

Capítulo 4: Infraestructura de Comunicación de un Sistema AMR

4.1. Introducción

En este capítulo se profundiza en los requerimientos de la infraestructura de comunicación de los sistemas AMR.

En primer lugar se describen los mecanismos básicos de gestión automática de la topología incluyendo mecanismos de asociación de contadores, rutinas de lectura de contadores y generación de informes.

A continuación se detallan los comandos remotos de conexión/desconexión, lectura bajo demanda, actualización remota de contadores y otros comandos de monitorización y gestión de un sistema AMR.

Finalmente se realiza un análisis de los estándares de comunicación disponibles en el mercado, incluyendo comunicaciones PLC e inalámbricas entre los contadores y el concentrador de datos, y las comunicaciones radio con el centro de control.

4.2. Gestión Automática de Topología

La topología de la red deber ser gestionada por el software AMR instalado de el centro de control de la compañía eléctrica, haciendo uso de ciertos servicios para tareas tales como son agregar y eliminar dispositivos del sistema, crear asociaciones de contadores, clientes, concentradores de datos y transformadores; actualizar la configuración de los concentradores de datos, gestionar las comunicaciones y cargar de forma remota nuevo firmware a los concentradores de datos y contadores de modo que sea posible añadir nuevos servicios sin necesidad de reemplazar los dispositivos.

En los sistemas AMR basados en comunicaciones PLC entre contadores y concentradores de datos, la señalización se realiza a través de la línea eléctrica de potencia. Esta característica permite al software del sistema y los concentradores de datos descubrir automáticamente nuevos contadores con los que pueden comunicar, así como reportar al sistema y a las aplicaciones corporativas de la compañía eléctrica la lista de contadores.

Esta información puede ser empleada para asociar contadores y concentradores de datos y generar una lista de dispositivos físicamente conectados a un mismo transformador de distribución. El proceso de descubrimiento (y puesta en marcha de contadores) toma del orden de 48 horas en este tipo de sistemas, siendo la ventaja fundamental que no es necesaria la intervención humana alguna para llevar a cabo el proceso. Tampoco es necesario seguir un procedimiento especial de instalación para verificar el funcionamiento de la red de comunicaciones o construir una base de datos con información de los dispositivos instalados, ya que los concentradores de datos descubrirán sus contadores de forma automática.

La funcionalidad de gestión automática de topología es importante no sólo durante la instalación inicial, sino que también resulta de utilidad posteriormente una vez que el equipo está en servicio. Los concentradores de datos cuentan con un proceso automático que de forma periódica envía un comando a través de la línea eléctrica solicitando respuesta a aquellos contadores que no hayan sido aún puestos en servicio. Así mismo, los concentradores de datos buscan periódicamente contadores huérfanos y reportan información sobre los mismos al software del sistema a través de aquellos contadores definidos como repetidores.

Esto permitirá identificar los cambios que se hayan producido en la red, desde que se llevo a cabo la instalación y la configuración original, debido a trabajos de mantenimiento en la red de distribución o fallos en el sistema.

Un contador responderá siempre que no haya sido puesto en servicio y haya recibido una solicitud de gestión automática de red por parte de un concentrador de datos. Cada vez que un nuevo contador envía una respuesta, el concentrador de datos envía un evento al software del sistema notificando que hay nuevos datos de gestión

automática de red disponibles. Una vez que los datos son recibidos, la compañía eléctrica podrá recuperar la lista de contadores más reciente y solicitar al concentrador de datos que actualice dicha lista. Posteriormente esta información deberá ser sincronizada con la información que maneja el software del sistema AMR.

Cuando nuevos dispositivos son descubiertos o han quedado huérfanos, un informe de gestión automática de topología es enviado al software del sistema para proporcionar cierta información de dichos dispositivos, como son el identificador de dispositivo o número de serie, la potencia de la señal de comunicación, el número de dispositivos utilizados como repetidores para alcanzar el dispositivo especificado, la fecha y la hora del descubrimiento, y otros detalles de la asociación contador – concentrador de datos que se ha producido.

La funcionalidad de gestión automática de topología debe hacer uso de la información proporcionada para determinar la asociación concentrador de datos – contador más apropiada. Diariamente, haciendo uso de informes de comunicación previos, debe asignar a cada contador el mejor "gateway/concentrador de datos".

La gestión automática de topología obtiene los informes a medianoche durante comunicaciones programadas y sin intervención manual para actualizar las rutas de comunicaciones a los contadores en caso de modificaciones en la red eléctrica o en las subestaciones de distribución.

4.2.1. Asociación de Contadores

Una asociación es un conjunto de contadores denotado por el nombre del grupo. El software de gestión de un sistema AMR debe permitir definir tantos grupos y subgrupos de contadores como desee la compañía eléctrica, de modo que sea posible realizar acciones como el envío de comandos a un conjunto de dispositivos que compartan una característica común, como pueden ser la ubicación geográfica, la red de distribución o los clientes.

Dicha asociación debe permitir la posibilidad de asignar un contador a más de un grupo y subgrupo.

4.2.2. Rutina de Lectura de Contadores

El sistema AMR debe estar adecuadamente dimensionado para realizar diariamente la lectura automática de toda la base de contadores eléctricos, incluyendo tanto lecturas programadas como no programadas. Habitualmente, cada noche a las 00.00 horas, cada concentrador de datos sondea a sus contadores asociados para poder recoger sus lecturas diarias. El centro de control del sistema solicita a los concentradores de datos las lecturas de los contadores para su tratamiento y posterior transmisión a los sistemas de la compañía eléctrica.

Sin embargo, la frecuencia con la que cada concentrador sondea a sus contadores depende del intervalo de registro de medidas necesario. Cuanto menor sea el intervalo de registro de medidas requerido por la compañía eléctrica, más frecuentes serán las comunicaciones entre los concentradores de datos y los contadores.

Las tareas de sondeo por parte de los concentradores de datos deben ser configurables haciendo uso del software del centro de control, de modo que sea posible evitar sobrecargas en la red expandiendo en el tiempo estas tareas. Sin duda, el uso de la característica de asociación de contadores facilita esta tarea.

Adicionalmente, el sistema debe contar con capacidad para realizar lecturas bajo demanda (Ad-hoc) en un periodo de tiempo limitado (típicamente 120 segundos). Para este propósito debe soportar comunicación bidireccional con los contadores y la arquitectura debe ser diseñada para optimizar las comunicaciones entre el Head-End de recolección de datos y los contadores. El tiempo de respuesta tendrá dos componentes principales, el tiempo necesario en el enlace contador – concentrador de datos y el tiempo necesario en el enlace concentrador de datos – centro de control.

En el caso de protocolos PLC sobre la línea de eléctrica de potencia, el tiempo dedicado a enviar el mando desde el concentrador de datos hasta el contador y recibir los datos de retorno es del orden de 10 segundos. El tiempo exacto variará en función del número de reintentos y repetidores necesarios para alcanzar el contador.

En el enlace concentrador de datos – centro de control, suponiendo el uso de una WAN basada en IP, permanentemente activa, como puede ser GPRS, donde no hay tiempo de configuración de conexión y el periodo de latencia es bajo, el tiempo necesario será función de la velocidad de datos disponible en la WAN. Suponiendo una conexión WAN de 9600kbs, el tiempo necesario sería 2 segundos, dando lugar a un tiempo total de aproximadamente 12 segundos para realizar las transacciones de extremo a extremo. Incluso en el caso de que la desviación con respecto a las hipótesis consideradas sea reseñable, el tiempo de la transacción no debe exceder los 120 segundos en ningún caso [38].

Por último, aparte de las lecturas diarias y bajo demanda, el sistema deberá contar con las herramientas necesarias para programar cualquier otra lectura de forma individual o para un grupo determinado de contadores (o todos los contadores del sistema) en una fecha específica o con una frecuencia fija (horaria, diaria, semanal, etc.)

El uso de XML (Extensible Markup Language) y SOAP (Simple Object Access Protocol) proporcionará la posibilidad de integrar el sistema AMR con otros sistemas corporativos de la compañía eléctrica de modo que sea posible solicitar la lectura específica de determinados parámetros.

El intervalo de registro del perfil de carga de los contadores debe ser programable para registrar los datos cada 5, 15, 30, 60 minutos o una vez al día, siendo posible

registrar como valores totales hasta dieciséis canales [36]. A cada uno de estos canales será posible asociar el registro de uno de los siguientes valores proporcionados por el contador:

- Potencia Activa (kW).
- Energía Activa (kWh).
- Potencia Reactiva (kVAR).
- Energía Reactiva (kVARh).
- Tensión Eficaz (RMS) por fase.
- Corriente Eficaz (RMS) por fase.
- Factor de potencia por fase.
- Frecuencia.
- Seno de ángulo de fase por fase.
- Pulso cuenta de los dispositivos de salida de pulsos.
- Potencia Aparente (VA).
- Potencia Activa Máxima.
- Potencia Reactiva Máxima, por cuadrante.
- Demanda Acumulada, Máxima y Continua.
- Demanda Anterior.
- Tensión Máxima y Mínimo por fase.

El número de días de almacenamiento disponibles en el registro de perfil de carga depende del canal del contador y de la configuración del intervalo de registro [37].

4.2.3. Informes de Recuperación de Datos y Falta de Rendimiento

Cada noche el sistema inicia la recuperación de los valores de medidas de los contadores. Una vez que este proceso ha terminado, el sistema debe generar los informes de rendimiento que determinarán la calidad de los servicios que se prestan.

Los indicadores utilizados para medir el rendimiento están habitualmente basados en las lecturas realizadas en los contadores disponibles. Podemos definir los contadores disponibles como $(N_i - N_{pf} + N_p)$ donde:

- N_i , es el número de contadores instalados.
- N_{pf} (N_{24} , N_{96} , N_{30d}), es el número de contadores considerados no disponible dentro de las últimas 24 horas, 96 horas o 30 días.

- N_p (N_{24} , N_{96} , N_{30d}), es el número de contadores que han emitido los valores de lectura a pesar de estar considerados como N_{pf} .
- N_{24} , es el número de contadores que han entregado las lecturas de consumo diarias dentro de las últimas 24 horas.
- N_{96} , es el número de contadores que han entregado las lecturas de consumo diarias dentro de las últimas 96 horas.
- N_{30d} , es el número de contadores que han entregado las lecturas de consumo diarias dentro los últimos 30 días.

Así, pueden definirse los siguientes indicadores:

- $P_{24} (\%) = [N_{24} / (N_i - N_{pf} + N_p)] * 100$
- $P_{96} (\%) = [N_{96} / (N_i - N_{pf} + N_p)] * 100$
- $P_{30} (\%) = [N_{30d} / (N_i - N_{pf} + N_p)] * 100$

No obstante, el software deberá contar con flexibilidad suficiente para definir e implementar con facilidad cualquier otro indicador de desempeño deseado [5].

Por último, deberán generarse informes conteniendo todos los índices y los valores que faltan. La integración con sistemas externos es necesaria para poder determinar qué datos faltan de forma justificada (aquellos de contadores no disponibles) para identificarlos e informar a la compañía eléctrica en consecuencia. Este es el caso de cortes de suministro previstos y caídas de tensión (es necesario disponer de información de la compañía eléctrica), o fallos en el sistema de comunicaciones (es necesario disponer de información por parte de la operadora WAN).

4.3. Comandos Remotos

El software de un sistema AMR debe contar con un amplio juego de comandos disponibles que enviar de forma remota a contadores y concentradores de datos. Estos comandos podrán ser enviados a un dispositivo individual o a un grupo de ellos, y podrán ser ejecutados de forma instantánea o ser programados de forma previa.

Cada vez que un comando sea enviado, debe proporcionar al operador información sobre el éxito de la solicitud. Además, es conveniente disponer de un histórico de comandos enviados incluyendo si la solicitud fue exitosa o no [4].

Los comandos fundamentales son detallados a continuación.

4.3.1. Conexión y Desconexión de Contadores

El sistema debe soportar conexión y desconexión remota de contadores para lo que cada contador deberá estar dotado con un interruptor de desconexión. La conexión y desconexión debe ser una funcionalidad configurable, que proporcione a la compañía eléctrica flexibilidad para permitir a ciertos dispositivos ignorar los comandos.

Antes de enviar cualquier comando o simplemente para verificar la información proporcionada por un cliente será posible consultar el estado de desconexión del relé remotamente desde el centro de control. La conexión o desconexión local debe generar un evento en el sistema que podrá ser reportado al centro de control en tiempo real o durante la lectura diaria programada en la noche.

Con objeto de limitar el servicio a un cliente por debajo del límite máximo que soporta su instalación (contador y cableado asociado), cada contador debe contar con un umbral de disparo programable. Si el cliente excede el umbral fijado por un período de tiempo determinado, el contador abrirá el interruptor de desconexión integrado.

De este modo, reduciendo el umbral de un cierto número de contadores, es posible reducir la carga de un área determinada de forma inteligente, evitando apagones o caídas de tensión, reduciendo el coste de la energía de pico para la compañía eléctrica, y minimizando el uso de tecnologías de generación con un coste ambiental más elevado (típicamente utilizadas en horas de punta).

Este mismo interruptor utilizado para habilitar el servicio físico de conexión/desconexión y limitar la capacidad de carga, podría ser también empleado para soluciones AMR de prepago.

El punto de disparo de desconexión por límite de carga debe ser programable en función de un umbral de potencia activa máxima y del tiempo de duración. Después de un disparo por exceso de carga, el consumidor podrá reconectar el contador manualmente. No obstante, si el punto de disparo sigue siendo rebasado después de la reconexión manual, en menos de un minuto el contador volverá a disparar un evento

de desconexión, registrando en el sistema los eventos asociados. Lógicamente debe existir la posibilidad de activar y desactivar esta funcionalidad.

Se definen los siguientes parámetros:

- **Umbral de disparo**

El contador contará con umbrales de disparo tanto en el primario como en el secundario, y podrá ser programado para utilizar cualquiera de estos valores para determinar el punto de desconexión de carga. Este valor es el nivel de potencia activa, en vatios, en el que el contactor de desconexión de carga se abrirá. En el caso de contadores polifásicos dicho valor vendrá dado por la suma de las 3 fases. Generalmente este valor está comprendido entre 1.000 y 72.000. A modo de ejemplo, 27.600 vatios equivalen a 40A por fase a 230V en un contador trifásico.

- **Tiempo de disparo**

Este parámetro permite determinar el tiempo, en minutos, que debe ser sobrepasado el umbral de potencia activa máxima (o el umbral de crédito consumido en el caso de servicio prepago) para desconectar la carga. Si la potencia cae por debajo del umbral, cuando la potencia sobrepase de nuevo el umbral, el sistema comenzará contar de nuevo desde cero. Cuando se establece en 0, la carga es desconectada de forma inmediata siempre que el valor umbral de potencia es alcanzado.

Si tras la desconexión debido a un exceso de carga, se produce un reenganche manual y el umbral de potencia es sobrepasado de nuevo durante un minuto, el contador será desconectado de nuevo.

4.3.2. Lectura Bajo Demanda

Haciendo uso de la funcionalidad de lectura bajo demanda, es posible recuperar inmediatamente la información de facturación o de potencia instantánea. Como ya se ha dicho, el sistema debe ser capaz de realizar lecturas ad-hoc en un intervalo de 120 segundos.

El sistema debe contar también con capacidad para obtener datos históricos de facturación en un período de tiempo especificado mediante el envío de un comando. Una vez que la solicitud ha sido finalizada de forma exitosa, el sistema debe informarnos del estado de finalización de la petición de servicio. Si pasado un periodo de tiempo definido no ha sido posible concluir la solicitud, debe considerarse que ésta ha expirado y reportar el fallo.

4.3.3. Actualización Remota de Firmware, Tarifa y Perfil de Carga

Una de las características fundamentales de los sistemas AMR es sin duda la posibilidad de cambiar la configuración de los dispositivos de forma remota. El firmware de contadores y concentradores de datos, el perfil de carga de los contadores y el tiempo de uso (Time of Use – ToU) de los contadores son algunas de las posibilidades.

La posibilidad de actualizar a los dispositivos (contadores y concentradores) la versión del firmware haciendo uso de la transmisión de comandos remotos permite actualizar mejoras funcionales en la base de dispositivos instalados sin necesidad de enviar a los técnicos de campo. Cada vez que se hace una actualización a distancia del firmware, el sistema debe monitorizar y reportar si la actualización se ha llevado a cabo de forma exitosa o no.

Distintas versiones de firmware podrán coexistir en los dispositivos de campo, de modo que una actualización gradual en diversas fases no implique ningún problema para el sistema. Por otra parte, si la compañía eléctrica desea utilizar versiones de firmware diferentes (debido por ejemplo a la coexistencia de modelos de contadores diferentes) que difieran en alguna característica, el software del centro de control debe estar capacitado para soportarlas.

Disponer de un comando que permita recuperar la versión de firmware de un dispositivo resulta de utilidad antes de realizar cualquier actualización o simplemente para poder agrupar los dispositivos en función de su versión de firmware (para realizar acciones masivas en dispositivos con las mismas características de firmware).

Otro aspecto relevante, es la posibilidad de definir varios períodos de tarificación posibilitando el registro de los consumos en base a una planificación horaria (en función de la hora del día, el día de la semana, el mes o la estación). Esta característica permite a la compañía eléctrica rastrear el consumo energético en el tiempo, en períodos específicos de tiempo específicos a lo largo del día, fijar tarifas individuales a efectos de facturación, y proporcionar información para el control de carga.

El ToU es empleado para computar el consumo de energía en diferentes registros sobre la base de una tarificación planificada. Cada contador debe soportar al menos cuatro registros, denominados tarifas (T1, T2, T3 y T4), para diferentes periodos de tiempo en un día.

El momento en el que se cambia de tarifa se denomina cambio de nivel y cada conjunto de cambios de nivel dentro de un periodo de 24 horas es conocido como planificación diaria. Generalmente existe un calendario perpetuo con diferentes horarios para los días laborables, los sábados, los domingos y los días festivos, y cada año es idéntico en lo que se refiere a los cambios de estaciones y vacaciones de

verano. Los valores de energía medidos se almacenan como totales en los cuatro registros de tarificación.

En el contador se almacenan los siguientes valores por tarifa:

- Energía Activa, directa e inversa.
- Energía Activa, directa + inversa.
- Energía Activa, directa - inversa.
- Energía Reactiva, absorbida y cedida.

La definición de la programación de ToU de los contadores se realiza durante el proceso de configuración (normalmente en fábrica). Sin embargo, es muy común que los clientes deseen cambiar su tarifa de acuerdo a sus necesidades. El cambio remoto permite el manejo de estos cambios de manera eficiente.

4.3.4. Gestión de Relés de Control

Determinados contadores cuentan con relés de control opcionales con capacidad para operar un dispositivo externo de bajo amperaje, como una bobina que a su vez controle un dispositivo de mayor amperaje. El estado abierto o cerrado del relé de control vendrá determinado por la tarifa en vigor siendo configurables los períodos de tarificación que activan dicho relé.

Cuando se envía una orden de difusión para cerrar el relé de control a todos los contadores, cada contador ejecutará la orden con un periodo aleatorio de retardo con objeto de evitar picos de tensión o subtensiones en la red eléctrica (debido a la conexión/desconexión de varias cargas simultáneamente) [38].

4.3.5. Lectura de Calidad de Energía

Los contadores deben monitorizar varios parámetros de calidad de energía, y enviar los eventos pertinentes al software del sistema a través del concentrador de datos. Adicionalmente, estos parámetros podrán ser leídos directamente en el contador a través de un puerto de conexión local. Cuando se produce un evento de calidad de energía, el estado debe volver a “normal” durante al menos 1 segundo para confirmar el mismo en caso de registrar un nuevo evento.

Los contadores deben proporcionar eventos de consumo de calidad para los siguientes parámetros:

- **Subtensión**

Registro del número de ocurrencias de caída de tensión en cualquier fase. El hueco de tensión debe tener una duración continua en el tiempo previamente establecido en la duración de umbral para que el evento sea contabilizado. El umbral que determina si la caída de tensión es registrada debe ser configurable

(normalmente como un porcentaje entre 1% y 99% por debajo del valor de tensión nominal). La tensión más baja alcanzada durante el último evento debe ser registrada junto con la fecha y la hora de ocurrencia.

- **Sobretensión**

Registro del número de ocurrencias de incremento de tensión en cualquier fase. El pico de tensión debe tener una duración continua en el tiempo preestablecido en la duración de umbral para que el evento sea computado. El umbral que determina si el pico de tensión es registrado debe ser configurable (habitualmente como un porcentaje entre 1% y 99% por encima de la tensión nominal). La tensión más alta alcanzada durante el último evento debe ser registrada incluyendo la fecha y la hora de ocurrencia.

- **Sobrecorriente**

Registro del número de eventos de sobrecarga de corriente en cualquier fase del contador. Para que el evento sea registrado, la condición de sobrecarga de corriente debe tener una duración del orden de 10 segundos. El umbral de sobrecorriente debe ser configurable como un porcentaje respecto la intensidad nominal del contador. El análisis de sobrecorriente debe detectar usos continuados por encima de un nivel de referencia (no casos instantáneos).

- **Interrupción del suministro**

Registro de la duración, la fecha y la hora de las últimas 10 interrupciones de suministro de larga duración, así como un recuento de todas las interrupciones de corta duración. Para que se registre un evento de interrupción de suministro, la tensión recibida por el contador debe estar por debajo del umbral de detección, y tener una duración superior al umbral de duración del disparo de larga duración.

Cuando las interrupciones del suministro son inferiores al umbral de duración de disparo de larga duración, pero tienen una duración de al menos 250 ms deben ser contabilizadas como interrupciones de corta duración. Si el umbral de duración de larga duración se establece en 0 (cero), la duración, la fecha y hora de cada evento de corte de suministro eléctrico superior a 250 ms, es registrada como un corte de luz.

- **Frecuencia**

La frecuencia es constantemente monitorizada (excepto durante los primeros 2 segundos tras el encendido y la puesta en servicio del contador) y los valores máximos y mínimos, desde el último reinicio, son registrados incluyendo la hora de ocurrencia del evento.

- **Pérdida de Fase**

Registro del número de ocurrencias de pérdida de fase en cualquier fase del contador, así como la fecha y la hora en la que se ha producido el último evento. En caso de caída de la tensión eficaz en cualquier fase por debajo del umbral de pérdida (configurable por el usuario) de fase interna durante un período de 10 segundos el contador debe considerar un evento de pérdida de fase.

Dado que este evento puede afectar a la precisión del contador, el registro de consumo eléctrico acumulado debe configurarse automáticamente para excluir del cómputo la fase perdida, mostrar en el display del contador un mensaje de error y activar un código de diagnóstico.

4.4. Comunicación Contador – Concentrador de Datos

Las alternativas de comunicación entre los contadores y los concentradores de datos más comunes en las soluciones de mercado son las comunicaciones a través de la línea de eléctrica de potencia y las comunicaciones inalámbricas. En los siguientes apartados se describen y analizan ambas opciones

4.4.1. Comunicación PLC

La comunicación PLC (Power Line Carrier) es una tecnología que facilita la transmisión de datos a través de la propia red de suministro eléctrico permitiendo la monitorización del consumo energético. Las comunicaciones PLC aplicadas a los sistemas AMR proporcionan a consumidores y compañías eléctricas capacidad para controlar el consumo en tiempo real, promoviendo así una mejor gestión de la energía y una óptima planificación presupuestaria.

Si bien existen dos formas de control basadas en banda ancha y banda estrecha, las normas vigentes sólo consideran el uso de banda estrecha para los sistemas AMR. A continuación, se incluye una breve descripción de los principales estándares PLC centrados en su aplicación para gestionar la lectura remota de contadores.

4.4.1.1. IEC 61334

La especificación IEC 61334 fue creada por la Comisión Electrotécnica Internacional para la automatización de la distribución de energía eléctrica utilizando redes de baja y media tensión como medio de transmisión.

El modelo de referencia definido en esta especificación es el denominado EPA (Enhanced Protocol Architecture) compuesto por tres capas principales. La especificación define en detalle las capas física y de enlace de datos en detalle, así como las líneas básicas de la capa de aplicación [1].

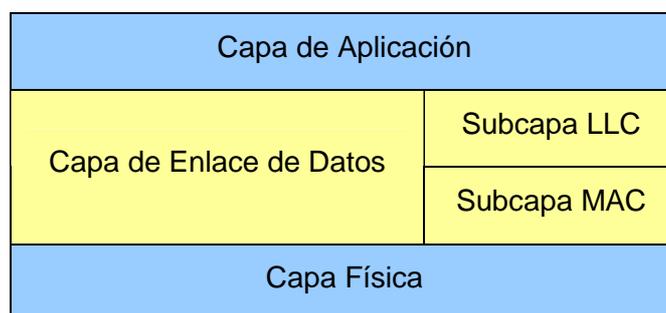


Figura 4.1 Modelo de Referencia IEC 61334

La capa de aplicación es compatible con la especificación de la aplicación DLMS (Distribution Line Message Specification), que se define en el apartado 41 de la norma IEC 61334. El desarrollo de la norma para la medición de la energía a distancia se lleva a cabo en la norma IEC 62056-62. La asociación de usuarios DLMS gestiona

todos los aspectos oficiales de la norma incluyendo los siguientes objetivos fundamentales:

- **Compatibilidad:** contadores de diferentes fabricantes deben ser capaces de comunicarse unos con otros.
- **Independencia:** DLMS debe ser independiente del medio de comunicación utilizado.
- **Estandarización:** normalizar los protocolos de comunicación con una representación activa en organizaciones de estandarización Europeas e internacionales.
- **Pruebas de cumplimiento:** gestionar el etiquetado de producto DLMS compatible para los dispositivos que pasan la evaluación de estandarización.

El estándar define una larga lista de servicios en la capa de aplicación, pero no especifica la interacción entre ellos, ni el modo en que deben ser usados. En cuanto a la capa de enlace de datos, esta compuesta por la subcapa de control de enlace lógico (LLC) y la subcapa de control de acceso medio (MAC) con regimenes especiales de direccionamiento cada una.

La especificación define cinco perfiles, incluyendo las capas física y MAC. Las principales características de cada perfil son las siguientes:

- IEC 61334-5-1 utiliza modulación S-FSK (Sperad – Frequency Shift Keying) e inundación, que consiste en la difusión de tramas en la red por medio de repeticiones entre un nodo y el siguiente. De este modo no es necesario definir la topología de la red de antemano. La arquitectura es Maestro / Esclavo.
- IEC 61334-5-2 utiliza modulación FSK (Frequency Shift Keying). La sincronización entre los dispositivos se consigue a través de primitivas que indican los pasos por cero. La subcapa MAC incorpora un mecanismo de repetición con el fin de resolver los problemas de transmisión debido a la atenuación de la señal. Hace uso de una tabla de enrutamiento y la arquitectura es Maestro / Esclavo.
- IEC 61334-5-3 hace uso de modulación SS-AW (Spread Spectrum Adaptive Wideband). La subcapa MAC define dos modos de comunicación basados en el uso de un token, que define qué dispositivo tiene el control de la red en un momento dado.
- IEC 61334-5-4 utiliza la modulación MCM (Multicarrier Modulation). La red es dividida en dominios, con un maestro y uno o más esclavos en cada uno de ellos. Usa enrutamiento en origen y no especifica un tamaño de trama único, sino que el tamaño depende de los parámetros de la física capa.

- IEC 61334-5-5 emplea modulación SS-FFH (Spread Spectrum Fast Frequency Doping). Utiliza el método de inundación y la fragmentación de la red en dominios. La arquitectura es también Maestro / Esclavo.

4.4.1.2. CEA 709.1-B

La CEA (Consumer Electronics Association) define un protocolo de comunicación para redes de sistemas de control. Aunque no define ningún proceso específico para la lectura de contadores, la norma define explícitamente los procesos necesarios en la capa MAC para la transmisión de un paquete.

La norma presenta un modelo de referencia de siete capas, pero sólo describe las capas de la 2 a la 7.

Capa 6 y 7	Capa de Aplicación y Presentación
Capa 5	Sesión
Capa 4	Transporte
Capa 3	Autenticación
	Control de Transacción
	Red
Capa 2	Enlace
	MAC
Capa 1	Física

Figura 4.2 Modelo de Referencia CEA 709.1-B

Los principales funciones desempeñadas por la capa de aplicación y presentación están relacionadas con la gestión de las variables de red, el diagnóstico, y el paso de mensajes.

Con referencia a la capa MAC, ofrece dos alternativas:

- EIA/CEA-852 con EIA 709.1.
- CSMA (Carrier Sense Multiple Access) predictiva persistente.

4.4.1.3. IEC 60870-5

Ambos, IEC 60870-5-101 y IEC 60870-5-102, se basan en el esquema de comunicación de la Figura 4.3, en la que se indican las normas que definen cada capa.

IEC 60870-5-5	Proceso de Usuario
IEC 60870-5-4	Aplicación
IEC 60870-5-3	
IEC 60870-5-2	Enlace
IEC 60870-5-1	
Recomendaciones ITU-T	Física

Figura 4.3 Modelo de Referencia IEC 60870-5-101 y 102

En la especificación de la norma IEC 60870-5-101 se definen dos tipos de tramas:

- ASDU (Application Service Data Unit).
- LPDU (Link Protocol Data Unit).

Hay dos funciones especificadas en el nivel de aplicación directamente relacionadas con el proceso básico de lectura remota de contadores:

- Transmisión de totales integrados.
- Adquisición de datos por sondeo.

La especificación IEC 60870-5-102 es muy similar a la IEC 60870-5-101. De hecho, las principales diferencias residen en que el estándar IEC 60870-5-102 define más tipos de trama relacionados con los contadores, y que mientras que la IEC 60870-5-101 define una gran cantidad de funciones, la IEC 60870-5-102 sólo define tres.

IEC 60870-5-104 comparte el nivel de aplicación con la norma IEC 60870-5-101, y añade un conjunto de tramas adicionales. El resto de niveles corresponden a una comunicación típica a través de TCP/IP. Hace uso de la capa APCI (Application Service Control Information) para controlar que la secuencia de paquetes en la recepción es correcta y para fines de retransmisión.

Las funciones de aplicación definidas son las mismas que las explicadas para IEC 60870-5-101, sin embargo, añade tramas para establecer la conexión y controlar el flujo de la capa de aplicación de flujo.

Se detalla a continuación las fases de la comunicación de acuerdo con los números del diagrama:

1. Establecimiento de conexión TCP.
2. Establecimiento del nivel de aplicación de la conexión.

3. Orden de almacenamiento de lectura del contador.
4. Solicitud de valor leído.
5. Intercambio de datos.
6. Fin de la lectura.
7. Desconexión de la capa de aplicación.
8. Desconexión TCP.

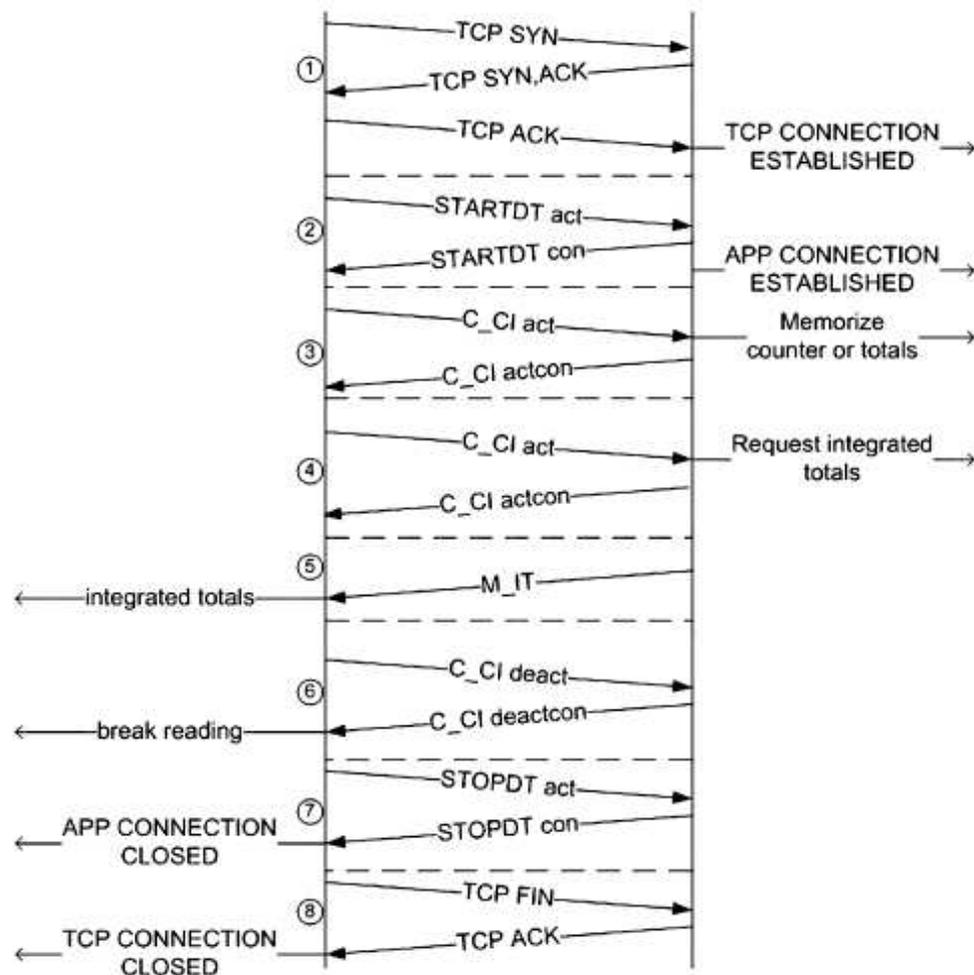


Figura 4.4 Diagrama de Comunicación IEC 60870-5-104

4.4.1.4. IEC 62056 y DLMS/COSEM

La norma IEC 62056 define varias arquitecturas y protocolos diseñados para el intercambio de datos entre dos estaciones a través de un bus local como sigue:

- Estación principal, es el sistema que decide iniciar la comunicación (Cliente).
- Estación de secundaria, es el sistema remoto que solicita una comunicación (Servidor).

La estructura básica se compone de tres capas, con las posibilidades que se detallan a continuación.

Aplicación	Con DLMS	Aplicación
	Sin DLMS	DLMS, Aplicación, Transporte
Enlace	Con DLMS	Enlace 62056-31
	Sin DLMS	Enlace E/D
Física	LPDU	

Figura 4.5 Modelo de Referencia DLMS/COSEM

Aunque la norma proporciona información detallada de las capas, cabe resaltar el COSEM (Companion Specification for Energy Metering), un modelo de interfaz de comunicación para equipos eléctricos que proporciona una visión de las funcionalidades disponibles a través de los interfaces de comunicación, manteniendo compatibilidad con el DLMS normalizado. Para obtener esto COSEM hace uso de una evolución del DLMS denominada xDLMS.

COSEM cambia solamente algunos tipos de datos, servicios y algunas nomenclaturas, por lo que no hay ningún conflicto con DLMS. Debido a la estrecha relación que comparten COSEM y DLMS, este protocolo es conocido como DLMS/COSEM. El principal beneficio de COSEM es la interoperabilidad que aporta la capa de aplicación COSEM en virtud del protocolo de negociación de contexto, el mecanismo de autenticación, y la disponibilidad de servicios de grupo diseñados para acceder a atributos y métodos.

Adicionalmente, COSEM tiene otras ventajas con respecto a otros estándares:

- Define un modelo de interfaz, válido para cualquier tipo de energía, independiente de los protocolos utilizados para el transporte de datos. Ha sido diseñado para contemplar cambios y modificaciones futuras.
- Utiliza un modelo de interfaz independiente del medio de comunicación. Incluso ha sido previsto su uso a través de Internet.
- Facilita la construcción de controladores genéricos, capaces de comunicar entre contadores de diferentes fabricantes.

Un conjunto de protocolos con la capa de aplicación COSEM constituye un perfil de comunicación COSEM. Aunque es posible añadir perfiles en cualquier momento, hay dos que son habitualmente los más utilizados:

- El perfil de tres capas, orientado a la conexión y basada en HDLC.

- El perfil basado en TCP-UDP/IP.

De entre los estándares analizados, IEC 60870-5-104 y DLMS/COSEM son los más ampliamente utilizados en la capa de aplicación para dar soporte a las comunicaciones PLC de los sistemas AMR.

Estudios comparativos entre ambos concluyen que la capa de aplicación DLMS/COSEM es mejor que IEC 60870-5-104 en lo que respecta al tiempo de respuesta y la eficiencia [1].

Analizando varios contadores bajo diferentes condiciones de red puede afirmarse que si la red tiene una alta probabilidad de pérdida de paquetes, el tiempo de respuesta incrementa de manera exponencial independiente del ancho de banda. En este caso, las diferencias en el tiempo de respuesta entre IEC 60870-5-104 y DLMS/COSEM casi desaparecen y tienden a comportarse de la misma manera.

También se ha demostrado que, aunque la lectura simultánea de contadores es más eficiente que la lectura secuencial, esta técnica no es útil cuando el ancho de banda es bajo. Aunque los resultados dependen de la probabilidad de descarte de paquetes, cada red reaccionará de un modo diferente cuando se hace uso de los diversos estándares AMR.

4.4.2. Comunicación Inalámbrica

El uso de tecnología inalámbrica para establecer la comunicación entre los contadores y los concentradores de datos es una también muy popular, especialmente en los Estados Unidos y Canadá.

En este apartado, vamos a analizar las ventajas y desventajas de diversas alternativas inalámbricas para dar soporte a las comunicaciones de un sistema AMR para la Utility ENMAX en Alberta (Canadá), incluyendo una red radio mallada a 900 MHz, una red punto a multipunto a 1800 MHz, o la utilización de servicios de datos inalámbricos proporcionados por el operador de telecomunicaciones [25].

4.4.2.1. Sistema Radio en la Banda de 900 MHz

El sistema de 900 MHz de radio está desplegado en el 33% del territorio de la compañía eléctrica y es utilizado por el sistema de automatización de la distribución eléctrica operando en la banda libre 902-928 MHz.

Las radios tienen una tasa máxima de transmisión de datos de 650 Kbps y una latencia de retransmisión de 10 ms. Están habilitadas para IP, y equipadas con una conexión Ethernet y un puerto serie para comunicación con los dispositivos finales. El sistema emplea como algoritmo de transmisión FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) y cifrado AES (Advanced Encryption Standard) de 128 bits. El sistema funciona como una malla donde cada radio puede actuar como transmisor/receptor o como repetidor. El enrutamiento del tráfico de datos a través de la red es dinámico de

modo que en caso de fallo de un dispositivo se establecen nuevas rutas en torno al área con problemas.

La red mallada proporciona comunicaciones punto a punto entre los interruptores automáticos de la red de media tensión, así como las comunicaciones entre los interruptores y la subestación más próxima, donde los datos son enviados hasta el SCADA a través fibra óptica enlazada al centro de control.

Las ventajas de la integrar las comunicaciones AMR en las radios de la red de adquisición de datos son la utilización de la infraestructura existente y el uso compartido de las nuevas infraestructuras por parte de las dos aplicaciones. Los puntos de conmutación automática actuarían como repetidores radio para los concentradores AMR y viceversa.

El sistema de radio a 900 MHz se implementa en 25 (de un total de 35) subestaciones de distribución y en una tercera parte de los circuitos de distribución, y se estima que cuenta con ancho de banda suficiente para transportar datos de hasta 19.000 contadores por radio de subestación sin afectar a las comunicaciones del sistema de automatización de la distribución. Exceptuando cuatro subestaciones en las que el número de clientes es superior a este valor, en general es suficiente. Para estos casos, sería necesario añadir puntos adicionales o transferir los valores de medida a las subestaciones adyacentes.

Principalmente, existen dos desventajas asociadas a la integración de la red AMR en la red de automatización de la distribución. La primera, es que el sistema de 900 MHz tiene el menor ancho de banda efectivo de las tres opciones de comunicación, lo que limitará las posibilidades para añadir más aplicaciones Smart Grid a la red en el futuro. La segunda desventaja es el alto coste de las radios en relación con las otras dos opciones. Una tercera consideración es la posibilidad de que la banda de 902-928 MHz esté congestionada por otros usuarios.

4.4.2.2. Sistema Radio en la Banda de 1800 MHz

Tras la asignación a las compañías eléctricas por parte del Ministerio de Industria de Canadá de la banda de 1800 a 1830 MHz su uso es otra alternativa disponible. La topología de la red es punto a multipunto, por lo que para obtener cobertura en todo el área requerida serían necesarias torres de radio maestras. Una posibilidad es hacer uso de equipos basados en el estándar IEEE 802.16 (WiMAX) de banda ancha inalámbrica. Cada canal de 3,5 MHz proporciona un régimen binario de 11 Mbps. Las radios están equipadas con un puerto Ethernet para establecer conexiones IP con los dispositivos finales y disponen de varios métodos de cifrado incluyendo AES. Para dar cobertura al área de servicio de ENMAX se estima que son necesarias 12 radios maestras.

Las ventajas del sistema de radio de 1800 MHz son el menor coste por radio de punto final y el mayor ancho de banda de las tres opciones analizadas. El uso de antenas sectoriales en las torres de radios maestras y canales reutilizables, proporcionaría ancho de banda suficiente para las comunicaciones del sistema AMR, para las comunicaciones con los interruptores del sistema de automatización de la distribución y para futuras aplicaciones de Red Inteligente. Las principales desventajas del sistema de radio a 1800 MHz son la ingeniería inicial y los costes de las torres de radio maestras.

4.4.2.3. Servicio de Datos Inalámbricos de Terceros

En el área de distribución de la compañía eléctrica bajo estudio hay varios planes de datos disponibles por parte de las compañías de telefonía móvil. Aunque el tráfico de voz es prioritario y la velocidad de datos es variable, la velocidad disponible debe ser más que suficiente para el sistema AMR. El periodo de latencia es también variable, pero dado que la lectura de datos no es especialmente sensible al tiempo, esto no supone preocupación alguna.

Las ventajas de la utilización de un servicio inalámbrico de terceros son que evitamos hacer la ingeniería inicial, los costos de construcción y el bajo coste de mantenimiento. Por otro lado, la desventaja es el coste mensual por los servicios.

4.4.2.4. Análisis Económico

Para comparar los costes de implementación de cada una de las tecnologías de la comunicación para un número variado de puntos de radio final, tenemos en cuenta los siguientes elementos:

- **Sistema a 900 MHz**
 - Radio, antena, accesorios de montaje e instalación.
 - 50% del Valor Presente (VP) retornado a 20 años de los 35 puntos de banda ancha de subestación (compartido con el sistema Automatización de la Distribución)
 - 0,5 radios repetidoras adicionales por cada punto final.
 - Ingeniería: 5% del costo de los equipos desplegados.
 - Mantenimiento: 5% del costo de los equipos por cada año de operación.
- **Sistema a 1800 MHz**
 - Radio, antena, accesorios de montaje e instalación.
 - Dos escenarios considerando el 100% y el 50% del coste de 12 torres de radio maestras.

- 50% del VP retornado a 20 años de los 12 puntos de radio maestra (compartido con el sistema Automatización de la Distribución).
- Ingeniería: 5% del costo de los equipos desplegados.
- Mantenimiento: 5% del costo de los equipos por cada año de operación.
- **Sistema Inalámbrico de Terceros**
 - Radio, antena, accesorios de montaje e instalación.
 - VP de 20 años de cargos por servicio mensual por cada concentrador de datos.
 - VP de 20 años de cargos por servicios de banda ancha en la sede de la compañía eléctrica.
 - Mantenimiento: 5% del costo de los equipos por cada año de operación.

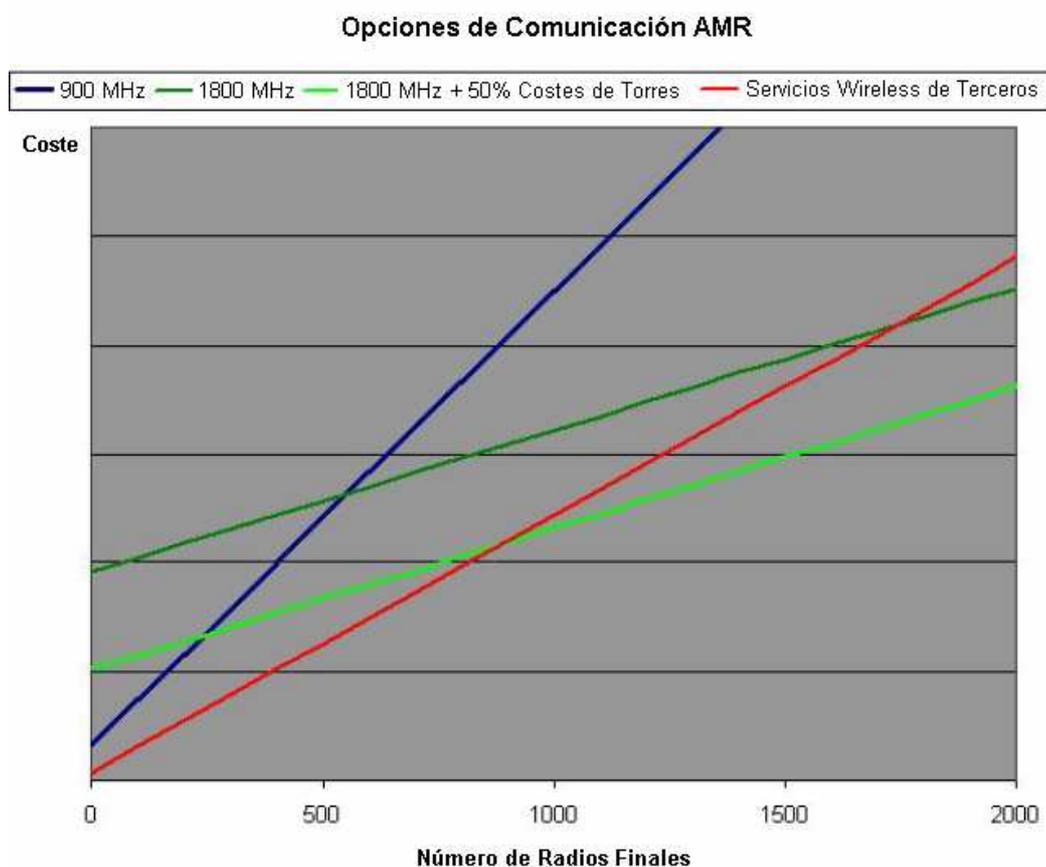


Figura 4.6 Comunicación Inalámbricas: Comparativa Económica

Para la opción de 1800 MHz, han sido considerados dos escenarios. El primero asume el 100% de los costes de la torre y el segundo supone que los costes de la torre se reducen al 50% (mediante el alquiler de espacio en la torre a otros usuarios de telefonía móvil o por arrendamiento de espacio a propietarios de otras torres). Para estos dos escenarios, el número de puntos finales para los que el sistema de 1800

MHz llega a ser más económico que las otras opciones se muestran en la tabla siguiente:

1800 MHz	900 MHz	Sistema de Terceros
Todos los costes de Torre Absorbidos	600	1800
50% de los Costes de Torre Absorbidos	300	900

Figura 4.7 Comparativa Económica de Comunicaciones Inalámbricas

En base al análisis económico, podemos extraer las siguientes conclusiones:

- El sistema inalámbrico de terceros es más rentable que la integración de las comunicaciones AMR en el sistema de 900 MHz.
- Debido a su menor costo variable por radio, el sistema en la banda de 1800 MHz sistema se vuelve más rentable a medida que el número de puntos de conexión aumenta. Si los costes de las torres de radio maestras pueden ser parcialmente sufragados, el "punto de equilibrio" de esta tecnología en comparación con las alternativas puede ser reducido.

4.5. Comunicación Concentrador de Datos – Centro de Control

Como ya hemos comentado con anterioridad, el enlace entre los concentradores de datos y el centro de control suele implementarse mediante algún protocolo de comunicación inalámbrico. A través de una red de área extensa WAN, propietaria o privada, para transportar paquetes TCP/IP haciendo uso de un modem interno o conectado al puerto serie del concentrador de datos.

Generalmente, con objeto de minimizar el coste de despliegue de red, se hace uso de tecnología GPRS, aprovechando así la infraestructura de comunicaciones desplegada por las compañías de telefonía móvil.

A la hora de administrar una red WAN hay una serie de factores de alto nivel a considerar incluyendo el tipo de WAN, los tiempos de conexión/desconexión y la velocidad.

Si se emplea un solo tipo de WAN es necesario analizar las ventajas y las desventajas de cada solución en función de la periodicidad de las comunicaciones, el volumen de los datos, los costes y el rendimiento. Si se emplean varios tipos de WAN hay que ser cuidadoso con respecto a los costes asociados con cada uno y ejecutar una estrategia de comunicación diferente para cada una.

En función de los factores expuestos en este apartado, el coste de la WAN puede ser la mayor componente del sistema. Existen diversos tipos de conexiones WAN que permiten la implementación de soluciones específicas de acuerdo con las necesidades de cada compañía eléctrica:

- Dial-up.
- Modem Analógico.
- Módem GSM.
- Modem GPRS
- MV-PLC.

Cada tipo de WAN tiene diferentes costos asociados. GSM, por ejemplo, se basa en el tiempo de conexión, mientras que GPRS se basa en el número de bytes transferidos.

Un asunto que no debe ser subestimado es el tiempo necesario para crear la conexión de una aplicación WAN módem, en función de la tecnología y de la configuración de módem utilizada puede tomar entre 30 y 40 segundos. Por otra parte, realizar una desconexión puede tomar entre 3 y 7 segundos.

Emplear conexiones “always-on-IP”, como GPRS, siempre activas ayuda a reducir drásticamente los tiempos de conexión/desconexión (puesto que la conexión es única, se evitan sobrecargas en la red).

Si bien el Head-End debe tomar precauciones para limitar la cantidad de datos transferidos sobre TCP/IP, la velocidad de la conexión WAN es un factor fundamental para determinar el rendimiento de la comunicación global.

En cualquier tipo de WAN, y especialmente en aquellas diseñadas a medida, debemos ser cuidadosos en lo que respecta al análisis del rendimiento de la WAN en situaciones de carga cuando todos los canales de comunicación están siendo utilizados. El caso de los sistemas AMR en los que deben realizarse lecturas de un gran número de contadores de forma periódica para obtener los datos de consumo es un claro ejemplo de tráfico masivo.

Adicionalmente, deben considerarse conexiones de alta prioridad para realizar operaciones de alta prioridad, como lecturas de consumo bajo demanda. A diferencia de las conexiones de prioridad normal, las conexiones de alta prioridad deben ser específicamente desconectadas. Un mecanismo de vigilancia de conexión "watchdog" debe garantizar que las conexiones de alta prioridad se cierran automáticamente si están abiertas durante un cierto período de tiempo predefinido.

Una red privada virtual (VPN) entre el software del Head-End y el proveedor de servicios de comunicación IP debe asegurar un enlace seguro para transferir los datos entre los concentradores de datos y el centro de control.

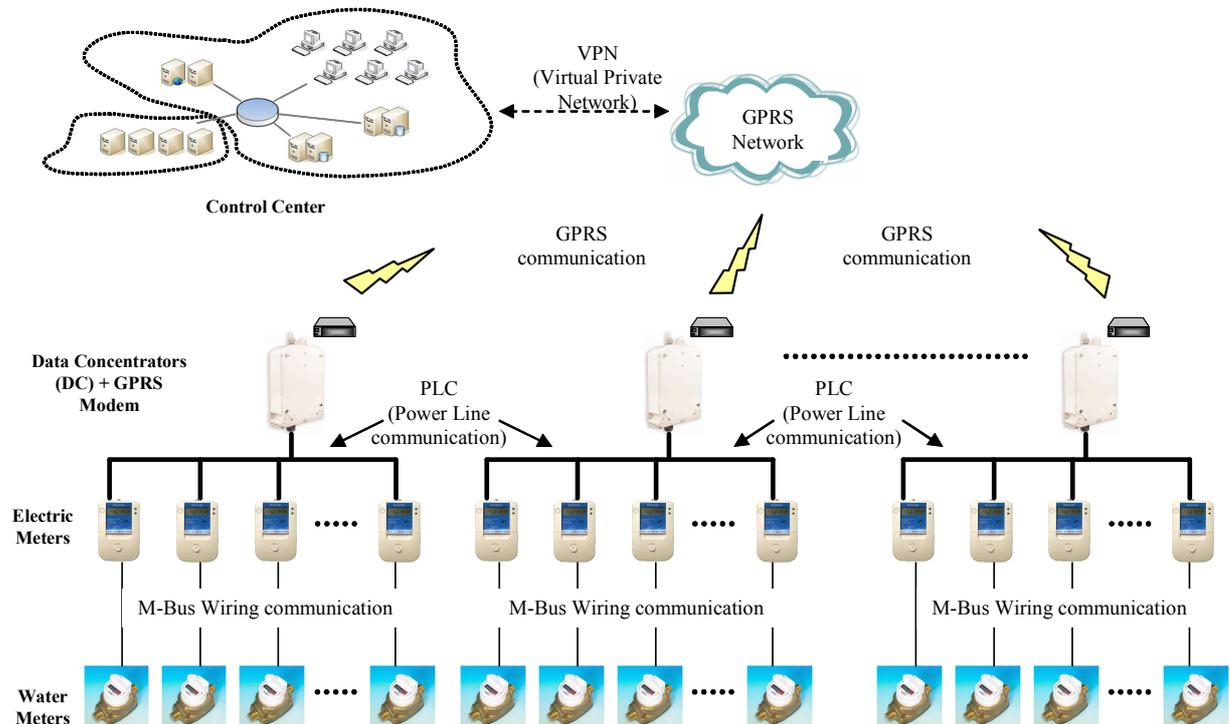


Figura 4.8 Esquema de Comunicaciones de un Sistema AMR

La figura anterior muestra la arquitectura de comunicación de un sistema AMR basado en tecnología PLC para comunicar entre el contador y el concentrador de datos, y

tecnología GPRS para comunicar entre el concentrador de datos y el Head-End instalado en el centro de control.