

Control domótico de una vivienda sostenible basado en RS-485

Álvaro Gutiérrez Martín
ETSI Telecomunicación
Univ. Politécnica de Madrid
aguti@robozes.com

Luis Magdalena Layos
Dept. Matemática Aplicada
ETSI Telecomunicación
Univ. Politécnica Madrid
llayos@mat.upm.es

Resumen

El hogar del Siglo XXI deberá ser un Hogar Digital, un Hogar Conectado, pero al mismo tiempo deberá suponer una clara apuesta por la sostenibilidad y el medio ambiente. Por otro lado, la implantación de nuevas tecnologías en la vivienda, y su aceptación por parte del usuario, requieren entre otras acciones de una importante actividad de difusión.

Este trabajo aborda el desarrollo de un bus domótico diseñado especialmente para su implantación en un prototipo de vivienda sostenible que participará en un concurso universitario, para posteriormente convertirse en demostrador y laboratorio de experimentación.

1. Introducción

El hogar del Siglo XXI deberá ser un Hogar Digital, un Hogar Conectado, pero al mismo tiempo, deberá suponer una clara apuesta por la sostenibilidad y el medio ambiente. Por otro lado, la implantación de nuevas tecnologías en la vivienda, y su aceptación por parte del usuario, requieren entre otras acciones de una importante actividad de difusión.

El proyecto “Solar Decathlon” de la Universidad Politécnica de Madrid plantea todos estos aspectos (tecnología, sostenibilidad, y difusión) en una propuesta conjunta de Arquitectos e Ingenieros para la realización de un prototipo demostrador de esa potencial vivienda del Siglo XXI.

Dicho proyecto incorpora elementos de sostenibilidad basados en la utilización de energías renovables como método de autoabastecimiento energético, y de materiales de construcción sostenibles. La autosuficiencia

energética se basa igualmente en el uso eficiente de la energía a partir de un correcto control, y de la aplicación de un diseño bioclimático que reduzca las necesidades energéticas para la consecución de unos adecuados niveles de confort en el interior de la vivienda.

Los aspectos relacionados con la tecnología y la difusión se plasman en la posterior aplicación del prototipo construido (en realidad se están construyendo dos viviendas similares) que una vez cumplido su fin primigenio, la participación en el concurso internacional Solar Decathlon impulsado por el Departamento de Energía de los Estados Unidos y dirigido a universidades, que tendrá lugar en el National Mall de la ciudad de Washington entre el 26 de septiembre y el 19 de octubre de 2005, se convertirá en un demostrador, y en un laboratorio tecnológico.

El presente trabajo se centra en un aspecto concreto del diseño de la citada vivienda, el bus de control domótico desarrollado de acuerdo con los múltiples fines a los que se dedicará el prototipo: participación en el concurso, demostración y laboratorio. El trabajo se inicia con la presente introducción, para abordar posteriormente en la Sección 2 la descripción del bus empleado. La Sección 3 describe los elementos hardware conectados a dicho bus. La Sección 4 plantea el protocolo de comunicaciones empleado. Finalmente las Secciones 5 y 6 abordan el funcionamiento de la vivienda (centrado en los aspectos de control) y las conclusiones.

2. Bus de control

El bus de control es un sistema diseñado e implementado desde cero y que está basado en el estándar industrial RS-485 [1]. Este tipo de bus nos permite disponer de un sistema más que probado y robusto, sin contar que al tener un diseño propio nuestra capacidad de reacción a diferentes cambios que se quieran realizar dentro de la vivienda es bastante rápida.

La razón para implementar este tipo de bus (diseñado específicamente para esta aplicación) y no usar un enfoque comercial (EIB [2], Lonworks [3], X10[4],...) tiene dos componentes fundamentales:

- La vivienda en la que se va a implementar no es sólo una casa típica en la que se puedan incorporar dispositivos comerciales domóticos estándar, sino que es un laboratorio de control, en el que disponemos ya desde un principio de elementos poco convencionales, tales como ventiladores por debajo de suelo, sistemas de deshumidificación, sistemas de almacenamiento de calor/frío, e instrumentación de laboratorio (durante el concurso y la experimentación).
- Por otro lado, y atendiendo más al concurso en el que se van a realizar las pruebas e implementación del sistema, debemos tener en cuenta las modificaciones de diseño que van surgiendo debido a cambios de especificaciones o del propio sistema constructivo. Esto nos obliga a tener que disponer de una capacidad de reacción superior a la que podríamos obtener con elementos comerciales existentes como EIB, Lonworks,... en los que estamos supeditados a la existencia y disponibilidad de elementos adecuados.

En el sistema podemos incorporar hasta 32 dispositivos sin necesidad de añadir un repetidor, y transmitir hasta una distancia de 1.5Km. [5][6], a 115000 baudios que es lo máximo que nos permiten las UARTS de los dispositivos desarrollados.

La implementación desarrollada se basa en una transmisión a cuatro hilos, una arquitectura centralizada controlada por un PC empotrado. Este PC empotrado se encarga de generar las peticiones de datos a todos los nodos recogiendo

todas las medidas. Una vez que disponemos de los datos dados por los sensores, el nodo central se encarga de realizar los cálculos sobre las necesidades que nos imponen las reglas de funcionamiento de la vivienda (luz, temperatura, humedad,...) y mandamos órdenes, en función de un conjunto de reglas de control, sobre los actuadores, que son gobernados por otros o por los mismos nodos.

De nuevo, la elección de la topología centralizada está motivada por condicionantes del concurso y del posterior empleo como laboratorio. En este caso el motivo principal es la necesidad de disponer de información centralizada de las "constantes vitales" de la casa, y del estado del sistema de control, tanto durante el concurso (en relación con algunas de las pruebas) como durante la experimentación. Los datos adquiridos son accesibles por navegador (web services) al igual que las actuaciones remotas sobre la vivienda, a través de sistemas seguros.

El sistema nos permite la incorporación de nodos en caliente, sin tener que realizar ninguna parada del sistema. Los aspectos técnicos sobre el *hot plug* tanto en hardware como software se comentan en la Sección 3 y 4 respectivamente.

3. El nodo

Todos los nodos esclavos del bus son idénticos, disponiendo de diferentes entradas analógicas para la adquisición de datos de sensores de humedad, temperatura, luz,... así como la actuación sobre relés o triacs. De esta forma permitimos que nuestro diseño sea totalmente escalable, y nuestra posibilidad de expandir el sistema tan sencilla como el incorporar nuevos sensores a nuestras tarjetas genéricas de adquisición de datos. La Figura 1 presenta la implementación del nodo, la Figura 2 su estructura funcional.

Los nodos disponen de un microcontrolador de 8 bits, responsable de aplicar el protocolo de comunicaciones del que hablaremos en la Sección 4.

La tarjeta consta de las siguientes características:

- 5 entradas/salidas con un máximo de 3 entradas analógicas.
- 1 interfaz de comunicación I2C.
- 1 interfaz de comunicación RS-485 Full-Duplex.

- 1 salida de relé/triac de control binario.



Figura 1. Nodo del sistema (NOD485).

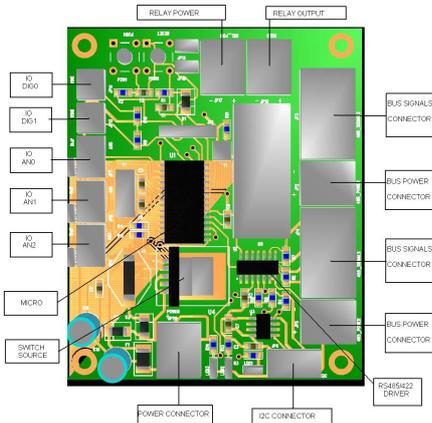


Figura 2. Conexiones de la tarjeta NOD485

3.1. Sistema de alimentación

Los nodos NOD485 disponen de una fuente conmutada en la propia tarjeta. Esta fuente conmutada nos permite alimentar cada una de las tarjetas desde 6Vdc hasta 35Vdc con una eficiencia comprendida entre el 85-95%.

Disponemos de un control de consumo a través de un fusible rearmable que nos corta la alimentación de la tarjeta para corrientes superiores a 1.25A. Igualmente incorpora un control de alimentación que protege la tarjeta frente a inversión de polaridad.

Aprovechando que el bus de control es cableado a 4 hilos, la alimentación se realiza

mediante un tendido de continua paralelo a la transmisión de datos.

Una vez finalizada la fase de pruebas dentro de la vivienda del Solar Decathlon, y cuando se incorporen los módulos a una arquitectura inalámbrica, se implementará una alimentación mediante baterías incorporadas en nodos que no dispongan de actuadores a su cargo. Esta implementación inalámbrica debe ser entendida únicamente en el sentido del bus de transmisión, ya que si necesitamos cableado para realizar la actuación igualmente alimentaremos nuestros nodos-actuadores por cable y no batería.

3.2. Dispositivos

Los nodos implementados hasta el momento incluyen tres tipos de sensores para la monitorización de tres variables físicas distintas:

- Sensor de Temperatura: *AD22100KT*.
- Sensor de Humedad: *HIH-3610-001*.
- Sensor de Luz: *TSL2550*.

Así como 2 tipos de actuadores:

- Relé de circuito impreso: *40.52.7.005.0000*.
- Triac con control de paso por cero. *BTA16-600BW*.

La evolución del diseño y las funcionalidades requeridas en posteriores etapas (demostrador o laboratorio), podrán requerir la incorporación de otros sensores o actuadores.

3.2.1. Sensor de temperatura

El sensor elegido es el *AD22100KT* [7] de *Analog Devices* que es un sensor monolítico on-chip. Su rango de operabilidad es de -50°C – 150°C .

Linealizando su salida obtenemos 0.25V a 50°C y 4.75V a 150°C , para una alimentación de 5Vdc. La función de transferencia de dicho dispositivo se describe a continuación:

$$V_o = (V + /5V) \times [1.375V + (22.5\text{mV/C}) \times T_a] \quad (1)$$

3.2.2. Sensor de Humedad

El sensor de humedad elegido es el *HH-3610-001* de *Honeywell* [8], que es un sensor monolítico on-chip.

La tensión de salida es proporcional a la humedad relativa a través de la siguiente ecuación:

$$RH = (\text{Sensor RH}) / (1.0546 - 0.00216T) \quad (2)$$

3.2.3. Sensor de Luz

El sensor de luz introducido es el *TSL2550* de *TAOS Inc.* [9]. Este sensor dispone de una interfaz digital a 2 hilos, SMBus. Esta interfaz es compatible con nuestra interfaz I2C disponible en la tarjeta.

Internamente el sensor dispone de dos fotodiodos y un conversor AD de 12 bits y nos ofrece digitalmente una respuesta similar a la del ojo humano.

3.2.4. Relé 40.52.7.005.0000

El relé elegido es un relé miniaturizado para tarjetas de circuito impreso de la compañía Zinder [10]. Nos permite una corriente nominal de 8A así como una corriente instantánea de pico de 15A.

Nos ofrece igualmente la posibilidad de control de motores monofásicos a 230V hasta un máximo de 300W.

3.2.5. Triac BT16-600BW

Debido a los acoplamientos entre bobinas al controlar ciertos tipos de motores a través de unos relés, se decidió incorporar la posibilidad de anexar un Triac a la tarjeta NOD485.

Este triac (BT16-600BW [11]) es disparado a través de un optoacoplador que recoge el paso por cero de la señal, por lo que nos aseguramos siempre en cortar el motor en un estado de mínima energía y solventamos el problema de acoplamiento entre bobinas que pudieran ofrecer un mal uso de las tarjetas a las que fueran anexados dichos relés.

3.3.- Hot Plug

En el diseño del sistema se ha tenido en cuenta la posibilidad de incorporar nodos sin tener que parar todo el sistema (en caliente). De esta forma una vez que se introduce un nodo nuevo, el nodo central se encarga de incorporarlo y de asignarle la función que va a desempeñar.

4. Protocolo de comunicaciones

4.1. Introducción

El protocolo de comunicaciones está basado en caracteres ASCII, incluyendo caracteres de control y codificación de los valores a enviar en ASCII, de modo que no existan ambigüedades en las tramas enviadas. Todos los envíos se realizan mediante tramas cuya estructura está bien definida, estando descrita a continuación:

STX	DIR	Nº Trama	DATOS	CRC-16	EOT
-----	-----	----------	-------	--------	-----

Figura 3. Estructura de la tramas

- *STX (0x02)*: Inicio de transmisión. Este carácter es el que delimita el comienzo de una trama de datos.
- *DIR*: Son 2 bytes que indican en ASCII el valor hexadecimal de la dirección del nodo que envía los datos cuando la trama es enviada por un nodo, y la dirección de la tarjeta-nodo a la que se dirige la trama cuando ésta es enviada por el PC. Como ejemplo, si la trama es enviada por el nodo 1D, o al nodo 1D, el campo DIR, estará formado por los bytes 0x31 y 0x42, que se corresponden con los caracteres ASCII '1' y 'D' respectivamente.
- *Número de trama*: 2 bytes que indican en ASCII el valor hexadecimal del número de la trama que se envía. Las tramas comienzan enumerándose por el 0, y al llegar a la trama 0xFF, volvemos a la trama 0x00. Como ejemplo, si la trama enviada es la 52 en hexadecimal, obtendremos los bytes 0x35 y 0x32, correspondientes a los caracteres '5' y '2' respectivamente.
- *Datos*: El número de datos enviados en cada trama es variable, y se explicará su contenido más adelante.

- *CRC-16*: 2 bytes que sirven para la detección de errores en la transmisión. El CRC generado corresponde a toda la trama, salvo los caracteres de inicio y final de transmisión y el propio CRC-16.
- *EOT (0x04)*: Final de transmisión. Indica el final de la transmisión en curso.

Esta trama nos permite disponer de unos caracteres no imprimibles de principio y fin de trama, así como de un sistema de control de errores de 16 bits, sobredimensionado para futuras aplicaciones.

Cualquier tipo de información que se transmita entre los nodos y el PC irá encapsulada de esta forma, y puesto que el sistema nos permite reprogramar nodos en remoto, la incorporación al sistema de nuevos dispositivos agregando nuevas tramas de datos es trivial, siempre y cuando se mantenga la misma estructura de trama.

A continuación se expone la organización de los datos que son transmitidos, y que están divididos según su función, así podemos ver que tenemos los siguientes tipos:

- Temperatura.
- Humedad.
- Luz.
- Actuador.
- Comando
- ... (Los tipos de estructuras de datos será ampliados en función de los diferentes nodos y dispositivos existentes en el sistema)

4.2. Datos

Cada tipo de datos posee una estructura propia, y que será utilizada para referirse al valor de los subtipos de datos de cada nodo. En las siguientes secciones se explican los valores de cada uno de las diferentes tramas de datos.

4.2.1. Temperatura

En un nodo pueden incorporarse hasta 3 sensores de temperatura. Por concordancia con todos las tramas de datos dichos sensores de temperatura se denominarán: T0, T1 y T2. Para transmitir el valor de cada uno de los sensores se usará el siguiente formato:

TX=valor

T es el carácter en ASCII "T", y es el que delimita que el dato enviado es el valor de un sensor de temperatura.

X es el número del sensor de temperatura.

valor es el valor obtenido por el sensor de temperatura. Este dato está formado por 3 cifras, donde las dos primeras son los grados y la tercera la décima de grado. Ejemplo: T1=287 nos quiere decir que el valor de temperatura medido por el sensor T1 es de 28.7 °C.

4.2.2. Humedad

El funcionamiento de esta trama de datos es idéntico al de la trama de temperatura excepto que la transmisión de la trama será:

HX=valor

Donde *valor* es el valor obtenido por el sensor de humedad. Este dato está formado por 3 cifras, donde las dos primeras son la humedad relativa y la tercera la décima de precisión.

4.2.3. Luz

En este caso la trama a transmitir es:

LX=valor

donde *valor* es el valor obtenido por el sensor de luz. Este dato estará formado por 3 cifras siendo su valor desde 0 a 999, el número de luxes medidos en el ambiente.

4.2.4. Actuador

Debido a que de momento se tiene previsto un sistema de actuadores binarios (Relés o triacs), tal y como se ha comentado en secciones anteriores.

La trama a transmitir en este caso es:

RX=Y

R es el carácter en ASCII "R" correspondiente a *Relay*.

X es el número del actuador (actualmente en nuestras tarjetas únicamente "0").

Y es el valor "0" o "1" en función de si se encuentra abierto o cerrado el actuador.

4.3. Comandos

Los comandos son datos especiales, ya que están orientados al control interno de la tarjeta y el bus. Todos los comandos son caracteres no imprimibles del código ASCII.

- *ACK (0x06)*: Significa el reconocimiento de la trama. Lo cual quiere decir que la trama a la que responde ha sido recibida y decodificada correctamente. Esto se verá más claramente en el ejemplo de comunicación. El carácter enviado es un carácter de control en ASCII, que tiene el valor 0x06.
- *NACK (0x15)*: Significa que no se reconoce la trama. La trama a la que responde no se recibió correctamente o no se pudo decodificar correctamente. El carácter enviado es un carácter de control en ASCII, que tiene el valor 0x15. Tras el carácter NACK, se envía un código de error, que nos informa del tipo de error que se ha cometido. El código es un número negativo, que es enviado en ASCII. De este modo tenemos:

NACK, "-" "CÓDIGO

Siendo *CÓDIGO* un número hexadecimal de 1 dígito en ASCII, con valores de "0" a "F".

- *RESET (0x08)*: Fuerza un reset en el nodo. Tras el envío de este comando por parte del host, la placa envía una trama de reconocimiento y se resetea. El carácter enviado es un carácter de control en ASCII, que tiene el valor 0x09.
- *Petición VIVO (0x0C)*: Este comando no tiene ningún efecto, pero cuando es enviado por el host, la placa responde con un reconocimiento de trama. De este modo el host puede comprobar que la placa está operativa. El carácter enviado es un carácter de control en ASCII, que tiene el valor 0x0C.

5. Funcionamiento en la vivienda

Como ya se ha mencionado, el bus de control es una pieza más dentro del diseño de una vivienda autosuficiente denominada "MagicBox" y construida en el ámbito del proyecto "Solar Decathlon" por la UPM.



Figura 4. Aspecto de la vivienda *Magic Box*

En la vivienda disponemos de los siguientes elementos:

- 18 servomotores para el control de las rejillas y compuertas que nos permiten el paso de las corrientes de aire.
- 6 ventiladores para la generación de corrientes de aire.
- 6 peltiers (sistemas de deshumidificación) para el control de la humedad.
- Diferentes cápsulas herméticas que contendrán los géles de cambio de fase.

El acondicionamiento térmico ambiental de la vivienda será enteramente pasivo:

- La fuente de energía en invierno será la radiación solar, a la que se unirán las cargas internas (ocupación, alumbrado y equipos);
- En verano la única energía empleada será el frescor aportado por la ventilación nocturna.

En ambos casos se precisa de un sistema de acumulación que reparta la energía captada a lo largo de la totalidad del día. Los procedimientos clásicos empleados en la arquitectura bioclimática se basan en la acumulación de calor sensible en la propia masa del edificio. Es la forma más sencilla, económica y eficaz de hacerlo. Se suelen emplear para ello los forjados, las particiones y, sobre todo, los cerramientos exteriores verticales. Sin embargo, en este caso, no ha sido posible usar elementos pesados para aprovechar su masa debido a los condicionantes de construcción y transporte relacionados con el concurso. Por ese

motivo se ha optado por la acumulación de energía en forma de calor latente; es decir, provocando el cambio de estado de una sustancia aportando energía y recuperándola invirtiendo el proceso.

Los sistemas de acumulación, géles de cambio de fase, empleados se encuentran en cápsulas herméticas de aproximadamente 3 Kg. cada una (dimensiones 28 x 48 x 3 cm.). Estas cápsulas están colocadas en el hueco de un suelo técnico, sobre un aislante térmico que se apoya sobre el forjado estructural. Hay dos capas de géles entre los que hay un separador. Por encima de la superior, dejando un espacio y apoyada en unos plots, está situada la pieza que sostiene al pavimento cerámico. Se trata de una pieza metálica hueca que en su interior permite acumular una tercera carga de gel fundente.

Seis pequeños ventiladores, tres en el sector de la oficina (despacho) y tres en el sector del comedor, situados entre estas cápsulas, harán circular el aire del que queramos extraer la energía. Cada uno de esos ventiladores mueve un caudal de 160 m³/h, por lo que podemos asegurar hasta 960 m³/h, que representan más de cuatro renovaciones de aire a la hora. Los ventiladores se accionarán en cascada según sean necesarios, ahorrando de este modo la energía de su funcionamiento.

El tipo de aire que moverán los ventiladores dependerá de la época del año. Si es verano será el aire fresco nocturno y si es invierno el aire interior, que previamente ha pasado por el invernadero arrastrando el calor aportado por el sol, y después por la vivienda recogiendo las cargas internas; en esa época, también el sol directo sobre el pavimento aportará calor directo a la primera capa de cápsulas.

Los diferentes servomotores que controlan las rejillas se encuentran situados de la siguiente forma:

- 2 en el falso suelo de la cocina.
- 1 en el falso techo de la cocina.
- 2 en el falso suelo del invernadero del comedor.
- 1 en el falso techo del invernadero del comedor.
- 2 en el falso suelo del dormitorio.
- 1 en el falso techo del dormitorio.

- 2 en el falso suelo de la habitación de trabajo.
- 1 en el falso techo de la habitación de trabajo.
- 3 en el falso suelo de la zona central o salón.
- 3 en el falso techo de la zona central o salón.

De esta forma y en función de las reglas de control, la estación en la que nos encontremos y los datos de temperatura obtenidos por los sensores, las trampillas se sitúan permitiendo el paso de aire de las zonas más calientes a las frías en invierno y de las más frescas a las más calientes en verano.

Para realizar dicho control disponemos de sensores de temperatura aprovechando las tarjetas existentes para el control de los motores. De esta forma disponemos de un sensor de temperatura en el falso suelo y techo en cada una de las estancias en las que existen servomecanismos, y además sensores en interior entre la cocina y comedor, dormitorio y sala de trabajo, baño y salón.

El control de la humedad viene asociado con el movimiento de las corrientes de aire generadas por los ventiladores existentes en el falso suelo en el medio de la vivienda. Estas corrientes de aire se hacen circular en el entorno de unos sistemas de deshumidificación. Estos sistemas (peltiers) son accionados igualmente en cascada, en función de los datos recogidos por los sensores de humedad que se encuentran en la misma situación que los de temperatura.

En la etapa actual del proyecto no se ha automatizado el control de luces, por lo que la obtención de los datos de iluminación es meramente informativa.

6. Conclusiones

El presente trabajo ha planteado el desarrollo de un demostrador de vivienda solar autosuficiente controlada mediante un bus domótico diseñado específicamente para la misma.

Aunque aparentemente la solución adoptada para este sistema de control implica una tarea más tediosa que el uso de otro tipo de tecnología existente, queremos suponer que nos beneficia al tener un control total sobre los elementos instalados en el sistema. De esta forma se irán desarrollando nodos continuamente para el correcto desarrollo de las mediciones en la vivienda.

Podemos concluir que actualmente la configuración del bus es una arquitectura distribuida a nivel físico (1 cable tipo bus) y arquitectura centralizada a nivel lógico, sobre un sistema Full Duplex basado en la norma RS-485 y con un protocolo de caracteres ASCII.

El protocolo está sujeto a cualquier tipo de potencial modificación que sea necesaria para un incremento de las prestaciones del sistema. Aunque en un principio, el sistema está probado y es lo suficientemente robusto para llevar a cabo su misión. Aún así, se deja abierta a cualquier modificación o reemplazo del mismo por necesidades que se vayan generando en la fase de pruebas del sistema.

Referencias

- [1] Internacional Standard ISO/IEC 8482, "Information Technology – Telecommunications and Information Exchange Between Systems – Twisted Pair Multipoint Interconnections. EIA-RS485.
- [2] <http://www.eiba.com> Asociación EIB/Konnex
- [3] <http://www.echelon.com>.
- [4] <http://www.homesystems.es>
- [5] "Interface Circuits for TIA/EIA485 (RS-485)", Texas Design Notes slla036A, 200.
- [6] J. Goldie, "Ten ways to bulletproof RS-485 Interfaces", National semiconductor App. Note 1057, 1996. <http://www.national.com/an/AN/AN-1057.pdf>
- [7] Datasheet AD22100, Analog Devices. http://www.analog.com/UploadedFiles/Data_Sheets/842307127AD22100_d.pdf
- [8] Datasheet HIH-3610, Honeywell. http://content.honeywell.com/sensing/prodinfo/humiditymoisture/009012_2.pdf
- [9] Datasheet TSL2550, TAOS Inc. <http://www.taosinc.com/images/product/document/tsl2550-e58.pdf>
- [10] Datasheet Relé 40.52.X.XXX.XXXX, Finder. <http://findernet.com/es/pdf/S40ES.pdf>
- [11] Datasheet Triac BT16-600BW, STMicroelectronics <http://www.st.com/stonline/books/pdf/docs/7471.pdf>

Agradecimientos

Al equipo Solar Decathlon por permitirnos instalar el sistema dentro de la vivienda y realizar las pruebas del mismo en ella.

A D. Daniel Martín Gómez por su desarrollo en el nivel de aplicación y front-end del sistema de control.

A D. Jesús Donate Fernández por su ayuda y colaboración en la implementación del protocolo, para llegar a construir un protocolo suficientemente robusto para la aplicación

A D. Juan María de Castro Payo por su ayuda en el desarrollo de los nodos.

A D. Daniel Amor Martín, por su colaboración en la puesta a punto del sistema físico de comunicación.