



3 Arquitectura del sistema

En este apartado se hará una descripción funcional del sistema domótico diseñado así como una descripción de la arquitectura software usada para llevar a cabo todas las funcionalidades del sistema que se han planteado en anteriores apartados.

Para ello se mostrarán todos los elementos lógicos que se han desarrollado para la consecución de diversas actividades y objetivos concretos.

Entre estos elementos lógicos se encuentran tanto elementos de software como definiciones de modos de funcionamiento que permitirán la posterior implementación de todas las características del sistema domótico.

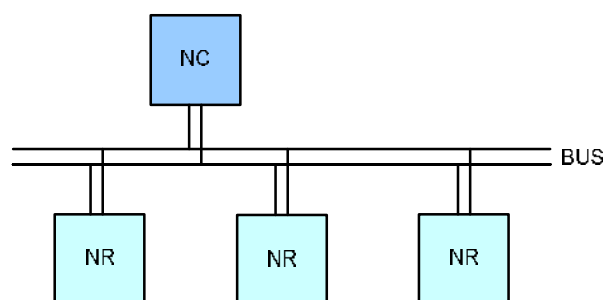
En la descripción funcional se describirán los módulos en que el sistema se divide y el modo en que interactúan entre ellos, los tipos de entradas y salidas considerados, los modos definidos para la asignación de entradas y salidas y los mecanismos diseñados para las comunicaciones en la red domótica.

En lo relativo a la arquitectura software podrán verse todos los elementos de software diseñados para implementar las funcionalidades descritas.

3.1 Descripción global de la red

Comenzaremos la descripción funcional del sistema dando una visión global de la red domótica como elemento funcional de alto nivel. En esta descripción global se introducen sin entrar en detalle todos los elementos que formarán parte de la red desde un punto de vista de lógica de funcionamiento.

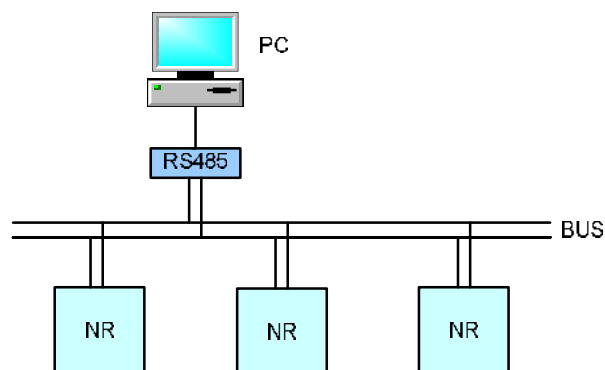
El concepto de red domótica planteado en este proyecto dispone de dos tipos de elementos de alto nivel: **Nodo Central** y **Nodos Remotos** (Esquema 3.1).



Esquema 3.1 Topología de la red

El **Nodo Central** es el elemento lógico del sistema de mayor nivel jerárquico. Cualquier nodo de la red puede ser el Nodo Central. No obstante, es preferible que dicho nodo tenga capacidad suficiente para interactuar con los usuarios de la red domótica, si bien esta capacidad no forma parte de la arquitectura del sistema en sí.

Un ejemplo de Nodo Central con capacidad para interactuar con los usuarios sería un PC doméstico sobre el que se ejecutase un software específico para la gestión de la red domótica (Esquema 3.2).



Esquema 3.2 Topología con PC doméstico como Nodo Central



La principal función del Nodo Central es la gestión de la configuración de cada Nodo Remoto. Para ello se basa en la capacidad del sistema de enviar la configuración de cada nodo a través de la red de datos.

La arquitectura diseñada en el presente proyecto permite la integración de un Nodo Central que comande al resto de nodos de la red. Sin embargo, las funcionalidades de dicho nodo que tengan como finalidad la interacción con el usuario no se han definido. Dichas funcionalidades formarían parte de un sistema de control global de mayor nivel que la arquitectura aquí presentada.

Los **Nodos Remotos** son los encargados de interactuar con los elementos físicos externos a la red domótica. Sus funcionalidades se pueden resumir de manera general como las siguientes:

- Gestión de entradas y salidas locales.
- Gestión de entradas y salidas remotas.

En siguientes apartados se definirán los conceptos de entradas y salidas, así como la condición local o remota de las mismas.



3.2 Descripción funcional

Para hacer una descripción funcional del sistema nos centraremos en los diferentes módulos que lo componen desde un punto de vista externo.

Cada uno de estos elementos será descrito como una caja negra que en función de una serie de entradas da como resultado una serie de salidas. Los procedimientos internos realizados por estos elementos serán descritos en siguientes apartados.

De igual modo se describirán los tipos de entradas y salidas que el sistema puede tener teniendo en cuenta las capacidades hardware del equipo con el que se trabaja.

Finalmente, para concluir la sección se verán en detalle los mecanismos de detección de errores, de asentimiento y de generación de direcciones definidos para ofrecer un protocolo de comunicaciones seguro y eficaz.

Para comprender mejor el resto del presente apartado es primordial definir algunos conceptos básicos antes de proceder con la exposición de la arquitectura funcional completa de la red domótica.

En las siguientes secciones se definirán los conceptos de entrada, salida y módulo, para, posteriormente, proceder con la descripción del sistema desde un punto de vista funcional.

3.2.1 Tipos de entradas

Se definen como *entradas* todos los estímulos externos que cada nodo de la red domótica es capaz de detectar.

Estos estímulos pueden ser tanto de origen local como remoto. Los estímulos de origen local pueden ser clasificados en función de su naturaleza (digitales o analógicos) o en función de su origen (diferentes sensores).

Los estímulos remotos son los que provienen de otros nodos de la red. Estos estímulos se clasifican según su funcionalidad concreta, pero físicamente todos se corresponden con tramas de datos que se transmiten a través del bus RS485.

Las entradas locales digitales son entradas que se capturan a través de los sensores locales del nodo y cuyo valor es binario.



Las entradas locales analógicas son entradas que se capturan a través de los sensores locales del nodo y cuyo valor es cualquiera comprendido en un rango concreto de valores.

Según su origen las entradas pueden ser valores leídos a través de sensores de infrarrojo, dispositivos I²C, etc.

Por otro lado, las entradas remotas pueden ser tramas de **datos** (TDAT), de **control** (TCTL) o de **asentimiento** (TACK). Estas tramas se verán en detalle en el apartado 4.3.

3.2.2 Tipos de salidas

De manera muy similar al caso de las entradas, se definen las *salidas* de cada nodo de la red como aquellos estímulos o acciones que éste puede generar y cuyo efecto tiene lugar exteriormente al mismo.

Las salidas locales pueden ser digitales o reguladas en intensidad, mientras que las remotas son, al igual que en el caso de las entradas, tramas de información.

Al mismo tiempo, las salidas locales pueden ser acciones concretas que tengan lugar sobre actuadores específicos, tal como emisores de infrarrojo o dispositivos I²C.

3.2.3 Módulos funcionales

Se denomina *módulo* a todo elemento lógico del sistema domótico desarrollado que, recibiendo una serie de entradas y dando como resultado una serie de salidas, realiza una labor concreta dentro del sistema completo.

Llamamos por tanto módulos a las diferentes funciones del software desarrollado independientemente de su naturaleza.

Estas funciones serán implementadas mediante tareas periódicas que se ejecutan con más o menos frecuencia según su importancia o prioridad, mediante interrupciones que tienen lugar en momentos concretos pero no conocidos de antemano y a través de funciones aisladas que realizan una labor concreta al ser llamadas tanto por tareas como por interrupciones o de forma voluntaria en algún momento concreto, como es el caso de las funciones de inicialización.

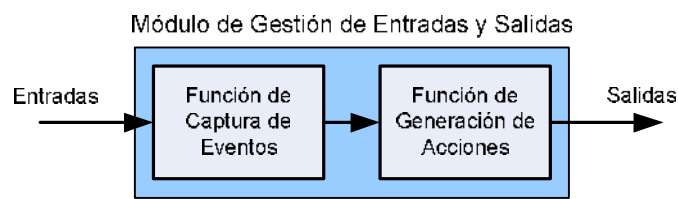
No obstante, en este apartado no se realizará esta distinción, la cual se hará en la descripción de la arquitectura software del sistema domótico (apartado 3.3).

En este apartado nos centraremos en las diferentes partes del sistema domótico, que se han denominado módulos, como elementos funcionales que desempeñan una labor concreta dentro de cada unidad de la red domótica.

Cada nodo de la red domótica se compone, funcionalmente, de tres módulos básicos de operación: El **módulo de gestión de entradas y salidas**, el **módulo de comunicaciones** y el **módulo principal**.

El **módulo de gestión de entradas y salidas** (Esquema 3.3) es el encargado de procesar las entradas al sistema y, en función de los parámetros de configuración, generar las acciones pertinentes sobre las diferentes salidas del nodo.

Dicho módulo se compone a su vez de dos módulos de menor jerarquía que llamaremos *funciones*. Estas son: La **función de captura de eventos** y la de **generación de acciones**.



Esquema 3.3 Módulo de Gestión de Entradas y Salidas

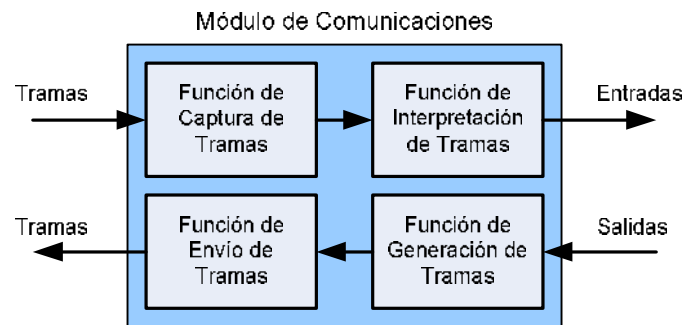
La **función de captura de eventos** tiene como finalidad obtener información del exterior relativa al estado de las diferentes entradas al sistema. Posteriormente, con dicha información y basándose en la configuración del nodo, dará como resultado la información necesaria que permita a la función de generación de acciones realizar su trabajo.

Por otro lado, la **función de generación de acciones**, a partir de la información generada por la función de captura de eventos, ejecutará físicamente las acciones u operaciones pertinentes.

El **módulo de comunicaciones** (Esquema 3.4) es el encargado de la transmisión y recepción de datos a través de la red RS485. En todos los casos contemplados, la recepción de datos originará un evento de entrada al sistema mientras que el envío se considera una salida.

Por tanto, éste módulo interacciona estrechamente con el de gestión de entradas y salidas. Este tipo de interacciones serán descritas en detalle en el apartado 3.2.4.

El módulo de comunicaciones se compone de varias funciones. Para los datos salientes se dispone de **la función de generación de tramas** y **la función de envío de tramas**. Por otro lado, para los datos entrantes se tienen **la función de recepción de tramas** y **la función de interpretación de tramas**.



Esquema 3.4 Módulo de Comunicaciones

La **función de generación de tramas** se encarga de generar las tramas que deberán ser enviadas a través del bus RS485. Dicha transmisión será efectuada por la **función de envío de tramas**.

Las tramas se generan como consecuencia de la aparición de un evento de entrada que tenga asociado mediante configuración un evento de salida remota.

La **función de recepción de tramas** es la encargada de capturar los eventos de entrada de origen remoto. Dichos eventos son transmitidos a través del bus de datos por parte de la función de envío de tramas de algún nodo remoto.

Finalmente, **la función de interpretación de tramas** es la encargada de procesar y generar, en caso necesario, los eventos locales que vengan impuestos por los eventos remotos capturados. Es decir, generar la información necesaria para que el módulo de gestión de entradas y salidas pueda ejecutar las instrucciones contenidas en las tramas recibidas.

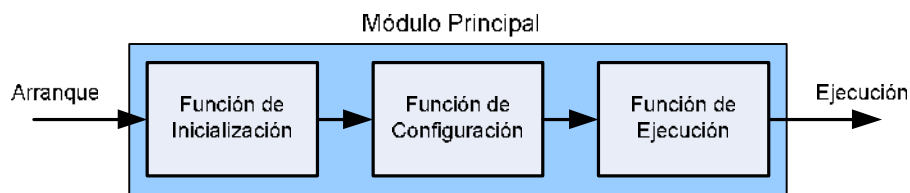
Se ha definido un módulo de nivel superior que permite la inicialización del sistema y la ejecución del resto de módulos: El **módulo principal** (Esquema 3.5).

Dicho módulo se compone de las funciones de **inicialización, configuración y ejecución**. La ejecución de estas funciones es secuencial y el resultado de cada una de ellas no interfiere a las demás.

La **función de inicialización** se encarga de establecer todas las variables del sistema al valor adecuado según el estado almacenado o bien según los valores por defecto definidos para cada tipo de variable.

Por otro lado, la **función de configuración** se encarga de la interpretación de los datos de configuración almacenados en la memoria no volátil de que se dispone. En el apartado 3.2.5 se explicará el formato de dicha configuración.

Por último, la **función de ejecución**. Dicha función es la encargada de ejecutar el resto de funciones según su periodicidad o sus condiciones de ejecución. Desde un punto de vista lógico se correspondería con el despachador de tareas descrito en el apartado 2.3.1.4 más el software del bucle principal de ejecución del código del microcontrolador.



Esquema 3.5 Módulo Principal

3.2.4 Interacción de los módulos con el exterior y entre ellos

Para el correcto funcionamiento del sistema completo, los módulos que lo componen deben interactuar entre ellos mediante el intercambio de información. A su vez, los módulos requieren del intercambio de datos entre las diferentes funciones que los componen.

En primer lugar se describirán las interacciones en las que interviene un sólo módulo del sistema, es decir, las que se dan con el exterior y entre las diferentes funciones de cada módulo. Posteriormente se hará lo propio con las interacciones que se dan entre los diferentes módulos.

3.2.4.1 Módulo de Gestión de Entradas y Salidas (MGES)

Dentro del módulo de gestión de E/S, la función de captura de eventos (FCE) interactúa con el exterior mediante la detección de eventos de tipo local. Dicha función procesa esa información y proporciona a la función de generación de acciones (FGA) la operación que debe llevarse a cabo.

Es entonces cuando la función de generación de acciones actúa sobre los elementos externos del sistema para llevar a cabo las actuaciones necesarias.

En la Tabla 3.1 puede observarse un resumen de las interacciones que tienen lugar entre las diferentes funciones del MGES y entre éstas y los elementos externos al sistema.

Origen	Destino	Datos	Ejemplo
Exterior	FCE	Estados de las entradas locales	Accionamiento de un pulsador
FCE	FGA	Operación	Encender, Apagar, Conmutar, etc.
FGA	Exterior	Estado deseado de las salidas locales	Accionar un relé, etc.

Tabla 3.1 Interacciones del MGES con el exterior y entre sus funciones

3.2.4.2 Módulo de Comunicaciones (MC)

El módulo de comunicaciones interactúa con el exterior únicamente a través del bus de datos. El resto de interacciones tienen lugar con otros módulos del sistema. En la siguiente tabla (Tabla 3.2) se describen las interacciones de dicho módulo con el exterior y los intercambios de datos que se dan entre las diferentes funciones del módulo: función de captura de tramas (FCT), función de interpretación de tramas (FIT), función de generación de tramas (FGT) y función de envío de tramas (FET).

Origen	Destino	Datos	Ejemplo
Exterior (BUS)	FCT	Bytes de la trama	Datos en el bus de una trama de control
FCT	FIT	Datos de la trama	Campo de instrucción de una trama de control
FGT	FET	Indicación de nueva trama	Datos de una trama de control
FET	Exterior (BUS)	Bytes de la trama	Bytes enviados por el BUS de datos

Tabla 3.2 Interacciones del MC con el exterior y entre sus funciones

3.2.4.3 Módulo Principal (MP)

La ejecución del módulo principal es secuencial. Aún así existen interacciones con el exterior y entre las diferentes funciones que lo integran.

El arranque del sistema se puede considerar una interacción con un evento exterior. El resto de interacciones dentro del módulo se limitan al paso de testigo en el

proceso secuencial de ejecución de las diversas funciones: función de inicialización (FI), función de configuración (FC) y función de ejecución (FE).

Origen	Destino	Datos	Ejemplo
Exterior	FI	Reset del sistema	Alimentación de la placa o pulsación del reset manual
FI	FC	Ninguno	Carga de configuración
FC	FE	Ninguno	Ejecución de tareas periódicas

Tabla 3.3 Interacciones del MP con el exterior y entre sus funciones

3.2.4.4 Interacciones entre MP y MGES/MC

El módulo principal interactúa con el resto de módulos iniciando y controlando su ejecución. Esta interacción se lleva a cabo mediante las funciones propias del módulo que inicializan y gestionan el resto de funciones.

En el Esquema 3.6 de la página 76 se pueden observar estas interacciones de manera gráfica.

3.2.4.5 Interacciones entre MGES y MC

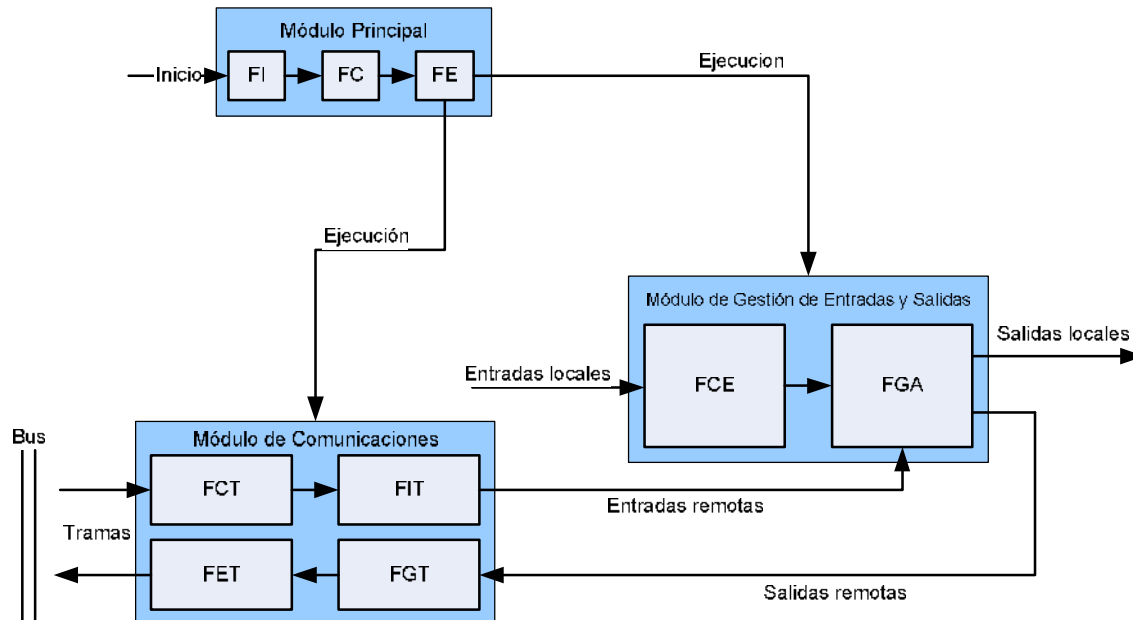
La mayor parte de las interacciones en las que interviene más de un módulo del sistema son las que tienen lugar entre los módulos de gestión de entradas y salidas y de comunicaciones. Esto se debe a que la mayor parte de las funcionalidades del sistema son llevadas a cabo por estos módulos.

En la Tabla 3.4 se resumen estas interacciones.

Origen	Destino	Datos	Ejemplo
FIT	FGA	Operación remota a ejecutar localmente	Operación de encendido, apagado, etc.
FGA	FCT	Tipo y datos de la trama a crear	Creación de trama para operación remota

Tabla 3.4 Interacciones entre MGES y MC

En el Esquema 3.6 se pueden ver gráficamente todas las interacciones entre módulos descritas en los apartados anteriores.



Esquema 3.6 Interacciones entre los módulos del sistema

3.2.5 Gestión de la configuración

Las operaciones de gestión de la configuración tienen lugar tanto local como remotamente.

A nivel local la configuración actual del sistema se lee de la memoria de cada unidad remota de la red para, posteriormente, interpretarla y hacerla efectiva mediante la inicialización de las variables pertinentes según el caso.

Los datos que contiene la configuración son los siguientes:

- **Dirección propia:** Dirección del nodo remoto.
- **Asignaciones de entradas con salidas:** Esta asignación se refiere a las entradas locales del sistema de tipo eléctrico.
- **Modo de funcionamiento:** Los modos de funcionamiento se mostrarán en el siguiente apartado (3.2.6).
- **Operación a realizar con la salida:** En caso de no asignar ningún modo de funcionamiento a la entrada seleccionada, es posible asociar con ella un evento y operación concreta.



- **Dirección de envío de datos:** En caso necesario es posible indicar la dirección de un nodo remoto para la ejecución de operaciones a través de la red de datos.

El formato de la configuración se describirá en el apartado 4.4.

De manera remota la gestión de la configuración consiste en la transmisión de la información antes mencionada a través del bus de datos de la red domótica. Esta transmisión se realiza mediante el uso de tramas de datos que serán capturadas y procesadas por el módulo de comunicaciones del nodo remoto destinatario de la información.

Las tramas de datos usadas para este fin serán descritas en el apartado 4.3.2.

3.2.6 Modos de funcionamiento de las entradas y salidas

Los modos de funcionamiento de las entradas y salidas son las diferentes formas que tiene el sistema de interpretar los estados de las entradas y las diferentes acciones que ejecuta sobre las salidas en función de dichos estados.

Dichas acciones pueden ser ejecutadas sobre salidas locales o sobre salidas de otros elementos de la red. Desde este punto de vista es posible diferenciar entre modos locales de funcionamiento y modos remotos.

La única diferencia funcional entre los modos locales y remotos es que en el caso de los modos locales, la interacción que tiene lugar para el procesamiento de las entradas se da entre las diferentes funciones del módulo de gestión de entradas y salidas, mientras que en el caso de los modos remotos intervienen los módulos de gestión de entradas y salidas y de comunicaciones.

Los modos se denominan según una serie de parámetros que definen diversas características de los mismos. Estos parámetros son los siguientes:

- **Local o remoto:** Según si las salidas son locales o si pertenecen a otro nodo de la red. Funcionalmente la diferencia consiste en las funciones y módulos que intervienen en el proceso de ejecución de las operaciones requeridas.
- **Digital o analógico:** Según el formato en que debe leerse la entrada correspondiente. En el presente proyecto sólo se han definido e implementado modos de tipo digital.
- **Normal, detección de corte, bucle de corriente, etc:** Este parámetro hace referencia directa a los tipos de entradas del hardware NYDIANET

descritos en el apartado 2.2.1.1 (página 24). En el presente proyecto sólo se han definido los modos *normales* de funcionamiento, es decir, los que se corresponden con entradas digitales simples.

- **Conmutación, pulsación o regulación:** Este parámetro es el más significativo a la hora de definir el comportamiento del sistema ante un evento concreto de entrada. En el modo de conmutación, la salida es conmutada con cada evento de cambio de estado de inactiva a activa de la entrada correspondiente. En el modo pulsación se realiza una operación de activación de la salida correspondiente en un cambio de estado de la entrada y una operación de desactivación en el cambio opuesto. Por último, el modo regulación. En este modo de funcionamiento la salida se regula en intensidad con los procedimientos que se explicarán en el apartado 4.7.2.

En función de estos parámetros los modos definidos e implementados son los siguientes:

- **Modo local digital normal toggle (MLDNT):** Modo conmutación con lectura digital simple de la entrada y salida local.
- **Modo local digital normal pulsación (MLDNP):** Modo pulsación con lectura digital simple de la entrada y salida local.
- **Modo local digital normal dimmer (MLDND):** Modo regulación con lectura digital simple de la entrada y salida local.
- **Modo remoto digital normal toggle (MRDNT):** Modo conmutación con lectura digital simple de la entrada y salida remota.
- **Modo remoto digital normal pulsación (MRDNP):** Modo pulsación con lectura digital simple de la entrada y salida remota.
- **Modo remoto digital normal dimmer (MRDND):** Modo regulación con lectura digital simple de la entrada y salida remota.

En la Tabla 3.5 pueden observarse los comportamientos de las salidas en función de las entradas en caso de la detección de un evento concreto para los modos de funcionamiento definidos.

Modo	Evento	Operación
MLDNT	Flanco de activación de entrada	Conmutación de salida local

MLDNP	Flanco de activación de entrada	Activación de salida local
MLDNP	Flanco de desactivación de entrada	Desactivación de salida local
MLDND	Flanco de activación de entrada	Conmutación de salida local
MLDNR	Activación prolongada de entrada	Regulación cíclica de nivel de intensidad de salida local
MRDNT	Flanco de activación de entrada	Conmutación de salida remota
MRDNP	Flanco de activación de entrada	Activación de salida remota
MRDNP	Flanco de desactivación de entrada	Desactivación de salida remota
MRDND	Flanco de activación de entrada	Conmutación de salida remota
MRDNR	Activación prolongada de entrada	Regulación cíclica de nivel de intensidad de salida remota

Tabla 3.5 Comportamiento de los modos de funcionamiento

3.2.7 Mecanismo de detección de errores

Uno de los objetivos del presente proyecto es la implementación de un protocolo de comunicaciones que garantice unos niveles mínimos de robustez para la transmisión de datos a través del bus RS485.

En apartados anteriores hemos tenido ocasión de ver numerosas funcionalidades del sistema que requieren de la transmisión de datos a través de dicho bus. En el presente apartado y en los sucesivos se describirán algunos de los mecanismos definidos para la correcta realización de estas transmisiones de datos.

En primer lugar atendemos al mecanismo de detección de errores.

El mecanismo definido para la detección de anomalías en los datos que se transmiten por el bus es la generación de un código de Checksum que se transmite junto con los datos de interés.



Este sistema permite la detección de errores en los datos pero no su corrección. No obstante, es mucho más simple de implementar que un código cíclico de redundancia o mecanismos similares que sí permiten dicha corrección.

Los mecanismos de generación de CRC son más complejos y sólo tienen sentido en medios de transmisión con un elevado nivel de ruido o bien donde sea difícil la retransmisión de los datos debido a la existencia de un gran tráfico en la red o a la imposibilidad de solicitar expresamente dicha retransmisión.

En nuestro caso, un bus domótico, tanto el volumen de tráfico como los niveles de ruido están muy acotados. Por otro lado, la simplicidad del cálculo de un código de Checksum permite asegurar la disponibilidad de una mayor parte de los recursos del sistema para la realización de otras tareas o procesos.

En el apartado 4.3.1 se describirá el procedimiento seguido para el cálculo de dicho código Checksum.

3.2.8 Mecanismo de asentimiento

El mecanismo de asentimiento tiene como finalidad garantizar la transmisión en secuencia de la totalidad de las tramas que los diferentes nodos del sistema intercambian. Actúa como un mecanismo de detección de errores a un nivel más alto que el código Checksum, ya que permite detectar si una trama no alcanza su destino.

Este mecanismo permite realizar un control del flujo de datos en ambos sentidos de la comunicación. Para ello, todas las tramas disponen de dos números de secuencia: el **Número de Secuencia en Transmisión (NT)** y el **Número de Secuencia en Recepción (NR)**.

El NT permite la secuenciación de las tramas enviadas a un destino concreto. Cada trama enviada a un destino que deba ser asentida deberá contener un NT cuyo valor no coincida con el de ninguna trama que esté pendiente de ser asentida por parte de ese nodo destino.

El NR permite, por el contrario, al nodo destino realizar el asentimiento propiamente dicho de una trama recibida previamente. El valor que se asigna a NR debe coincidir con el valor de NT de la última trama recibida correctamente de dicho nodo. Este asentimiento se puede hacer tanto con tramas específicas para tal fin (tramas que no deben ser asentidas a su vez y por tanto no alteran el valor de NT al ser transmitidas) o bien a través de una trama cualquiera.

Existen varios tipos de tramas. Desde el punto de vista del mecanismo de asentimiento se pueden distinguir las tramas que no requieren asentimiento (y por tanto no incrementan el valor del NT) de las que sí lo requieren.

Para simplificar este mecanismo y dado que los requisitos de tráfico del sistema no son críticos para su funcionamiento, se ha tomado un tamaño de ventana de transmisión de una sola trama. Esto quiere decir que nunca podrá existir más de una trama enviada pendiente de asentimiento al mismo tiempo.

En caso contrario, si sí fuera posible tener más de una trama pendiente de asentimiento, sería necesario diferenciar entre asentimientos negativos y positivos de manera explícita.

En el Diagrama 3.7 se muestra un ejemplo de funcionamiento de un sistema con ventana de transmisión de más de una trama. Como se puede observar, el emisor A transmite más de una trama antes de recibir el asentimiento de la primera de las tramas enviadas. Esto hace necesaria la existencia de un asentimiento negativo explícito, para poder distinguir la que originó el fallo.

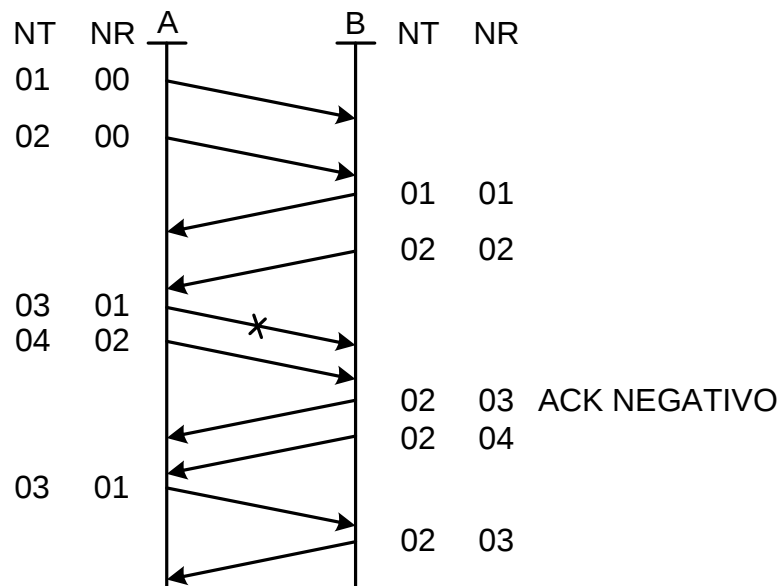


Diagrama 3.7 Mecanismo de ventana múltiple

Igualmente se puede observar como sólo se retransmite la trama de la que se recibió un asentimiento negativo. Esta forma de operar es muy compleja y requiere el consumo de muchos recursos del sistema ya que precisa del almacenaje en memoria de todas las tramas pendiente de asentimiento. Además, la casuística derivada de esta forma de funcionamiento es muy extensa.



Por estas razones se ha optado por un mecanismo efectivo pero simple que permite únicamente la existencia de una trama sin asentir, evitando de este modo la existencia de asentimientos negativos y reduciendo los requisitos de memoria necesarios en el sistema microprocesador.

El mecanismo de asentimiento diseñado tiene las siguientes características principales:

- **Número de Secuencia en Transmisión:** Permite numerar las tramas enviadas a un destino concreto.
- **Número de Secuencia en Recepción:** Permite asentir tramas recibidas previamente.
- **Ventana de transmisión de una sola trama:** No se puede transmitir una trama que requiera asentimiento si existe otra que aún no lo ha recibido. Cuando ocurre esto se dice que la ventana de transmisión está llena.
- **Tiempo de espera de asentimiento limitado:** Cuando no se recibe el asentimiento de una trama en un intervalo de tiempo establecido, se considera que dicha trama no alcanzó su destino.
- **Número de retransmisiones limitado:** Cuando se determina que una trama no ha alcanzado su destino, se procede a su retransmisión, no pudiendo realizarse esta operación más de un número determinado de veces consecutivas.

Con el objetivo de aportar una mejor visión del mecanismo de asentimiento se va a plantear a continuación la casuística de las transmisiones de datos a través del bus RS485.

En adelante, las tramas que requieren asentimiento se representarán en color azul mientras que las que no lo requieren se representaran en color verde.

3.2.8.1 Transmisión de tramas sin errores

El funcionamiento deseado del sistema consiste en la transmisión de datos a través de la red sin la existencia de errores. En el Diagrama 3.8 se puede observar como el nodo A transmite una trama que requiere asentimiento y el nodo B la asiente con una trama que no requiere asentimiento.

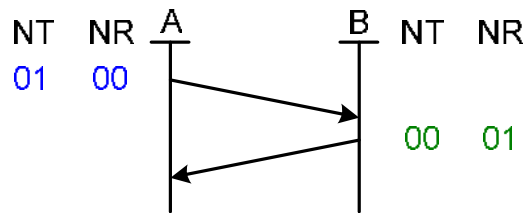


Diagrama 3.8 Transmisión sin fallos (caso 1)

Existe también la posibilidad de que el asentimiento se lleve a cabo mediante la transmisión de una trama que a su vez requiere de asentimiento, como se puede ver en el Diagrama 3.9.

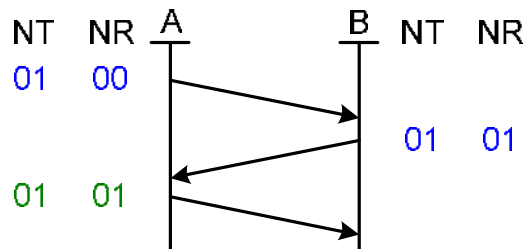


Diagrama 3.9 Transmisión sin fallos (caso 2)

3.2.8.2 Fallo en el envío de una trama que requiere asentimiento

Si el fallo se produce en una trama que requiere asentimiento, este se detecta ante la ausencia de dicho asentimiento en un tiempo determinado. Desde el punto de vista del emisor de la trama, este caso es indistinguible de aquel en el que es la trama de asentimiento la que no se recibe.

No obstante, el destinatario de la trama sí distingue ambos casos, ya que en el primero no percibe ningún comportamiento anómalo, mientras que en el segundo recibe la trama por duplicado.

En el Diagrama 3.10 se puede observar como el emisor (nodo A) transmite una trama que no alcanza su destino. Una vez que el temporizador para la recepción del asentimiento expira, procede a retransmitir la trama.

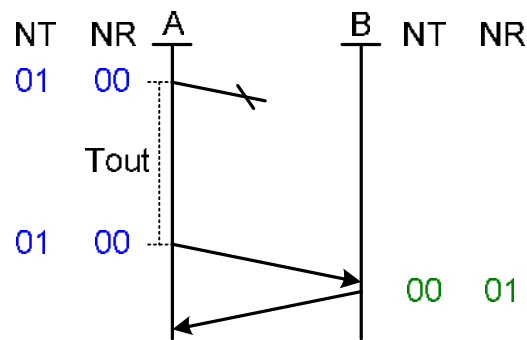


Diagrama 3.10 Expiración de temporizador por fallo en envío

Cabe hacer destacar que el emisor de la trama no puede transmitir tramas que requieran asentimiento durante el tiempo en que esté esperando la recepción de la confirmación de trama recibida en el destino. Durante ese tiempo se dice que la ventana está llena.

Debe tenerse en cuenta que este mecanismo debe aplicarse a las comunicaciones con todos los nodos de la red de manera simultanea. Por tanto, debe existir una tabla donde se almacene el valor de NT recibido y de NR que se espera recibir de cada nodo. Dicha tabla se denomina **tabla de direcciones** y sus campos son: Dirección, NT Esperado, NR Enviado y Tipo de la última trama enviada.

3.2.8.3 Fallo en el envío de una trama de asentimiento

Desde el punto de vista del emisor de la trama este caso es indistinguible del caso anterior. Es el receptor de la trama (nodo B) quien percibe la existencia de una trama repetida (con el mismo NT que la última recibida) e interpreta este hecho como un fallo en la transmisión del asentimiento de dicha trama.

En el Diagrama 3.11 se puede observar el comportamiento del sistema ante un fallo en la transmisión de una trama de asentimiento que no requiere a su vez de asentimiento.

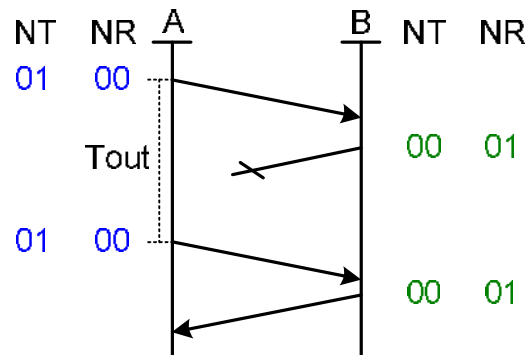


Diagrama 3.11 Fallo en la transmisión de una trama de asentimiento

Sin embargo, existe la posibilidad de que dicho asentimiento fuese transmitido con una trama que a su vez sí requería de asentimiento. En ese caso, el receptor actúa del mismo modo, retransmitiendo la trama. La diferencia consiste en que en esta ocasión, la trama se encontraba almacenada en memoria.

3.2.9 Mecanismo de generación de direcciones

Cada módulo remoto posee una dirección propia. Esto hace posible diferenciar entre las placas que estén conectadas a un mismo bus. Dicha dirección debe ser capaz de direccionar todos los nodos que puede llegar a haber en el bus. En el caso de RS485, la recomendación dice que dicho número no debe exceder de 32 cargas en el bus.

Tanto al dirección destino como la dirección origen deben formar parte de cada trama enviada por el bus.

3.2.9.1 Generación de direcciones

Existen varias posibilidades a la hora de generar las direcciones de cada uno de los nodos remotos.

Una primera posibilidad es la generación de direcciones únicas durante el proceso de programación de cada placa. Esta posibilidad requeriría una capacidad de direccionamiento mucho mayor de la estrictamente necesaria, puesto que las redes domóticas planteadas son redes locales, de dimensiones muy limitadas.

La única posibilidad de evitar este sobredireccionamiento es la programación de direcciones únicas en las placas que, de antemano, sabemos que van a formar parte, para siempre, de una misma red domótica local. Esta solución presenta problemas de escalado y de falta de flexibilidad que se contraponen a los objetivos planteados para el presente proyecto.



La solución que mejor se adapta a cambios en la topología y que permite simplificar la programación de los módulos (al no ser necesario programar cada módulo con una dirección propia de modo individual) es la generación automática de direcciones.

La generación automática de direcciones consiste en un primer proceso de generación de dirección propia de forma aleatoria y un segundo proceso de comprobación de dicha dirección.

3.2.9.2 Generación aleatoria de dirección propia

La generación de dirección aleatoria se basa en un mecanismo pseudoaleatorio que se puede aleatorizar completamente usando algún mecanismo de interacción con el exterior. Por ejemplo, cada nodo, al iniciar su ejecución, puede comprobar si posee una dirección propia (almacenada en EEPROM) y si no es así, iniciar una espera durante la cual el contador del sistema se incrementa hasta que el usuario active alguna entrada, momento en el que se toma dicho contador como semilla de una función de generación de secuencias pseudoaleatorias.

3.2.9.3 Comprobación de dirección

La comprobación de direcciones es algo compleja debido principalmente a la necesidad de transmitir dicha dirección a todos los nodos de la red, lo cual implica la existencia de un instante de tráfico relativamente elevado.

Para evitar la existencia de este pico de tráfico, se propone el siguiente mecanismo para la comprobación de direcciones:

En primer lugar, existe una trama de control específica denominada **Trama de Comprobación de Dirección** (en adelante CDIR). Esta trama tendrá como dirección destino la dirección de difusión y como dirección origen la dirección a comprobar.

En principio, estas tramas no deben ser asentidas por todos los nodos del bus, puesto que tendrían lugar colisiones inevitablemente. El mecanismo propuesto para la detección de duplicidad de direcciones es la generación de un código de secuencia en transmisión (NT) inicial aleatorio que permita detectar dicha duplicidad en caso de que la trama CDIR o las de **Indicación de Dirección Repetida** (IDRE) no alcancen su destino. El mecanismo completo sería el siguiente:

a) Cuando una placa entra en funcionamiento, comprueba en EEPROM si posee una dirección propia diferente de la dirección por defecto. Si la posee la secuencia finaliza. Si no, se procede con el paso b).



b) Generación de una dirección aleatoria usando el mecanismo adecuado. En principio, para una mejor aleatorización, es posible requerir la interacción del usuario.

c) Generación de un número de secuencia de trama en transmisión (NT) inicial aleatorio. Se puede usar el mismo mecanismo que en el paso anterior.

d) Formación y envío de la trama CDIR (comprobación de dirección). Esta llevará como número de secuencia el NT generado aleatoriamente.

Desde este momento, por defecto la placa ya posee una dirección propia. Cada una de las placas del bus debe tener en memoria una tabla en la que figuran las direcciones de las que recibe tramas y el NT que recibieron por última vez de esa dirección. Esta información tendrá una doble función. Por un lado permite a los nodos saber qué NR deben incluir en las tramas que envíen a dicha dirección y por otro lado, permite, al recibir una trama CDIR, comprobar si esa dirección ya existe o si, en caso de no ser así, con que NR deben comenzar la secuencia de envío a dicha dirección en adelante.

Por lo tanto, cuando un nodo recibe una trama CDIR, lo primero que hace es comprobar si la dirección bajo prueba es la propia. En ese caso, se procedería al envío de una trama IDRE (indicación de dirección repetida). Si no es la propia, se comprueba si existe en la tabla de direcciones. En caso de existir se ignora la trama (el nodo afectado se encargará de enviar la trama IDRE adecuada). En caso de no existir se crea una nueva entrada en la tabla de direcciones y se toma el número de secuencia aleatorio como NR inicial para el envío de tramas a esa dirección.

Se hace necesario desarrollar la casuística que tiene lugar si se tiene en cuenta la posibilidad de que las tramas tanto CDIR como IDRE no alcancen su destino:

i) Si CDIR se pierde: En este caso, el nodo no recibe ningún IDRE y supone que dicha dirección no existía. Si realmente no existía, no recibirá tramas, puesto que el resto de nodos no conocen su dirección, hasta que no transmita alguna (en cuyo caso, el resto de nodos anotarían su dirección y número de secuencia como si de una trama CDIR se tratara). Si dicha dirección sí existía, en el momento en que transmita alguna trama, aquel nodo que posea esa dirección, enviaría una trama IDRE, forzando la generación de una nueva dirección, mientras que los demás, ignorarían la trama, al tener NT diferente del esperado.

ii) Si IDRE se pierde: En el caso de que la dirección a comprobar mediante CDIR exista, pero sea la trama de indicación de dirección repetida (IDRE) la que se pierda, el nodo que envió la trama CDIR pensará que dicha dirección no existe, mientras que el resto de nodos, se habrán percatado (estamos suponiendo que en este caso la transmisión de la trama CDIR ha sido correcta) y por tanto no habrán alterado el NT anotado para dicha dirección. En este caso, el nodo con dirección repetida no se



percata de que su dirección no es válida hasta que no reciba alguna trama, ya que es entonces cuando se dará cuenta de que el NR recibido no coincide con el generado aleatoriamente y enviado junto con la trama CDIR.

Cabe hacer un pequeño inciso en este momento sobre el mecanismo de asentimiento propuesto:

A priori puede parecer que la detección de un NR diferente del esperado podría deberse a un simple fallo en la transmisión de alguna trama, siendo así muy difícil distinguir el caso en que el error sea de direccionamiento. No obstante, puesto que la ventana de transmisión es de una sola trama, las únicas irregularidades que pueden tener lugar en cuanto al NT son:

- Que se reciba duplicado. Lo cual significa que la trama última enviada a ese nodo no llegó a su destino.
- Que sea diferente del esperado. Lo cual significa que existen problemas de direccionamiento.

En el segundo caso hay dos posibilidades. Puede ser que el nodo que envió la trama tenga el problema de direccionamiento o bien el nodo que la recibe. Para distinguir ambos casos, existe un periodo durante el cual, aunque la dirección propia no esté en principio repetida, esta está sometida a un periodo de prueba. Es decir, si tras el envío de una trama CDIR, la primera trama recibida tiene el NR adecuado, la dirección propia queda confirmada y en adelante problemas con el NR recibido se deben a fallos en las direcciones ajenas.



3.3 Arquitectura software

Existe una correspondencia entre la arquitectura funcional del sistema y su arquitectura software. Es decir, las funcionalidades del sistema domótico son implementadas por una serie de elementos de software que hemos clasificado como **tareas periódicas, interrupciones y funciones**.

El objetivo del presente apartado es mostrar dichos elementos de software y su ubicación dentro del esquema de módulos descrito en apartados anteriores.

3.3.1 Tareas periódicas

Las tareas periódicas son las rutinas que el RTOS (apartado 2.3.1.4, página 52) ejecuta con la periodicidad establecida durante la fase de diseño del sistema.

3.3.1.1 Captura de Entradas

Su objetivo es leer las entradas locales y procesarlas en función de la configuración actual de las entradas y salidas.

Se ejecuta con la frecuencia suficiente para detectar los eventos de tipo local que puedan tener lugar (básicamente la pulsación de sensores por parte del usuario).

3.3.1.2 Activación de Salidas

Su objetivo es llevar a cabo las acciones correspondientes para cada salida local o remota del sistema. La operación concreta viene determinada por la tarea de Captura de Entradas o por la de Interpretación de Tramas.

Su frecuencia debe ser mayor o igual que la de las tareas que le suministran la información de las operaciones a realizar.

3.3.1.3 Recogida de Tramas

Su función es leer las tramas recibidas a través del bus una vez que estas han sido recibidas por parte de la interrupción de recepción (que veremos en el apartado 3.3.2) y notificar a la tarea de interpretación de tramas de la presencia de nuevos datos en el búfer local.

Su periodicidad debe ser escalada en función del tráfico esperado en el bus de datos.



3.3.1.4 Interpretación de Tramas

El objetivo de esta tarea es procesar los datos recibidos a través del bus RS485. Esta tarea se encarga de implementar la mayor parte del mecanismo de asentimiento descrito en la sección 3.2.8.

Además de procesar la información de asentimiento, procesa los datos de cada trama, generando, en caso necesario, las acciones a llevar a cabo por la tarea de activación de salidas de manera local.

Su frecuencia de ejecución debe ser la suficiente para procesar las tramas recibidas reduciendo en la medida de lo posible la probabilidad de que el búfer de entrada del nodo desborde. En este caso, debido a la gran cantidad de procesamiento requerido por esta tarea, debe encontrarse una solución de compromiso entre la frecuencia de la tarea de recogida de tramas, la frecuencia de la tarea de interpretación y el tamaño del búfer de entrada del nodo.

3.3.1.5 Envío de Tramas

La tarea de envío de tramas comprueba periódicamente la existencia de tramas en el búfer de salida del sistema para proceder a su envío a través del bus de datos.

La frecuencia de envío de tramas debe cumplir las mismas restricciones que la de recogida de tramas. Esta debe ser suficiente para minimizar la probabilidad de perder tramas por desbordamiento del búfer teniendo en cuenta el tamaño del búfer de salida y la frecuencia con la que se pueden llegar a generar nuevas tramas (valor que depende de la tarea de captura de eventos)

3.3.1.6 Contadores

Esta es una tarea que se ejecuta con una frecuencia concreta y que actúa como gestora de los diferentes contadores del sistema. Concretamente lleva a cabo las tareas de temporización de la espera del asentimiento y de recepción de tramas.

3.3.2 Interrupciones

En el sistema diseñado existen dos tipos de interrupciones. Por un lado están las que se ejecutan de manera no controlada, y que permiten la captura de eventos externos. Estas son las interrupciones de recepción de bytes y de detección de paso por cero de la señal de la red eléctrica.

Por otro lado tenemos las interrupciones que se programan para tener lugar en un momento concreto. Estas son las de los temporizadores que permiten sincronizar el control de los TRIAC's con los pasos por cero de la señal eléctrica.



3.3.2.1 Recepción de bytes

Esta interrupción es la que recibe y procesa cada uno de los bytes de las tramas de datos que se transmiten a través del bus RS485.

3.3.2.2 Paso por cero (interrupción externa)

Esta interrupción permite la sincronización con la red de alimentación eléctrica. Actualmente, esta labor se realiza para la regulación de salidas a través de TRIAC's (que se explicará detalladamente en el apartado 4.7.2)

3.3.2.3 Temporizadores

Las interrupciones de desbordamiento de los temporizadores se utilizan para el control de potencia de las salidas reguladas, tal como veremos en el apartado 4.7.2.

3.3.3 Funciones

Las funciones realizan labores concretas en momentos concretos dentro de la ejecución del firmware del sistema domótico.

Éstas son invocadas tanto por tareas como en momentos puntuales como la inicialización. Por contra, las interrupciones normalmente no hacen llamadas a subprocesos, por los problemas que ello puede conllevar en caso de que estos tomen demasiado tiempo de ejecución.

3.3.3.1 Inicialización

La función de inicialización se encarga de asignar el valor inicial por defecto a las variables globales del sistema relacionadas con los estados de las entradas y las salidas.

3.3.3.2 Comprobación de existencia de configuración

Esta función comprueba la existencia de información relativa a la configuración del sistema en la memoria interna del microcontrolador. De este modo se comprueba si el nodo ha sido previamente inicializado o si es la primera vez que se ejecuta su firmware.

3.3.3.3 Lectura de configuración

Una vez que se determina que existe en memoria información relativa a la configuración del sistema, esta función la lee e interpreta según el formato que veremos en el apartado 4.4.



Además, establece el valor de las salidas locales al mismo valor que tenían la última vez que el sistema se desconectó de la alimentación eléctrica. Esto lo hace gracias a que dicho estado se almacena en la memoria interna del nodo.

3.3.3.4 Generación de configuración por defecto

Cuando se determina que no existe configuración almacenada en la memoria interna del sistema, esta función se encarga de generar una configuración por defecto para que el sistema pueda funcionar aunque no exista un nodo central que le transmita dichos datos a través del bus RS485.

Si no se prevé la existencia de dicho nodo, esta función sería la encargada de configurar el sistema según la configuración generada en tiempo de programación.

3.3.3.5 Cambio de potencia de dimmer

Mediante esta función es posible actualizar el valor de los indicadores de nivel de potencia de cada dimmer, permitiendo la regulación de intensidad de las salidas reguladas de manera cíclica. Partiendo del valor mínimo, alcanza el máximo en sucesivas llamadas y entonces comienza a decrementar dicho valor hasta alcanzar el mínimo nuevamente, y así sucesivamente.

3.3.3.6 Creación de tramas

Esta es la función encargada de generar las tramas de datos que se transmitirían a través del bus RS485. Para ello las aloja en el búfer de salida del nodo y actualiza el valor del contador de tramas existentes en dicho búfer.

3.3.3.7 Inserción de dirección en tabla de direcciones

Esta función permite al nodo registrar una dirección nueva en su tabla de direcciones para así poder, en adelante, realizar labores de asentimiento y, en general, control de flujo, en las comunicaciones con dicho nodo.

3.3.3.8 Búsqueda de direcciones en tabla de direcciones

La búsqueda de direcciones en la tabla de direcciones se usa tanto para determinar donde se encuentra una dirección concreta dentro de la tabla como para determinar si esta existe en dicha tabla.

De este modo, cuando se recibe por primera vez una trama de un nodo, su dirección se puede agregar a la tabla de direcciones para poder así, en adelante, realizar labores de asentimiento.



3.3.4 Correspondencia entre elementos software y funcionales

Existe una correspondencia entre los módulos funcionales del sistema y los elementos software descritos anteriormente.

A continuación se enumeran las funciones que implementan cada uno de los módulos:

- **Módulo principal:** Inicialización, Comprobación de existencia de configuración, Lectura de configuración, Generación de configuración por defecto.
- **Módulo de comunicaciones:** Recogida de tramas, Interpretación de tramas, Envío de tramas, Contadores, Recepción de bytes, Creación de tramas, Inserción de direcciones en tabla de direcciones, Búsqueda de direcciones en tabla de direcciones.
- **Módulo de gestión de entradas y salidas:** Captura de Entradas, Activación de salidas, Paso por cero, Temporizadores, Cambio de potencia de dimmer.