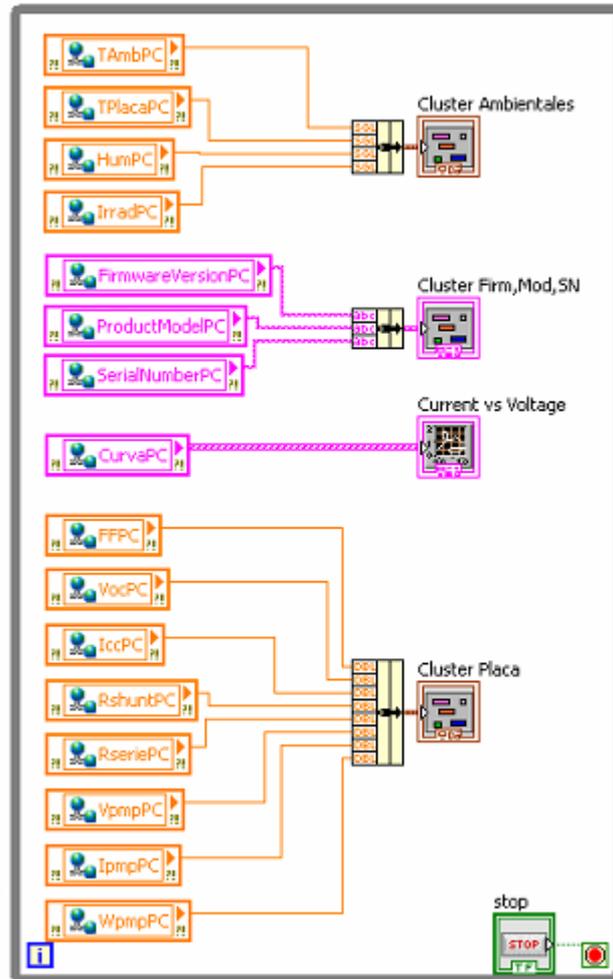


Ilustración 157: Diagrama de bloques del VI de visualización

Solo queda configurar el panel frontal para que quede estéticamente bien, para ello, vamos a insertar una imagen de fondo con la temática de las placas fotovoltaicas y, mediante recuadros, vamos a asociar tres apartados: datos ambientales, parámetros de la carga y parámetros de la placa. Además, vamos a colocar el logotipo de la Universidad de Salamanca y a colocar el botón STOP para poder parar el VI de visualización.

Hay que destacar que cada uno de los apartados descritos anteriormente conforma un “cluster”, que es una agrupación de elementos. Esto permite colocarlos más fácilmente y asociarles características, como la posición, a todos por igual. Para las medidas de temperatura se ha elegido un termómetro como indicador, para la humedad se ha elegido

un indicador circular y para la irradiancia un indicador en forma de sector circular. Para el resto de elementos, excepto para las curvas I-V y P-V que se utiliza un gráfico, se utilizan indicadores numéricos.

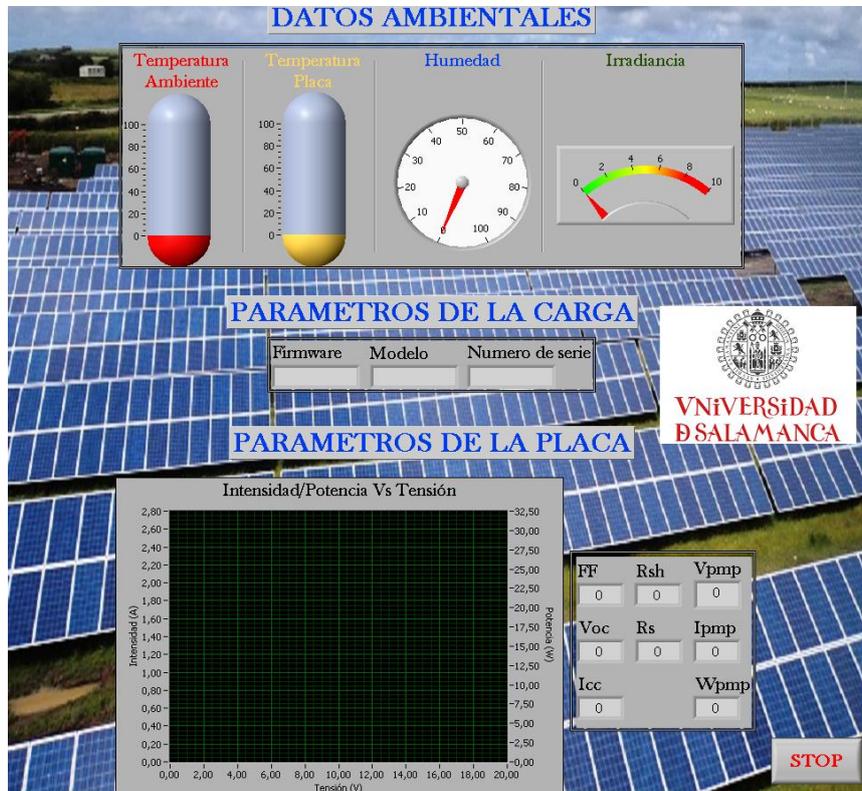


Ilustración 158: Panel frontal del VI de visualización

4.7. Desarrollo del panel de visualización en tablet

Vamos a desarrollar el mismo panel de visualización descrito en el punto anterior, pero ésta vez en una tablet. En nuestro caso, vamos a utilizar un iPad, sin embargo, es posible su utilización en cualquier tipo de tablet, sin importar el sistema operativo (Windows Phone, Android...). Lo primero que debemos hacer es descargar la aplicación, que nos proporciona National Instruments, denominada “Data Dashboard for LabVIEW”. Es una aplicación gratuita que permite desarrollar un panel frontal, al igual que en LabView, y asociar cada elemento (control o indicador) a una variable global, ya sea para cambiar su valor o para visualizarlo.



Ilustración 159: Icono de la aplicación Data Dashboard for LabVIEW

La propia aplicación proporciona varios tutoriales para aprender a utilizarla, donde nos enseñan a colocar todos los elementos de los que disponemos, cambiar el aspecto del panel frontal (colores, tamaños...), y a asociar dichos elementos con las variables globales.



Ilustración 160: Ejemplo de utilización de Data Dashboard for LabVIEW con CompactRIO

Para comenzar, una vez instalada la aplicación en nuestra tablet, vamos a comenzar creando un nuevo “Dashboard” y añadiendo todos los elementos que queramos que aparezcan en él. Podemos insertar imágenes, texto, indicadores, controles... Y, cada uno de ellos, puede personalizarse a nuestro gusto, tanto el tamaño, como el color y la forma.

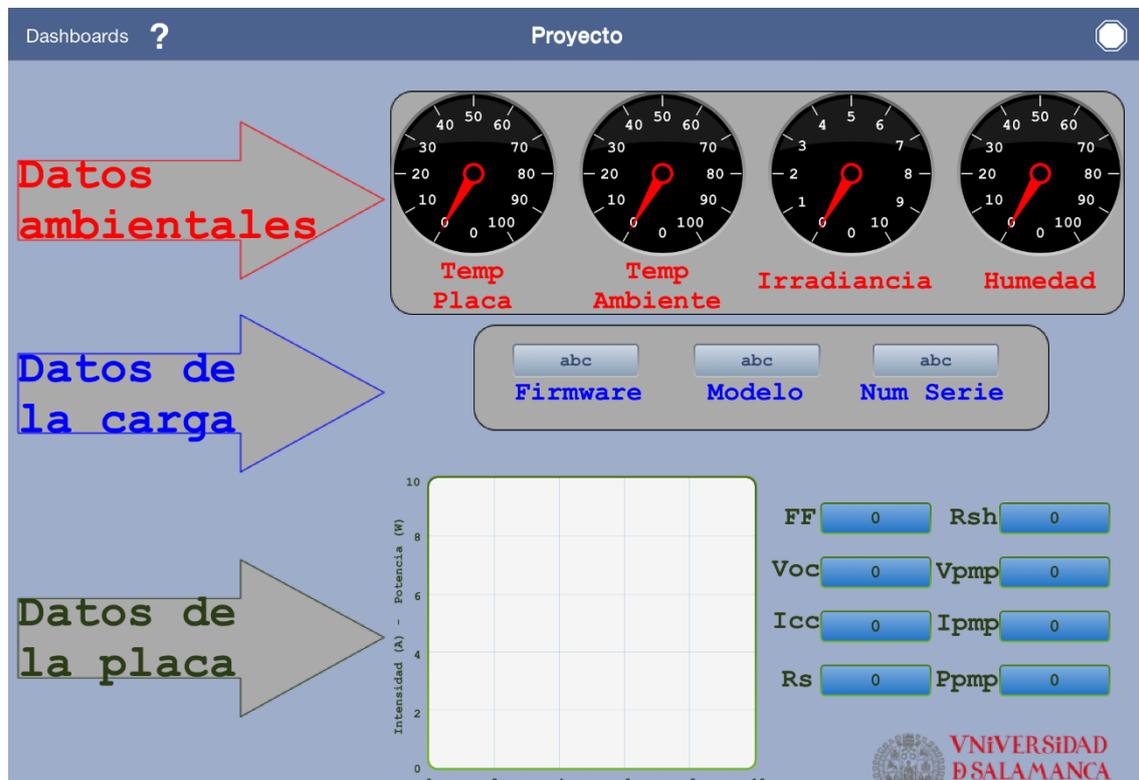


Ilustración 161: Dashboard en iPad

Una vez hecho esto, ahora debemos asociar cada uno de los indicadores con la variable global de nuestra CompactRio. Para ello, seleccionamos cada indicador y pulsamos en la tecla que aparece en su parte inferior.



Ilustración 162: Botón para asociar las variables en la aplicación Dashboard

Nos aparecerá una ventana donde debemos seleccionar la opción “Shared Variables”, es decir, variables compartidas.

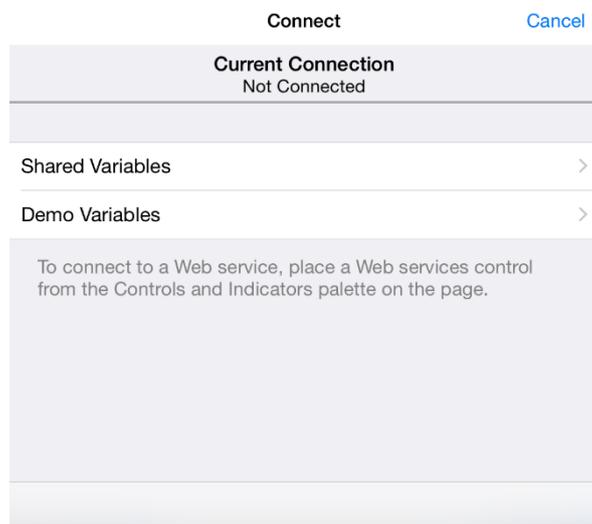


Ilustración 163: Ventana para asociar la variable compartida en la aplicación Dashboard

Ahora deberemos escribir la dirección IP de nuestra CompactRio, en nuestro caso, 212.128.197.80, y pulsamos al botón Connect. Entonces, nos aparecerá una lista con las variables y deberemos seleccionar en cada caso la que corresponda con el indicador que hemos seleccionado.

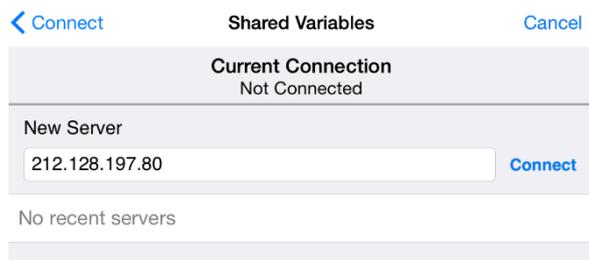


Ilustración 164: Ventana para conectar con la CompactRio en la aplicación Dashboard

Una vez que hayamos asociado el indicador con la variable, el icono aparecerá en color verde, confirmando que la asociación ha sido correctamente realizada.



Ilustración 165: Variable correctamente asociada en la aplicación Dashboard

4.8. Instalando los VIs

Una vez desarrollados los VIs, hay que instalarlos. Para comenzar, debemos instalar el VI del nodo WSN, para lo cual, vamos a abrir el VI y, simplemente, vamos a darle al botón de EJECUTAR (es decir, la flecha). En ese momento, se conectará con el nodo, si consigue conectar comenzará a “Deploy”, es decir, a “Desplegar” el VI en el nodo (a instalarlo) y, por último, se nos notificará que ha sido instalado correctamente.

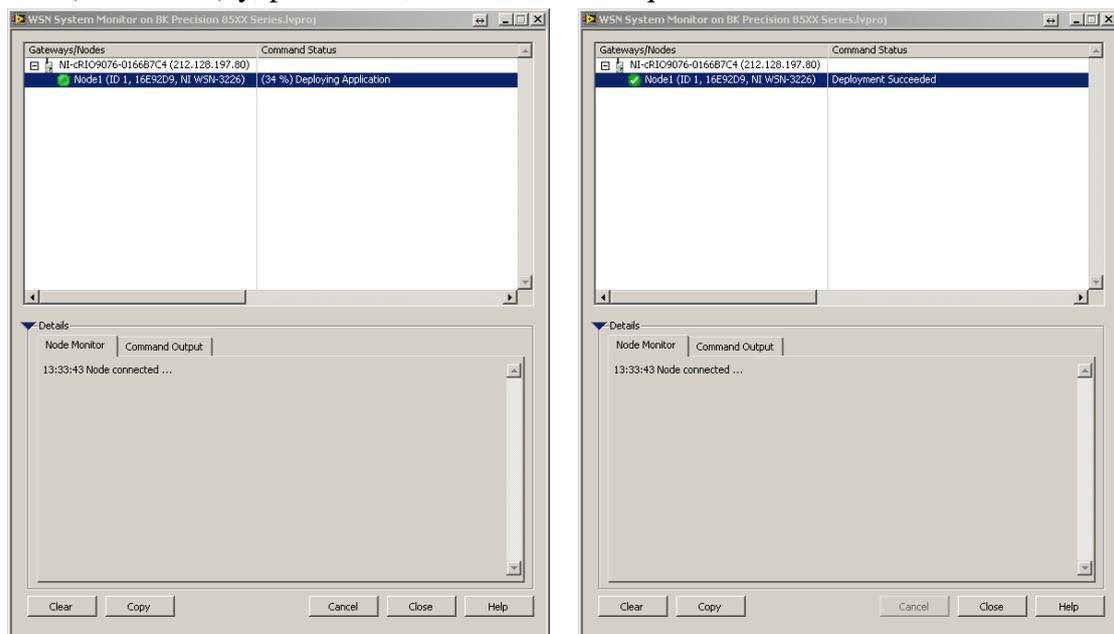


Ilustración 166: Instalando el VI en el nodo WSN

Ahora vamos a instalar el VI de la CompactRio. Para ello, hay que crear una “Real-Time Application”. Hacemos click derecho sobre “Build Specifications” y, dentro del menú “New”, seleccionamos “Real-Time Application”.

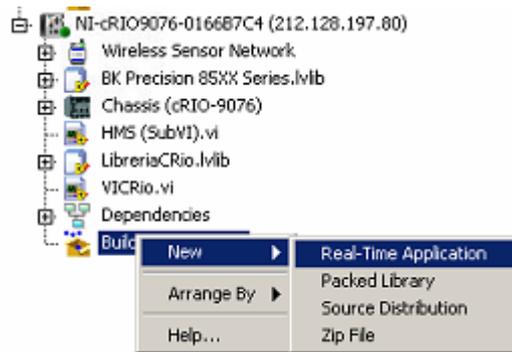


Ilustración 167: Creando una Real-Time Application

Se nos abrirá una ventana donde podemos cambiar el nombre, el directorio de instalación, añadir una descripción...

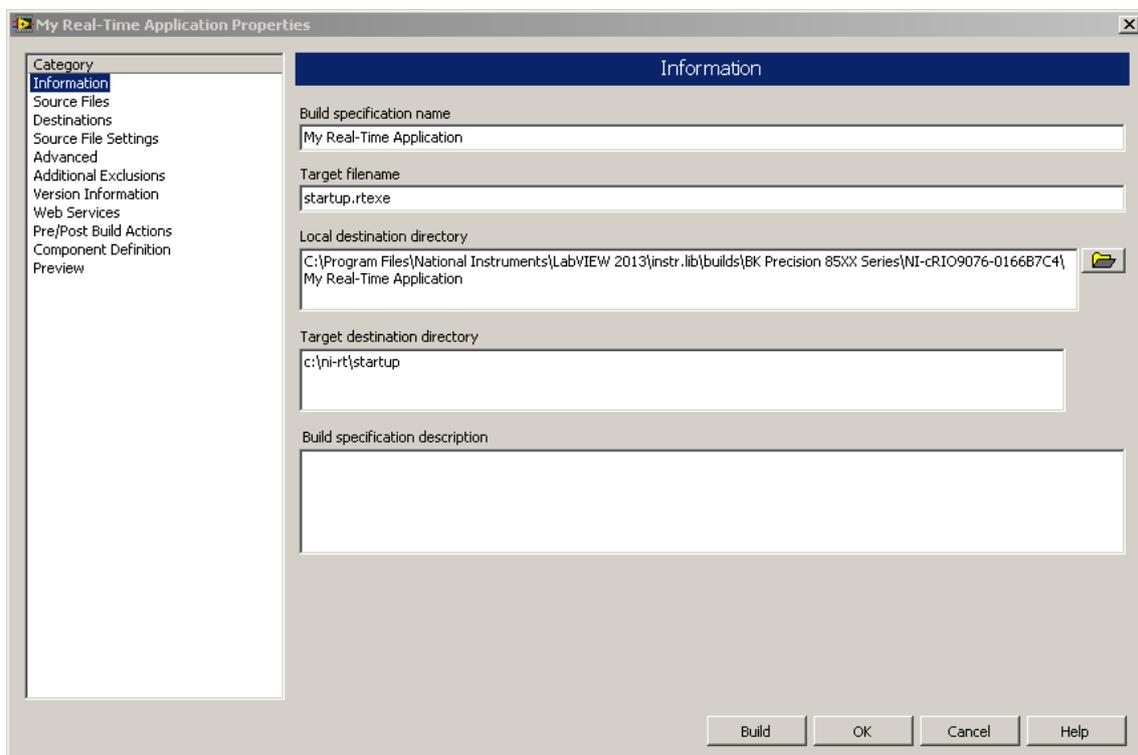


Ilustración 168: Ventana de información de la Real-Time Application

En el menú de la izquierda, seleccionamos “Source Files”, que es el apartado donde vamos a incluir los VIs que deberá contener la CompactRio. En nuestro caso, como VI principal (“Startup VIs”) vamos a seleccionar “VICrio.vi”, y en el apartado de “Always Included”, vamos a cargar el SubVI, y las dos librerías (la de variables y la de los drivers de la carga electrónica). El resto de opciones sirven para añadir una contraseña,

añadir excepciones, añadir acciones que deben realizarse antes y/o después de ejecutar el VI principal...

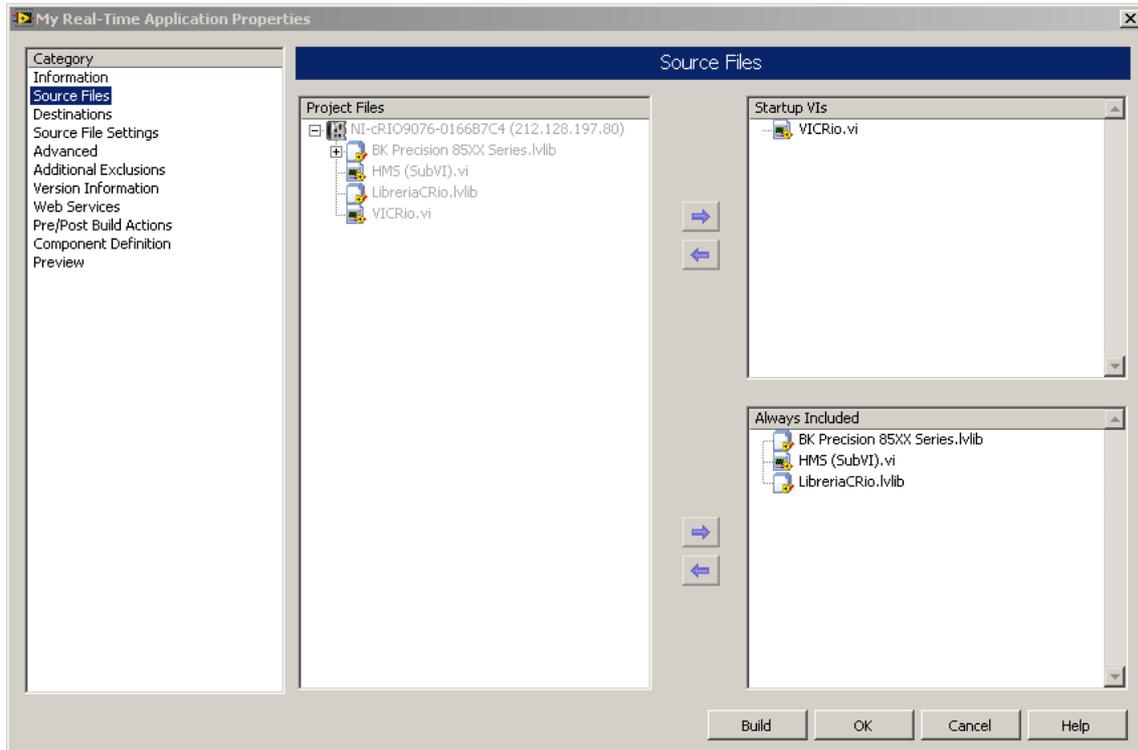


Ilustración 169: Añadiendo los VIs y las librerías en la Real-Time Application

Una vez que hayamos hecho click en “OK”, nos aparecerá en la ventana del proyecto nuestra nueva “Real-Time Application”. Ahora solo nos queda cargarla en la CompactRio. Para ello, hay que hacer cuatro pasos:

Set as startup → Build → Deploy → Run as startup

Dando click derecho sobre la “Real-Time Application”, ejecutamos esas opciones en el orden descrito anteriormente y, por último, reiniciamos la CompactRio para que comience a ejecutar los VIs.

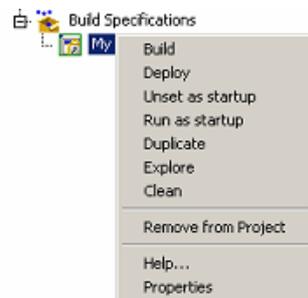


Ilustración 170: Instalando la Real-Time Application en la CompactRio

4.9. Desarrollo del software de MatLab

Vamos a utilizar tres ficheros de MatLab en nuestro proyecto. Uno de ellos, se encargará de descargar los datos, por medio de protocolo FTP, de nuestra CompactRio. El segundo, tendrá como objetivo procesar esos datos que se han descargado, primero generando las gráficas de los datos ambientales y, posteriormente, generando con ellas archivos PDF. El tercero, se encargará de procesar los datos de un archivo de la curva del módulo fotovoltaico, representar las curvas I-V y P-V y, por último, almacenarlas en un archivo PDF.

Programa para la descarga de archivos de la CompactRio

Este programa utiliza una variable llamada “listario.mat”, que es una matriz que contiene 5 columnas:

- Columna 1: Contiene las fechas.
- Columna 2: Tendrá valor 0 si no existe el archivo, y valor 1 si sí existe el archivo.
- Columna 3: Tendrá valor 0 si el fichero de ese día no ha sido descargado, y valor 1 si sí ha sido descargado.
- Columna 4: Tendrá valor 0 si el fichero ha sido procesado y generado el PDF, y valor 1 si sí ha sido procesado.
- Columna 5: Tendrá valor 0 si el fichero ha sido borrado del servidor de la CompactRio, y valor 1 si sí ha sido borrado.

Lo primero que realiza el programa es cargar dicha variable y, una vez cargada, se mira cuál es el último día que contiene dicha variable y cuantos días hay registrados en ella. Una vez hecho, se actualiza la variable hasta la fecha de hoy, rellenando todas las columnas (excepto la de las fechas) con ceros; y se guarda la variable. Ahora hay que registrar en variables cuáles son los el último día en el que se han generado ficheros (se almacenará en la variable “lastrio”), el último día en el que se han descargado los ficheros (se almacenará en la variable “lastpc”) y el último día en el que se han borrado ficheros (se almacenará en la variable “lastborrado”).

```

% -----
% - PROGRAMA PARA LA DESCARGA DE ARCHIVOS DE LA COMPACTRIO -
% ----- Por: Francisco Javier Roca González -----
% -----
%Cargamos una lista matriz donde indicamos, por días, el estado.
%Columna 1: Fecha.
%Columna 2: Existe ambientales.
%Columna 3: Descarga ambientales.
%Columna 4: PDF ambientales.
%Columna 5: Borrado ambientales.
load ('C:\JAVIMATLAB\crio\listario.mat','listario');
%Se miran los días y se marca: ma=último día; ax=núm de días.
[ma,ax]=max(listario(:,1));
%Se actualiza la lista hasta ayer, rellenando las casillas con 0.
ayer=today-1;
if ayer>ma
    for i=1:ayer-ma
        listario(ax+i,1)=listario(ax+i-1,1)+1;
        listario(ax+i,2:5)=0;
    end
end
%Se guarda la lista.
save ('C:\JAVIMATLAB\crio\listario.mat','listario');
%Se busca el último fichero existente.
lastrio=find(listario(:,2),1,'last');
%Se busca el último fichero transferido al PC.
lastpc=find(listario(:,3),1,'last');
%Se busca el último fichero borrado.
lastborrado=find(listario(:,5),1,'last');

```

Ilustración 171: Carga de la variable listario y últimas fechas en el programa de descargas de archivos en MatLab

Ahora se debe establecer la conexión, mediante el protocolo FTP, con la CompactRio. Para ello, lo primero es crear una variable que contenga los datos para la conexión. Dicha variable (llamada “crio”), contiene la dirección IP, el nombre de usuario y la contraseña; ya que para poder descargar los datos es necesario estar dado de alta en el sistema. Una vez realizada la conexión, entramos en el directorio “MED”, que se encuentra en “C:\MED\”, y es el directorio donde se guardan los archivos de texto de las medidas. Y, por último, se cambia la conexión a binario, para aumentar la velocidad de transferencia de los archivos. Una vez realizada y configurada la conexión, es necesario recorrer el directorio buscando los archivos que terminen en “.txt”. Le damos la condición de que no entre a buscarlos en subdirectorios y, a medida que analiza la lista, va comparando los archivos que encuentra con las fechas que tiene almacenadas la variable “listario”. En el caso de que coincida, se mira a ver que, efectivamente, el archivo contiene los datos ambientales (para ello, el archivo deberá terminar con la palabra “Sensores”) y,

en caso afirmativo, se procederá a mirar en la lista si el archivo no ha sido descargado ya. En caso de que no aparezca como descargado, lo marca como descargado y lo obtiene con el comando “mget”, guardándolo en la carpeta “ambientales” que se encuentra en el directorio del PC “C:\JAVIMATLAB\”. Por último, se guarda la variable “listario”. Este procedimiento lo realiza para cada archivo de medidas que encuentre, hasta que se llegue al del día de ayer.

```

%--CONEXIÓN FTP--
%Se crea una variable ("crio") con los datos de la CompactRio.
crio=ftp('212.128.197.80','admin','bejar2');
%Se entra en el directorio de los datos a descargar.
cd(crio,'MED');
%Se cambia la conexión a binaria para aumentar la velocidad.
binary(crio);

%Se comprueba los ficheros de datos para su transferencia.
criodir=dir(crio,'*.txt');
for i=1:size(criodir,1) %Se recorre el directorio.
    if not(criodir(i).isdir) %No entra en subdirectorios.
        for j=lastrio+1:size(listario,1) %Se recorre la lista.
            if listario(j,1)==datenum(criodir(i).name(1:10)) %Se compara las fechas que tiene la lista matriz con los archivos encontrados.
                if criodir(i).name(11:18)=='Sensores' %Se comprueba que el archivo sea de datos ambientales.
                    if not(listario(j,2)==1) %Si no aparece en la lista como existente...
                        listario(j,2)=1; %... se marca como existente...
                        save ('C:\JAVIMATLAB\crio\listario.mat','listario'); %... y se guarda la lista matriz.
                    if not (listario(j,3)==1) %Si no aparece en la lista como descargado...
                        mget (crio,criodir(i).name,'C:\JAVIMATLAB\ambientales'); %... se descarga...
                        listario(j,3)=1; %... y se marca como transferido al PC...
                        save ('C:\JAVIMATLAB\crio\listario.mat','listario'); %... y se guarda la lista matriz.
                    end
                end
            end
        end
    end
end
end
end
end
end

```

Ilustración 172: Conexión FTP y descarga de archivos en el programa de descarga de archivos de MatLab

Una vez que se han descargado todos los archivos, se procede a borrar todos aquellos que sean más antiguos a dos semanas. Una vez concluido, se cierra la conexión FTP con la CompactRio.

```

%LIMPIEZA DE DATOS AMBIENTALES (DEJA LAS DOS ÚLTIMAS SEMANAS).
%Se busca el último día.
[a,b]=max(listario(:,1));
%Se establece el límite de archivos que se borrarán.
b=today-14;
%Se comprueba que el último archivo borrado sea anterior a esos 14 días.
if listario(lastborrado,1)<b
    for i=lastborrado:b %Se recorre el directorio, desde el último borrado hasta el último-14 días.
        if listario(i,5)==0 %Si ese archivo aparece como no borrado en la lista...
            if listario(i,2)==1 %... y si existe...
                delete(crio,[datestr(listario(i,1),'yyyy,mm,dd'),'Sensores.txt']) %... lo borra...
                listario(i,5)=1; %... y marca en la lista como borrado.
                save ('C:\JAVIMATLAB\crio\listario.mat','listario'); %Se guarda la lista.
            end
        end
    end
end
end
end

%--CERRAR CONEXIÓN--
close (crio);

```

Ilustración 173: Borrado de archivos y cierre de conexión FTP en el programa de descarga de archivos de MatLab

Por último, vamos a enviar un correo electrónico de confirmación. Para ello, debemos establecer la cuenta desde la que vamos a enviar el correo. La hemos asociado a dos claves, una de desarrollador (llamada clave API) y una contraseña (password). Se configura el servidor de envío SMTP y los puertos de comunicación y, mediante la función “sendmail”, se envía el correo al destinatario que nosotros elijamos, con el asunto que queramos (en este caso, “Archivos cRIO”) y con el mensajes que queramos (en este caso, “Archivos descargados correctamente”).

```

%--ENVIO DE CORREO DE CONFIRMACIÓN--
my_default_email_address = 'javierroca Gonzalez@ono.com'; %Dirección de correo desde la que se envía el mensaje.
my_username = 'd20d308f328787ea39449b316e5f3127'; %Clave API.
my_password = 'e5640b233414ac2f6bd49be8e1347f0c'; %Password de la clave API.

%Configuración del servidor SMTP.
setpref('Internet','E_mail',my_default_email_address);
setpref('Internet','SMTP_Server','in-v3.mailjet.com');
setpref('Internet','SMTP_Username',my_username);
setpref('Internet','SMTP_Password',my_password);

%Configuración del puerto.
props = java.lang.System.getProperties;
props.setProperty('mail.smtp.auth','true');
props.setProperty('mail.smtp.socketFactory.class','javax.net.ssl.SSLSocketFactory');
props.setProperty('mail.smtp.socketFactory.port','465');
sendmail('javierroca Gonzalez@ono.com', 'Archivos cRIO', 'Archivos descargados correctamente'); %Envío del mensaje.

```

Ilustración 174: Envío de correo de confirmación en el programa de descarga de archivos de MatLab

Programa para procesar los datos de las medidas ambientales

Para este programa también se va a utilizar la variable “listario” ya que utilizaremos la columna 4, que hemos descrito anteriormente, para comprobar si realmente ha sido o no procesado cada archivo de datos. Al igual que en el programa anterior, lo primero es cargar la variable “listario”. Después se mira cuál es el último día que contiene dicha variable y cuantos días hay registrados en ella. Una vez hecho, se actualiza la variable hasta la fecha de hoy, rellenando todas las columnas (excepto la de las fechas) con ceros; y se guarda la variable. Ahora hay que registrar en variables cuáles son los el último día en el que se han generado ficheros (se almacenará en la variable “lastrio”), el último día en el que se han descargado los ficheros (se almacenará en la variable “lastpc”) y el último día en el que se han procesado los ficheros (se almacenará en la variable “lastPDF”). Además, vamos a establecer la ruta donde se encuentran los archivos de datos que, en nuestro caso, es “C:\JAVIMATLAB\ambientales\”.

```

% -----
% - PROGRAMA PARA EL TRAZADO DE GRÁFICAS -
% - Por: Francisco Javier Roca González --
% -----
%Cargamos una lista matriz donde indicamos, por días, el estado.
%Columna 1: Fecha.
%Columna 2: Existe ambientales.
%Columna 3: Descarga ambientales.
%Columna 4: PDF ambientales.
%Columna 5: Borrado ambientales.
load ('C:\JAVIMATLAB\crio\listario.mat','listario');
%Se miran los días y se marca: ma=último día; ax=núm de días.
[ma,ax]=max(listario(:,1));
%Se actualiza la lista hasta ayer, rellenando las casillas con 0.
ayer=today-1;
if ayer>ma
    for i=1:ayer-ma
        listario(ax+i,1)=listario(ax+i-1,1)+1;
        listario(ax+i,2:5)=0;
    end
end
%Se guarda la lista.
save ('C:\JAVIMATLAB\crio\listario.mat','listario');
%Se busca el último fichero existente.
lastrio=find(listario(:,2),1,'last');
%Se busca el último fichero transferido al PC.
lastpc=find(listario(:,3),1,'last');
%Se busca el último fichero en PDF.
lastPDF=find(listario(:,4),1,'last');

%Se define la ruta de los archivos base.
pcdir=dir('C:\JAVIMATLAB\ambientales\');

```

Ilustración 175: Carga de la variable `listario` y últimas fechas en el programa de procesamiento de medidas en MatLab

Ahora pasamos a la parte donde se generan las gráficas. Para ello, vamos a recorrer el directorio donde se encuentran los archivos de datos y, al igual que antes, no se recorren los subdirectorios. En el caso de que encuentre un archivo con la fecha, seguido de la palabra “Sensores” y, terminando con la extensión “.txt”, comprueba en la variable “listario” si para esa fecha, la columna 4, indica que no se ha procesado aún ese archivo. En ese caso, se abre el archivo (con el comando “fopen”), se escanean las columnas (con el comando “textscan”) y se cierra el archivo (con el comando “fclose”). Una vez analizado el archivo, se obtiene la longitud de las columnas, y se separan en diferentes matrices para poder tener en cada una un dato (una contendrá la temperatura, otra la irradiancia, otra la humedad, otra la fecha...).

```

%--GENERACIÓN DE GRÁFICAS--
for i=1:size(pcdir,1) %Se recorre el directorio
    if not(pcdir(i).isdir) %No entra en subdirectorios.
        for j=lastPDF+1:lastpc %Se recorre la lista.
            diai=datetime(pcdir(i).name(1:10)); %Terminación de cada archivo.
            if listario(j,1)==diai %Si se encuentra el archivo...
                if pcdir(i).name(11:18)=='Sensores' %... y es un archivo de medidas ambientales...
                    if not(listario(j,4)==1) %... y si no está en PDF.
                        nomb=['C:\JAVIMATLAB\ambientales\' pcdir(i).name(1:18) '.txt']; %Ruta y nombre del archivo.
                        fid=fopen(nomb,'r'); %Se abre el archivo.
                        F=textscan(fid,'%s %f %f %f %f'); %Se escanean las columnas y se guardan en una matriz de matrices.
                        fclose(fid); %Se cierra el archivo.
                        largo=length(F{1}); %Se calcula la dimensión de cada columna.
                        %Cada matriz de matrices se convierte en una matriz con varias columnas
                        for k=1:largo
                            G(k,1)=datenum(F{1,1}(k));
                            G(k,2)=F{1,2}(k);
                            G(k,3)=F{1,3}(k);
                            G(k,4)=F{1,4}(k);
                            G(k,5)=F{1,5}(k);
                        end
                    end
                end
            end
        end
    end
end

```

Ilustración 176: Analizando los archivos de datos en el programa de procesamiento de medidas en MatLab

Ahora le toca el turno a generar las gráficas que deben ser almacenadas. En primer lugar, generamos en la misma gráfica la temperatura de la placa, la temperatura ambiente y la humedad relativa; y, en segundo lugar, generamos la gráfica de la irradiancia. En ambos casos, se configuran todos los parámetros relativos a la gráfica, es decir, el título, la leyenda, los colores de las gráficas, los nombres de las gráficas... Una vez dibujadas, se limpia la matriz para que no afecte al siguiente procesamiento de datos, y se marca, para dicha fecha, en la variable “listario” que ya ha sido procesado el archivo.

```

%DIBUJANDO TEMPERATURA Y HUMEDAD
plot(G(:,1),G(:,2),'-g',G(:,1),G(:,4),'-b',G(:,1),G(:,5),'-m');
datetick('x'); %Ajustamos el tiempo.
title('Temperatura y humedad');
legend('Temperatura de la placa','Humedad','Temperatura ambiente');
nombgraf=datestr(listario(j,1),'yyyy-mm-dd'); %Nombre de la gráfica.
nomp=['C:\JAVIMATLAB\graficas\' nombgraf ' TemperaturaHumedad' '.pdf']; %Nombre y ruta del PDF.
print('-dpdf','-r600',nomp);
close all

%DIBUJANDO IRRADIANCIA
plot(G(:,1),G(:,3),'-g');
datetick('x'); %Ajustamos el tiempo.
title('Irradiancia');
legend('Irradiancia');
nombgraf=datestr(listario(j,1),'yyyy-mm-dd'); %Nombre de la gráfica.
nomp=['C:\JAVIMATLAB\graficas\' nombgraf ' Irradiancia' '.pdf']; %Nombre y ruta del PDF.
print('-dpdf','-r600',nomp);
close all

clearvars G %Borramos la matriz G.
listario(j,4)=1; %Se marca en la lista como PDF.
save('C:\JAVIMATLAB\crio\listario.mat','listario'); %Se guarda la lista.
end
end
end
end
end
end
end

```

Ilustración 177: Generación de gráficas en el programa de procesamiento de medidas en MatLab

Por último, al igual que antes, se envía un correo electrónico confirmando que el proceso ha sido satisfactorio. En este caso, el asunto del mensaje será “PDFs cRIO”, y el mensaje a enviar será “Gráficas en PDF generadas correctamente”.

Programa para generar las curvas del módulo fotovoltaico

Este programa no utiliza, como los anteriores, la variable “listario”, ya que solo basta con cambiarle el nombre al archivo que contenga los datos del módulo fotovoltaico por “datoscurva.txt”. El programa comenzará buscando en la ruta “C:\JAVIMATLAB\curva\” dicho archivo de texto, lo abrirá (con el comando “fopen”), analizará sus datos (con el comando “textscan”) y lo cerrará (con el comando “fclose”).

```

% -----
% - PROGRAMA PARA EL TRAZADO DE GRÁFICAS DE LA CURVA -
% ----- Por: Francisco Javier Roca González -----
% -----
%Se define la ruta de los archivos base.
pcdir=dir('C:\JAVIMATLAB\curva\');

%--GENERACIÓN DE GRÁFICAS--
nomb='C:\JAVIMATLAB\curva\datoscurva.txt'; %Ruta y nombre del archivo.
fid=fopen(nomb,'r'); %Se abre el archivo.
F=textscan(fid,'%f %f %f %f %f %f %f'); %Se escanean las columnas y se guardan en una matriz de matrices.
fclose(fid); %Se cierra el archivo.

```

Ilustración 178: Apertura y análisis del archivo de datos en el programa de procesamiento de la curva en MatLab

Después, analiza la longitud del archivo y lo separa en matrices de varias columnas, que contienen los datos de la curva (la intensidad, la potencia y la tensión).

```

largo=length(F{1}); %Se calcula la dimensión de cada columna.
%Cada matriz de matrices se convierte en una matriz con varias columnas
for k=1:largo
    G(k,1)=F{1,1}(k);
    G(k,2)=F{1,2}(k);
    G(k,3)=F{1,3}(k);
    G(k,4)=F{1,4}(k);
    G(k,5)=F{1,5}(k);
    G(k,6)=F{1,6}(k);
end

```

Ilustración 179: Cálculo de la longitud y procesamiento de datos en el programa de procesamiento de la curva en MatLab

Por último, hace la gráfica de la curva I-V y la curva P-V, y configura varios parámetros de la gráfica (como el título, la leyenda, los colores...). También borra la variable G.

```

%DIBUJANDO I-V Y P-V
plot (G(:,1),G(:,2),'-g',G(:,1),G(:,3));
title('Curvas I-V y P-V');
legend('Curva I-V','Curva P-V');
nombgraf='CurvaPDF'; %Nombre de la gráfica.
nomp=['C:\JAVIMATLAB\graficas\' nombgraf '.pdf']; %Nombre y ruta del PDF.
print ('-dpdf', '-r600', nomb);
close all

clearvars G %Borramos la matriz G.

```

Ilustración 180: Generación de la gráfica en el programa de procesamiento de la curva en MatLab

Capítulo 5. Resultados obtenidos

Para comprobar el funcionamiento del sistema, hemos instalado la CompactRio y los sensores, así como la carga electrónica en una pequeña instalación de módulos fotovoltaicos situados en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Béjar. Dichos módulos están situados solo para fines de investigación, por lo que no tienen una orientación óptima y, además, solo reciben directamente la luz solar durante pocas horas de la mañana. Sin embargo, para tomar datos y comprobar el funcionamiento del software es suficiente.



Ilustración 181: Módulos fotovoltaicos en la ETSII de Béjar

Tras la instalación del sistema CompactRio, se comenzó con la recogida de datos. Por lo tanto, tenemos datos provenientes de los sensores (temperatura, humedad e irradiancia), así como datos de los propios módulos fotovoltaicos (curva I-V y P-V, además de los otros parámetros analizados, como puntos de máxima potencia, factor de forma...).

Los archivos de los datos de medidas ambientales procedentes de los sensores, se guardarán en la carpeta “C:\MED” de la CompactRio; y, los archivos de los módulos fotovoltaicos se guardarán en la carpeta “C:\CURVA”.

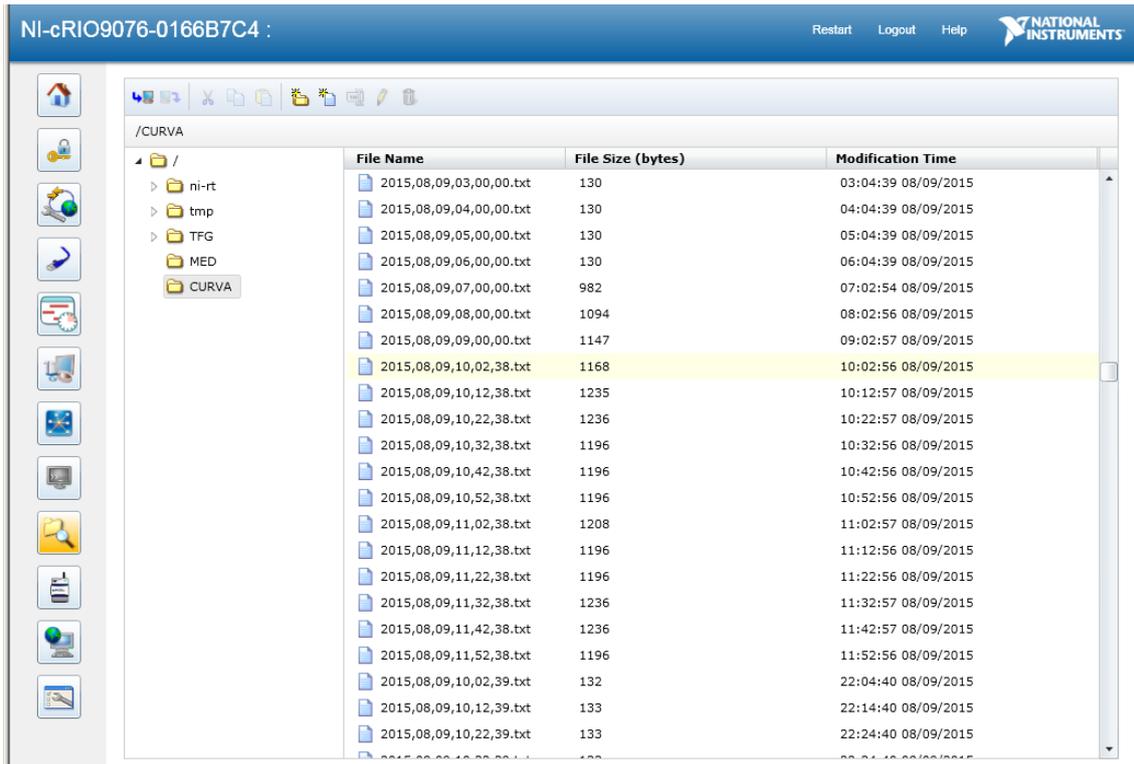
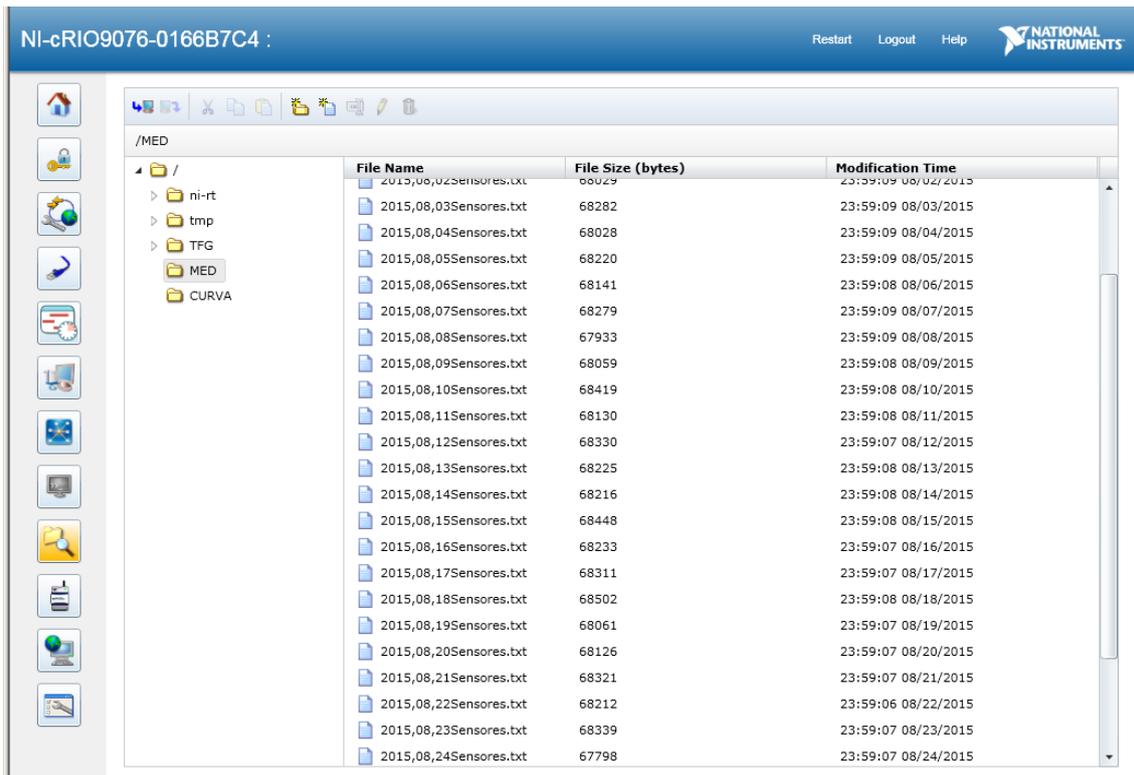


Ilustración 182: Carpetas "MED" y "CURVA" de la CompactRio

El siguiente paso es ejecutar los programas de MatLab. Primero, ejecutaremos el programa que se encarga de descargar los archivos a nuestro ordenador.

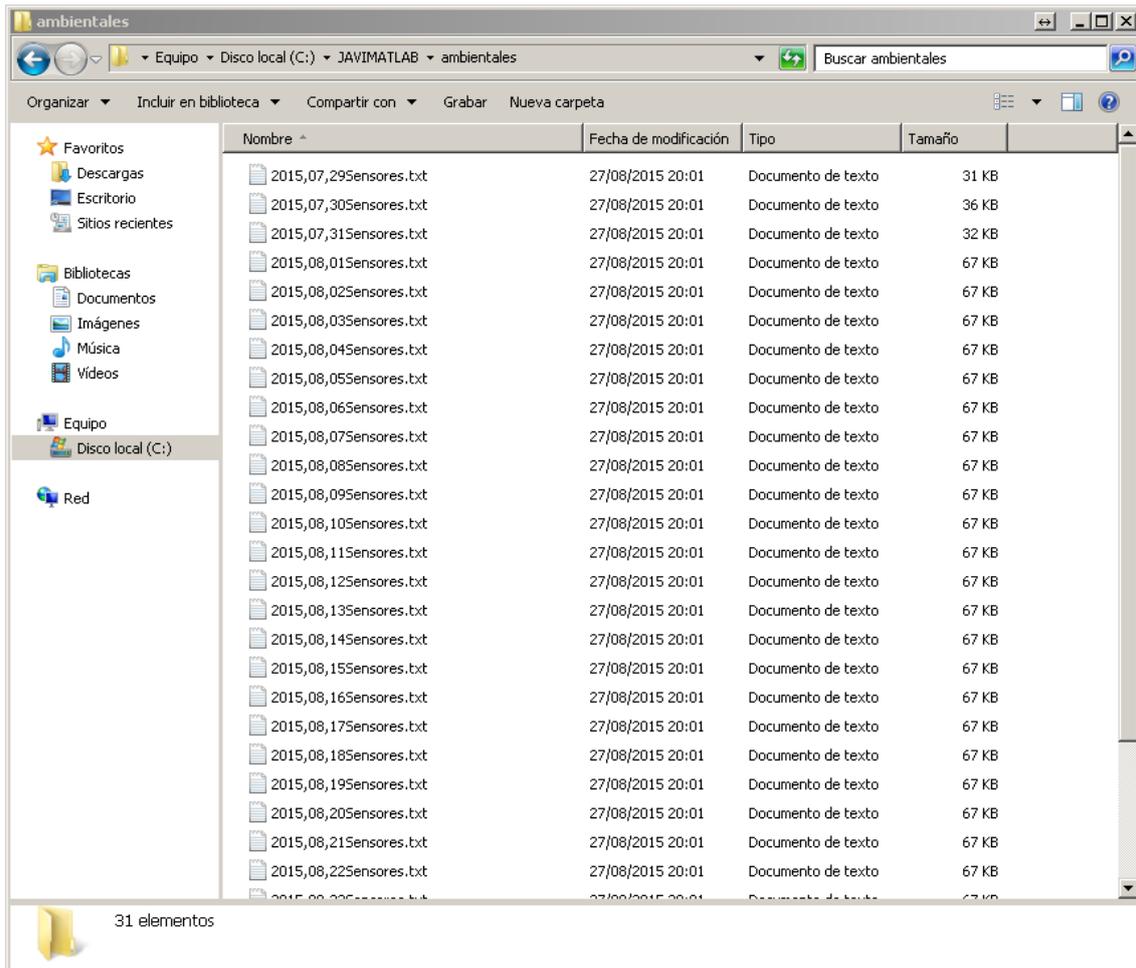


Ilustración 183: Archivos de datos descargados al ordenador

Una vez descargados los archivos, ejecutamos los otros dos programas de MatLab para generar los PDFs, tanto los de las medidas ambientales como los de la curva.

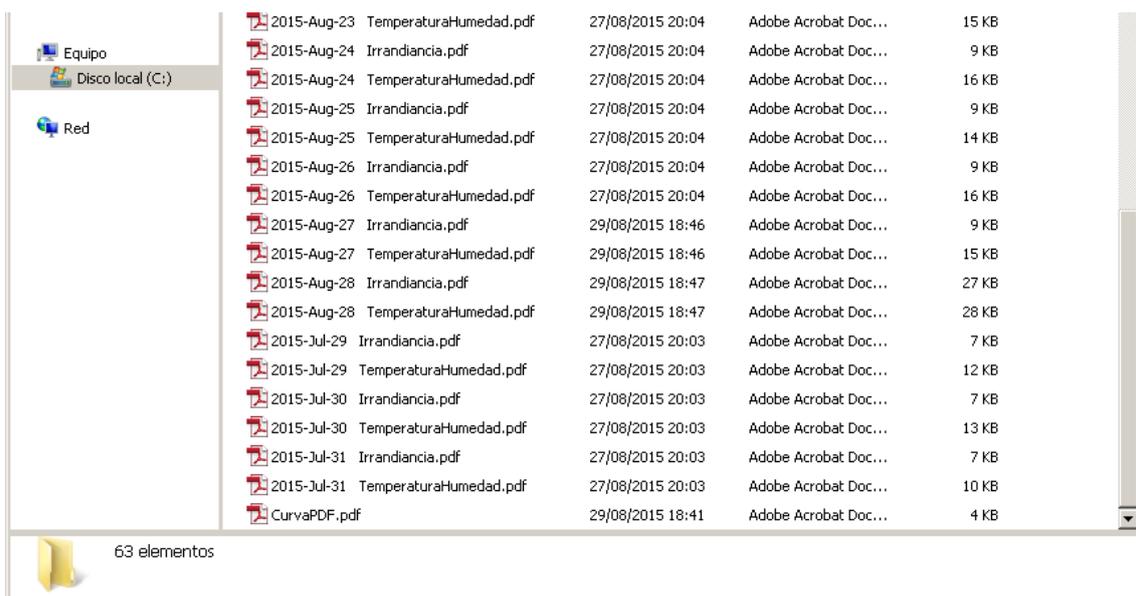


Ilustración 184: PDFs generados con los datos

Datos obtenidos

Vamos a exponer, ahora, algunos ejemplos de datos obtenidos durante los meses de verano del año 2015. Para este ejemplo, vamos a tomar en cuenta los datos obtenidos el 30 de julio y el 30 de agosto.

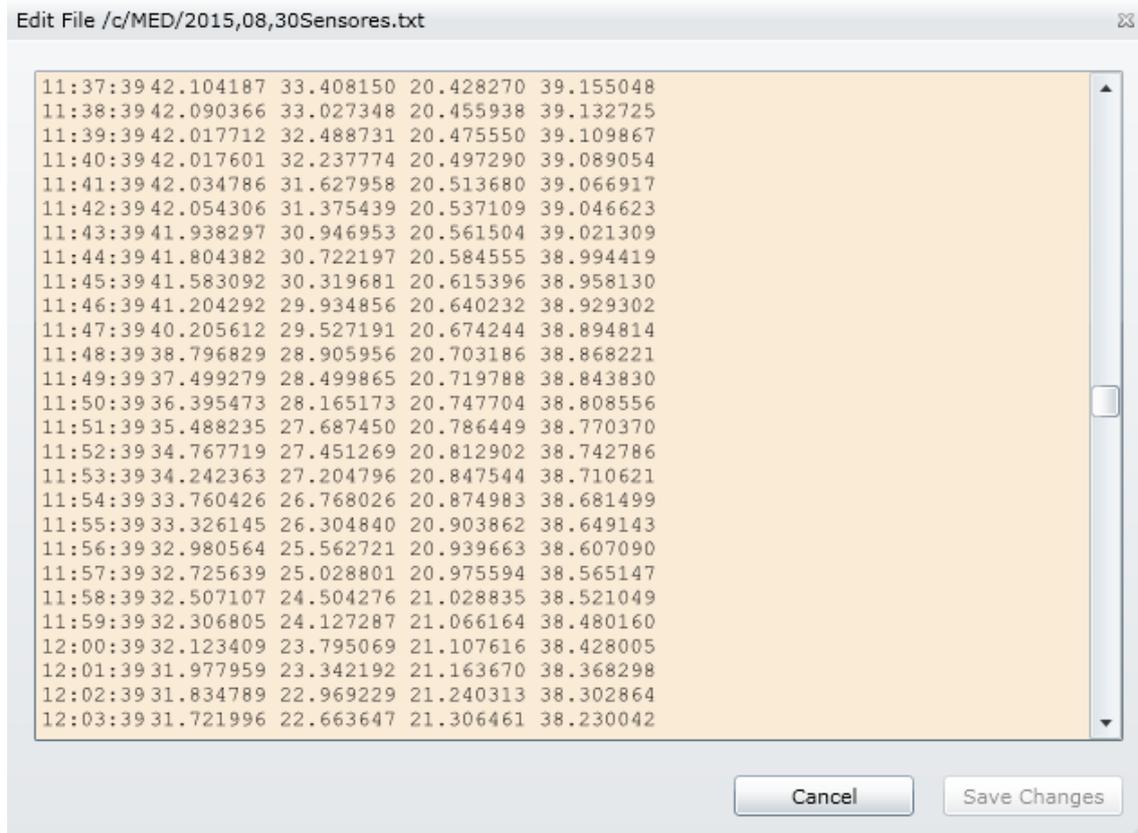


Ilustración 185: Archivo de texto de medidas ambientales del 30 de agosto de 2015

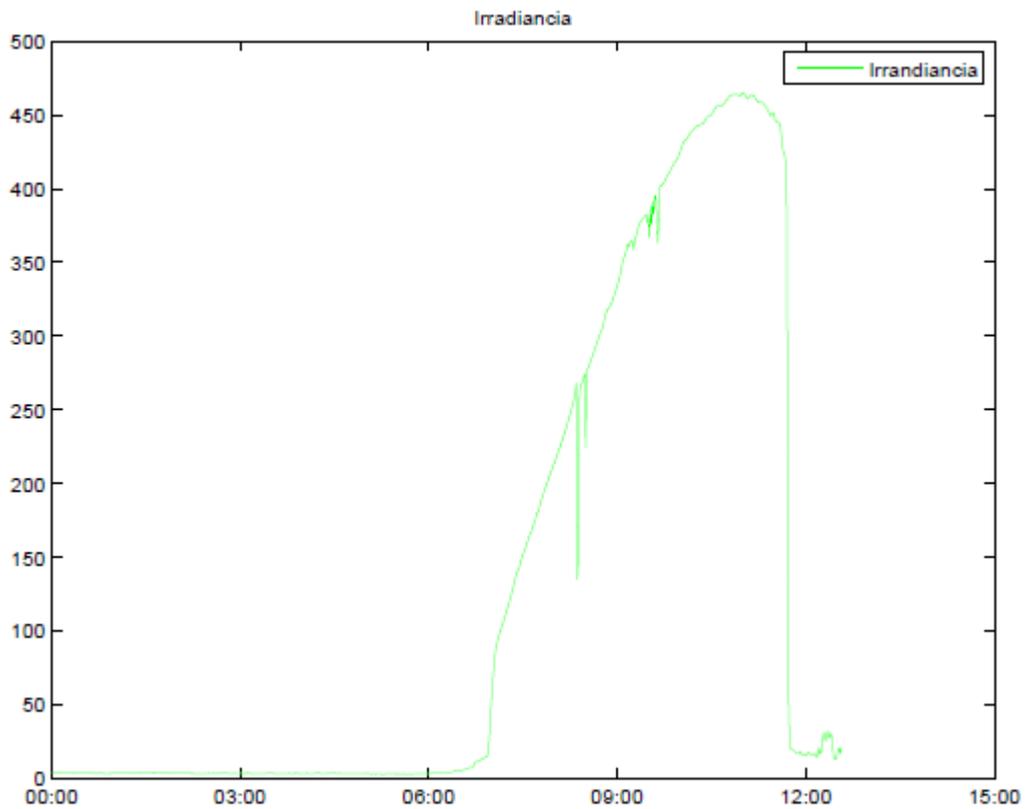
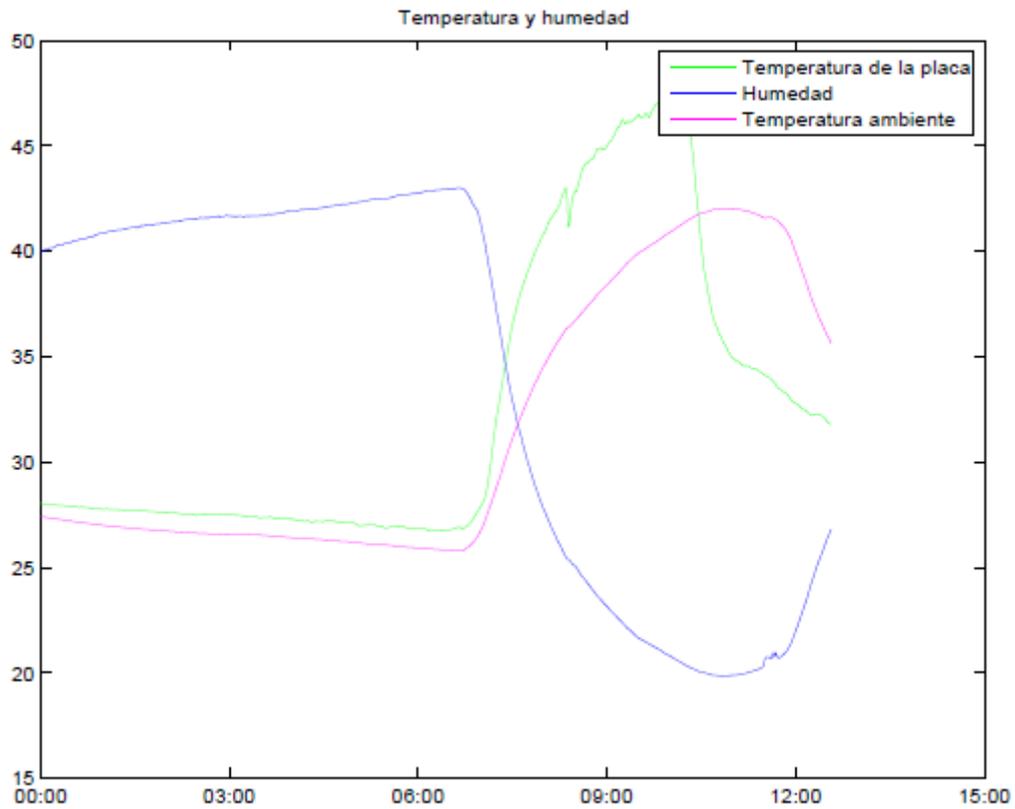


Ilustración 186: Datos ambientales del 30 de julio de 2015

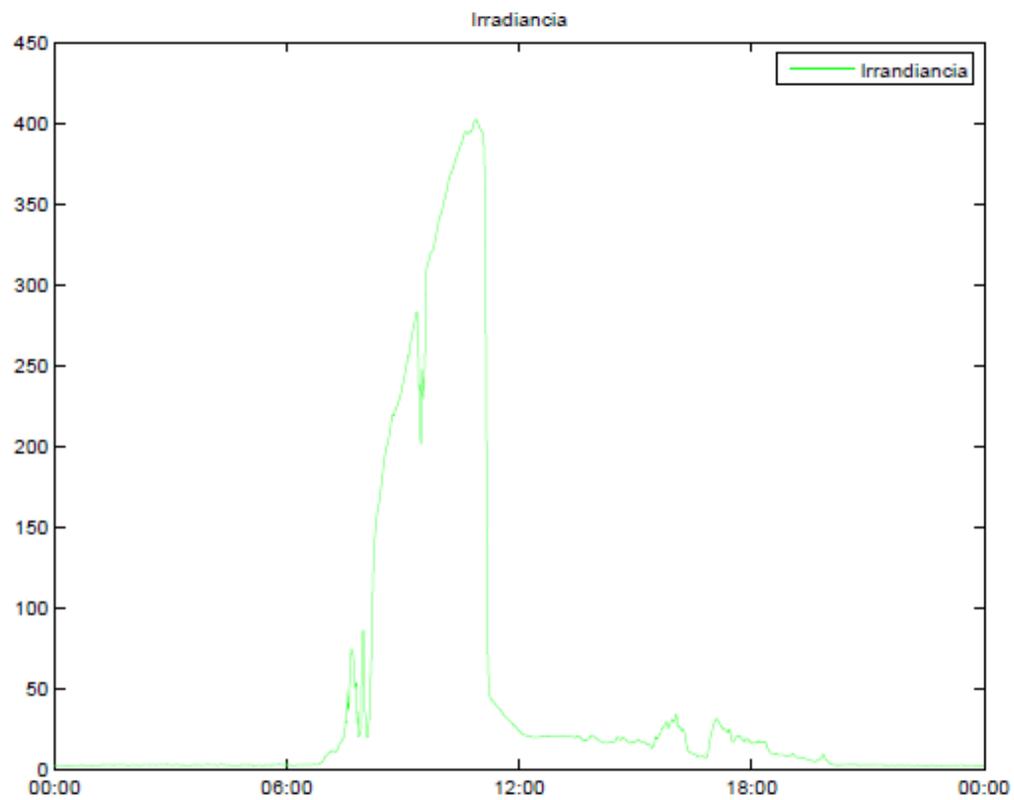
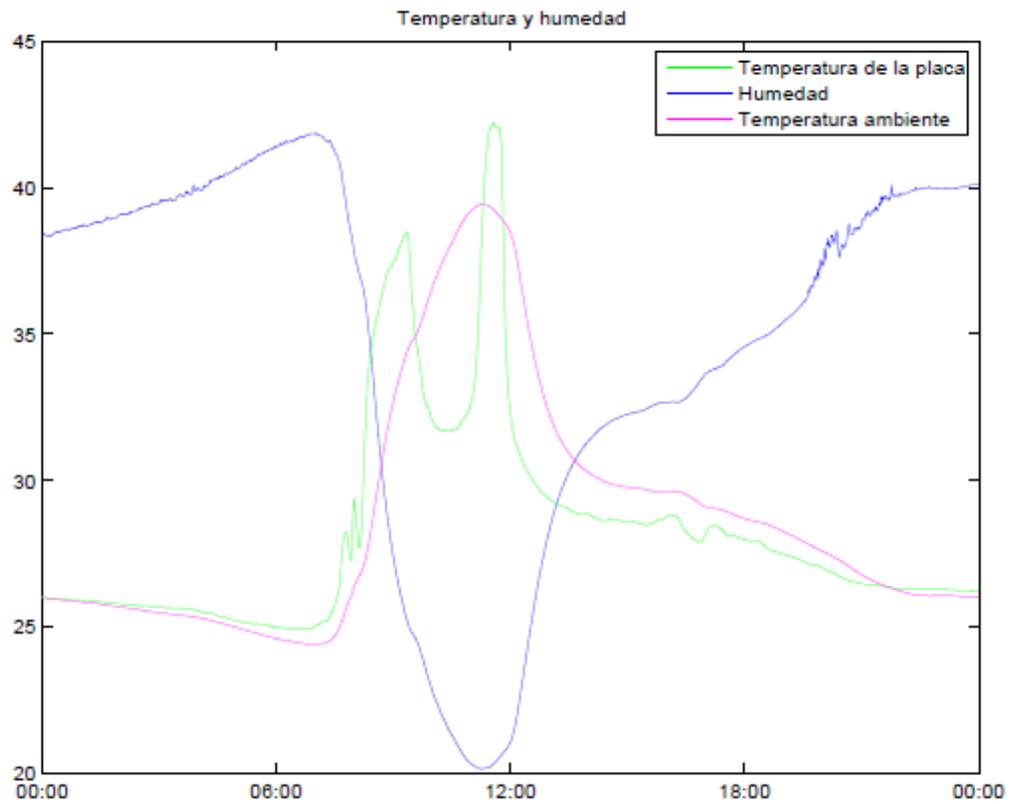


Ilustración 187: Datos ambientales del 30 de agosto de 2015

Ahora vamos a mostrar algunas curvas del módulo fotovoltaico obtenidas durante los meses de verano del año 2015.

Edit File /c/CURVA/2015,08,29,11,20,39.txt

FF	Voc	Icc	Rsh	Rs	Vpmp	Ipmp	Wpmp
0.608	17.930	2.084	1.409	38.009	14.170	1.603	22.714
V	I	P	Hora	Min	Seg		
0.460	2.083	0.958	11.000	20.000	41.000		
0.460	2.082	0.957	11.000	20.000	42.000		
2.570	2.027	5.209	11.000	20.000	42.000		
3.820	2.003	7.651	11.000	20.000	43.000		
5.080	1.978	10.048	11.000	20.000	44.000		
6.320	1.949	12.317	11.000	20.000	44.000		
7.580	1.916	14.523	11.000	20.000	45.000		
8.840	1.880	16.619	11.000	20.000	45.000		
10.090	1.836	18.525	11.000	20.000	46.000		
11.340	1.787	20.264	11.000	20.000	47.000		
12.600	1.727	21.760	11.000	20.000	47.000		
12.910	1.708	22.050	11.000	20.000	48.000		
13.220	1.687	22.302	11.000	20.000	48.000		
13.550	1.664	22.547	11.000	20.000	49.000		
13.850	1.637	22.672	11.000	20.000	50.000		
14.170	1.603	22.714	11.000	20.000	50.000		
14.480	1.558	22.559	11.000	20.000	51.000		
14.790	1.497	22.140	11.000	20.000	51.000		
15.110	1.426	21.546	11.000	20.000	52.000		
15.430	1.335	20.599	11.000	20.000	53.000		
15.750	1.226	19.309	11.000	20.000	53.000		
16.050	1.106	17.751	11.000	20.000	54.000		
16.530	0.887	14.662	11.000	20.000	54.000		
16.930	0.667	11.292	11.000	20.000	55.000		

Cancel Save Changes

Ilustración 188: Archivo de texto de medidas del módulo fotovoltaico del 29 de agosto de 2015

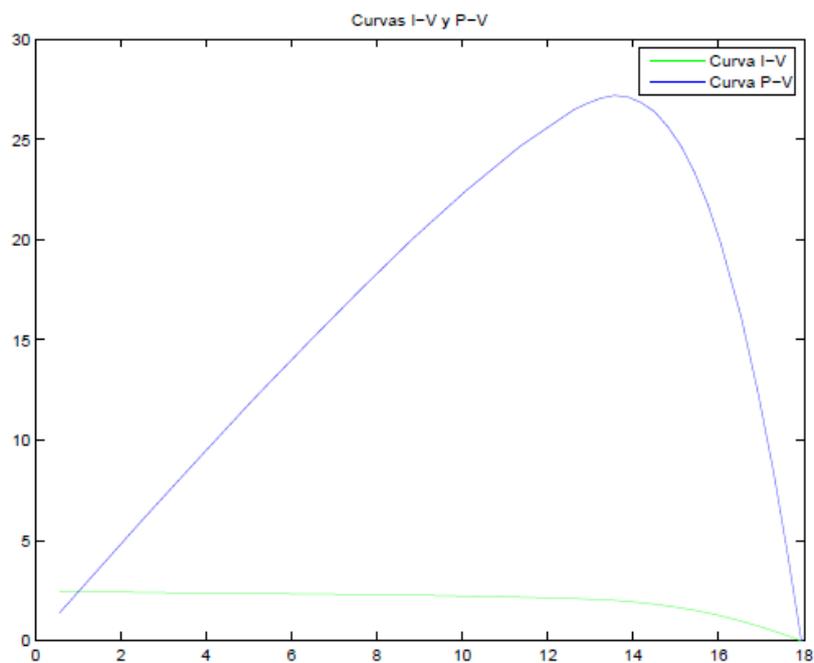


Ilustración 189: Datos del módulo fotovoltaico del 29 de agosto de 2015

Por último, vamos a ver algunas capturas del VI de visualización de un día que estaba nublado y salía el sol a ratos.

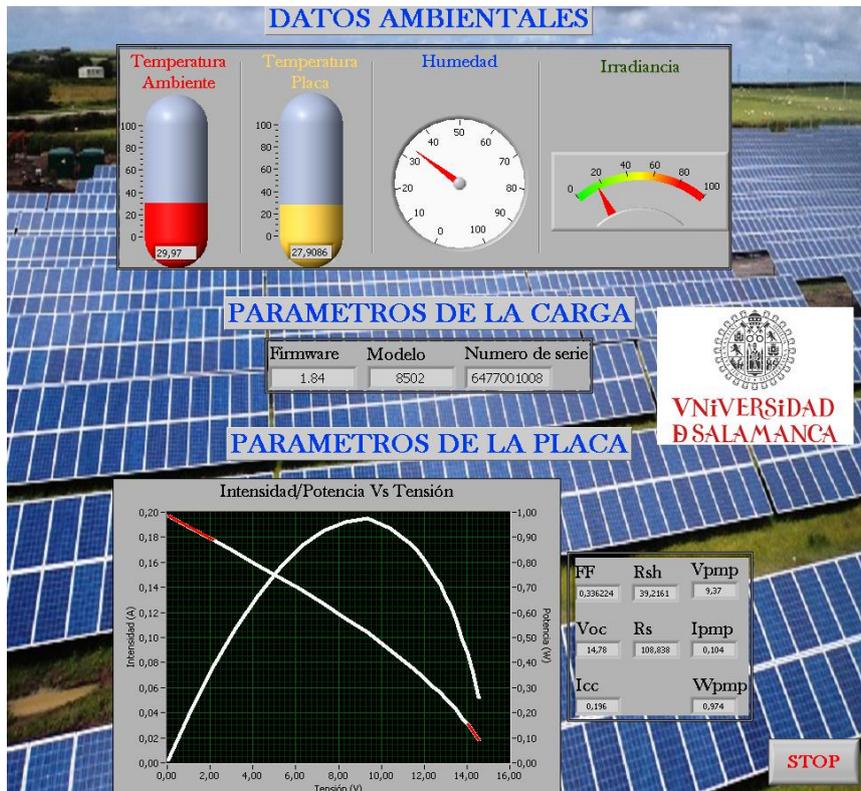


Ilustración 190: VI de visualización, nublado

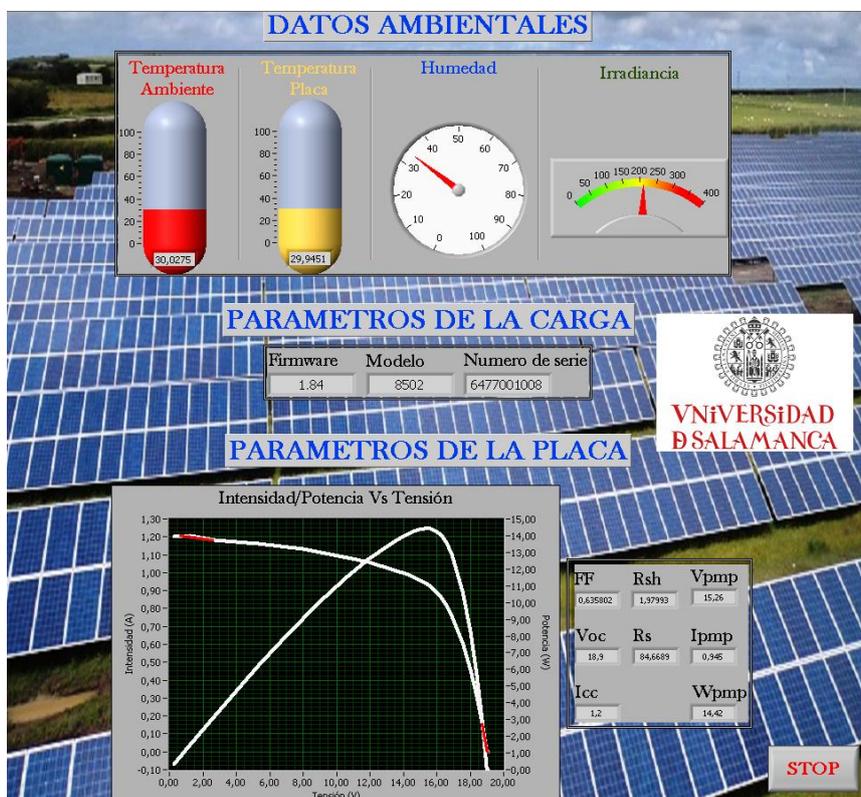


Ilustración 191: VI de visualización, soleado

Capítulo 6. Presupuestos

Para desarrollar el proyecto, se ha requerido la utilización de diferentes materiales y elementos. En este capítulo, vamos a desglosar la relación de componentes que hemos utilizado, su precio y, por último, el coste total. Vamos a separarlo en secciones; la primera estará destinada al personal, la segunda al hardware, la tercera al software y, la última, el resumen global y el total del presupuesto.

El presupuesto total de este proyecto asciende a la cantidad de 21103,49 €. Sin embargo, todo el hardware y el software que en él se describe no solo se emplearán en un proyecto, sino que se podrá utilizar en otros, por lo que es amortizable.

6.1. Personal

1	Sección 01 – Personal	Ud	Cantidad	Precio unit (€)	Precio total (€)
1.01	Horas de realización del proyecto. Son las horas equivalentes a los 12 créditos ECTS que vale el Proyecto de Fin de Grado	Horas	350	12	4200
TOTAL Sección 01 SIN IVA					4200
IVA 21 %					882
TOTAL Sección 01 + IVA					5082

6.2. Hardware

2	Sección 02 – Hardware	Ud	Cantidad	Precio unit (€)	Precio total (€)
2.01	<p>Fuente de alimentación NI PS-15.</p> <p>La fuente de alimentación NI PS-15 de National Instruments tiene una larga expectativa de vida y generosas reservas de energía, todo ello con un tamaño compacto. Ofrece una alimentación continua de 24 voltios, ideal para alimentar cualquier sistema de National Instruments, así como cualquier tipo de sensor. Además, es posible acoplar un sistema para su montaje en carril DIN, de manera que se permite una rápida y fácil instalación. Debido a su amplio rango de temperaturas, esta fuente de alimentación es una apuesta segura incluso en difíciles condiciones.</p>	Unidades	1	220	220
2.02	<p>Sistema de montaje en carril DIN para la fuente de alimentación NI PS-15.</p> <p>Anclajes para la fuente de alimentación NI PS-15 de National Instruments. Con este sistema es posible su colocación en un carril DIN, de manera rápida y fácil.</p>	Unidades	1	31	31
2.03	<p>CompactRio 9076.</p> <p>El sistema integrado cRio-9076 (CompactRio 9076) combina un procesador en tiempo real y un FPGA configurable en el mismo chasis. Permite la monitorización de aplicaciones integradas gracias a su procesador industrial de 400 MHz. Dispone de cuatro ranuras para insertar módulos de E/S de la serie C. Soporta temperaturas de operación desde -20 °C hasta 55 °C. Dispone de un puerto USB 2.0, un puerto Ethernet 10/100 Mb/s, así como un puerto serie RS232.</p>	Unidades	1	1960	1960

	Dispone de varias opciones de montaje, como pueden ser en carril DIN y en rack.				
2.04	<p>Sistema de montaje en carril DIN para la CompactRio 9076.</p> <p>Anclajes para la CompactRio 9076 de National Instruments. Con este sistema es posible su colocación en un carril DIN, de manera rápida y fácil.</p>	Unidades	1	31	31
2.05	<p>Cable de Ethernet.</p> <p>Cable para conexión Ethernet con terminales RJ45. De categoría 6, que soporta velocidades de 10/100/1000 Mb/s.</p>	m	3	2,62	7,86
2.06	<p>Módulo NI-9795.</p> <p>El módulo NI-9795 de National Instruments es un módulo de la serie C que sirve como pasarela (o gateway) para la conexión de nodos inalámbricos WSN con el sistema CompactRio. Permite crear sistemas de medida inalámbricos con la facilidad de conectarse a cualquier ranura de un chasis de CompactRio.</p>	Unidades	1	455	455
2.07	<p>Nodo inalámbrico NI WSN-3226.</p> <p>El nodo inalámbrico NI WSN-3226 de National Instruments dispone de cuatro entradas basadas en resistencia, que permiten mediciones de sensores RTD y potenciómetros. Además, incluye dos canales digitales, tanto de entrada como de salida. Gracias al módulo NI LabView WSN Pioneer Module, podemos incluir en dichos nodos programación de LabView para reducir los consumos de batería y dotar al nodo de inteligencia.</p>	Unidades	1	800	800
2.08	<p>Sensor de temperatura y humedad Galltec Mela KPC 2/4-TS.</p> <p>El sensor de temperatura y humedad de Galltec Mela, modelo KPC 2/4-TS, consta de un sensor en forma de varilla insertado en una estructura de aluminio formada por varios platos, para que se realice una</p>	Unidades	1	350	350

	medida de la temperatura lo más exacta posible. El sensor incluye un cable para su conexionado de una longitud de 5 metros, y necesita una alimentación de corriente continua entre 6 y 30 voltios.				
2.09	Sensor PT-100. El sensor PT-100 consiste en un detector de temperatura resistivo, es decir, una resistencia que cambia su valor en función de la temperatura. La característica es que presenta una resistencia de 100 ohmios cuando hay una temperatura de 0 °C.	Unidades	1	48,50	48,50
2.10	Sensor piranómetro Kipp & Zonen SP-Lite 2. Con el sensor piranómetro de Kipp & Zonen, modelo SP-Lite 2, podemos medir la radiación solar incidente en un lugar. Para ello, se basa en el principio de detección termoeléctrica.	Unidades	1	250	250
2.11	Carga electrónica BK Precision 8500. La carga electrónica de BK Precisión, concretamente el modelo 8500, permite analizar cualquier fuente de alimentación de corriente continua, en nuestro caso, placas solares. Dicho modelo consta de cuatro modos de funcionamiento: corriente constante (CC), resistencia constante (CR), voltaje constante (CV) y potencia constante (CP).	Unidades	1	949,38	949,38
2.12	Cable RS232 para la carga electrónica BK Precision 8500. Este cable permite conectar la carga electrónica con cualquier sistema que admita dicha conexión, en nuestro caso, la CompactRio.	Unidades	1	38,16	38,16
TOTAL Sección 02 SIN IVA					5140,9
IVA 21 %					1079,59
TOTAL Sección 02 + IVA					6220,49

6.3. Software

3	Sección 03 – Software	Ud	Cantidad	Precio unit (€)	Precio total (€)
3.01	<p>Licencia de LabView Profesional.</p> <p>LabView Profesional es un entorno de desarrollo gráfico estándar para crear aplicaciones profesionales. La versión “Profesional” incluye todas las características de la versión base, por lo que se pueden crear interfaces de usuario de manera fácil y sencilla con la programación gráfica.</p>	Unidades	1	5520	5520
3.02	<p>Licencia de NI LabView WSN Pioneer.</p> <p>El módulo NI LabView WSN Pioneer es un complemento al programa base LabView que añade la funcionalidad de poder reprogramar los nodos inalámbricos WSN para dotarlos de inteligencia y, de esta manera, poder mejorar la conectividad y reducir los gastos de batería.</p>	Unidades	1	580	580
3.03	<p>Licencia de MatLab.</p> <p>MatLab es un software, desarrollado por MathWorks, cuyo objetivo es el cálculo numérico y la visualización de datos. Se apoya en un lenguaje propio, conocido como lenguaje M, con el que se pueden manipular datos y funciones, así como implementar algoritmos.</p>	Unidades	1	2000	2000
TOTAL Sección 03 SIN IVA					8100
IVA 21 %					1701
TOTAL Sección 03 + IVA					9801

6.4. Resumen global

4	Sección 03 – Resumen global	Precio total (€)
4.01	Sección 01 – Personal	4200
4.02	Sección 02 – Hardware	5140,9
4.03	Sección 03 – Software	8100
	TOTAL Sección 04 SIN IVA	17440,9
	IVA 21 %	3662,589
	TOTAL Sección 04 + IVA	21103,49

Capítulo 7. Conclusiones

En este proyecto se ha desarrollado un sistema que permite monitorizar, por un lado los parámetros ambientales que rodean a una estación fotovoltaica (temperatura de las placas, irradiancia, temperatura ambiente y humedad) y, por otro lado, los parámetros característicos de una placa fotovoltaica (puntos de máxima potencia, factor de forma, resistencia serie y shunt, curva I-V, curva P-V...). Este sistema, además de ser portátil, es un sistema muy robusto, ya que se han utilizado sistemas de muy alta calidad, proporcionados por National Instruments; como son la CompactRio 9076 y el sistema de nodos inalámbricos WSN.

Estos nodos inalámbricos WSN han sido optimizados gracias al módulo NI LabView WSN Pioneer. Dicho complemento permite dotar de inteligencia a los nodos WSN y así aumentar sus capacidades, y reducir su consumo de batería.

Y, como un buen sistema inalámbrico requiere, gracias al desarrollo de las nuevas tecnologías, hemos diseñado un sistema capaz de monitorizar todos estos parámetros a tiempo real y desde cualquier lugar del mundo. Además, para facilitar el trabajo de gestión de los archivos de datos, se ha diseñado un software en MatLab para poder gestionar los datos de manera eficaz y rápida, incluyendo un aviso a cualquier dispositivo móvil.

Para mejorar el presente proyecto, se proponen las siguientes ideas:

- Implementar un sistema que permita alimentar a los nodos inalámbricos sin necesidad de utilizar baterías externas o fuentes de alimentación. Por ejemplo, se podría diseñar un sistema con mini placas solares (semejantes a las que se utilizan las boyas o en las señales de carretera).
- Aumentar la seguridad del sistema, implementando un sistema de control de acceso a usuario. Por ejemplo, el sistema podría requerir un nombre de usuario y una contraseña para poder acceder a los valores de las variables.
- Establecer un método para poder detectar errores en las placas fotovoltaicas.
- Diseñar un sistema de almacenamiento compacto para todos los sistemas que incluya un sistema de conexionado rápido.
- Utilizar nodos inalámbricos compatibles con el sistema RS232 de la carga electrónica para no requerir su conexionado directo con la CompactRio.

Capítulo 8. Bibliografía

- <http://blog.technosun.com/?p=1319>
- <http://blog.technosun.com/?p=1356>
- <http://ca.sabadell.cat/Energia/d/Tecnologia%20fotovoltaica.pdf>
- <http://consinfin.com/que-es-la-comunicacion-inalambrica-wireless/>
- <http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/039001258CEF8FB686256E0F005888D1>
- <http://es.mathworks.com/>
- <http://es.mathworks.com/products/matlab/>
- http://galia.fc.uaslp.mx/~cantocar/microcontroladores/SLIDES_8051_PDF/EL_RS232.PDF
- http://itech.fgcu.edu/faculty/zalewski/CDA4170/projects/Carestia_WSN_Final.pdf
- <http://nereida.deioc.ull.es/~pcgull/ihiu01/cdrom/matlab/contenido/node2.html>
- <http://perso.wanadoo.es/pictob/comserie.htm>
- <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/206915>
- <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/206924>
- <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/207087>
- <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/207473>
- <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/209063>
- <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/209758>
- <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/209859>
- <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/210007>
- <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/212669>
- <http://spain.ni.com/empresa>
- <http://twenergy.com/a/como-funciona-la-energia-solar-fotovoltaica-339>
- <http://www.20minutos.es/noticia/214983/0/Inauguran/Beneixama/solar/>
- <http://www.20minutos.es/noticia/276883/0/INAUGURACION/planta/solar/>
- <http://www.ajolly.com.mx/es/desarrollo-consulta-sistema-supervisor-control-prueba-medida/19-LabVIEW-que-es.html>
- http://www.appa.es/09fotovoltaica/09que_es.php
- <http://www.atersa.com/img/201442513331.pdf>

- <http://www.bkprecision.com/products/dc-electronic-loads/8500-300-w-programmable-dc-electronic-load.html>
- <http://www.deltastrumenti.it/misura/galltec+mela/c24.pdf>
- <http://www.ecured.cu/index.php/Piran%C3%B3metro>
- http://www.electricidad-gratuita.com/introduccion_energia_fotovoltaica.html
- <http://www.esi2.us.es/~jaar/Datos/RegAuto/Practica1.pdf>
- <http://www.kippzonen.com/Product/9/SP-Lite2-Pyranometer#.Vd0Vwfntmkp>
- <http://www.kippzonen.es/News/575/Principio-de-funcionamiento-de-un-piranometro-de-termopila#.Vc9rvfntmko>
- <http://www.libelium.com/libelium-downloads/libelium-bit-coit.pdf>
- <http://www.mat.ucm.es/~jair/matlab/notas.htm>
- <http://www.mfbarcell.es/conferencias/wsn.pdf>
- <http://www.monografias.com/trabajos5/matlab/matlab.shtml>
- <http://www.ni.com/compactrio/esa/>
- <http://www.ni.com/compactrio/performance-controller/esa/>
- <http://www.ni.com/compactrio/value-controller/esa/>
- <http://www.ni.com/compactrio/whatis/esa/>
- <http://www.ni.com/company/about-ni/esa/>
- <http://www.ni.com/company/esa/>
- <http://www.ni.com/data-acquisition/what-is/esa/>
- <http://www.ni.com/labview/add-ons/esa/>
- <http://www.ni.com/labview/esa/>
- <http://www.ni.com/labview/why/esa/>
- <http://www.ni.com/labview/wsn/esa/>
- <http://www.ni.com/myni/dashboard/esa/>
- <http://www.ni.com/product-documentation/9365/en/>
- <http://www.ni.com/support/esa/>
- <http://www.ni.com/white-paper/14140/es/>
- <http://www.ni.com/white-paper/14141/es/>
- <http://www.ni.com/white-paper/14142/es/>
- <http://www.ni.com/white-paper/7142/es/>
- <http://www.ni.com/white-paper/8981/en/>

- <http://www.ni.com/white-paper/9006/en/>
- <http://www.ni.com/wsn/esa/>
- <http://www.oni.escuelas.edu.ar/2008/CORDOBA/1324/trabajo/piranometro.html>
- <http://www.renewables-made-in-germany.com/es/renewables-made-in-germany/tecnologias/energia-fotovoltaica/energia-fotovoltaica/tecnologias-y-aplicaciones.html>
- <http://www.rsiconcept.eu/en/news/ni-labview-wireless-sensor-network-wsn-pioneer-module-2>
- <http://www.sapa-solar.com/spain/fotovoltaica/index.html>
- http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S1316-48212011000300005&script=sci_arttext
- <http://www.sitiosolar.com/la-historia-de-la-energia-solar-fotovoltaica/>
- <http://www.solarweb.net/solar-fotovoltaica.php>
- <http://www.sunedison.es/energia-solar-fotovoltaica/ventajas.html>
- <http://www.teknosolar.com/blog/caracteristicas-electricas/>
- http://www.ujae.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/04_componen/01_generador/01_basico/4_gene_02.htm
- <http://www.uv.es/~montanan/ampliacion/trabajos/Redes%20de%20Sensores.pdf>
- http://www2.uca.es/grup-invest/instrument_electro/Ramiro/docencia_archivos/TecnologiaFV.PDF
- <https://decibel.ni.com/content/docs/DOC-19387>
- <https://en.wikipedia.org/wiki/CompactRIO>
- https://es.wikipedia.org/wiki/Comunicaci%C3%B3n_inal%C3%A1mbrica
- https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_solar_fotovoltaica
- https://es.wikipedia.org/wiki/Field_Programmable_Gate_Array
- https://es.wikipedia.org/wiki/Hora_solar_pico
- <https://es.wikipedia.org/wiki/Irradiancia>
- <https://es.wikipedia.org/wiki/LabVIEW>
- [https://es.wikipedia.org/wiki/Masa_de_aire_\(Astronom%C3%ADa\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Masa_de_aire_(Astronom%C3%ADa))
- <https://es.wikipedia.org/wiki/MATLAB>
- https://es.wikipedia.org/wiki/National_Instruments
- https://es.wikipedia.org/wiki/Panel_fotovoltaico#/media/File:Best_Research-Cell_Eficiencias.png

- <https://es.wikipedia.org/wiki/Piran%C3%B3metro>
- <https://es.wikipedia.org/wiki/RS-232>
- <https://es.wikipedia.org/wiki/RTD>
- <https://es.wikipedia.org/wiki/Sol>
- https://es.wikipedia.org/wiki/Suma_de_verificaci%C3%B3n
- https://es.wikipedia.org/wiki/Unidad_astron%C3%B3mica
- <https://estuelectronic.wordpress.com/2012/08/06/que-es-y-para-que-sirve-labview/>
- <https://itunes.apple.com/us/app/data-dashboard-for-labview/id481303987?l=es&mt=8>
- <https://sdei.unican.es/Paginas/servicios/software/Labview.aspx>
- <https://www.galltec-mela.de/footage/estudio-de-productos-2015.pdf>
- <https://www.galltec-mela.de/produkt/analoge-stabsensoren-optimiert-fur-den-aussenbereich-meteorologie-anwendungen/10/DE>

Anexo I. Programas de LabView

En este anexo, vamos a presentar los programas de LabView en el siguiente orden:

- VI del nodo WSN.
- SubVI de obtención de la hora, minuto y segundo actual.
- VI principal de la CompactRio.
- VI de visualización en el PC.
- Panel frontal de la aplicación Dashboard para tablet.

VI del nodo WSN

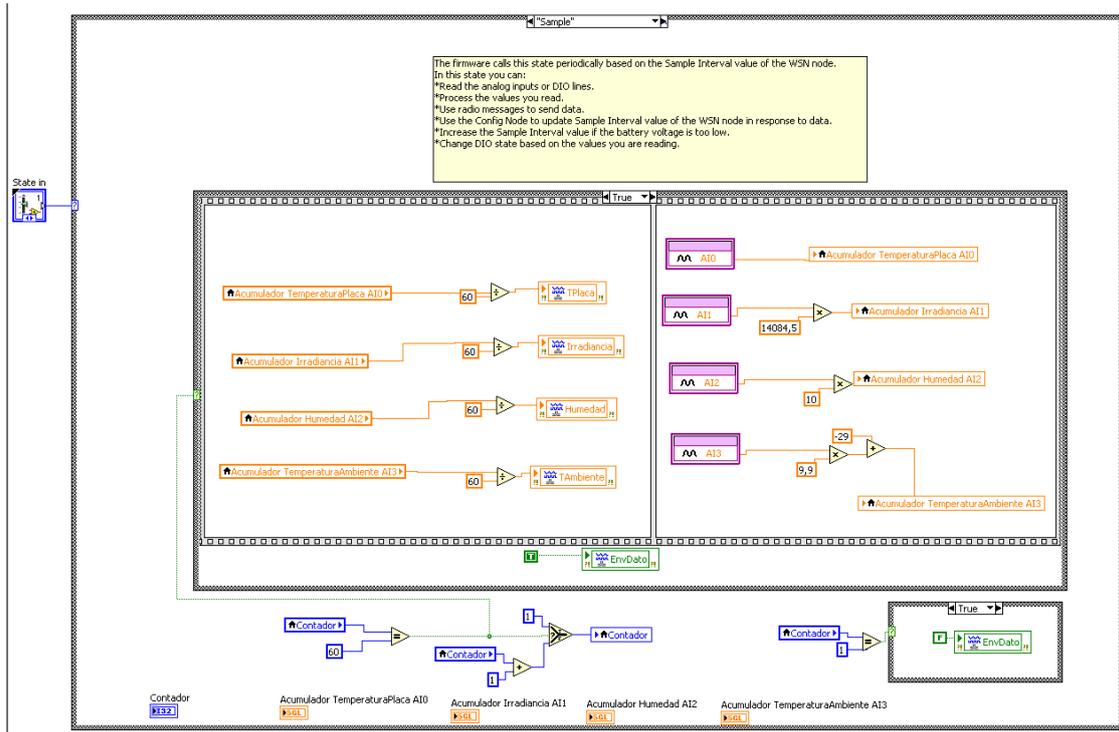


Ilustración 192: VI del nodo WSN, case en true

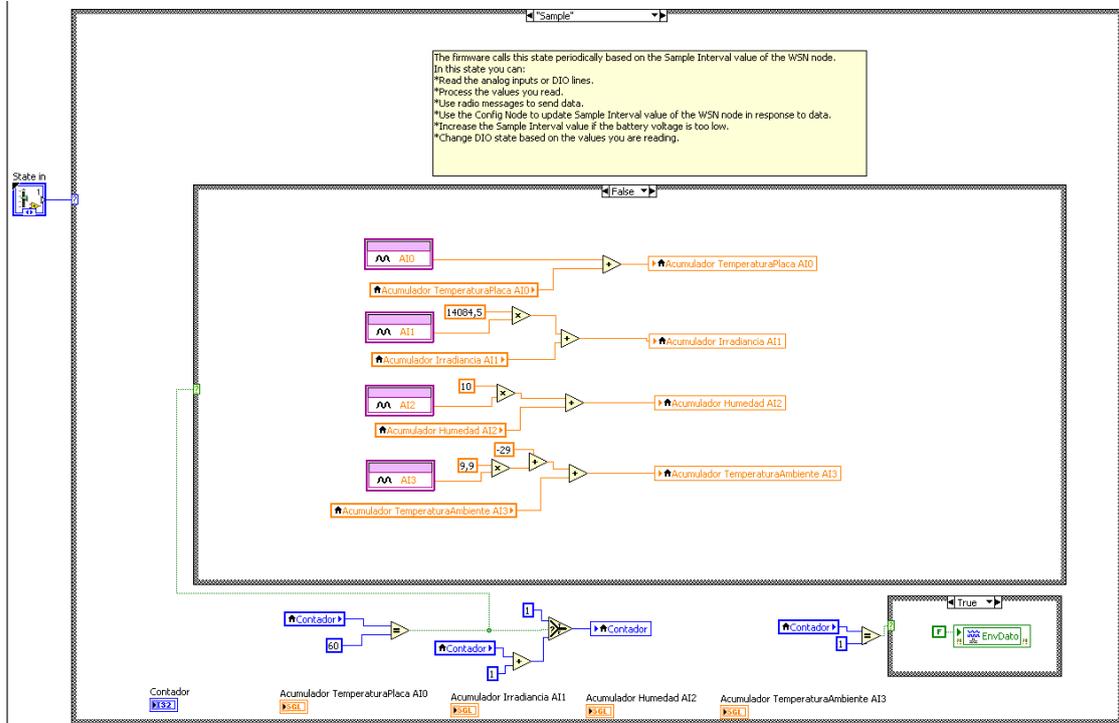


Ilustración 193: VI del nodo WSN, case en false

SubVI de obtención de la hora, minuto y segundo actual

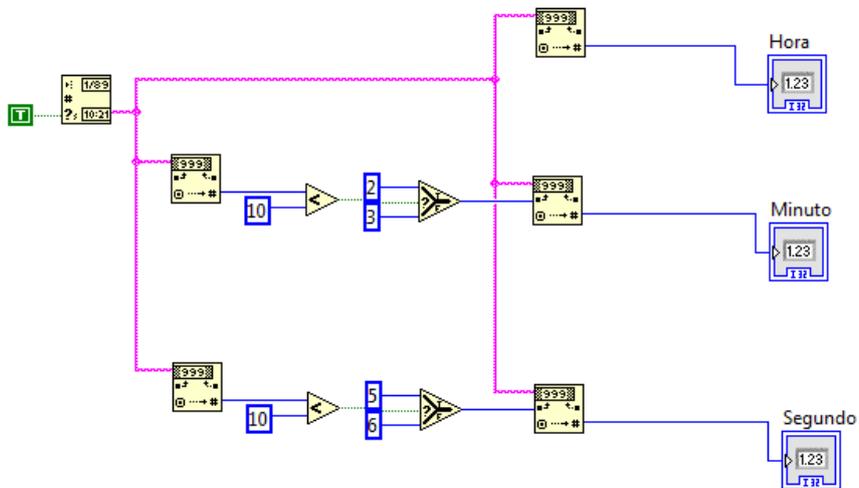


Ilustración 194: SubVI para obtener la hora, minuto y segundo actual

VI principal de la CompactRio

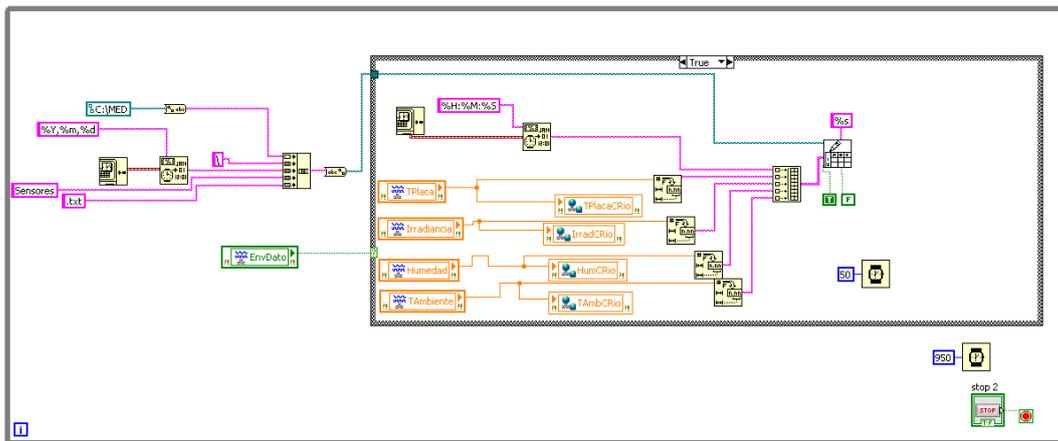


Ilustración 195: VI principal, recogida de datos ambientales

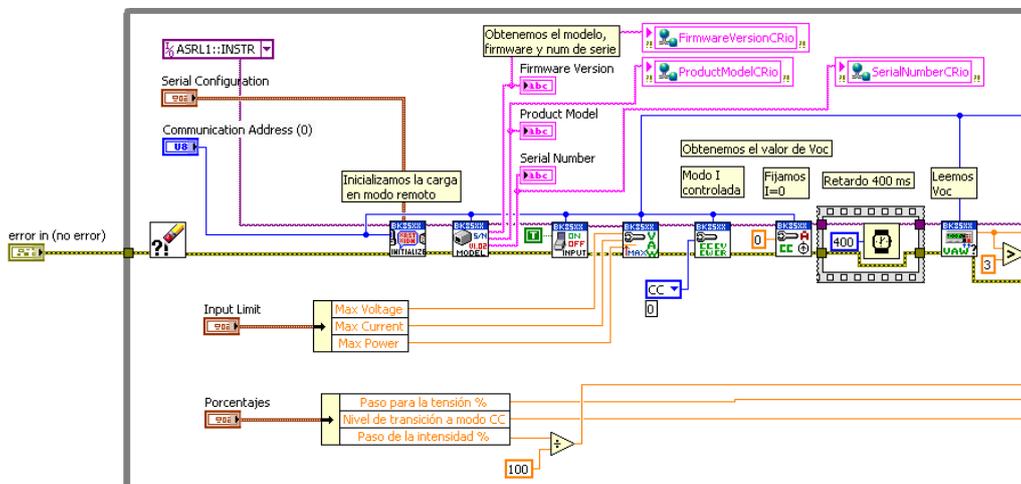


Ilustración 196: VI principal, inicialización de la carga y obtención de Voc

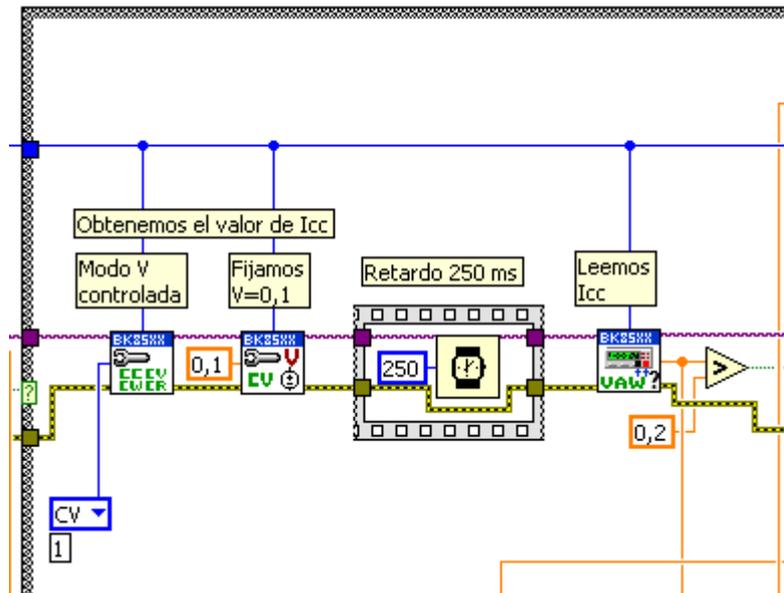


Ilustración 197: VI principal, obtención de Icc

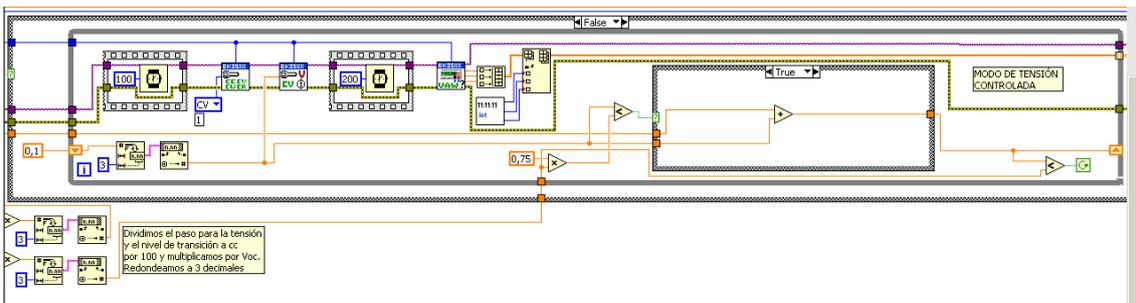


Ilustración 198: VI principal, lectura de datos en modo de tensión controlada

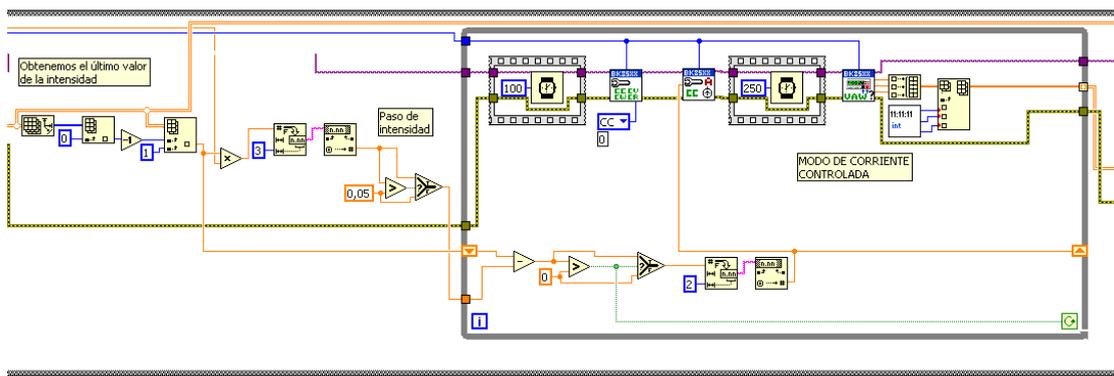


Ilustración 199: VI principal, lectura de datos en modo de intensidad controlada

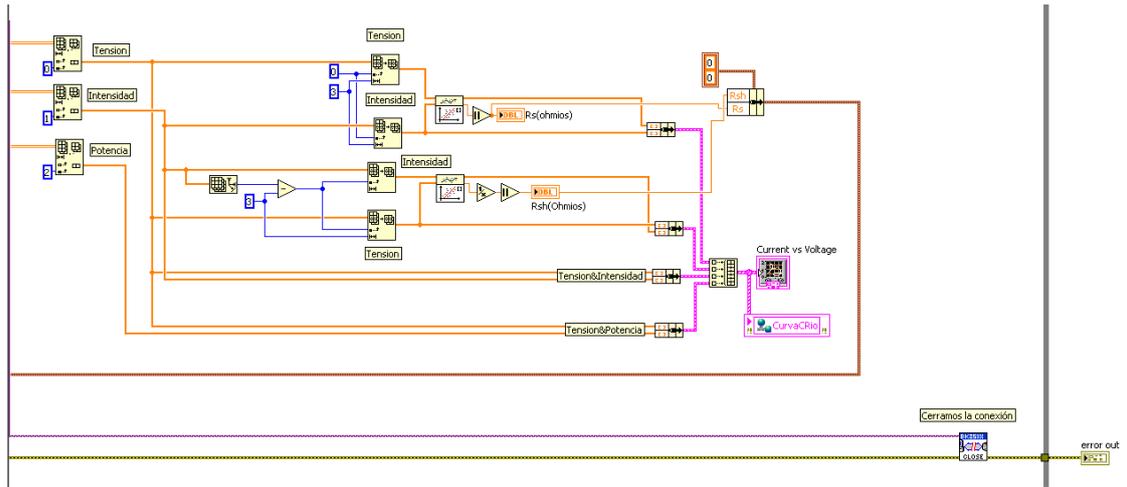


Ilustración 201: VI principal, lectura de datos y gráficas

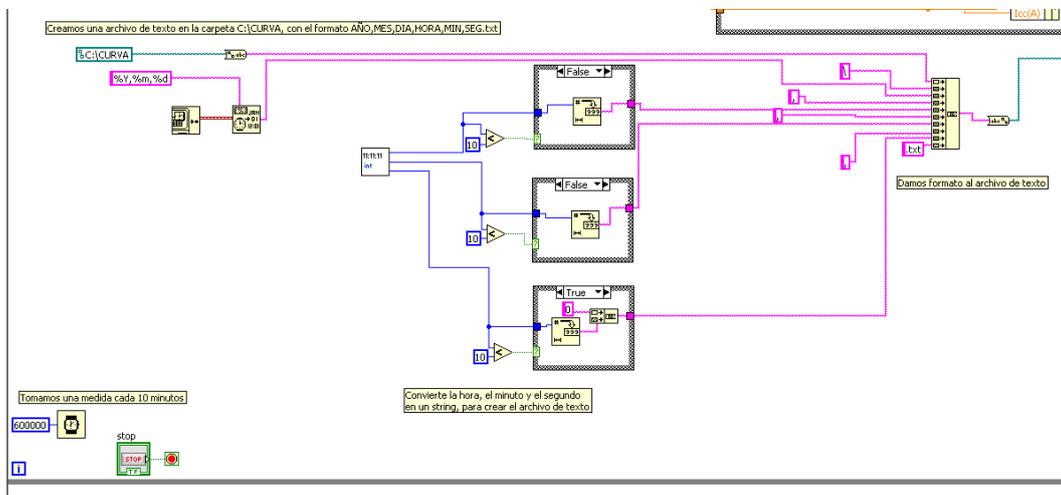


Ilustración 200: VI principal, creación de los archivos de texto

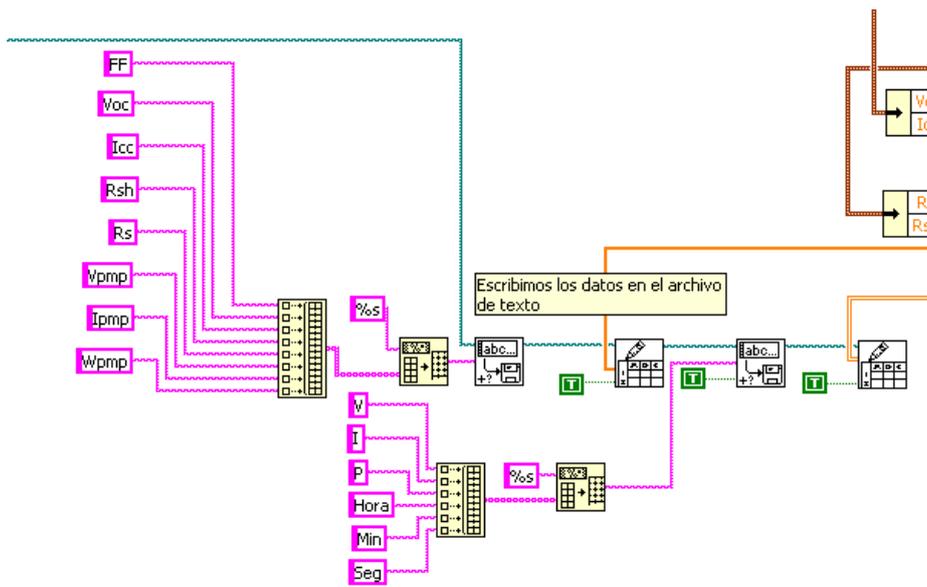


Ilustración 202: VI principal, escritura de los archivos de texto

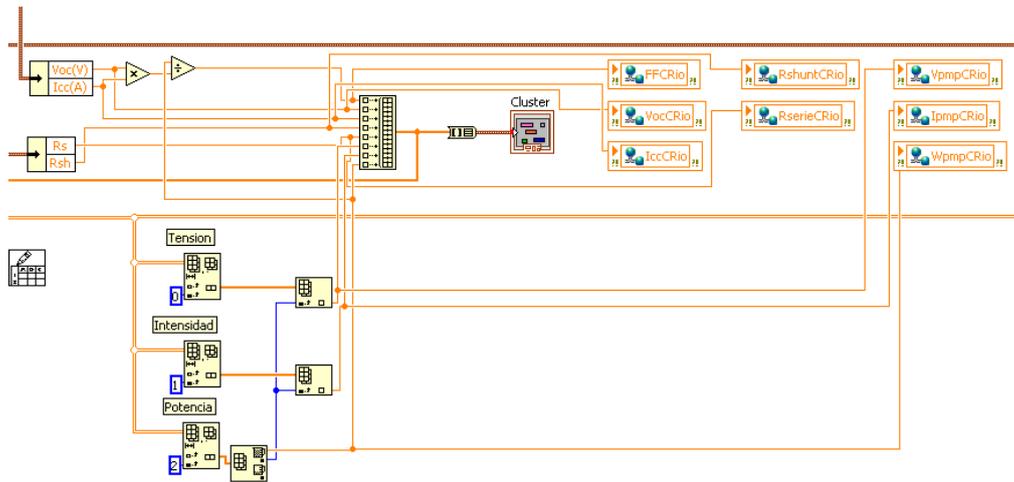


Ilustración 203: VI principal, escritura en las variables globales

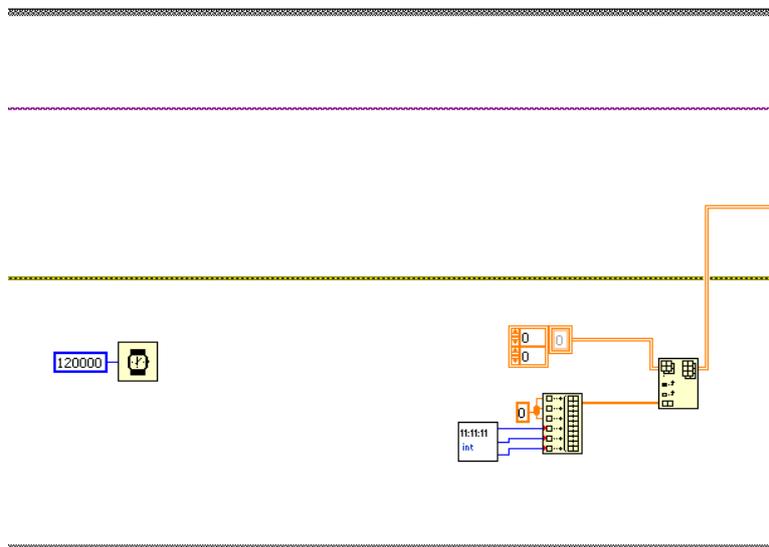


Ilustración 204: VI principal, en caso de poca tensión, intensidad o error

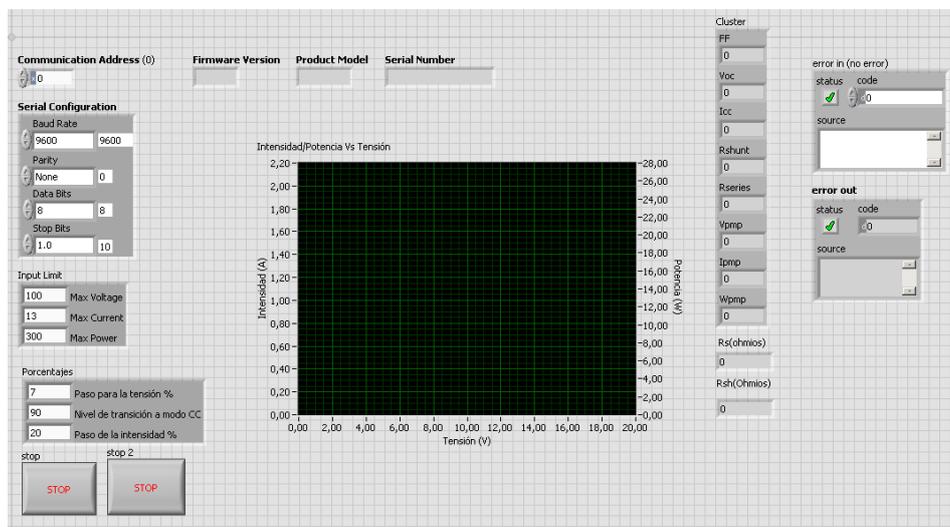


Ilustración 205: VI principal, panel frontal

VI de visualización en el PC

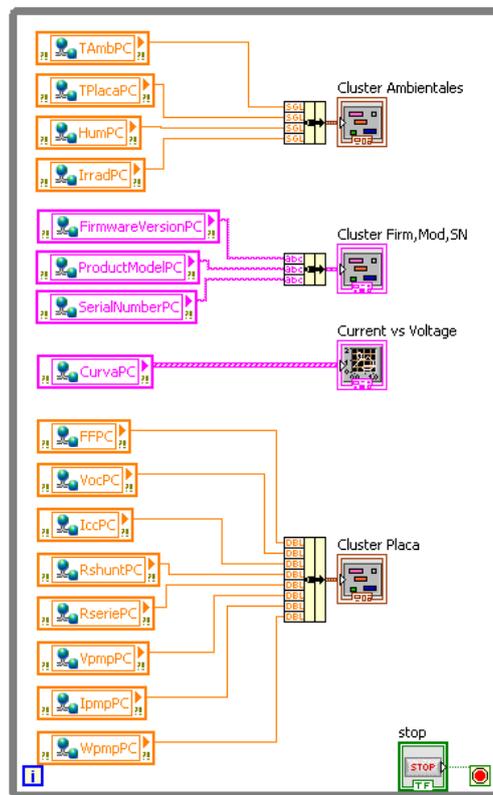


Ilustración 206: VI de visualización

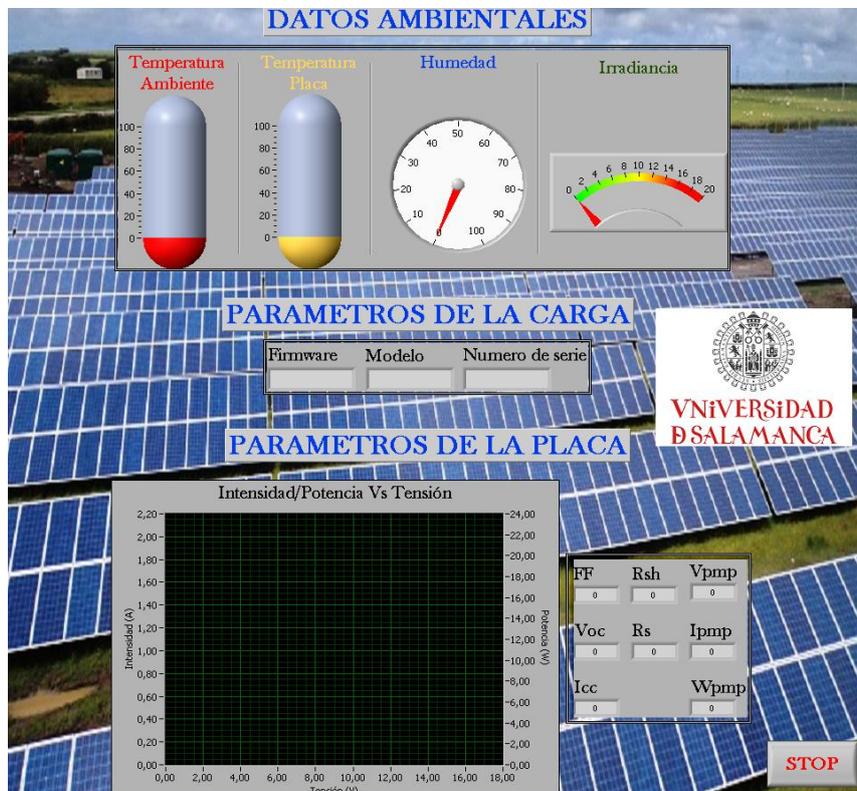


Ilustración 207: VI de visualización, panel frontal

Panel frontal de la aplicación Dashboard para tablet

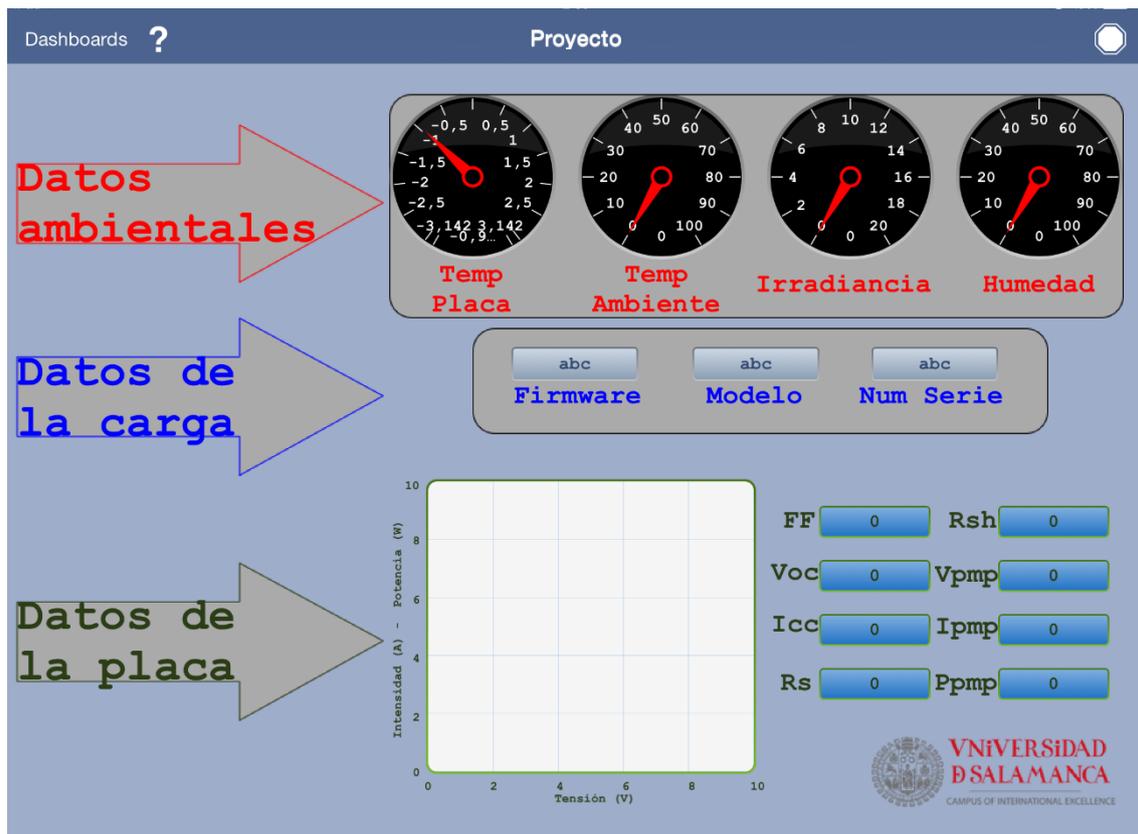


Ilustración 208: Panel frontal del Dashboard

Anexo II. Programas de MatLab

En este anexo, vamos a presentar los programas de MatLab en el siguiente orden:

- Programa para la descarga de archivos.
- Programa para la generación de gráficas de parámetros ambientales.
- Programa para la generación de gráficas de módulos fotovoltaicos.

Programa para la descarga de archivos

```

% -----
% - PROGRAMA PARA LA DESCARGA DE ARCHIVOS DE LA COMPACTRIO -
% ----- Por: Francisco Javier Roca González -----
% -----
%Cargamos una lista matriz donde indicamos, por días, el estado.
%Columna 1: Fecha.
%Columna 2: Existe ambientales.
%Columna 3: Descarga ambientales.
%Columna 4: PDF ambientales.
%Columna 5: Borrado ambientales.
load ('C:\JAVIMATLAB\crio\listario.mat','listario');
%Se miran los días y se marca: ma=último día; ax=núm de días.
[ma,ax]=max(listario(:,1));
%Se actualiza la lista hasta ayer, rellenando las casillas con 0.
ayer=today-1;
if ayer>ma
    for i=1:ayer-ma
        listario(ax+i,1)=listario(ax+i-1,1)+1;
        listario(ax+i,2:5)=0;
    end
end
%Se guarda la lista.
save ('C:\JAVIMATLAB\crio\listario.mat','listario');
%Se busca el último fichero existente.
lastrio=find(listario(:,2),1,'last');
%Se busca el último fichero transferido al PC.
lastpc=find(listario(:,3),1,'last');
%Se busca el último fichero borrado.
lastborrado=find(listario(:,5),1,'last');

%--CONEXIÓN FTP--
%Se crea una variable ("crio") con los datos de la CompactRio.
crio=ftp('212.128.197.80','admin','bejar2');
%Se entra en el directorio de los datos a descargar.
cd(crio,'MED');
%Se cambia la conexión a binaria para aumentar la velocidad.
binary(crio);

%Se comprueba los ficheros de datos para su transferencia.
criodir=dir(crio,'*.txt');
for i=1:size(criodir,1) %Se recorre el directorio.
    if not(criodir(i).isdir) %No entra en subdirectorios.
        for j=lastrio+1:size(listario,1) %Se recorre la lista.
            if listario(j,1)==datetime(criodir(i).name(1:10)) %Se compara las fechas que tiene la
lista matriz con los archivos encontrados.
                if criodir(i).name(11:18)=='Sensores' %Se comprueba que el archivo sea de datos
ambientales.
                    if not(listario(j,2)==1) %Si no aparece en la lista como existente...
                        listario(j,2)=1; %... se marca como existente...
                        save ('C:\JAVIMATLAB\crio\listario.mat','listario'); %... y se guarda la
lista matriz.
                    if not (listario(j,3)==1) %Si no aparece en la lista como descargado...
                        mget (crio,criodir(i).name,'C:\JAVIMATLAB\ambientales'); %... se
descarga...
                        listario(j,3)=1; %... y se marca como transferido al PC...
                        save ('C:\JAVIMATLAB\crio\listario.mat','listario'); %... y se guarda
la lista matriz.
                    end
                end
            end
        end
    end
end
end
end
end
end
end
end

%LIMPIEZA DE DATOS AMBIENTALES (DEJA LAS DOS ÚLTIMAS SEMANAS).
%Se busca el último día.
[a,b]=max(listario(:,1));
%Se establece el límite de archivos que se borrarán.
b=today-14;
%Se comprueba que el último archivo borrado sea anterior a esos 14 días.
if listario(lastborrado,1)<b
    for i=lastborrado:b %Se recorre el directorio, desde el último borrado hasta el último-14
días.
        if listario(i,5)==0 %Si ese archivo aparece como no borrado en la lista...
            if listario(i,2)==1 %... y si existe...
                delete(crio,[datestr(listario(i,1),'yyyy,mm,dd'),'Sensores.txt']); %... lo
borra...
                listario(i,5)=1; %... y marca en la lista como borrado.
                save ('C:\JAVIMATLAB\crio\listario.mat','listario'); %Se guarda la lista.
            end
        end
    end
end
end
end
end

```

```

%--CERRAR CONEXIÓN--
close (crio);

%--ENVIO DE CORREO DE CONFIRMACIÓN--
my_default_email_address = 'javierroca Gonzalez@ono.com'; %Dirección de correo desde la que se
envia el mensaje.
my_username = 'd20d308f328787ea39449b316e5f3127'; %Clave API.
my_password = 'e5640b233414ac2f6bd49be8e1347f0c'; %Password de la clave API.

%Configuración del servidor SMTP.
setpref('Internet','E_mail',my_default_email_address);
setpref('Internet','SMTP_Server','in-v3.mailjet.com');
setpref('Internet','SMTP_Username',my_username);
setpref('Internet','SMTP_Password',my_password);

%Configuración del puerto.
props = java.lang.System.getProperties;
props.setProperty('mail.smtp.auth','true');
props.setProperty('mail.smtp.socketFactory.class','javax.net.ssl.SSLSocketFactory');
props.setProperty('mail.smtp.socketFactory.port','465');
sendmail('javierroca Gonzalez@ono.com' , 'Archivos cRIO', 'Archivos descargados correctamente');
%Envío del mensaje.

```

Programa para la generación de gráficas de parámetros ambientales

```

% -----
% - PROGRAMA PARA EL TRAZADO DE GRÁFICAS -
% - Por: Francisco Javier Roca González --
% -----
%Cargamos una lista matriz donde indicamos, por días, el estado.
%Columna 1: Fecha.
%Columna 2: Existe ambientales.
%Columna 3: Descarga ambientales.
%Columna 4: PDF ambientales.
%Columna 5: Borrado ambientales.
load ('C:\JAVIMATLAB\crio\listario.mat','listario');
%Se miran los días y se marca: ma=último día; ax=núm de días.
[ma,ax]=max(listario(:,1));
%Se actualiza la lista hasta ayer, rellenando las casillas con 0.
ayer=today-1;
if ayer>ma
    for i=1:ayer-ma
        listario(ax+i,1)=listario(ax+i-1,1)+1;
        listario(ax+i,2:5)=0;
    end
end
%Se guarda la lista.
save ('C:\JAVIMATLAB\crio\listario.mat','listario');
%Se busca el último fichero existente.
lastrio=find(listario(:,2),1,'last');
%Se busca el último fichero transferido al PC.
lastpc=find(listario(:,3),1,'last');
%Se busca el último fichero en PDF.
lastPDF=find(listario(:,4),1,'last');

%Se define la ruta de los archivos base.
pcdir=dir('C:\JAVIMATLAB\ambientales\');

%--GENERACIÓN DE GRÁFICAS--
for i=1:size(pcdi,1) %Se recorre el directorio
    if not(pcdi(i).isdir) %No entra en subdirectorios.
        for j=lastPDF+1:lastpc %Se recorre la lista.
            diai=datetime(pcdi(i).name(1:10)); %Terminación de cada archivo.
            if listario(j,1)==diai %Si se encuentra el archivo...
                if pcdi(i).name(11:18)=='Sensores' %... y es un archivo de medidas
                    ambientales...
                        if not(listario(j,4)==1) %... y si no está en PDF.
                            nomb=['C:\JAVIMATLAB\ambientales\' pcdi(i).name(1:18) '.txt']; %Ruta y
                                nombre del archivo.
                                    fid=fopen(nomb,'r'); %Se abre el archivo.
                                        F=textscan(fid,'%s %f %f %f %f'); %Se escanean las columnas y se guardan
                                            en una matriz de matrices.
                                                fclose(fid); %Se cierra el archivo.
                                                    largo=length(F{1}); %Se calcula la dimensión de cada columna.
                                                        %Cada matriz de matrices se convierte en una matriz con varias columnas
                                                            for k=1:largo
                                                                G(k,1)=datetime(F{1,1}(k));
                                                                G(k,2)=F{1,2}(k);
                                                                G(k,3)=F{1,3}(k);
                                                                G(k,4)=F{1,4}(k);
                                                                G(k,5)=F{1,5}(k);
                                                            end

```

```

%DIBUJANDO TEMPERATURA Y HUMEDAD
plot (G(:,1),G(:,2),'-g',G(:,1),G(:,4),'-b',G(:,1),G(:,5),'-m');
datetick('x'); %Ajustamos el tiempo.
title('Temperatura y humedad');
legend('Temperatura de la placa','Humedad','Temperatura ambiente');
nombgraf=datestr(listario(j,1),'yyyy-mmm-dd'); %Nombre de la gráfica.
nomp=['C:\JAVIMATLAB\graficas\' nombgraf ' TemperaturaHumedad' '.pdf'];

%Nombre y ruta del PDF.
print ('-dpdf', '-r600', nomb);
close all

%DIBUJANDO IRRADIANCIA
plot (G(:,1),G(:,3),'-g');
datetick('x'); %Ajustamos el tiempo.
title('Irradiancia');
legend('Irrradiancia');
nombgraf=datestr(listario(j,1),'yyyy-mmm-dd'); %Nombre de la gráfica.
nomp=['C:\JAVIMATLAB\graficas\' nombgraf ' Irrradiancia' '.pdf'];

%Nombre y ruta del PDF.
print ('-dpdf', '-r600', nomb);
close all

clearvars G %Borramos la matriz G.
listario(j,4)=1; %Se marca en la lista como PDF.
save ('C:\JAVIMATLAB\crio\listario.mat','listario'); %Se guarda la lista.

end
end
end
end
end

%--ENVIO DE CORREO DE CONFIRMACIÓN--
my_default_email_address = 'javierrocagonzalez@ono.com'; %Dirección de correo desde la que se
envía el mensaje.
my_username = 'd20d308f328787ea39449b316e5f3127'; %Clave API.
my_password = 'e5640b233414ac2f6bd49be8e1347f0c'; %Password de la clave API.

%Configuración del servidor SMTP.
setpref('Internet','E_mail',my_default_email_address);
setpref('Internet','SMTP_Server','in-v3.mailjet.com');
setpref('Internet','SMTP_Username',my_username);
setpref('Internet','SMTP_Password',my_password);

%Configuración del puerto.
props = java.lang.System.getProperties();
props.setProperty('mail.smtp.auth','true');
props.setProperty('mail.smtp.socketFactory.class','javax.net.ssl.SSLSocketFactory');
props.setProperty('mail.smtp.socketFactory.port','465');
sendmail('javierrocagonzalez@ono.com', 'PDFs cRIO', 'Gráficas en PDF generadas correctamente');
%Envío del mensaje.

```

Programa para la generación de gráficas de módulos fotovoltaicos

```

% -----
% - PROGRAMA PARA EL TRAZADO DE GRÁFICAS DE LA CURVA -
% ----- Por: Francisco Javier Roca González -----
% -----
%Se define la ruta de los archivos base.
pcdir=dir('C:\JAVIMATLAB\curva\');

%--GENERACIÓN DE GRÁFICAS--
nomb=['C:\JAVIMATLAB\curva\datoscurva.txt']; %Ruta y nombre del archivo.
fid=fopen(nomb,'r'); %Se abre el archivo.
F=textscan(fid,'%f %f %f %f %f %f %f %f'); %Se escanean las columnas y se guardan en una matriz
de matrices.
fclose(fid); %Se cierra el archivo.
largo=length(F{1}); %Se calcula la dimensión de cada columna.
%Cada matriz de matrices se convierte en una matriz con varias columnas
for k=1:largo
    G(k,1)=F{1,1}(k);
    G(k,2)=F{1,2}(k);
    G(k,3)=F{1,3}(k);
    G(k,4)=F{1,4}(k);
    G(k,5)=F{1,5}(k);
    G(k,6)=F{1,6}(k);
end

%DIBUJANDO I-V Y P-V
plot (G(:,1),G(:,2),'-g',G(:,1),G(:,3));
title('Curvas I-V y P-V');
legend('Curva I-V','Curva P-V');
nombgraf='CurvaPDF'; %Nombre de la gráfica.
nomp=['C:\JAVIMATLAB\graficas\' nombgraf ' '.pdf']; %Nombre y ruta del PDF.

```

```
print ('-dpdf', '-r600', nomp);  
close all  
  
clearvars G %Borramos la matriz G.
```

Anexo III. Datasheets

En este anexo, vamos a presentar los datasheets de los componentes utilizados en el siguiente orden:

- CompactRio 9076.
- NI 9795.
- NI WSN 3226.
- Piranómetro Kipp & Zonen SP-Lite 2.
- Sensor de temperatura y humedad Galltec Mela KPC 2/4-TS.
- Carga electrónica BK Precision 8500.

CompactRIO 9076



Technical Sales

(800) 531-4285
orders@ni.com

[Requirements and Compatibility](#) | [Ordering Information](#) | [Detailed Specifications](#)
For user manuals and dimensional drawings, visit the product page resource [http://ni.com](#)

Last Revised: 2014-11-08 07:15:17.0

CompactRIO Integrated Systems with Real-Time Controller and Reconfigurable Chassis NI cRIO-907x



- Integrated CompactRIO systems with a reconfigurable FPGA chassis and embedded real-time controller
- Lower-cost systems for high-volume OEM applications
- Up to 2M gate reconfigurable FPGA
- 4 or 8 slots for C Series I/O modules
- Up to 400 MHz real-time processor
- Up to two 10/100BASE-TX Ethernet ports with built-in FTP/HTTP servers and LabVIEW remote panel Web server
- Up to 256 MB DRAM memory, 512 MB of nonvolatile storage
- RS232 serial port and available USB port for peripheral devices

Overview

NI cRIO-907x integrated systems combine an industrial real-time controller and reconfigurable field-programmable gate array (FPGA) chassis for industrial machine control and monitoring applications. The NI cRIO-9074 integrated system features an industrial 400 MHz real-time processor and an eight-slot chassis with an embedded, reconfigurable 2M gate FPGA chip. The new NI cRIO-9076 integrated system contains a 400 MHz real-time processor, a four-slot chassis with an embedded, reconfigurable LX45 FPGA chip, and a high-speed USB port. Both systems feature built-in nonvolatile memory and a fault-tolerant file system. The new four-slot NI cRIO-9075 and NI cRIO-9076 systems provide a cost-optimized solution for high-volume deployments and OEM applications.

[Back to Top](#)

Requirements and Compatibility

OS Information

- VxWorks

Driver Information

- NI-RIO

Software Compatibility

- LabVIEW
- LabVIEW FPGA Module
- LabVIEW Professional Development System
- LabVIEW Real-Time Module

[Back to Top](#)

Comparison Tables

Product	Module Slots	Processor Speed (MHz)	FPGA	DRAM (MB)	Internal Nonvolatile Storage (MB)	10/100BASE-TX Ethernet Port	RS232 Serial Port	Power Supply Input Range	USB Port
NI cRIO-9072	8	266	Spartan-3 1M	64	128	yes	yes	19 to 30 VDC	no
NI cRIO-9073	8	266	Spartan-3 2M	64	128	yes	yes	19 to 30 VDC	no
NI cRIO-9074	8	400	Spartan-3 2M	128	256	yes (Dual)	yes	19 to 30 VDC	no
NI cRIO-9075	4	400	Spartan-6 LX25	128	256	yes	yes	9 to 30 VDC	no

Product	Module Slots	Processor Speed (MHz)	FPGA	DRAM (MB)	Internal Nonvolatile Storage (MB)	10/100BASE-TX Ethernet Port	R3232 Serial Port	Power Supply Input Range	USB Port
NI cRIO-9078	4	400	Spartan-6 LX45	256	512	yes	yes	9 to 30 VDC	yes

[Back to Top](#)

Application and Technology

System Configuration

These NI CompactRIO real-time controllers combine a four- or eight-slot reconfigurable chassis into an integrated system. The user-defined FPGA circuitry in the chassis controls each I/O module and passes data to the controller through a local PCI bus using built-in communication functions.

Product	FPGA	Logic Cells	Multipliers	RAM (Kb)
NI cRIO-9073	Spartan-3 2M	46080	40	720
NI cRIO-9074	Spartan-3 2M	46080	40	720
NI cRIO-9075	Spartan-6 LX25	24051	38	936
NI cRIO-9076	Spartan-6 LX45	43661	58	2088

FPGA Resource Comparison

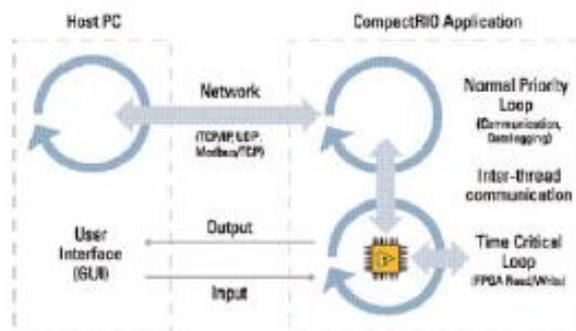
These systems also accept up to eight NI C Series I/O modules. A variety of I/O modules are available including voltage, current, thermocouple, RTD, accelerometer, and strain gage inputs; up to ±60 V simultaneous sampling analog I/O; 12, 24, and 48 V industrial digital I/O; 5 V/TTL digital I/O; counter/timers; pulse generation; and high voltage/current relays.

The 10/100 Mbit/s Ethernet port allows for programmatic communication over the network and the cRIO-9074 features dual Ethernet ports, which allows for the use of one port for network communication to a host PC or enterprise system and the other port for expansion I/O (easily connect another CompactRIO system or another Ethernet-based device for additional I/O). The new cRIO-9078 also features a USB 2.0 port for data storage and connection to peripheral devices.

NI CompactRIOs have the ability to be synchronized with an NTP time server on a network and the cRIO-9072, cRIO-9075, and cRIO-9074 also feature a built-in backup battery to maintain operation for the Real-Time Clock when external power is removed. The cRIO-9075 and cRIO-9076 do not contain a backup battery for the Real-Time Clock.

Embedded Software

You can synchronize embedded code execution to an FPGA-generated interrupt request (IRQ) or an internal millisecond real-time clock source. The LabVIEW Real-Time ETS OS provides reliability and simplifies the development of complete embedded applications that include time-critical control and acquisition loops in addition to lower-priority loops for postprocessing, data logging, and Ethernet/serial communication. Built-in elemental I/O functions such as the FPGA Read/Write function provide a communication interface to the highly optimized reconfigurable FPGA circuitry. Data values are read from the FPGA in integer format and are then converted to scaled engineering units in the controller.



CompactRIO Software Architecture

Built-in Servers

In addition to programmatic communication via TCP/IP, UDP, Modbus/TCP, IIDA, and serial protocols, the CompactRIO controllers include built-in servers for Virtual Instrument Software Architecture (VISA), HTTP, and FTP. The VISA server provides remote download and communication access to the reconfigurable I/O (RIO) FPGA over Ethernet. The HTTP server provides a Web browser user interface to HTML pages, files, and the user interface of embedded LabVIEW applications through a Web browser plug-in. The FTP server provides access to logged data or configuration files.

Ordering Information

For a complete list of accessories, visit the product page on ni.com.

Products	Part Number	Recommended Accessories	Part Number
NI cRIO-9073			
cRIO-9073 8-Slot Integrated 266 MHz Real-Time Ctrlr, 2M Gate FPGA	780471-01	Connector Block: Shielded - NI PS-15 Power Supply, 24 VDC, 5 A, 100-120/200-240 VAC Input **Also Available: Screw Terminal	781093-01
Requires:		Connector Block: Screw Terminal - NI 9079 Strain relief kit for 4-pos power connector	196030-01
NI cRIO-9072			
cRIO-9072 8-Slot Integrated 266 MHz Real-Time Ctrlr, 1M Gate FPGA	770098-01	Connector Block: Screw Terminal - NI 9078 4-pos screw terminal power supply plugs (quantity 5)	196038-01
Requires:			
NI cRIO-9076			
cRIO-9076 4-Slot Integrated 400 MHz Real-Time Ctrlr, LX45 FPGA	781718-01	Connectivity Accessory: Shielded - NI PS-15 Power Supply, 24 VDC, 5 A, 100-120/200-240 VAC Input	781093-01
Requires: 1 Connectivity Accessory			
NI cRIO-9075			
cRIO-9075 4-Slot Integrated 400 MHz Real-Time Ctrlr, LX25 FPGA	781715-01	Connectivity Accessory: Shielded - NI PS-15 Power Supply, 24 VDC, 5 A, 100-120/200-240 VAC Input	781093-01
Requires: 1 Connectivity Accessory			
NI cRIO-9074			
cRIO-9074 8-Slot Integrated 400 MHz Real-Time Ctrlr, 2M Gate FPGA	770099-01	Connectivity Accessory: Shielded - NI PS-15 Power Supply, 24 VDC, 5 A, 100-120/200-240 VAC Input	781093-01
Requires: 1 Connectivity Accessory			

[Back to Top](#)

Software Recommendations

LabVIEW Professional Development System for Windows



- Advanced software tools for large project development
- Automatic code generation using DAQ Assistant and Instrument I/O Assistant
- Tight integration with a wide range of hardware
- Advanced measurement analysis and digital signal processing
- Open connectivity with DLLs, ActiveX, and .NET objects
- Capability to build DLLs, executables, and MSI installers

NI LabVIEW Real-Time Module



- Design deterministic real-time applications with LabVIEW graphical programming
- Download to dedicated NI or third-party hardware for reliable execution and a wide selection of I/O
- Take advantage of built-in PID control, signal processing, and analysis functions
- Automatically take advantage of multicore CPUs or set processor affinity manually
- Includes real-time OS, development and debugging support, and board support
- Purchase individually or as part of a LabVIEW suite

NI LabVIEW FPGA Module



- Design FPGA applications for NI reconfigurable I/O (RIO) hardware targets
- Program with the same graphical environment used for desktop and real-time applications
- Execute control algorithms with loop rates up to 300 MHz
- Implement custom timing and triggering logic, digital protocols, and DSP algorithms
- Incorporate existing HDL code and third-party IP including Xilinx CORE Generator functions
- Included in the LabVIEW Embedded Control and Monitoring Suite

System Assurance Programs

NI system assurance programs are designed to make it even easier for you to own an NI system. These programs include configuration and deployment services for your NI PXI, CompactRIO, or Compact FieldPoint system. The NI Basic System Assurance Program provides a simple integration test and ensures that your system is delivered completely assembled in one box. When you configure your system with the NI Standard System Assurance Program, you can select from available NI system driver sets and application development environments to create customized, reorderable software configurations. Your system arrives fully assembled and tested in one box with your software preinstalled. When you order your system with the standard program, you also receive system-specific documentation including a bill of materials, an integration test report, a recommended maintenance plan, and frequently asked question documents. Finally, the standard program reduces the total cost of owning an NI system by providing three years of warranty coverage and calibration service. Use the online product advisors at ni.com/advisor to find a system assurance program to meet your needs.

Calibration

NI measurement hardware is calibrated to ensure measurement accuracy and verify that the device meets its published specifications. To ensure the ongoing accuracy of your measurement hardware, NI offers basic or detailed recalibration service that provides ongoing ISO 9001 audit compliance and confidence in your measurements. To learn more about NI calibration services or to locate a qualified service center near you, contact your local sales office or visit ni.com/calibration.

Technical Support

Get answers to your technical questions using the following National Instruments resources.

- **Support** - Visit ni.com/support to access the NI KnowledgeBase, example programs, and tutorials or to contact our applications engineers who are located in NI sales offices around the world and speak the local language.
- **Discussion Forums** - Visit forums.ni.com for a diverse set of discussion boards on topics you care about.
- **Online Community** - Visit community.ni.com to find, contribute, or collaborate on customer-contributed technical content with users like you.

Repair

While you may never need your hardware repaired, NI understands that unexpected events may lead to necessary repairs. NI offers repair services performed by highly trained technicians who quickly return your device with the guarantee that it will perform to factory specifications. For more information, visit ni.com/repair.

Training and Certifications

The NI training and certification program delivers the fastest, most certain route to increased proficiency and productivity using NI software and hardware. Training builds the skills to more efficiently develop robust, maintainable applications, while certification validates your knowledge and ability.

- **Classroom training in cities worldwide** - the most comprehensive hands-on training taught by engineers.
- **On-site training at your facility** - an excellent option to train multiple employees at the same time.
- **Online instructor-led training** - lower-cost, remote training if classroom or on-site courses are not possible.
- **Course kits** - lowest-cost, self-paced training that you can use as reference guides.
- **Training memberships and training credits** - to buy now and schedule training later.

Visit ni.com/training for more information.

Extended Warranty

NI offers options for extending the standard product warranty to meet the life-cycle requirements of your project. In addition, because NI understands that your requirements may change, the extended warranty is flexible in length and easily renewed. For more information, visit ni.com/warranty.

OEM

NI offers design-in consulting and product integration assistance if you need NI products for OEM applications. For information about special pricing and services for OEM customers, visit ni.com/oem.

Alliance

Our Professional Services Team is comprised of NI applications engineers, NI Consulting Services, and a worldwide National Instruments Alliance Partner program of more than 700 independent consultants and integrators. Services range from start-up assistance to turnkey system integration. Visit ni.com/alliance.

[Back to Top](#)

Detailed Specifications

The following specifications are typical for the -20 to 55 °C operating temperature range unless otherwise noted.

Network	
Network interface	10BaseT and 100BaseTX Ethernet
Compatibility	IEEE 802.3
Communication rates	10 Mbps, 100 Mbps, auto-negotiated
Maximum cabling distance	100 m/segment
RS-232 Serial Port	
Maximum baud rate	115,200 bps
Data bits	5, 6, 7, 8

Stop bits	1, 2
Parity	Odd, Even, Mark, Space
Flow control	RTS/CTS, XON/XOFF, DTR/DSR
Input Characteristics	
Minimum input voltage	0 V
Minimum low-level input voltage	0.94 V
Maximum high-level input voltage	2.43 V
Maximum input voltage	5.5 V
Typical input capacitance	2.5 pF
Typical resistive strapping	1 kΩ to 3.3 V
Memory	
cRIO-9075	
Nonvolatile	256 MB minimum
System memory	128 MB
cRIO-9078	
Nonvolatile	512 MB minimum
System memory	256 MB
Reconfigurable FPGA	
cRIO-9075	
FPGA type	Spartan-6 LX25
Number of logic cells	17,280
Available embedded RAM	936 kbits
Number of DMA channels	5
cRIO-9078	
FPGA type	Spartan-6 LX45
Number of logic cells	43,661
Available embedded RAM	2,088 kbits
Number of DMA channels	5
 For information about the life span of the nonvolatile memory and about best practices for using nonvolatile memory, go to ni.com/info and enter the Info Code 88DBP.	
Power Requirements	
 Caution You must use a UL Listed ITE power supply marked LPS with the cRIO-9075/9078.	
Recommended power supply	24 W, 24 VDC
Power consumption	15 W maximum
Power supply input range	9 to 30 V
Physical Characteristics	
If you need to clean the controller, wipe it with a dry towel.	
Screw-terminal wiring	0.5 to 2.5 mm ² (24 to 12 AWG) copper conductor wire with 10 mm (0.39 in.) of insulation stripped from the end
Torque for screw terminals	0.5 to 0.6 N · m (4.4 to 5.3 lb · in.)
Weight	643 g (22.7 oz)
Safety Voltages	
Connect only voltages that are within these limits.	
V terminal to C terminal	30 V max, Measurement Category I

Measurement Category I is for measurements performed on circuits not directly connected to the electrical distribution system referred to as MAINS voltage. MAINS is a hazardous live electrical supply system that powers equipment. This category is for measurements of voltages from specially protected secondary circuits. Such voltage measurements include signal levels, special equipment, limited-energy parts of equipment, circuits powered by regulated low-voltage sources, and electronics.



Caution Do not connect the system to signals or use for measurements within Measurement Categories II, III, or IV.

Safety Standards

This product is designed to meet the requirements of the following standards of safety for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

- IEC 61010-1, EN 61010-1
- UL 61010-1, CSA 61010-1



Note For UL and other safety certifications, refer to the product label or the [Online Product Certification](#) section.

Electromagnetic Compatibility

This product meets the requirements of the following EMC standards for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

- EN 61326 (IEC 61326): Class A emissions; Industrial Immunity
- EN 55011 (CISPR 11): Group 1, Class A emissions
- AS/NZS CISPR 11: Group 1, Class A emissions
- FCC 47 CFR Part 15B: Class A emissions
- ICES-001: Class A emissions



Note For the standards applied to assess the EMC of this product, refer to the [Online Product Certification](#) section.



Note For EMC compliance, operate this product according to the documentation.

CE Compliance

This product meets the essential requirements of applicable European Directives, as amended for CE marking, as follows:

- 2006/95/EC; Low-Voltage Directive (safety)
- 2004/108/EC; Electromagnetic Compatibility Directive (EMC)

Online Product Certification

Refer to the product Declaration of Conformity (DoC) for additional regulatory compliance information. To obtain product certifications and the DoC for this product, visit [ni.com/certification](#), search by module number or product line, and click the appropriate link in the Certification column.

Environmental Management

National Instruments is committed to designing and manufacturing products in an environmentally responsible manner. NI recognizes that eliminating certain hazardous substances from our products is beneficial not only to the environment but also to NI customers.

For additional environmental information, refer to the *NI and the Environment* Web page at [ni.com/environment](#). This page contains the environmental regulations and directives with which NI complies, as well as other environmental information not included in this document.

Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)



EU Customers At the end of the product life cycle, all products must be sent to a WEEE recycling center. For more information about WEEE recycling centers, National Instruments WEEE initiatives, and compliance with WEEE Directive 2002/96/EC on Waste Electrical and Electronic Equipment, visit [ni.com/environment/weee.htm](#).

Hazardous Locations

U.S. (UL)	Class I, Division 2, Groups A, B, C, D, T4; Class I, Zone 2, AEx nL IIC T4
Canada (C-UL)	Class I, Division 2, Groups A, B, C, D, T4; Class I, Zone 2, Ex nL IIC T4
Europe (DEMKO)	Ex nA nL IIC T4

Environmental

Operating temperature (IEC 60068-2-1, IEC 60068-2-2)	-20 to 55 °C
Note To meet this operating temperature range, follow the guidelines in the installation instructions for your CompactRIO system.	
Storage temperature (IEC 60068-2-1, IEC 60068-2-2)	-40 to 85 °C
Ingress protection	IP 40
Operating humidity (IEC 60068-2-56)	10 to 90% RH, noncondensing
Storage humidity (IEC 60068-2-56)	5 to 95% RH, noncondensing
Maximum altitude	2,000 m
Pollution Degree (IEC 60664)	2

Indoor use only.

Shock and Vibration

To meet these specifications, you must panel mount the CompactRIO system and affix ferrules to the ends of the power terminal wires.

Operating shock (IEC 60068-2-27)	30 g, 11 ms half sine 50 g, 3 ms half sine, 16 shocks at 6 orientations
Operating vibration, random (IEC 60068-2-64)	5 g_{rms} 10 to 500 Hz
Operating vibration, sinusoidal (IEC 60068-2-6)	5 g, 10 to 500 Hz

Cabling

The following table shows the standard Ethernet cable wiring connections for both normal and crossover cables.

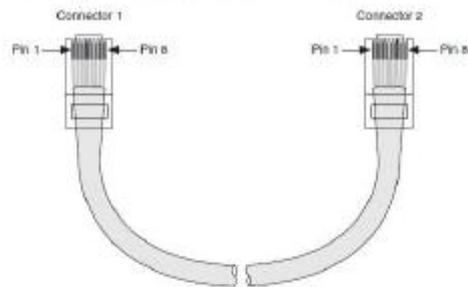


Figure 1. Ethernet Connector Pinout

Ethernet Cable Wiring Connections			
Pin	Connector 1	Connector 2 (Normal)	Connector 2 (Crossover)
1	white/orange	white/orange	white/green
2	orange	orange	green
3	white/green	white/green	white/orange
4	blue	blue	blue
5	white/blue	white/blue	white/blue
6	green	green	orange
7	white/brown	white/brown	white/brown
8	brown	brown	brown

[Back to Top](#)

©2010 National Instruments. All rights reserved. CompactRIO, RealPoint, LabVIEW, National Instruments, National Instruments Alliance Partner, NI, and ni.com are trademarks of National Instruments. Other product and company names listed are trademarks or trade names of their respective companies. A National Instruments Alliance Partner is a business entity independent from National Instruments and has no agency, partnership, or joint-venture relationship with National Instruments.

[My Profile](#) | [RSS](#) | [Privacy](#) | [Legal](#) | [Contact NI](#) © 2014 National Instruments Corporation. All rights reserved.

NI 9795



Technical Sales

(866) 531-6265
orders@ni.com

For user manuals and dimensional drawings, visit the product page resource tab on ni.com.

Last Revised: 2014-11-06 07:15:07.0

NI 9795**C Series WSN Gateway**

- Elegantly add wireless I/O to your NI CompactRIO system
- Insert into any available slot in your CompactRIO chassis (one gateway per chassis currently supported)
- Data from distributed WSN measurement nodes is available from the host or within your CompactRIO real-time application
- 2.4 GHz, IEEE 802.15.4 radio to communicate with up to 38 distributed WSN nodes per chassis
- Up to 200 m outdoor range with line of sight

Overview

The National Instruments wireless sensor network (WSN) platform delivers low-power measurement nodes that offer industrial certifications, reliable networking, and optional weatherproof outdoor enclosures for long-term, remote monitoring applications.

Using the NI 9795 C Series WSN gateway, you can elegantly combine the benefits of distributed WSN monitoring with high-performance CompactRIO measurement and control systems. With this flexibility, you can create complete wired and wireless measurement and control solutions that meet your unique application needs.

The NI 9795 plugs into any available slot in your CompactRIO chassis and manages the wireless network of distributed WSN measurement nodes. Through the RIO Scan Interface, WSN I/O data is made available in your deployed LabVIEW Real-Time application, where you can integrate WSN I/O with the rest of your measurement and control system. Conversely, you can also access WSN I/O data directly from a host machine connected to the CompactRIO system. Because the data is passed through the scan interface, you can use the NI 9795 only in CompactRIO chassis that work with the scan interface. Additionally, only one NI 9795 is supported per CompactRIO chassis at this time.

With graphical NI LabVIEW software, you can easily configure your network, collect measurement data, trigger alarms through SMS or email, and even view monitoring data within a web browser. With the LabVIEW Real-Time Module, you can deploy embedded applications to run on CompactRIO to perform local processing, data hosting, and communication with other devices through serial or Ethernet. With the LabVIEW Wireless Sensor Network (WSN) Module, you can customize the behavior of programmable NI WSN measurement nodes. Use this module to optimize node behavior for your application, customize sample and transmission rates, perform onboard analysis or data reduction, respond to digital value changes, perform local control of digital I/O lines, and even store data to flash memory.

[Back to Top](#)**Application and Technology****System and Network Architectures**

NI wireless sensor networks (WSNs) are ideally suited for long-term remote monitoring applications focusing on subjects such as the environment, water quality, structural health, energy consumption, transportation, and machine conditioning. NI WSN measurement nodes can withstand outdoor and industrial environments and reliably monitor assets or surroundings to provide enhanced visibility into the overall health of your systems or processes.

The NI WSN system is built on a low-power, reliable IEEE 802.15.4 network. The WSN gateway coordinates the wireless network, performing functions such as device authentication, message buffering, and network topology administration.

The gateway, routers, and end nodes work together to form a mesh network. Measurement nodes can operate as routers or end nodes, providing the flexibility to extend the range of your sensor network. When nodes are configured as routers, they can repeat messages from end nodes and extend network range while acquiring measurement data.



Figure 1. Choose from three different gateways that deliver unique connectivity options.

Up to 96 measurement nodes can communicate with a single gateway, and each gateway can operate on any of 14 wireless communication channels to increase network size and ensure coexistence with other wireless devices. This allows a full WSN system to scale to over 2,000 analog channels (14 gateways multiplied by 96 nodes per gateway multiplied by 4 analog channels per node).

Software Overview

With NI-WSN software, you can easily configure your sensor network and quickly extract measurement data from your wireless sensor network with the LabVIEW graphical development environment.

NI WSN measurement nodes configured with a gateway are automatically added to your LabVIEW project, giving you instant access to their I/O and properties. Simply drag and drop I/O variables from a LabVIEW project to a LabVIEW block diagram for data extraction, analysis, and presentation. Using the drag-and-drop LabVIEW variables, you can monitor the analog and digital channels as well as other node attributes such as link quality, battery voltage, and whether a node is configured as a router or end node. Because of these properties, you can intelligently maintain your network and choose the best locations for your measurement nodes. The LabVIEW project interface also offers access to node property configuration utilities. You can modify node sample intervals, define the analog and digital channel parameters, and define device aliases.

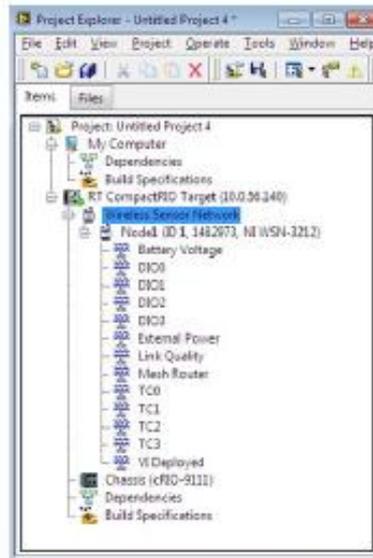


Figure 2. NI 9795 WSN System in the LabVIEW Project

Simply drag and drop I/O variables from the LabVIEW project to a LabVIEW block diagram for data extraction, logging, analysis, and presentation.

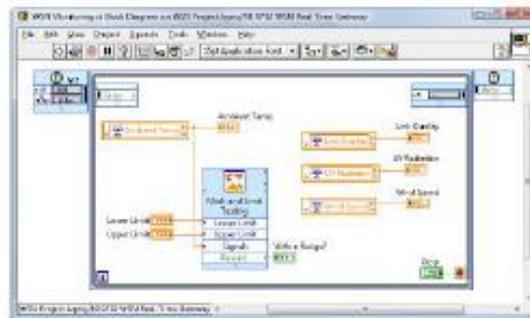


Figure 3. Extracting NI WSN Measurement Data Using LabVIEW

LabVIEW delivers a common development environment for all of your monitoring and control applications as well as rapid programming, easy network configuration, and open connectivity to a variety of third-party instruments and systems. And with a multitude of LabVIEW add-ons, you can visualize data in a web browser, conduct advanced data processing and analysis, or perform integrated event detection and alarming.

CompactRIO Programming (LabVIEW Real-Time)

The LabVIEW Real-Time Module helps you use LabVIEW graphical programming to create applications that run on embedded hardware targets such as CompactRIO. You can use most of the built-in math and signal processing algorithms that come with LabVIEW in your real-time applications and add embedded data logging and communication. In addition, you can run textual math scripts on your real-time system with the optional LabVIEW MathScript RT Module. Developing real-time programs in LabVIEW is nearly identical to developing standard LabVIEW applications for your PC. Your embedded, real-time program can provide the following capabilities:

- Remote configuration, data access, alarms, and notifications using the onboard web server
- Open communication through TCP/IP, Modbus, serial, shared variables, and web services
- Third-party connectivity to other WSN gateways/vendors
- Remote communication through email and FTP protocols
- Watchdog functions to automatically restart some hardware targets if your program stops running

Node Programming (LabVIEW WSN)

NI recommends the programmable versions of both nodes and gateways. You can customize the behavior of programmable NI WSN measurement nodes with the LabVIEW WSN Module. Use this module to perform custom analysis, extend battery life, and embed local decision-making on NI WSN measurement nodes.

With the LabVIEW WSN Module, you can significantly lengthen the battery life of your NI WSN measurement nodes while increasing performance and flexibility. By default, a node transmits every acquired value back to the gateway at the specified sample interval; however, in many applications, it is sufficient to simply monitor a given input for a threshold crossing or average values over a period of time. In these applications, powering the radio to transmit every acquired sample uses excessive power and reduces battery life. With LabVIEW WSN, you can add intelligence to the node to transmit data only when required. Additionally, you can monitor battery voltage and network status as well as modify the sample interval of the node to optimize behavior for specific operating conditions.

This also helps you achieve higher sample rates by customizing how the node acquires and transmits data. Exact sample rates depend on how many channels you are sampling, the analysis performed on each sample, and how many samples are transmitted back to the host, but programmable WSN nodes can achieve faster sample rates than those noted in the specifications. Refer to the LabVIEW WSN benchmarks white paper on NI Developer Zone for more information on increasing sample rates.

Using a subset of LabVIEW analysis functions and floating-point math operations, you can preprocess data acquired by NI WSN measurement nodes. A variety of analog and digital sensors can interface directly with these nodes, and you can use LabVIEW WSN to scale and convert raw sensor data into meaningful engineering units before transmitting.

With LabVIEW WSN, you can also embed intelligence on NI WSN measurement nodes, so decisions can be made autonomously without transmitting the stimulus and response to and from a host computer or embedded controller. You can use the digital output lines on an NI WSN measurement node to actuate relays and perform simple on/off control. For example, a programmed node can turn on a fan when a temperature threshold is exceeded, which reduces response time and increases reliability by removing the need for host interaction.

WSN Accessories

NI WSN accessories feature options for gateway and measurement node mounting as well as a weatherproof enclosure for outdoor use of the measurement nodes and gateways.

Please view the [WSN accessories data sheet](#) for a complete list of WSN mounting accessories, outdoor enclosures, backhaul kits, and power supplies.

[Back to Top](#)

Support and Services

System Assurance Programs

NI system assurance programs are designed to make it even easier for you to own an NI system. These programs include configuration and deployment services for your NI PXI, CompactRIO, or Compact FieldPoint system. The NI Basic System Assurance Program provides a simple integration test and ensures that your system is delivered completely assembled in one box. When you configure your system with the NI Standard System Assurance Program, you can select from available NI system driver sets and application development environments to create customized, reorderable software configurations. Your system arrives fully assembled and tested in one box with your software preinstalled. When you order your system with the standard program, you also receive system-specific documentation including a bill of materials, an integration test report, a recommended maintenance plan, and frequently asked question documents. Finally, the standard program reduces the total cost of owning an NI system by providing three years of warranty coverage and calibration service. Use the online product advisors at [ni.com/advisor](#) to find a system assurance program to meet your needs.

Calibration

NI measurement hardware is calibrated to ensure measurement accuracy and verify that the device meets its published specifications. To ensure the ongoing accuracy of your measurement hardware, NI offers basic or detailed recalibration service that provides ongoing ISO 9001 audit compliance and confidence in your measurements. To learn more about NI calibration services or to locate a qualified service center near you, contact your local sales office or visit [ni.com/calibration](#).

Technical Support

Get answers to your technical questions using the following National Instruments resources.

- **Support** - Visit [ni.com/support](#) to access the NI KnowledgeBase, example programs, and tutorials or to contact our applications engineers who are located in NI sales offices around the world and speak the local language.
- **Discussion Forums** - Visit [forums.ni.com](#) for a diverse set of discussion boards on topics you care about.
- **Online Community** - Visit [community.ni.com](#) to find, contribute, or collaborate on customer-contributed technical content with users like you.

Repair

While you may never need your hardware repaired, NI understands that unexpected events may lead to necessary repairs. NI offers repair services performed by highly trained technicians who quickly return your device with the guarantee that it will perform to factory specifications. For more information, visit [ni.com/repair](#).

Training and Certifications

The NI training and certification program delivers the fastest, most certain route to increased proficiency and productivity using NI software and hardware. Training builds the skills to more efficiently develop robust, maintainable applications, while certification validates your knowledge and ability.

- **Classroom training in cities worldwide** - the most comprehensive hands-on training taught by engineers.
- **On-site training at your facility** - an excellent option to train multiple employees at the same time.
- **Online instructor-led training** - lower-cost, remote training if classroom or on-site courses are not possible.
- **Course kits** - lowest-cost, self-paced training that you can use as reference guides.
- **Training memberships and training credits** - to buy now and schedule training later.

Visit [ni.com/training](#) for more information.

Extended Warranty

NI offers options for extending the standard product warranty to meet the life-cycle requirements of your project. In addition, because NI understands that your requirements may change, the extended warranty is flexible in length and easily renewed. For more information, visit [ni.com/warranty](#).

OEM

NI offers design-in consulting and product integration assistance if you need NI products for OEM applications. For information about special pricing and services for OEM customers, visit [ni.com/oem](#).

NI WSN 3226



Technical Sales

(866) 531-8285
orders@ni.com

Ordering Information | Detailed Specifications | Pinouts/Front Panel Connectors
For user manuals and dimensional drawings, visit the product page resource tab on nio.com.

Last Revised: 2014-11-06 07:13:56.0

Wireless Sensor Network Programmable Analog Input Measurement Nodes
NI WSN-3202, NI WSN-3212, NI WSN-3226



- Create a reliable network, with support for hundreds of nodes, to monitor your assets or environment
- Programmable with the LabVIEW Wireless Sensor Network (WSN) Module: Customize node behavior to extend battery life, increase sample rates, save data locally, and perform local analysis and DIO control
- NI-WSN software provides easy network configuration, drag-and-drop LabVIEW programming, and support for logging, alarming, and web-based data visualization
- Low-power operation, with up to 3-year battery life
- 2.4 GHz, IEEE 802.15.4 radio that provides up to 300m outdoor range
- Four analog input channels per measurement node
- Bi-directional digital channels, configurable for input, sinking output, or sourcing output (2-4 DIO channels per node)
- Industrial ratings: -40 to 70 °C operating temperature and 50 g shock, 5 g vibration

Overview

The National Instruments wireless sensor network (WSN) platform delivers low-power measurement nodes that offer industrial certifications, reliable networking, and optional weatherproof outdoor enclosures for long-term, remote monitoring applications. The measurement nodes have direct sensor connectivity and a 2.4 GHz radio to wirelessly transmit data to a WSN gateway. Each measurement node offers four analog input channels and two to four digital I/O channels that you can configure for input, sinking output, or sourcing output. With graphical LabVIEW software, you can easily configure your network, collect measurement data, trigger alarms through SMS or E-mail, and even view monitoring data within a web browser. With the NI LabVIEW Wireless Sensor Network (WSN) Module, you can customize the behavior of programmable NI WSN measurement nodes. Use this module to optimize node behavior for your application: customize sample and transmission rates, perform onboard analysis or data reduction, respond to digital value changes, perform local control of DIO lines, and even store data to flash memory.

[Back to Top](#)

Comparison Tables

Model	Signal Type(s)	Analog Input Channels	Resolution (bits)	Minimum Sample Interval (seconds)	Input Range(s)	DIO Channels	DIO Voltage Range (V)	Maximum DIO Sourcing (aggregate)	Additional Features
NI WSN-3202	Voltage	4	16	1	±10, ±5, ±2, ±0.5 V	4 (sinking or sourcing)	5 to 30	1 A	12 V, 20 mA sensor power output
NI WSN-3212	Thermocouple, Voltage	4	24	2	±73 mV	4 (sinking or sourcing)	5 to 30	500 mA	Support for J, K, R, S, T, N, B, E thermocouple types
NI WSN-3226	Voltage, Resistance/RTD	4	20	1	±10V, 400Ω, 4kΩ, 100kΩ	2 (sinking or sourcing)	5 to 30	1A	12V, 50mA sensor power output, 50/60Hz rejection, battery backup support

[Back to Top](#)

Application and Technology

Programmable WSN Measurement Nodes and the LabVIEW WSN Module

NI recommends the programmable versions of NI WSN measurement nodes. Using programmable nodes and the LabVIEW WSN Module, you can use graphical programming to customize node firmware and optimize node operation for your applications.

You can use LabVIEW WSN applications to extend battery life, perform onboard analysis or data reduction, and even programmatically control DIO lines in response to analog data or network status changes. The programmable nodes also deliver access to the node's onboard flash memory, where you can store measurement data or other node parameters.

An example LabVIEW WSN application might be used to sample the analog inputs once an hour, store measurement data to flash, and transmit 24 data points at midnight each day. This same application could be used to turn on a relay or actuator if analog data rose above a specified threshold, such as turning on a fan if an acquired temperature was above a critical level. And since these applications are written in the LabVIEW graphical development environment, customizing node firmware is easy, without any need for low-level assembly or machine code knowledge. With the LabVIEW WSN Module, the custom applications are wirelessly downloaded to the node's onboard processor, where they can dictate sample and transmission rates, onboard data analysis, and how the node responds to network status changes or digital value changes.

Power

You can power the NI WSN measurement nodes with four 1.5V AA alkaline battery cells, delivering three-year battery-powered operation at a one minute sample interval. The NI WSN-3226 also supports 1.5V AA lithium cells. Each node features an external power port, so that you can provide line power, or use other forms of power such as solar or vibration energy harvesting. The NI WSN-3226 supports battery backup, meaning you can connect both external and battery power; the node will default to external power and automatically switch to battery power in the event the external power drops below a voltage threshold. The external power input should be used to power NI WSN nodes operating in router mode, which is a feature that you can enable in software to set up a self-healing mesh network of nodes. Router nodes increase density, distance, and redundancy in your wireless network.

Each node offers bi-directional digital I/O channels for input, sinking output, or sourcing output. You must use an external power supply to provide sourcing output through the digital I/O channels, with a maximum total current output (aggregate on all channels) of 500 mA on the WSN-3212 and 1 A on the WSN-3202 and WSN-3226. The WSN-3202 and WSN-3226 also feature a 12 V sensor power output line that can be used to drive external sensors.

Wireless and Mesh Networking

The measurement nodes and gateways communicate wirelessly using 2.4 GHz radios and the reliable NI-WSN protocol based on IEEE 802.15.4. The network accommodates up to 36 nodes per gateway, with access to 14 non-overlapping wireless channels, so that you can reliably configure 14 36-node networks (2,016 analog channels) in the same vicinity without sharing any wireless bandwidth. Each radio delivers an outdoor range of up to 300m with line of sight, and up to 100m indoors, performing reliably even in high EMI environments.

Gateways, routers, and end nodes work together to form a mesh network. Measurement nodes can operate as routers or end nodes, providing the flexibility to extend the range or density of your sensor network. When nodes are configured as routers, they can repeat messages from end nodes and extend network range while acquiring measurement data.

When a node powers up, it scans for available networks, locates either a gateway or router node, and attempts to join. When the node joins the network, it downloads the latest configuration from the gateway, and begins its normal operation of acquiring measurement data, controlling digital I/O, and transmitting data back to the gateway for processing, alarming, and visualization.

Software Overview

With NI-WSN software, you can easily configure your sensor network and quickly extract measurement data from your wireless sensor network with the LabVIEW graphical development environment.

NI WSN measurement nodes configured with a gateway are automatically added to your LabVIEW Project, giving you instant access to their I/O and properties. Simply drag and drop I/O variables from a LabVIEW project to a LabVIEW block diagram for data extraction, analysis, and presentation. Using the drag-and-drop LabVIEW variables, you can monitor the analog and digital channels as well as other node attributes such as link quality, battery voltage, and whether a node is configured as a router or end node. These properties allow you to intelligently maintain your network and choose the best locations for your measurement nodes. The LabVIEW Project Interface also offers access to node property configuration utilities. You can modify node sample intervals, define the analog and digital channel parameters, and provide aliases.

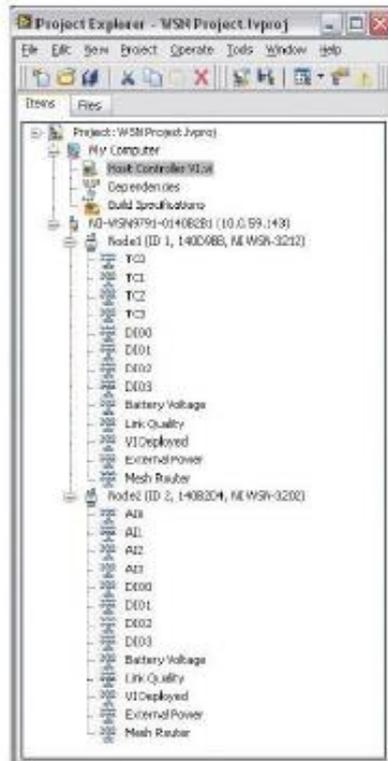


Figure 1. LabVIEW Project and NI WSN

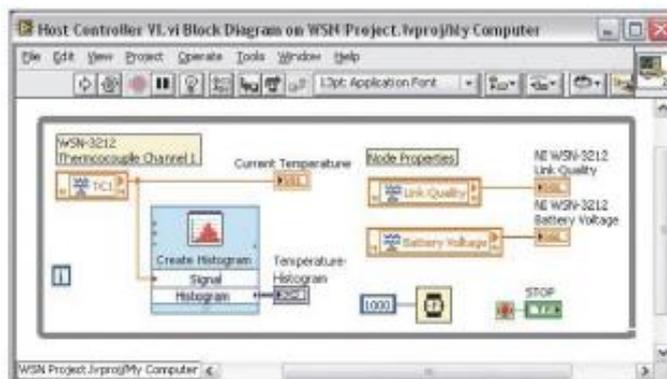


Figure 2. Extracting NI WSN Measurement Data Using LabVIEW

LabVIEW delivers a common development environment for all of your monitoring and control applications as well as rapid programming, easy network configuration, and open connectivity to a variety of third-party instruments and systems. And with a multitude of LabVIEW add-ons, you can visualize data in a web browser, conduct advanced data processing and analysis, or perform integrated event detection and alarming.

Node Programming (LabVIEW WSN)

You can customize the behavior of programmable NI WSN measurement nodes with the LabVIEW WSN Module. Use this module to perform custom analysis, extend battery life, and embed local decision making on NI WSN measurement nodes.

With the LabVIEW WSN Module, you can significantly increase the battery life of your NI WSN measurement nodes while increasing performance and flexibility. By default, a node transmits every acquired value back to the gateway at the specified sample interval; however, in many applications, it is sufficient to simply monitor a given input for a threshold crossing or average value over a period of time. In these applications, powering the radio to transmit every acquired sample uses excessive power and reduces battery life. With LabVIEW WSN, you can add intelligence to the node to transmit data only when required. Additionally, you can monitor battery voltage and network status as well as modify the sample interval of the node to optimize behavior for specific operating conditions.

This also helps you achieve higher sample rates by customizing how the node acquires and transmits data. Exact sample rates depend on how many channels you are sampling, the analysis performed on each sample, and how many samples are transmitted back to the host, but programmable WSN nodes can achieve faster sample rates than those noted in the specifications. Refer to the LabVIEW WSN Benchmarks white paper on NI Developer Zone for more information on increasing sample rates.

Using a subset of LabVIEW analysis functions and floating-point math operations, you can preprocess data acquired by NI WSN measurement nodes. A variety of analog and digital sensors can interface directly with these nodes, and you can use LabVIEW WSN to scale and convert raw sensor data into meaningful engineering units before transmitting.

With LabVIEW WSN, you can also embed intelligence on NI WSN measurement nodes, so decisions can be made autonomously without transmitting the stimulus and response to and from a host computer or embedded controller. You can use the digital output lines on an NI WSN measurement node to actuate relays and perform simple on/off control. For example, a programmed node can turn on a fan when a temperature threshold is exceeded, which reduces response time and increases reliability by removing the need for host interaction.

NI WSN Applications and Architectures

NI wireless sensor networks are ideally suited for long-term remote monitoring applications such as environmental monitoring, water quality monitoring, structural health monitoring, energy quality and consumption monitoring, transportation, and machine condition monitoring. NI WSN measurement nodes can withstand outdoor and industrial environments and reliably monitor assets or surroundings to provide enhanced visibility into the overall health of your systems or processes.

The NI WSN platform can function as a simple, standalone wireless monitoring system, or be combined with other hardware components to achieve a complete wired and wireless measurement and control system. Through LabVIEW, you can combine NI wireless sensor network devices with other NI platforms to customize and enhance your measurement capabilities. You can complement your NI WSN with embedded CompactRIO systems, vision systems, or even human machine interfaces (HMIs) to create a fully integrated solution that meets the unique needs of your application.

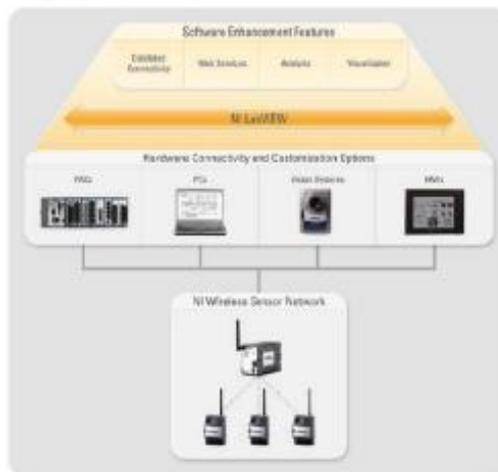


Figure 3. Customize and enhance your NI WSN system.

Mechanical Information

The measurement node housing measures 5 by 3.3 by 1.5 in. (H by W by D), with the external antenna extending 4.25 in., resulting in a total height of 9.25 in. You can unscrew the faceplate of the measurement node to reveal the battery compartment, which holds four AA batteries and a reset button for manual reboots. Consult the user guide for detailed mechanical information.



Figure 6. Measurement Node External Features



Figure 7. Outdoor Enclosure with NI WSN Measurement Node (not included)

Accessories

NI WSN accessories include options for gateway and measurement node mounting as well as weatherproof enclosures for outdoor use of the measurement nodes and gateways. Available mounting accessories include options to panel mount and DIN-rail mount WSN measurement nodes and gateways. The NI WSN-3281 magnetic panel mount kit provides easy setup and takedown on virtually any metal surface. For high shock and vibration applications, NI recommends a panel mounting configuration rather than DIN-rail.

The NI WSN-3291 is an outdoor, weatherproof enclosure for NI WSN measurement nodes. The enclosure features two I/O glands for routing power or sensor cables and is shipped with four I/O gland inserts and two I/O gland plugs so you can customize the glands for your application. The WSN-3291 offers an IP65 (Ingress Protection) rating to protect NI WSN measurement nodes for long-term, outdoor deployment.

Please view the WSN Accessories datasheet for a complete list of WSN mounting accessories, outdoor enclosures, backshell kits, and power supplies.

[Back to Top](#)

Ordering Information

For a complete list of accessories, visit the product page on [ni.com](#).

Products	Part Number	Recommended Accessories	Part Number
Programmable Measurement Nodes			
NI WSN-3202 Analog Input Node (Americas)	780097-02	No accessories required.	
NI WSN-3202 Analog Input Node (Europe/Asia)	780097-12	No accessories required.	
NI WSN-3212 Thermocouple Input Node (Americas)	780098-02	No accessories required.	
NI WSN-3212 Thermocouple Input Node (Europe/Asia)	780098-12	No accessories required.	
NI WSN-3226 Voltage/RTD Combination Node (Americas)	781295-02	No accessories required.	
NI WSN-3226 Voltage/RTD Combination Node (Europe/Asia)	781295-12	No accessories required.	
Non programmable Measurement Nodes			
NI WSN-3212 Thermocouple Input Node (Americas)	780098-01	No accessories required.	
NI WSN-3212 Thermocouple Input Node (Europe/Asia)	780098-11	No accessories required.	
NI WSN-3226 Voltage/RTD Combination Node (Americas)	781295-01	No accessories required.	
NI WSN-3226 Voltage/RTD Combination Node (Europe/Asia)	781295-11	No accessories required.	
NI WSN-3202 Analog Input Node (Americas)	780097-01	No accessories required.	
NI WSN-3202 Analog Input Node (Europe/Asia)	780097-11	No accessories required.	
Outdoor Enclosures			
NI WSN-3291 Measurement Node Enclosure	780094-01	No accessories required.	
NI WSN-3294 Ethernet Gateway Enclosure	109075-01	No accessories required.	
WSN Gateways			
NI WSN-4791 Ethernet Gateway (Europe/Asia)	780096-11	No accessories required.	
NI 9792 Programmable WSN Gateway (Americas)	781294-01	No accessories required.	
NI 9792 Programmable WSN Gateway (Europe/Asia)	781294-11	No accessories required.	
NI WSN-4791 Ethernet Gateway (Americas)	780096-01	No accessories required.	
Starter Kits			
NI WSN Starter Kit (Americas)	781080-01	No accessories required.	
NI WSN Starter Kit (Europe/Asia)	781080-11	No accessories required.	

[Back to Top](#)

Support and Services

System Assurance Programs

NI system assurance programs are designed to make it even easier for you to own an NI system. These programs include configuration and deployment services for your NI PXI, CompactRIO, or Compact FieldPoint system. The NI Basic System Assurance Program provides a simple integration test and ensures that your system is delivered completely assembled in one box. When you configure your system with the NI Standard System Assurance Program, you can select from available NI system driver sets and application development environments to create customized, readable software configurations. Your system arrives fully assembled and tested in one box with your software preinstalled. When you order your system with the standard program, you also receive system-specific documentation including a bill of materials, an integration test report, a recommended maintenance plan, and frequently asked question documents. Finally, the standard program reduces the total cost of owning an NI system by providing three years of warranty coverage and calibration service. Use the online product advisors at [ni.com/advisor](#) to find a system assurance program to meet your needs.

Calibration

NI measurement hardware is calibrated to ensure measurement accuracy and verify that the device meets its published specifications. To ensure the ongoing accuracy of your measurement hardware, NI offers basic or detailed recalibration service that provides ongoing ISO 9001 audit compliance and confidence in your measurements. To learn more about NI calibration services or to locate a qualified service center near you, contact your local sales office or visit [ni.com/calibration](#).

Technical Support

Get answers to your technical questions using the following National Instruments resources.

- **Support** - Visit [ni.com/support](#) to access the NI KnowledgeBase, example programs, and tutorials or to contact our applications engineers who are located in NI sales offices around the world and speak the local language.

- **Discussion Forums** - Visit forums.ni.com for a diverse set of discussion boards on topics you care about.
- **Online Community** - Visit community.ni.com to find, contribute, or collaborate on customer-contributed technical content with users like you.

Repair

While you may never need your hardware repaired, NI understands that unexpected events may lead to necessary repairs. NI offers repair services performed by highly trained technicians who quickly return your device with the guarantee that it will perform to factory specifications. For more information, visit ni.com/repair.

Training and Certifications

The NI training and certification program delivers the fastest, most certain route to increased proficiency and productivity using NI software and hardware. Training builds the skills to more efficiently develop robust, maintainable applications, while certification validates your knowledge and ability.

- **Classroom training in cities worldwide** - the most comprehensive hands-on training taught by engineers.
- **On-site training at your facility** - an excellent option to train multiple employees at the same time.
- **Online instructor-led training** - lower-cost, remote training if classroom or on-site courses are not possible.
- **Course kits** - lowest-cost, self-paced training that you can use as reference guides.
- **Training memberships and training credits** - to buy now and schedule training later.

Visit ni.com/training for more information.

Extended Warranty

NI offers options for extending the standard product warranty to meet the life-cycle requirements of your project. In addition, because NI understands that your requirements may change, the extended warranty is flexible in length and easily renewed. For more information, visit ni.com/warranty.

OEM

NI offers design-in consulting and product integration assistance if you need NI products for OEM applications. For information about special pricing and services for OEM customers, visit ni.com/oem.

Alliance

Our Professional Services Team is comprised of NI applications engineers, NI Consulting Services, and a worldwide National Instruments Alliance Partner program of more than 700 independent consultants and integrators. Services range from start-up assistance to turnkey system integration. Visit ni.com/alliance.

[Back to Top](#)

Detailed Specifications

These specifications are typical from -40 to 70 °C, and assume high rejection strength mode and 50/60 Hz filter rejection mode unless otherwise noted. Some specifications (such as sample interval and power consumption) can be optimized by customizing node behavior with the NI LabVIEW Wireless Sensor Network (WSN) Module Pioneer. Refer to the LabVIEW WSN Pioneer Performance Benchmarks document, at zone.ni.com for more information.

For the NI WSN gateway specifications, refer to the [gateway documentation](#).

Analog Input Characteristics									
Number of channels	4 single-ended								
Sampling mode	Scanned								
Minimum sample interval	1 s								
ADC resolution	Up to 20 bits								
DNL	No missing codes guaranteed								
Modes (configurable per channel)	Voltage, 3-wire RTD/resistance								
Powerline filtering modes	50 Hz, 60 Hz, 50/60 Hz, none								
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Normal mode rejection, filter characteristics</th> </tr> <tr> <th>Filtering Strength</th> <th>Filter Rejection</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>High rejection</td> <td>-80 dB at 50 and/or 60 Hz, ± 1 Hz</td> </tr> <tr> <td>Low power</td> <td>-30 dB at 50 and/or 60 Hz, ± 1 Hz</td> </tr> </tbody> </table>		Normal mode rejection, filter characteristics		Filtering Strength	Filter Rejection	High rejection	-80 dB at 50 and/or 60 Hz, ± 1 Hz	Low power	-30 dB at 50 and/or 60 Hz, ± 1 Hz
Normal mode rejection, filter characteristics									
Filtering Strength	Filter Rejection								
High rejection	-80 dB at 50 and/or 60 Hz, ± 1 Hz								
Low power	-30 dB at 50 and/or 60 Hz, ± 1 Hz								
Overvoltage protection	± 30 VDC								
Voltage Input									
Nominal range	± 10 VDC								
Input impedance	1 M Ω								

Noise	30 μV_{rms}
Voltage Accuracy	
Gain drift	11 ppm/°C
Offset drift	90 $\mu\text{V}/\text{C}$

Measurement Conditions	Percent of Reading (Gain Error)	Percent of Range (Offset Error)
Typical, 25 °C, ± 5 °C	$\pm 0.02\%$	$\pm 0.01\%$ (± 1 mV)
Maximum, -40 °C to 70 °C	$\pm 0.2\%$	$\pm 0.1\%$ (± 10 mV)

* Range equals 10 V

Resistance Input	
Nominal Range	Excitation Current
10 to 400 Ω	1 mA
20 to 4000 Ω	350 μA
250 to 100 k Ω	20 μA

RTD Temperature Accuracy [*]					
Range	Measurement Conditions	Typical (25 °C, ± 5 °C)	Maximum, (-40 °C to 70 °C)	Temperature Drift	Noise
Pt100	-200 °C to 150 °C	0.2 °C 0.3 °C	1 °C 2.7 °C	0.017 °C/°C	0.01 °C _{rms}
	150 °C to 850 °C			0.028 °C/°C	
Pt1000	-200 °C to 150 °C	0.1 °C 0.2 °C	0.7 °C 2 °C	0.005 °C/°C	0.01 °C _{rms}
	150 °C to 850 °C			0.013 °C/°C	

* Up to 5 m of 22 AWG copper leads, 5% lead length mismatch.

Resistance Accuracy [*]						
Range	Measurement Conditions	Percent of Range (Offset Error)	Percent of Reading (Gain Error)	Typical Temperature Drift		Noise
				Offset	Gain	
400 Ω	Typical (25 °C, ± 5 °C)	$\pm 0.02\%$ (± 0.08 Ω)	$\pm 0.01\%$	± 8 m Ω /°C	± 10 ppm/°C	0.005 Ω_{rms}
	Maximum (-40 °C to 70 °C)	$\pm 0.08\%$ (± 0.32 Ω)	$\pm 0.2\%$			
4000 Ω	Typical (25 °C, ± 5 °C)	$\pm 0.005\%$ (± 0.2 Ω)	$\pm 0.01\%$	± 13 m Ω /°C	± 11 ppm/°C	0.02 Ω_{rms}
	Maximum (-40 °C to 70 °C)	$\pm 0.05\%$ (± 2 Ω)	$\pm 0.15\%$			
100 k Ω	Typical (25 °C, ± 5 °C)	$\pm 0.005\%$ (± 5 Ω)	$\pm 0.01\%$	± 0.3 Ω /°C	± 18 ppm/°C	5 Ω_{rms}
	Maximum (-40 °C to 70 °C)	$\pm 0.05\%$ (± 50 Ω)	$\pm 0.21\%$			

* Up to 5 m of 22 AWG copper leads, 5% lead length mismatch.

Sensor Power	
Voltage	12 V $\pm 10\%$
Current	50 mA maximum
Protection	
Short circuit proof	Indefinitely
Overvoltage protection	± 30 V
Digital I/O	
Number of channels	2
Power-on output state	High impedance

DIO pin capacitance	2000 pF
Digital Input	
Modes (configurable per channel)	24V Sinking, 24V Sinking with Power Management, TTL Logic, Contact Closure
Input voltage range	0 to 30 VDC maximum
Digital input logic level thresholds	
TTL Logic and Contact Closure modes	
High level (ON) input voltage	≥ 2 V
Low level (OFF) input voltage	≤ 0.8 V
24V modes	
IEC 1131-2 compatibility	Type 1 and 3
High level (ON) input voltage	≥ 10 V
High level (ON) input current	≤ 2 mA
High level (OFF) input voltage	≤ 8 V
Low level (OFF) input current	≤ 1 mA
Input current	
TTL Logic and Contact Closure modes	≤ 375 μ A at 30 V ≤ 110 μ A at 5 V ≤ 80 μ A at 3 V
Contact Closure mode pull-up current	≤ 175 μ A through closed contact
24V modes	≤ 8.4 mA at 30 V ≤ 3.2 mA at 15 V
Minimum detectable pulse width	
TTL Logic mode	30 μ s
24V modes	30 μ s
Contact closure mode	100 μ s
Digital Output	
Modes (configurable per channel)	Drive High (Sourcing), Drive Low (Sinking), Drive High and Low (Sinking and Sourcing), and 3V TTL Logic (Open-Collector with Pull-Up)
DIO power supply voltage range (V_{DIO_PWR})	3 to 30 V
Sourcing current (one channel)	0.25 A maximum
Sinking current (per channel)	1 A maximum
Output voltage	
Sourcing	$>(V_{DIO_PWR}-750$ mV) with $I_{OUT} < 0.25$ A
Sinking	< 50 mV with $I_{OUT} < 1$ A
3V TTL Logic mode pull-up	> 2 V with $I_{OUT} < 20$ μ A
DO protection	
Voltage	+30 VDC maximum
Reversed voltage	None
Short circuit (sourcing)	
Tripp current	0.28 A minimum, 1.2 A maximum
Tripp time	< 250 μ s, at 1.2 A
Overcurrent (sinking)	6.5 A maximum

DO propagation delay	
Sinking	150 μ s
Sourcing	2.5 ms
Node Resources for LabVIEW WSN	
Minimum sample interval	0.1 s
User flash size	188 Kbytes
Number of flash erase cycles per sector	100,000
Wireless Characteristics	
Radio mode	IEEE 802.15.4
RF data rate	250 Kbps
Range	
Americas	Up to 300 m
International	Up to 150 m
Frequency band ¹	ISM 2.4 GHz (2400 MHz to 2483.5 MHz)
Channels ¹	11-24
TX power	
Americas	+17 dBm maximum (50 mW)
International	+10 dBm maximum
Modulation type	DSSS (O-QPSK)
Receiver sensitivity	-102 dBm
Antenna	
Connector	Female RP-SMA connector
VSWR	2.0 maximum
Impedance	50 Ω
Directivity	Omni
Nominal gain	1.5 dBi
Power Requirements	
The following power requirements specifications are typical at 25 °C.	
Battery Power	
 Caution Do not use rechargeable batteries.	
Internal battery	4 AA 1.5 V alkaline or lithium batteries
Recommended batteries	Energizer EN 91 AA, alkaline Duracell MN1500 AA, alkaline Energizer LR1 AA, lithium
Battery operating temperature range	
Energizer LR1	-40 °C to 80 °C
Energizer EN1	-18 °C to 55 °C
Duracell MN1500	-20 °C to 54 °C
Voltage range	3.6 to 7.5 V
Power consumption ²	

Sleep mode	0.5 mW
60 second sample interval	0.5 mW
1 second sample interval	20 mW
Battery life ²	
60 second sample interval	Up to 3 years
1 second sample interval	Up to 1 month
External Power	
 Caution You must use a UL Listed ITE power supply marked LPS with the NI WSN-3226. The power supply must also meet any safety and compliance requirements for the country of use.	
Voltage range	5 to 30 V
Power input mating connector	2-position mini-combion, Phoenix Contact part number: 1714977
Power consumption ³	
Sleep mode	1 mW
60 second sample interval	1 mW at 12 V
1 second sample interval	20 mW at 12 V
Router mode ⁴	200 mW at 12 V
Physical Characteristics	
Screw-terminal wiring	14 to 24 AWG wire
Torque for screw terminals	0.2 to 0.25 N · m
Dimensions	Refer to the <i>NI WSN-3226 User Guide and Specifications</i> for device dimensions
Weight	Approx. 242 g (8.5 oz)
Weight with antenna	Approx. 256 g (9 oz)
Calibration	
You can obtain the calibration certificate and information about calibration services for the NI WSN-3226 at ni.com/calibration .	
Calibration interval	3 years
Safety Standards	
This product is designed to meet the requirements of the following standards of safety for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:	
<ul style="list-style-type: none"> • IEC 61010-1, EN 61010-1 • UL 61010-1, CSA 61010-1 	
 Note For UL and other safety certifications, refer to the product label or the <i>Online Product Certification</i> section.	
Hazardous Locations	
U.S. (UL)	Class I, Division 2, Groups A, B, C, D, T4; Class I, Zone 2, AEx nC IIC T4
Canada (C-UL)	Class I, Division 2, Groups A, B, C, D, T4; Class I, Zone 2, Ex nL IIC T4
Europe (DEMKO)	Ex nA nL IIC T4
Safety Voltages	
Connect only voltages that are within these limits.	
V terminal to C terminal	30 V maximum, Measurement Category I
Measurement Category I is for measurements performed on circuits not directly connected to the electrical distribution system referred to as MAINS voltage. MAINS is a hazardous live electrical supply system that powers equipment. This category is for measurements of voltages from specially protected secondary circuits. Such voltage measurements include signal levels, special equipment, limited-energy parts of equipment, circuits powered by regulated low-voltage sources, and electronics.	
 Caution Do not connect the system to signals or use for measurements within Measurement Categories II, III, or IV.	

RF Safety Warning

This product complies with FCC radiation exposure limits set for uncontrolled equipment and meets the FCC radio frequency (RF) Exposure Guidelines in Supplement C to OETB5. This product generates and radiates radio frequency energy. To comply with the radio frequency radiation exposure guidelines in an uncontrolled environment, this equipment should be installed and operated with at least 20 cm between the radiator and the person's body (excluding extremities: hands, wrists, feet, and legs).

This product complies with the European Council Recommendation (1995/519/EC) on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields. Compliance was determined in accordance with the requirements in EN 50371.

Environmental

Operating temperature (IEC-60068-2-1 and IEC-60068-2-2)	-40 to 70 °C
Storage temperature (IEC-60068-2-1 and IEC-60068-2-2)	-40 to 85 °C
Operating humidity (IEC-60068-2-56)	10 to 90% RH, noncondensing
Storage humidity (IEC-60068-2-56)	5 to 95% RH, noncondensing
Pollution Degree (IEC 60664)	2
Maximum altitude	2,000 m
Indoor use only	

Shock and Vibration

Operating vibration, random (IEC 60068-2-64)	5 g _{rms} , 10 to 500 Hz
Operating shock (IEC 60068-2-27)	30 g, 11 ms half sine, 50 g, 3 ms half sine, 18 shocks at 6 orientations
Operating vibration, sinusoidal (IEC 60068-2-6)	5 g, 10 to 500 Hz

Electromagnetic Compatibility

 Caution Electromagnetic interference can adversely affect the measurement accuracy of this product. The input/output terminals of this device are not protected for electromagnetic interference. As a result, this device may experience reduced measurement accuracy or other temporary performance degradation when connected cables are routed in an environment with radiated or conducted radio frequency electromagnetic interference. To limit radiated emissions and to ensure that this device functions within specifications in its operational electromagnetic environment, take precautions when designing, selecting, and installing measurement probes and cables.

This product is designed to meet the requirements of the following standards of EMC for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

- EN 61326-2-1 (IEC 61326-2-1): Class A emissions; Basic Immunity
- EN 55011 (CISPR 11): Group 1, Class A emissions
- AS/NZS CISPR 11: Group 1, Class A emissions
- FCC 47 CFR Part 15B: Class A emissions
- ICES-001: Class A emissions

This product also meets the requirements of the following EMC standards for intentional radiators:

- EN 300 328
- EN 301 489-1 and EN 301 489-17
- FCC 47 CFR Part 15C
- IC R88-210

 Note For EMC certification and additional information, refer to the product label or the Online Product Certification section.

CE Compliance 

This product meets the essential requirements of applicable European Directives, as amended for CE marking, as follows:

- 2006/95/EC; Low-Voltage Directive (safety)
- 2004/108/EC; Electromagnetic Compatibility (EMC) Directive
- 1999/5/EC; Radio and Telecommunications Terminal Equipment (R&TTE) Directive

Regulatory Information**United States**

This product complies with Part 15 of the FCC Rules. Operation is subject to these two conditions: (1) this device may not cause harmful interference, and (2) this device must accept any interference received, including interference that may cause undesired operation.

Canada

This product complies with Industry Canada RSS-210.

Cet appareil est conforme aux norme RSS210 d'Industrie Canada.

Europe-EU Declaration of Conformity 

Marking by the above CE symbol on the label indicates compliance with the Essential Requirements of the R&TTE Directive of the European Union (1999/5/EC). This equipment meets the following conformance standards: EN 300 893, EN 300 328, EN 301 480-17, EN 60950.

Europe - Restrictions for Use of 2.4 GHz Frequencies in European Community Countries

Belgie/ Belgique:	For private usage outside buildings across public grounds over less than 300 m no special registration with IBPT/BIPT is required. Registration to IBPT/BIPT is required for private usage outside buildings across public grounds over more than 300 m. For registration and license please contact IBPT/BIPT. Voor privé-gebruik buiten gebouwen over openbare grond over afstand kleiner dan 300 m geen registratie bij BIPT/BIPT nodig. Voor gebruik over afstand groter dan 300 m is wel registratie bij BIPT/BIPT nodig. Voor registratie of licentie kunt u contact opnemen met BIPT. Dans le cas d'une utilisation privée, à l'extérieur d'un bâtiment, au-dessus d'un espace public, aucun enregistrement n'est nécessaire pour une distance de moins de 300 m. Pour une distance supérieure à 300 m un enregistrement auprès de l'IBPT est requis. Pour les enregistrements et licences, veuillez contacter l'IBPT.
Deutschland:	License required for outdoor installations. Check with reseller for procedure to follow. Anmeldung im Outdoor-Bereich notwendig, aber nicht genehmigungspflichtig Bitte mit Händler die Vorgehensweise abstimmen.
France:	Restricted frequency band: only channels 1 to 7 (2400 MHz and 2454 MHz respectively) may be used outdoors in France. Bande de fréquence restreinte : seuls les canaux 1-7 (2400 et 2454 MHz respectivement) doivent être utilisés en extérieur en France. Vous pouvez contacter l'Autorité de Régulation des Télécommunications (http://www.arf-telecom.fr) pour la procédure à suivre.
Italia:	License required for indoor use. Use with outdoor installations not allowed. E' necessaria la concessione ministeriale anche per l'uso interno. Verificare con i rivenditori la procedura da seguire.
Nederland:	License required for outdoor installations. Check with reseller for procedure to follow. Licentie verplicht voor gebruik met buitenantennes. Neem contact op met verkoper voor juiste procedure.

Japan

The certified radio equipment is embedded in this device.

 **本機器には認証済み無線設備が内蔵されています**

Singapore



Taiwan R.O.C

低功率電波輻射性電機管理辦法

第十二條經型式認證合格之低功率射頻電機，非經許可，公司、商號或使用者均不得擅自變更頻率、加大功率或變更原設計之特性及功能。
第十四條低功率射頻電機之使用不得影響飛航安全及干擾合法通信；經發現有干擾現象時，應立即停用，並改善至無干擾時方得繼續使用。
前項合法通信，指依電信規定作業之無線電信。低功率射頻電機須忍受合法通信或工業、科學及醫療用電波輻射性電機設備之干擾。

EU Regulatory Statements

 Český [Czech]	National Instruments tímto prohlašuje, že tento NI WSN-3226 je ve shodě se základními požadavky a dalšími příslušnými ustanoveními směrnice 1999/5/ES.
 Dansk [Danish]	Undertegnede National Instruments erklærer herved, at følgende udstyr NI WSN-3226 overholder de væsentlige krav og frivige relevante krav i direktiv 1999/5/EF.
 Deutsch [German]	Hiermit erkläre National Instruments, dass sich das Gerät NI WSN-3226 in Übereinstimmung mit den grundlegenden Anforderungen und den übrigen einschlägigen Bestimmungen der Richtlinie 1999/5/EG befindet.
 Eest [Estonian]	Käesolevaga kinnitab National Instruments seadme NI WSN-3226 vastavust direktiivi 1999/5/EÜ põhinõuetele ja nimetatud direktiivist tulenevatele teistele asjakohastele sätetele.
 English	Hereby, National Instruments, declares that this NI WSN-3226 is in compliance with the essential requirements and other relevant provisions of Directive 1999/5/EC.
 Español [Spanish]	Por medio de la presente National Instruments declara que el NI WSN-3226 cumple con los requisitos esenciales y cualesquiera otras disposiciones aplicables o exigibles de la Directiva 1999/5/CE.

Ελληνικά [Greek]	ΜΕ ΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΙΑ National Instruments ΔΗΛΩΝΕΙ ΟΤΙ ΝΙ WSN-3226 ΣΥΜΜΟΡΦΩΝΕΤΑΙ ΠΡΟΣ ΤΙΣ ΟΥΣΙΟΔΕΙΞ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΤΙΣ ΛΟΠΙΕΙ ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΤΗΣ ΟΔΗΓΙΑΣ 1999/5/ΕΚ.
Français [French]	Par la présente National Instruments déclare que l'appareil NI WSN-3226 est conforme aux exigences essentielles et aux autres dispositions pertinentes de la directive 1999/5/CE.
Italiano [Italian]	Con la presente National Instruments dichiara che questo NI WSN-3226 è conforme ai requisiti essenziali ed alle altre disposizioni pertinenti stabilite dalla direttiva 1999/5/CE.
Latvīki [Latvian]	Ar šo National Instruments deklarē, ka NI WSN-3226 atbilst Direktīvas 1999/5/EK būtiskajām prasībām un citām ar to saistītajām noteikumiem.
Lietuvių [Lithuanian]	Šiuo National Instruments deklaruojame, kad šis NI WSN-3226 atitinka esminius reikalavimus ir kitas 1999/5/EB Direktivos nuostatas.
Nederlands [Dutch]	Hierbij verklaart National Instruments dat het toestel NI WSN-3226 in overeenstemming is met de essentiële eisen en de andere relevante bepalingen van richtlijn 1999/5/EG.
Malti [Maltese]	Hawnhekk, National Instruments, jiddeklara li dan NI WSN-3226 jikkonforma mal-hiġġiet essenzjali u ma provvedimenti oħrajn relevanti li hemm fid-Direttiva 1999/5/EC.
Magyar [Hungarian]	Azúljelöl, National Instruments nyilatkozik, hogy a NI WSN-3226 megfelel a vonatkozó alapvető követelményeknek és az 1999/5/EC irányelv egyéb előírásainak.
Polski [Polish]	Niniejszym National Instruments oświadczam, że NI WSN-3226 jest zgodny z zasadniczymi wymogami oraz pozostałymi słownikowymi postanowieniami Dyrektywy 1999/5/EC.
Português [Portuguese]	National Instruments declara que este NI WSN-3226 está conforme com os requisitos essenciais e outras disposições da Diretiva 1999/5/CE.
Slovensko [Slovenian]	National Instruments izjavlja, da je ta NI WSN-3226 v skladu z bistvenimi zahtevami in ostalimi relevantnimi določili direktive 1999/5/ES.
Slovensky [Slovak]	National Instruments týmto vyhlasuje, „e NI WSN-3226 spĺňa základné požiadavky a všetky príslušné ustanovenia Smernice 1999/5/ES.
Suomi [Finnish]	National Instruments vakuuttaa täten että NI WSN-3226 täyttävien lähe on direktiivin 1999/5/EY esitellisten vaatusten ja sitä koskevien direktiivin muiden ehtojen mukainen.
Svenska [Swedish]	Härmed intygar National Instruments att denna NI WSN-3226 står i överensstämmelse med de väsentliga egenskapskrav och övriga relevanta bestämmelser som framgår av direktiv 1999/5/EG.
Íslenska [Icelandic]	Hér með lýsir National Instruments yfir því að NI WSN-3226 er í samræmi við grunnkröfur og aðrar kröfur, sem gefar eru í lískilpun 1999/5/EC.
Norsk [Norwegian]	National Instruments erklærer herved at utstyret NI WSN-3226 er i samsvar med de grunnleggende krav og øvrige relevante krav i direktiv 1999/5/EF.

Online Product Certification

To obtain product certifications and the DoC for this product, visit ni.com/certification, search by model number or product line, and click the appropriate link in the Certification column.

Environmental Management

NI is committed to designing and manufacturing products in an environmentally responsible manner. NI recognizes that eliminating certain hazardous substances from our products is beneficial not only to the environment but also to NI customers.

For additional environmental information, refer to the NI and the Environment Web page at ni.com/environment. This page contains the environmental regulations and directives with which NI complies, as well as other environmental information not included in this document.

Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)

EU Customers At the end of the product life cycle, all products must be sent to a WEEE recycling center. For more information about WEEE recycling centers, National Instruments WEEE initiatives, and compliance with WEEE Directive 2002/96/EC on Waste Electrical and Electronic Equipment, visit ni.com/environment/wsee.htm.

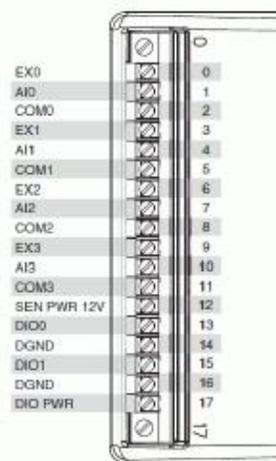
Battery Replacement and Disposal

Battery Directive After replacement, recycle the old battery. For information about the available collection and recycling scheme (and your nearest National Instruments Branch Office) or on Battery Directive compliance (Directive 2006/66/EC of the European Parliament and Council) in a particular EU country visit ni.com/company/partnership/product.htm#battery.

电子信息产品污染控制管理办法 (中国 RoHS)

中国客户 National Instruments 符合中国电子信息产品中限制使用某些有害物质指令 (RoHS)。

Pinouts/Front Panel Connections



NI WSN-3228 Pinout

Piranómetro Kipp & Zonen SP-Lite 2



SP Lite2 Silicon Pyranometer

For Cost Effective Measurement of Global Radiation

Compact and lightweight

Designed for use under all weather conditions

Used around the world in meteorology, hydrology and agriculture

Ideal for solar energy applications

Introduction

The effects of solar radiation are far reaching and it drives the dynamic processes on the Earth's surface and in the atmosphere. The total (global) irradiance on a plane surface is measured by a pyranometer. Kipp & Zonen has been manufacturing pyranometers for over 75 years and we produce models at all price and performance points, up to the very best available. However, some applications require a small and relatively low cost sensor with a fast response time, whilst retaining Kipp & Zonen quality. Therefore we developed the SP Lite2 Silicon Pyranometer.

SP Lite2 can be used under all weather conditions and is designed for a long operating life with simple maintenance. The sensor receives solar energy from the entire hemisphere in its view and produces a small voltage output that can be converted into the irradiance in Watts per square meter (W/m^2).

SP Lite2 is installed around the world for meteorology, hydrology, agriculture and building automation; where reliable measurement at relatively low cost is required, and

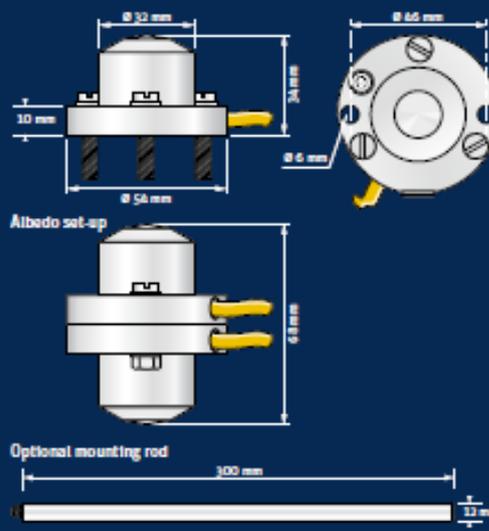
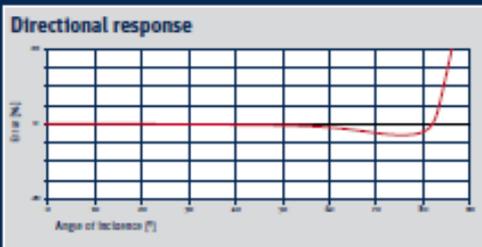
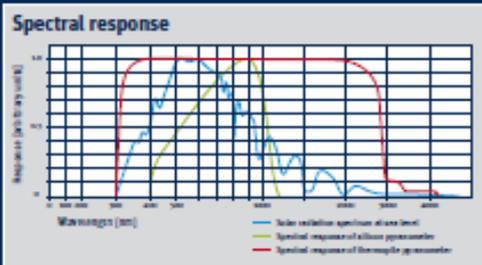
the performance of a broadband thermopile pyranometer is not needed.

SP Lite2 is particularly suited to monitoring the efficiency of photovoltaic solar energy systems, where the spectral response is similar to that of PV cells. Solar radiation is also a key input to decision making on activities such as product quality control, determination of optimum location and predicting the system output under various sky conditions.

SP Lite2 is a simple pyranometer for routine measurements of solar radiation. It has a conical diffuser that provides excellent directional (cosine) response, causes rain to run off and is easy to clean. Although the spectral range is limited by the photo-diode detector, the performance of the SP Lite2 compares favorably to ISO 9060 Second Class thermopile pyranometers under clear and unobstructed natural daylight conditions.

The mounting flange incorporates a bubble level and adjustment screws, for easy leveling. A threaded hole takes the accessory screw-in mounting rod for fitting to masts and poles. Two SP Lite2 Instruments can easily be bolted back-to-back, and fitted with the mounting rod, to make a simple albedometer. The standard cable length is 5 m, with an option of 15 m. SP Lite2 is ideal for use with the METEON handheld display and data logger for field test testing.

Specifications	
Spectral range (overall)	400 to 1100 nm
Sensitivity	60 to 100 $\mu\text{V/W/m}^2$
Sensitivity (10 $\mu\text{V/W/m}^2$ variation)	10 to 5 $\mu\text{V/W/m}^2$
Impedance	50 Ω
Impedance (10 $\mu\text{V/W/m}^2$ variation)	< 10 Ω
Expected output range (0 to 1500 W/m^2)	0 to 150 mV
Expected output range (10 $\mu\text{V/W/m}^2$ variation)	0 to 15 mV
Maximum operational irradiance	2000 W/m^2
Response time (95%)	< 500 ms
Non-stability (change/year)	< 2%
Non-linearity (0 to 2000 W/m^2)	< 2.5%
Directional response (up to 80° with 2000 W/m^2 beam)	< 10 W/m^2
Temperature response	-0.15 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Field of view	180°
Accuracy of bubble level	< 0.2°
Detector type	Photo-diode
Operational temperature range	-40°C to +80°C
Storage temperature range	-40°C to +80°C
Humidity range	0 to 100% non-condensing
Ingress Protection (IP) rating	6r



Go to www.kippzonen.com for your local distributor

HEAD OFFICE

Kipp & Zonen B.V.
 Dolfbachtpark 36, 2628 XH Delft
 P.O. Box 507, 2600 AM Delft
 The Netherlands
 T: +31 (0) 15 2755 210
 F: +31 (0) 15 2620 351
 info@kippzonen.com



Kipp & Zonen B.V. reserve the right to alter specifications of the equipment described in this documentation without prior notice

Sensor de temperatura y humedad Galltec Mela KPC 2/4-TS

Galltec Mess- und Regeltechnik GmbH
D-71145 Bondorf - Germany
Tel. +49 (0)7457-9453-0 Fax +49 (0)7457-3758
E-Mail: sensoren@galltec.de - Internet: www.galltec.de

MELA Sensortechnik GmbH
D-07987 Mühltal (Thüringen) - Germany
Tel. +49(0)3681-82704-0 Fax +49(0)3681-82704-20
E-mail: mela@melasensor.de - Internet: www.melasensor.de

**Galltec
+mela**



Product info sheet no. C 2.4
Humidity-/temperature sensor
Meteorological design

Description

Mela®-humidity-/temperature sensors in the PC-ME and RC-ME series are compact sensors in a rod-type design with a fixed connecting cable (5 m) or with a robust aluminium connecting head and terminal screws and a high degree of accuracy, which have been specially developed for meteorological applications. The ZE 20-type membrane filter, which is fitted as standard, provides the element with reliable protection outdoors. We recommend that you use the version with the ZE 21-type sintered high-grade steel filter at particularly high wind speeds or if the sensor is exposed to salt mist and sand (close to the sea, desert, mountains, areas with high wind speeds, and the likes). Use of capacitive humidity sensor elements is a guarantee of:

- high long-term stability
- almost linear characteristic curve
- good dynamic performance
- resistance to dew formation
- small hysteresis.

Technical data**Humidity**

Measuring range 0... 100% rh
Accuracy (MR 5...95%rh at 10...40°C) ±2% rh
at <10°C, >40°C <0.1%/K additional
Response time (at calm air) < 20 sec

Temperature

Measuring element (DIN EN 60751) Pt 100 1/3 DIN
Measuring range -30...+70°C
Accuracy
Output: 0...1V (-27...70°C) ±0.2 K
0...10V (-29...70°C) ±0.2 K
4...20mA (RC) ±0.3 K
at <10°C, >40°C ±0.007K/K additional

Other data

Ambient temperature -40...+80°C
Degree of protection sensor/electronic IP 30/IP 65
Operating voltage
U-output 0...10V 15...30V DC
U-output 0...1V 6...30V DC
I-output 12...30V DC

min. load resistance 0...10V/ 0...1V ≥10kΩ/≥2kΩ
Load (current-output) acc. diagramm
Power consumption
0...10V, 2x0...1V <5mA
0...1V <1mA
Minimum air speed
(across the sensor):
Output: 0...10V, 2x0...1V ≥0.5m/s
4...20mA, 2x0...10V ≥1.5m/s
2x4...20mA ≥1.5 m/s
Self-heating Pt 100 (1m/s, 2mA, 20°C) 0.1 K
Electromagnetic compatibility
Emitted interference EN 55011 cl. B
Noise Immunity EN 50082-2
„subject to technical modifications“

Type versions

Measuring unit	Analogue output	with	
		membrane filter ZE 20	sintered filter ZE 21
F rel. humidity	0...10 V	FPC 2/5 - ME	FPC 2/5 - ME
	0...1V	FPC 1/5 - ME*	FPC 1/5 - ME*
	0...10 V, Pt 100	CPC 2/5 - ME	CPC 2/5 - ME
h.h. + temp.	0...1 V, Pt 100	CPC 1/5 - ME*	CPC 1/5 - ME*
	2 x 0...10 V	KPC 2/5 - ME	KPC 2/5 - ME
h.h. + temp.	2 x 0...1 V	KPC 1/5 - ME	KPC 1/5 - ME
	Pt 100	TPC 5/5 - ME	TPC 5/5 - ME
T Temperature	0...10 V	TRC 2/5 - ME	TRC 2/5 - ME
	0...1 V	TRC 1/5 - ME	TRC 1/5 - ME
Weight		ca. 310 g	ca. 320 g

Measuring unit	Analogue output	with	
		connecting head ZE 20	connecting head ZE 21
F rel. humidity	4...20 mA	FRC 3/5 - ME	FRC 3/5 - ME
	0...10 V	FRC 2/5 - ME	FRC 2/5 - ME
	0...1V	FRC 1/5 - ME	FRC 1/5 - ME
C	4...20 mA, Pt 100	CRC 3/5 - ME	CRC 3/5 - ME
	0...10 V, Pt 100	CRC 2/5 - ME	CRC 2/5 - ME
	0...1 V, Pt 100	CRC 1/5 - ME	CRC 1/5 - ME
h.h. + temp.	2 x 4...20 mA	KRC 3/5 - ME	KRC 3/5 - ME
	2 x 0...10 V	KRC 2/5 - ME	KRC 2/5 - ME
	2 x 0...1 V	KRC 1/5 - ME	KRC 1/5 - ME
T Temperature	Pt 100	TRC 5/5 - ME	TRC 5/5 - ME
	4...20 mA	TRC 3/5 - ME	TRC 3/5 - ME
	0...10 V	TRC 2/5 - ME	TRC 2/5 - ME
	0...1 V	TRC 1/5 - ME	TRC 1/5 - ME
Weight		ca. 60 g	ca. 60 g

Special versions available on request

This information is based on current knowledge and is intended to provide details of our products and their possible applications. It does not, therefore, act as a guarantee of specific properties of the products described or of their suitability for a particular application. It is our experience that the equipment may be used across a broad spectrum of applications under the most varied conditions and loads. We cannot approve every individual case. Purchasers and/or users are responsible for checking the equipment for suitability for any particular application. Any existing industrial rights of protection must be observed. The perfect quality of our products is guaranteed under our General Conditions of Sale, Issue: March 2004 valid until 31.12.2006 C24_0. Subject to modifications, current version available at www.galltec.de. This issue supersedes all previous technical leaflets.

User Instructions

Install the humidity/temperature sensors in a place where characteristic climatic conditions can be measured. If it is used outdoors, it should ideally be used in a ZA 161/1-type weather guard. Avoid direct sunlight.

The specified minimum air speeds and the operating voltage-adapted current at current-output (diagram) should be complied with. Deviations may lead to additional corrupted measurement readings because the sensor self-heats.

The sensor can be installed in any position. However, do not position it in a position where water ingress can occur. Dew formation and splashes do not damage the sensor, although corrupted measurement readings are recorded until all the moisture on and directly around the sensor element has dried up.

In order to maintain Interference Immunity in accordance with EN 80082-2 when it is in use, we recommend that you use a screened cable for connecting the RC series sensors, and have this fitted into the sensor's EMC heavy-gauge conduit thread by a qualified electrician.

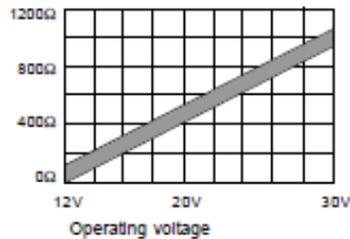
The protective filter should only be screwed off carefully to check functioning with a humidity standard.

Take care not to touch the highly sensitive sensor element. If necessary, soiled ZE 21-type sintered filters can be screwed off and rinsed. When you screw them back on, bear in mind that sensors will not measure accurately again until they are completely dry.

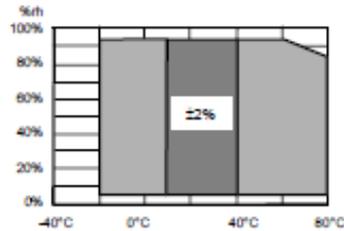
For mounting support we recommend a console type 20.009 and an attachment plate type ZA 20 (Product info sheet No. F5.1). In order to check functioning in the place of installation, we recommend that you use the ZE 31/1-type humidity standard (product info sheet no. F 5.2)

Please consult the application instructions for the sensing elements (product info sheet no. A 1) or check with the manufacturer for further information which you need to bear in mind when using humidity sensors with capacitive sensing elements.

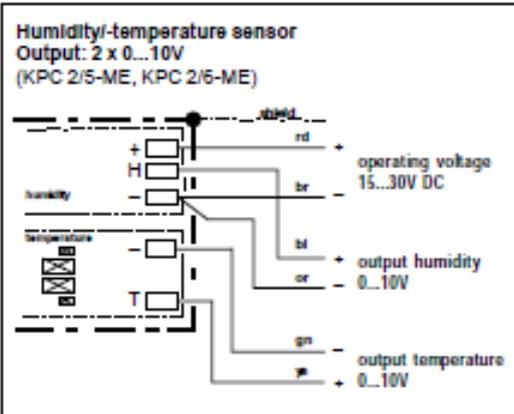
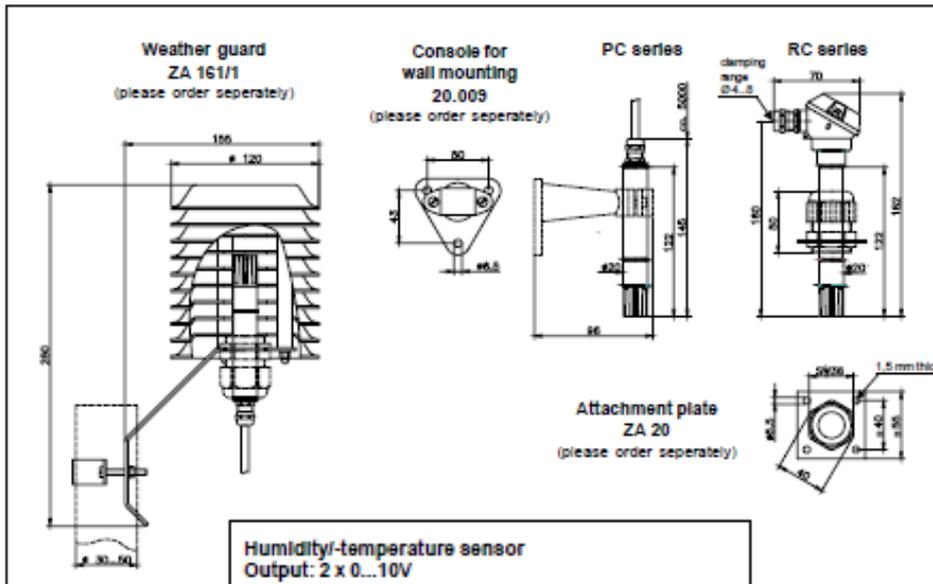
Load at current output



Tolerance validity range for humidity



Dimensions



Carga electrónica BK Precision 8500

Data Sheet

DC Electronic Loads 8500 Series



Versatile & Economical DC Electronic Loads

The 8500 series Programmable DC Electronic Loads can be used for testing and evaluating a variety of DC power sources. Their wide operating ranges of up to 500 V and 240 A, flexible operating modes and excellent measurement accuracy make the 8500 series well suited for characterizing DC Power supplies, DC-DC Converters, batteries, fuel cells and solar cells.

The loads can operate in CC, CV, CR or CP mode while voltage/current or resistance/power values are measured and displayed in real time. Load terminals are isolated and floating. Over temperature, over power, over voltage, over current and reverse polarity protection will help protect your valuable prototype and circuits.

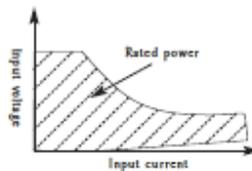
The DC loads are easy to use. All parameters can be set quickly and precisely from the front panel, or programmed via RS232 or USB interfaces.

The 8500 family offers 10 models with a wide range of ratings

Model	Power	Operating Voltage	Rated Current
8500	300 W	0.1 - 120 V	30 A
8502	300 W	0.1 - 500 V	15 A
8510	600 W	0.1 - 120 V	120 A
8512	600 W	0.1 - 500 V	30 A
8514	1200 W	0.1 - 120 V	240 A
8518	1200 W	0.1 - 60 V	240 A
8520	2400 W	0.1 - 120 V	240 A
8522	2400 W	0.1 - 500 V	120 A
8524	5000 W	0.1 - 60 V	240 A
8526	5000 W	0.1 - 500 V	120 A

When selecting a DC load, it is important to consider not only voltage and current requirements, but also power ratings. The power used when testing must fall within the hatched region for the appropriate DC load.

Some applications may require high voltage/low current and low voltage/high current which a single load may not be able to handle. B&K Precision's broad range of DC loads will allow you to select the optimal model for your requirements.



Technical data subject to change
© B&K Precision Corp. 2014

www.bkprecision.com



DC Electronic Loads
8500 Series

Features

- Constant current (CC), resistance (CR), voltage (CV) and power (CP) operation
- Wide voltage and current range, 0 to 500 V, 0 to 240 A (5000 W max)
- Low minimum operating voltage of < 0.1 V and minimum input resistance of 5 mΩ (model 8518) allowing the load to sink high current at low voltages, required for fuel and solar cell applications
- Selected models operate up to 500 V, suitable for high voltage applications
- Built-in transient generator
- Short circuit test
- Built-in high resolution (0.1 mA/1 mV) voltage and current measurement (models 8500 & 8502)
- Bright, easy to read display (VFD technology)
- Over-Current/Over-Voltage/Over-Power/Over-Temperature Protection
- RS232 to TTL, USB to TTL serial converter cables and application software included
- List mode operation for increased throughput.
- Battery testing mode to provide A*hr rating of battery (ending voltage level is adjustable)
- Flexible triggering: Create trigger events by front panel keystroke, back panel TTL signal, or software
- Remote voltage sensing to compensate for the effect of voltage drop in wires.
- Store 25 instrument setups
- Thermostatically-controlled fans allow operation in quiet environments with minimal disruption
- All models are rack mountable. Compact 300 W and 600 W models for bench use

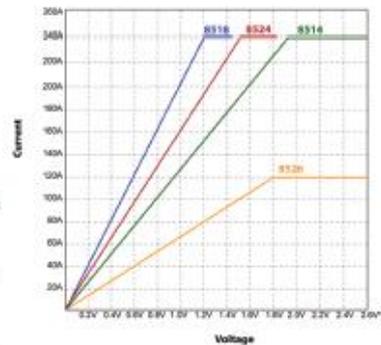


Applications:

- DC power supply testing
- Characterization of rechargeable batteries. A battery test mode is provided that will measure the ampere*hour (A*hr) characteristic of a battery
- Fuel and solar cell test
- High voltage applications

Low voltage operation

The 8500 series can operate well below 1 V which is important for low voltage application such as fuel cell and solar cell testing. All models can regulate (provide a stable input) down to 0.1 V. Model 8518, due to its particularly low input resistance, can operate at full scale current of 240 A at 1.2 V (see image)



Typical minimum operating voltage at full scale current:

8500	8502	8510	8512	8514	8518	8520	8522	8524	8526
1.05 V	3 V	1.8 V	3 V	1.92 V	1.2 V	10.8 V	3.6 V	1.56 V	1.8 V

DC Electronic Loads 8500 Series

▲ Front panel

The numeric keys and rotary knob provide a convenient interface for setting the operating mode and desired current/voltage/resistance levels quickly and precisely. Voltage and current can be set to a maximum resolution of 1 mV and 0.1 mA respectively (models 8500 and 8502 only). Up to 25 different instrument setups can be stored and recalled from internal memory.

1) High resolution, easy to read display
Displays set values and measured values. Current/voltage and power/resistance displays can be toggled. Display resolution for current and voltage is user-selectable. Maximum resolution for model 8500 and 8502 is 1 mV/0.1 mA.

2) Convenient data entry
Rotary knob for quick analog-style control. Turn to adjust a setting value. Press to toggle measurement display mode.

3) Numeric keypad
Conveniently enter set values directly and access secondary functions.



4) Function keys
Activate current, voltage, power, or resistance modes and scroll through menus and options.

5) Front panel load terminals
Connect to device under test. Hex-head screw terminals.

Hex-head screw terminals

Terminals are used for models 8518 and 8520 – 8526 to connect wires.



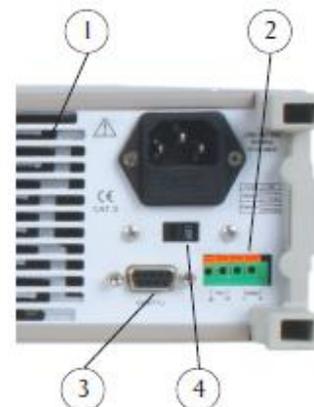
▲ Rear panel

1) Air vents
Temperature-controlled fan expels air through these vents to keep the temperature constant inside the system.

2) Trigger and remote sensing terminal block
Connect sensing lines to this terminal to compensate for voltage drops due to load wire resistance. This terminal block also contains the two connections for the remote TTL trigger input signal.

3) Interface connection
Serial interface connector for RS232 or USB communication.

4) Voltage switch
Line voltage selection switch (110 VAC or 220 VAC).



DC Electronic Loads 8500 Series

▲ Flexible operating modes

CC, CR, CV and CP mode

In Constant Current (CC) mode, the load will sink a current according to the programmed current value regardless of the input voltage. (CC) mode can be used for load regulation testing of DC power supplies or for characterizing the discharge profile of a battery.

Constant Power (CP) mode simulates a load whose power consumption is independent of the applied voltage. Constant Power (CP) mode is useful for battery testing and simulating a realistic discharge curve.

In Constant Voltage (CV) mode, the load will attempt to sink enough current to control the source voltage to the programmed value. This mode is suitable for testing battery chargers.

In Constant Resistance (CR) mode, the load will sink a current linearly proportional to the input voltage in accordance with the programmed

resistance. Unlike conventional resistors, the load resistance stays constant regardless of the power level.

Transient generator

The 8500 series offers a variable frequency generator which can be used in all operating modes. The DC load will toggle between 2 preset levels at a frequency between 0.1 Hz to 1 kHz, either continuously or controlled by a trigger.

Triggered operation

Triggering is used to allow synchronization of the DC Load's behavior with other events. You can generate a trigger event by front panel keystroke, by applying an external TTL signal to the back panel terminal or by sending a commands over the serial bus. The trigger can be used in pulse mode, transient mode, list mode and works in CC, CR, CV and CP modes.



Model 8500

▲ Remote control & application software

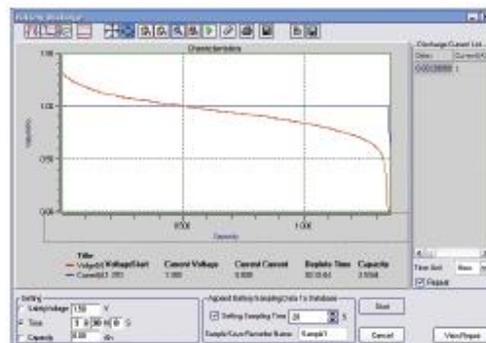
The DC loads can be remotely controlled from any PC with USB or RS232 interface, allowing the user to fully program and monitor all parameters. RS232 to TTL and USB to TTL serial converter cables are included. For users wanting to write their own custom software, a set of example programs are available for download on the B&K Precision website.

List Mode

A list of command sequences can be stored in non-volatile memory and executed independently of a computer. Execution in list mode greatly reduces command processing time and computer interaction during product testing. The command sequence can be entered manually from the front panel or downloaded from a PC via RS232 or USB interface.

Application Software

The included Application Software supports front panel emulation of the load and includes a battery test application which provides A*hr rating of a battery and adjustable ending voltage levels (safety voltage).



An example of battery discharge characteristics of an AA alkaline battery.

Whether you are designing a device with Nickel-Metal Hydride or Lithium-Ion batteries, the 8500 series have the capabilities to test their characteristics.

DC Electronic Loads
8500 Series

Specifications

▲ Models 8500 & 8502 (300 W)

Parameter		8500	8502
Input rating	Voltage	0 – 120 V	0 – 500 V
	Current	0 – 30 A	0 – 15 A
	Power	300 W	

Parameter	Range		Accuracy	Resolution
	8500	8502		
CV Mode Regulation	0.1 – 18 V		$\pm(0.05\%+0.02\% \text{ FS})$	1 mV
	0.1 – 120 V	0.1 – 500 V	$\pm(0.05\%+0.025\% \text{ FS})$	10 mV
CC Mode Regulation	0 – 3 A	0 – 3 A	$\pm(0.1\%+0.1\% \text{ FS})$	0.1 mA
	0 – 30 A	0 – 15 A	$\pm(0.2\%+0.15\% \text{ FS})$	1 mA
Current Measurement	0 – 3 A	0 – 3 A	$\pm(0.1\% + 0.1\% \text{ FS})$	0.1 mA
	0 – 30 A	0 – 15 A	8500: $\pm(0.2\%+0.15\% \text{ FS})$ 8502: $\pm(0.2\%+0.3\% \text{ FS})$	1 mA
Voltage Measurement	0-18 V		$\pm(0.02\% + 0.02\% \text{ FS})$	1 mV
	0-120 V	0 – 500 V	$\pm(0.02\% + 0.025\% \text{ FS})$	10 mV

▲ Models 8510/8512/8514/8518 (600 W & 1200 W)

Parameter		8510	8512	8514	8518
Input rating	Voltage	0 – 120 V	0 – 500 V	0 – 120 V	0 – 60 V
	Current	0 – 120 A	0 – 30 A	0 – 240 A	0 – 240 A
	Power	600 W		1200 W	

Parameter	Range				Accuracy	Resolution
	8510	8512	8514	8518		
CV Mode Regulation	0.1-18 V				$\pm(0.05\%+0.02\% \text{ FS})$	1 mV
	0.1 V to Vmax				$\pm(0.05\%+0.025\% \text{ FS})$	10 mV
CC Mode Regulation	0-12 A	0-3 A	0-24 A		$\pm(0.1\%+0.1\% \text{ FS})$	1 mA
	0 – max Current				$\pm(0.2\%+0.15\% \text{ FS})$	10 mA
Current Measurement	0-12 A	0-3 A	0-24 A		$\pm(0.1\% + 0.1\% \text{ FS})$	1 mA
	0 – max. Current				$\pm(0.2\%+0.15\% \text{ FS})$	10 mA
Voltage Measurement	0 – 18 V				8510/8514: $(0.02\% + 0.025\% \text{ FS})$ 8512/8518: $(0.02\% + 0.02\% \text{ FS})$	1 mV
	0 - Vmax				$\pm(0.02\% + 0.025\% \text{ FS})$	10 mV

▲ Models 8520/8522/8524/8526 (2400 W & 5000 W)

Parameter		8520	8522	8524	8526
Input rating	Voltage	0 – 120 V	0 – 500 V	0 – 60 V	0 – 500 V
	Current	0 – 240 A	0 – 120 A	0 – 240 A	0 – 120 A
	Power	2400 W		5000 W	

Parameter	Range				Accuracy	Resolution
	8520	8522	8524	8526		
CV Mode Regulation	0.1-18 V				$\pm(0.05\%+0.02\% \text{ FS})$	1 mV
	0.1 V to Vmax				$\pm(0.05\%+0.025\% \text{ FS})$	10 mV
CC Mode Regulation	0-24 A	0-12 A	0-24 A	0-12 A	$\pm(0.1\%+0.1\% \text{ FS})$	1 mA
	0 – max Current				$\pm(0.2\%+0.15\% \text{ FS})$	10 mA
Current Measurement	0-24 A	0-12 A	0-24 A	0-12 A	$\pm(0.1\% + 0.1\% \text{ FS})$	1 mA
	0 – max. Current				$\pm(0.2\%+0.15\% \text{ FS})$	10 mA
Voltage Measurement	0 – 18 V				8522/8526: $(0.02\% + 0.02\% \text{ FS})$ 8520/8524: $(0.02\% + 0.025\% \text{ FS})$	1 mV
	0 - Vmax				$\pm(0.02\% + 0.025\% \text{ FS})$	10 mV

DC Electronic Loads
8500 Series

▲ Common characteristics

Parameter	Range	Accuracy	Resolution
CR Mode Regulation			
(Input current \geq FS 100% Input voltage \geq FS 100%)	0.1 - 10 Ω	$\pm(1\%+0.3\% FS)$	0.001 Ω
	10-99 Ω	$\pm(1\%+0.3\% FS)$	0.01 Ω
	100-999 Ω	$\pm(1\%+0.3\% FS)$	0.1 Ω
	1K-4 k Ω	$\pm(1\%+0.8\% FS)$	1 Ω
CW Mode Regulation			
(Input current \geq FS 100% Input voltage \geq FS 100%)	0-100 W	$\pm(1\%+0.1\% FS)$	1 mW
	100 W - max power	$\pm(1\%+0.1\% FS)$	100 mW
Power Measurement			
(Input current \geq FS 100% Input voltage \geq FS 100%)	0-100 W	$\pm(1\%+0.1\% FS)$	1 mW
	100 W - max power	$\pm(1\%+0.1\% FS)$	100 mW
Other			
Battery testing function	Input = 0.1 V – 120 V; Max measurement capacity = 999 Ah Resolution = 10 mA, Timer range = 1-60000 sec		
Transition mode	Range of Frequency 0.1 Hz-1 kHz, Frequency error rate 0.5%		
AC Input	110 / 220 (see note below)* VAC \pm 10%, 47 – 63 Hz		
Operating temperature	32 °F - 104 °F (0 - 40 °C)		
Storage temperature	50 °F - 140 °F (10 - 60 °C)		
Humidity	\leq 95% relative humidity; non-condensing		
Safety	EN61010-1:2001, EU Low Voltage Directive 73/23/EEC amended by 93/68/EEC		
Electromagnetic compatibility	Meets EMC Directive 89/336/EEC amended by 93/68/EEC, EN50081-1, EN50082-1		
One-Year Warranty			

* All 8500 series models, with the exception of models 8524 and 8526, can be configured for 110 V or 220 V operation via the AC line switch in the rear panel. Base models 8524 and 8526 operate with 110 V only. For 220 V operation, order model 8524-220V or 8526-220V respectively. *-220V* denotes 220 V operation only and these models cannot be reconfigured for 110 V operation.

▲ Mechanical specifications

Model	Dimensions (W x H x D)	Weight
8500	8.46" x 3.46" x 14" (215 mm x 88 mm x 355 mm)	11.5 lb (5.2 kg)
8502	8.46" x 3.46" x 14" (215 mm x 88 mm x 355 mm)	11.5 lb (5.2 kg)
8510	16.9" x 3.46" x 14" (429 mm x 88 mm x 355 mm)	31 lb (14 kg)
8512	16.9" x 3.46" x 14" (429 mm x 88 mm x 355 mm)	31 lb (14 kg)
8514	16.9" x 3.46" x 14" (429 mm x 88 mm x 355 mm)	31 lb (14 kg)
8518	16.9" x 3.46" x 14" (429 mm x 88 mm x 355 mm)	31 lb (14 kg)
8520	17.48" x 7.09" x 21.22" (444 mm x 180 mm x 539 mm)	66 lb (30 kg)
8522	17.48" x 7.09" x 21.22" (444 mm x 180 mm x 539 mm)	66 lb (30 kg)
8524	17.48" x 14.06" x 21.22" (444 mm x 357 mm x 539 mm)	148 lb (67 kg)
8526	17.48" x 14.06" x 21.22" (444 mm x 357 mm x 539 mm)	148 lb (67 kg)

▲ Accessories

Standard	Power cord, user manual, installation CD with application software, RS232 to TTL serial converter cable IT-E131, USB to TTL serial converter cable IT-E132, certificate of calibration and test report
Optional	Rack mount kit IT-E151 for models 8500, 8502, 8510, 8512, 8514 and 8518 only

Anexo IV. Comandos serial

En este anexo, vamos a presentar los diferentes comandos por puerto serie que son utilizados en la comunicación con la carga electrónica.

Command Group	Byte	Action
Return data	0x12	Indicates a packet that returns the status of the last command you sent to the DC Load
Remote	0x20	Set the DC Load to remote operation
ON/OFF	0x21	Turn the load ON or OFF
Maximum parameter values	0x22	Set the maximum voltage allowed
	0x23	Read the maximum voltage allowed
	0x24	Set the maximum current allowed
	0x25	Read the maximum current allowed
	0x26	Set the maximum power allowed
	0x27	Read the maximum power allowed
Operation mode	0x28	Set CC, CV, CW, or CR mode
	0x29	Read the mode being used (CC, CV, CW, or CR)
Mode parameters	0x2A	Set CC mode current
	0x2B	Read CC mode current
	0x2C	Set CV mode voltage
	0x2D	Read CV mode voltage
	0x2E	Set CW mode power
	0x2F	Read CW mode power
	0x30	Set CR mode resistance
Transient parameters	0x31	Read CR mode resistance
	0x32	Set CC mode transient current and timing
	0x33	Read CC mode transient parameters
	0x34	Set CV mode transient voltage and timing
	0x35	Read CV mode transient parameters
	0x36	Set CW mode transient power and timing
0x37	Read CW mode transient parameters	

Command Group	Byte	Action
	0x38	Set CR mode transient resistance and timing
	0x39	Read CR mode transient parameters
List operations	0x3A	Select the list operation (CC/CV/CW/CR)
	0x3B	Read the list operation (CC/CV/CW/CR)
	0x3C	Set how lists repeat (ONCE or REPEAT)
	0x3D	Read how lists repeat
	0x3E	Set the number of list steps
	0x3F	Read the number of list steps
	0x40	Set one of the step's current and time values
	0x41	Read one of the step's current and time values
	0x42	Set one of the step's voltage and time values
	0x43	Read one of the step's voltage and time values
	0x44	Set one of the step's power and time values
	0x45	Read one of the step's power and time values
	0x46	Set one of the step's resistance and time values
	0x47	Read one of the step's resistance and time values
	0x48	Set the list file name
	0x49	Read the list file name
	0x4A	Set the memory partitioning for storing lists
	0x4B	Read the memory partitioning for storing list steps
0x4C	Store the list file	
0x4D	Recall the list file	
Battery testing	0x4E	Set minimum voltage in battery testing
	0x4F	Read minimum voltage in battery testing
LOAD ON	0x50	Set timer value of for LOAD ON
	0x51	Read timer value for LOAD ON
	0x52	Disable/enable timer for LOAD ON
	0x53	Read timer state for LOAD ON
Address	0x54	Set communication address
LOCAL	0x55	Enable/disable LOCAL control
Remote sensing	0x56	Enable/disable remote sensing
	0x57	Read the state of remote sensing
Triggering	0x58	Select trigger source
	0x59	Read trigger source

Command Group	Byte	Action
	0x5A	Trigger the electronic load
Store/Recall	0x5B	Store DC Load's settings
	0x5C	Recall DC Load's settings
Function	0x5D	Select FIXED/SHORT/TRAN/LIST/BATTERY function
	0x5E	Get function type (FIXED/SHORT/TRAN/LIST/BATTERY)
Read display values	0x5F	Read input voltage, current, power and relative state
Calibration	0x60	Enter instrument calibration state
	0x61	Get the instrument calibration state
	0x62	Set voltage calibration point index
	0x63	Send the actual voltage to the calibration program
	0x64	Set current calibration point index
	0x65	Send the actual current to the calibration program
	0x66	Store the calibration data to EEPROM
	0x67	Set calibration information
	0x68	Read calibration information
	0x69	Restore the factory default calibration data
Product information	0x6A	Get product's model, serial number, and firmware version
	0x6B	Read the bar code information

