

**MODELO DE INTERCAMBIO DE INFORMACIÓN PARA UN MEDIDOR
ELECTRÓNICO USANDO ANSI C12.21 APLICADO A UN CASO DE ESTUDIO**



**Javier Leonardo Acosta Guzmán
Hernesto Alfaro Ruiz Urrutia**

**Universidad del Cauca
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Departamento de Electrónica, Instrumentación y Control
Ingeniería en Automática Industrial
Popayán, Septiembre de 2014**

**MODELO DE INTERCAMBIO DE INFORMACIÓN PARA UN MEDIDOR
ELECTRÓNICO USANDO ANSI C12.21 APLICADO A UN CASO DE ESTUDIO**



Monografía presentada como requisito parcial para optar por el título de:

Ingeniero en Automática Industrial

**Javier Leonardo Acosta Guzmán
Hernesto Alfaro Ruiz Urrutia**

Director.
Mg. Juan Fernando Flórez Marulanda

**Universidad del Cauca
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Departamento de Electrónica, Instrumentación y Control
Ingeniería en Automática Industrial
Popayán, Septiembre de 2014**

Contenido

1	CAPITULO: SMART GRIDS O REDES INTELIGENTES	9
1.1	Concepto o definición de Smart Grid.....	9
1.2	Características de una Red Inteligente	11
1.3	Infraestructura de Medición Avanzada (AMI)	12
1.3.1	Estructura de un sistema AMI.....	13
1.3.2	Componentes de un sistema AMI.....	15
1.3.3	Funciones de un sistema AMI	19
1.4	Lectura Automática de Medidores AMR (Automatic Meter Reading)	21
1.5	Normas y Estándares para Redes Inteligentes	24
1.5.1	Normas para el Transporte de datos de los Medidores Eléctricos	26
1.6	Medidor de Energía Eléctrica	28
1.6.1	Clasificación de los medidores	28
1.6.2	Medidores Electrónicos	30
1.7	Software de Gestión Energética (SGE).....	34
2	CAPITULO: DESCRIPCIÓN ESTÁNDAR ANSI C12.21 PARA COMUNICACIÓN POR MODEM TELEFÓNICO.....	37
2.1	Alcance General de ANSI C12.21	37
2.2	Descripción del estándar ANSI C12.21	38
2.3	Capa de Aplicación	39
2.3.1	Protocolo de Especificación para la Medición Eléctrica (PSEM)	39
2.3.2	Secuencia de Servicios y Estados.....	49
2.4	Capa de Enlace de Datos	51
2.4.1	Definición del Paquete de datos en la capa de enlace de datos	53
2.4.2	Selección del CRC.....	54
2.4.3	Reconocimiento del paquete de datos.....	54
2.4.4	Retransmisión del paquete de datos	54
2.5	Modelo de intercambio de información.....	55
2.5.1	Diagrama de Estados UML básico de Comunicación PSEM y Transacción de Información de la Norma ANSI C12.21	56
2.5.2	Diagrama General de Estados, versión UML, para la Comunicación PSEM	56

2.5.3	Estado de Secuencia Fuera de Línea (Off Line).....	58
2.5.4	Estado de Secuencia BASE	58
2.5.5	Estado de Secuencia de Identificación (ID)	61
2.5.6	Estado de Secuencia Sesión.....	61
3	CAPITULO: APLICACIÓN MODELOS DE INTERCAMBIO DE INFORMACIÓN	63
3.1	Escenarios de intercambio de información entre un medidor electrónico y un SGE	63
3.1.1	Primer escenario Lectura perfil de carga (LPC).....	64
3.1.2	Segundo escenario Configuración del medidor	65
3.2	Diagramas UML para escenarios de Intercambio de Información.....	67
3.2.1	Primer caso de uso: Leer perfil de carga	69
3.2.2	Segundo caso de uso: Configurar Medidor (CF)	71
3.2.3	Diagrama de Estados	73
4	CAPITULO: PRUEBA Y ANÁLISIS DE DATOS	80
4.1	Selección de elementos para la Prueba de Escritorio	80
4.2	Diseño de Prueba de Escritorio.....	81
4.3	Desarrollo de la Prueba de escritorio servicio Identificación	81
4.4	Diseño de Prueba de Laboratorio	90
4.5	Desarrollo de la prueba de laboratorio	90
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	97

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Dominios de una red Inteligente	10
Tabla 2 Normas ANSI / IEEE para transporte de datos eléctricos	27
Tabla 3 Comparación de las suites ANSI vs IEC	27
Tabla 4 Clasificación medidores de energía eléctrica	30
Tabla 5 Fabricantes Medidores electrónicos	32
Tabla 6 Desarrolladores de software de gestión de la energía	35
Tabla 7 Servicios del protocolo PSEM	39
Tabla 8 Códigos de petición asociados a los doce (12) servicios PSEM de la Tabla 7	40
Tabla 9 Códigos de respuesta usados en las Peticiones PSEM	41
Tabla 10 Parámetros complementarios respuesta positiva servicio de Identificación	42
Tabla 11 Parámetros complementarios respuesta positiva servicio de Negociación	43
Tabla 12 Parámetros complementarios respuesta positiva servicio Logon	44
Tabla 13 Parámetros complementarios respuesta positiva servicio de Lectura	45
Tabla 14 Parámetros complementarios respuesta positiva servicio de Escritura..	46
Tabla 15 Parámetros complementarios respuesta positiva servicio de Autenticación	47
Tabla 16 Parámetros complementarios respuesta positiva servicio Configuración de tiempos	48
Tabla 17 Parámetros de configuración fija para la comunicación en la capa de enlace de datos	52
Tabla 18 Parámetros de configuración variable para la comunicación en la capa de enlace de datos	52
Tabla 19 Componentes de la estructura del paquete de datos a transmitir en la capa de enlace de datos	53
Tabla 20 Clasificación Vistas Funcional, Dinámica y Estructural de UML	55
Tabla 21 Clasificación de puntos de medición según consumo o transferencia de energía	64
Tabla 22 Escenarios de intercambio de información entre un ME y un SGE	67
Tabla 23 Caso de uso Leer perfil de carga	69
Tabla 24 Caso de uso Configurar Medidor	71
Tabla 25 Consignación códigos Servicio Identificación para prueba escritorio	81
Tabla 26 Consignación códigos Servicio Identificación ejecutado	85
Tabla 27 Transferencia de códigos y datos completa en la comunicación PSEM entre un computador con la aplicación Metercat y el Elster A1800.	96

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Smart Grid Modelo Conceptual	10
Figura 2 Alcance de un sistema AMI	13
Figura 3 Estructura de un sistema AMI	14
Figura 4 Estructura de comunicación con tecnología PLC	16
Figura 5 Comunicación AMI con tecnología RF	17
Figura 6 Sistema AMI utilizando una Red Pública Satelital	18
Figura 7 Sistema de Administración de Datos MDMS	19
Figura 8 Infraestructura AMR	21
Figura 9 Parte interna de un Medidor electrónico	32
Figura 10 Medidor Elster A1800	33
Figura 11 Software de Gestión Energética	34
Figura 12 Asistente de instalación del Metercat	36
Figura 13 Estructura física general de la red de comunicación en ANSI C12.21 ..	37
Figura 14 Siete capas del modelo OSI	37
Figura 15 Secuencia de la información entre un Dispositivo C12.21 y un Cliente C12.21	38
Figura 16 Secuencia de Servicios y Estados PSEM	50
Figura 17 Elementos gráficos del diagrama de estados UML	56
Figura 18 Diagrama general de estados, versión UML para la comunicación PSEM	57
Figura 19 Diagrama estado de secuencia Fuera de Línea	58
Figura 20 Diagrama estado de secuencia Base	60
Figura 21 Diagrama de casos de uso para escenarios de intercambio de información	68
Figura 22 Diagrama de Secuencia escenario Leer Perfil de Carga	70
Figura 23 Diagrama de Secuencia escenario Configurar Medidor	72
Figura 24 Diagrama de Estados General Lectura Perfil de Carga	76
Figura 25 Diagrama de Estados General Configuración del Medidor	78
Figura 26 Diagrama de estados del servicio Identificación	82
Figura 27 Seguimiento de diagrama de estados del servicio Identificación	86
Figura 28 Secuencia servicios comunicación PSEM	89
Figura 29 PC con Metercat conectado por medio de un cable serial a un Medidor	92
Figura 30 Interfaz del software de monitoreo “Serial Port Monitor” con los datos de comunicación PSEM	93

GLOSARIO DE TÉRMINOS

AMI (Infraestructura de Medición Avanzada): sistema que incluye comunicaciones bidireccionales hasta el medidor inteligente, recoge, envía, administra y analiza datos en periodos de tiempo cortos. Este sistema incluye aplicaciones como lectura remota y gestión de la demanda, permitiendo optimizar la red de distribución.

AMR (Lectura Automática de Medidores): sistema unidireccional que permite recopilar y analizar automáticamente datos de dispositivos como medidores de gas, electricidad o agua y comunicar esos datos por medio de una red de comunicaciones a su sistema central.

Concentrador o colector de datos: equipo a través del cual se gestiona la información del sistema de medición remota y sirve de interfaz entre el centro de control y las unidades de medida. Dispone de dos niveles de comunicación bidireccional, uno con el cual se comunica con las diferentes unidades de medida (LAN), y otro con el centro de control donde se realiza la gestión de la información (WAN).

OR (Operador de Red): persona encargada de la planeación de la expansión, las inversiones, la operación y el mantenimiento de todo o parte de un Sistema de Transmisión Regional o Sistema de Distribución Local, incluidas sus conexiones al Sistema de Transmisión Nacional. Los activos pueden ser de su propiedad o de terceros. El OR debe ser una Empresa de Servicios Públicos Domiciliarios.

Telegestión: es un sistema de medida y comunicación bidireccional entre los contadores y las centrales eléctricas que permite acceso remoto a los medidores de energía, con disponibilidad de lectura, gestión de energía, control de potencia demandada y contratada. Gestión de la conexión/ desconexión de suministros y mecanismos antifraude avanzados.

MDMS es un hardware y software de computadora que controla la comunicación, recibe los datos enviados por el medidor y lo almacena (host de AMI), con la finalidad de conseguir el análisis y conversión a información de utilidad para el OR.

Cliente C12.21: dispositivo de comunicación electrónica (host de servicios públicos) que se conecta a un dispositivo C12.21 a través de un modem telefónico e implementa la comunicación de acuerdo a la especificación del protocolo.

Dispositivo C12.21: dispositivo electrónico de comunicación (medidor más un módem interno o externo) que implementa la comunicación de acuerdo con la especificación del protocolo de esta norma.

Tabla: elementos de datos relacionados funcionalmente, agrupados en una única estructura de datos para el transporte según la definición del estándar ANSI C12.19.

ANSI C12.19: define las tablas de datos del dispositivo C12.21 y las estructuras de los datos por transportar entre el dispositivo y el cliente C12.21.

Modelo OSI: Open System Interconnection, es un sistema abierto interconexión conformado por 7 capas.

Capa de Aplicación: es la capa con la que interactúa el usuario, es la primera del modelo OSI y proporciona un conjunto de servicios y estructuras de datos necesarias para configuración, programación y recuperación de información.

Capa de Enlace de Datos: es la segunda capa del modelo OSI, proporciona tránsito de datos confiable a través de un enlace físico.

Capa Física: se refiere a las transformaciones que se hacen a la secuencia de bits para transmitirlos de un lugar a otro.

Paquete de datos: diferentes datos que se transmiten ordenadamente por la capa física, contenidos en un solo componente.

PSEM: Protocolo de Especificación para la Medición Eléctrica, se utiliza para organizar la transferencia de datos en la comunicación entre el cliente C12.21 y el dispositivo C12.21.

Estados PSEM: etapas por las que transita la comunicación establecida con el protocolo PSEM.

Servicios PSEM: herramienta utilizada por el protocolo PSEM para llevar a cabo una programación u obtención de datos.

Códigos de petición: son componentes de solicitud que utilizan los servicios PSEM para tener acceso a una tarea específica.

Códigos de Respuesta: son componentes para responder de forma positiva o negativa a un código de petición.

Dato de Respuesta: paquete de datos PSEM enviado al ser solicitado por un código de petición de un servicio determinado.

1 CAPITULO: SMART GRIDS O REDES INTELIGENTES

1.1 Concepto o definición de Smart Grid

Smart Grid es una red que integra de manera inteligente las acciones de los usuarios que se encuentran conectados a ella (generadores, consumidores y aquellos que son ambas cosas a la vez), con el fin de conseguir un suministro eléctrico eficiente, seguro y sostenible (Grids, 2010).

Las Smart Grids o Redes Inteligentes utilizan productos y servicios innovadores junto con monitorización inteligente, técnicas de control, comunicaciones y tecnologías de autoajuste con el fin de:

- Impulsar la participación de los usuarios de forma activa en la red, logrando un cambio bilateral de información sobre el consumo energético.
- Facilitar la conexión y funcionamiento de todo tipo de generadores en la red, independientemente de su tamaño y tecnología.
- Reducir significativamente el impacto ambiental por medio de mejoras en la eficiencia de la generación, transmisión y distribución energética.
- Mejorar y ampliar los servicios energéticos de forma eficiente, promoviendo la integración de los mercados y facilitando el transporte de energía a largas distancias.
- Suministrar a los usuarios una mayor cantidad de información y opciones a la hora de seleccionar el suministro eléctrico.
- Mejorar el nivel de la energía eléctrica generada y alta calidad en el suministro energético.

La Figura 1 ilustra el modelo conceptual de Smart Grid proporcionado por el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología de USA (NIST) (Technology, 2014) , donde se definen siete dominios importantes: generación, transmisión, distribución, clientes, operaciones, mercados y proveedores de servicios.

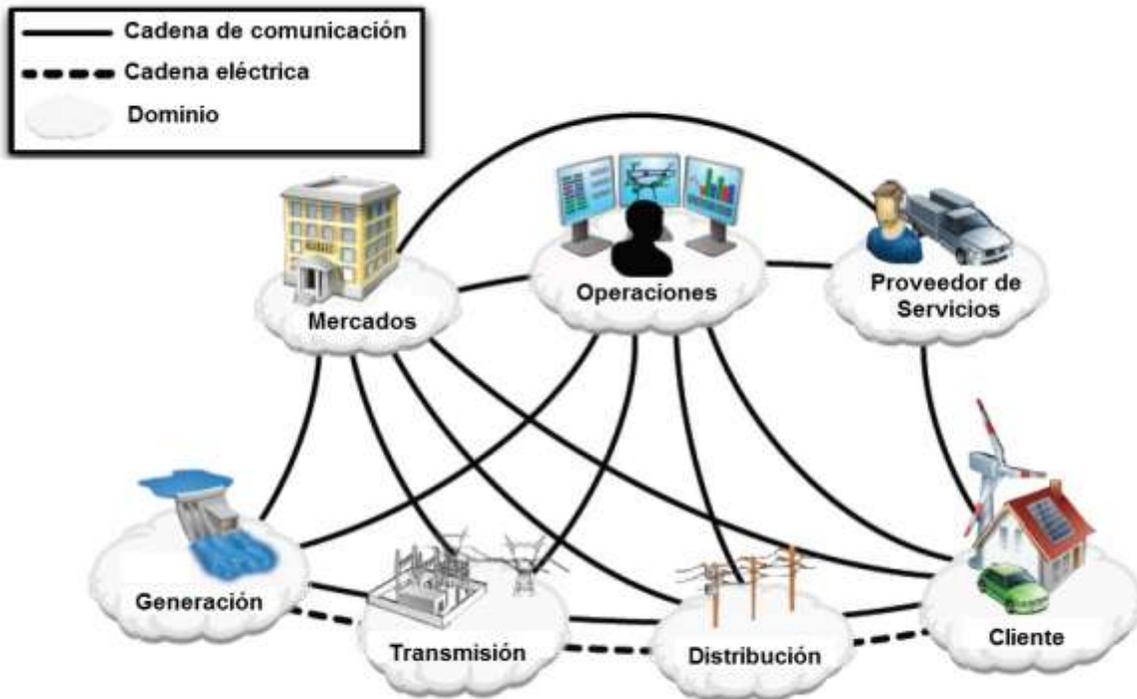


Figura 1 Smart Grid Modelo Conceptual

Fuente: adaptado de (GRID, 2014)

Este modelo conceptual es usado como referencia para las distintas partes del sistema eléctrico donde se lleve a cabo un trabajo con redes inteligentes. El modelo define siete dominios, que comprenden uno o más agentes de venta, incluyendo dispositivos, sistemas o programas que se encargan del intercambio de información para la realización de aplicaciones.

A continuación, Tabla 1, se muestra cada dominio con su respectiva función dentro de una red inteligente:

Tabla 1 Dominios de una red Inteligente

DOMINIO	DESCRIPCIÓN
Generación	Generación de electricidad en grandes cantidades a partir de fuentes de energías renovables y No renovables. Se almacena energía para su posterior distribución.
Transmisión	Transmisión de electricidad en grandes cantidades y a largas distancias.
Distribución	Distribución de la electricidad desde y hacia los clientes mediante la utilización de redes de comunicación conectando dispositivos de campo para tele gestión y control.

Clientes	Usuarios finales de la electricidad, conectados a la red de distribución eléctrica mediante contadores inteligentes.
Operaciones	Gestores del movimiento de la electricidad, controlan el flujo de electricidad de todos los dominios de la red Inteligente.
Mercados	Se ocupan del intercambio de información con los proveedores de servicios, operan y coordinan todos los participantes en los mercados eléctricos dentro de la red inteligente.
Proveedor de servicios	Se encargan de todas las operaciones de terceros (organizaciones que prestan servicios a los clientes eléctricos) entre los dominios.

Fuente. Propia, Febrero 2014

1.2 Características de una Red Inteligente

La guía IEEE P2030 define una serie de características o principios que debe presentar la arquitectura de un sistema Smart Grid (ASSOCIATION, 2011):

- Estandarización: tanto los elementos de la infraestructura como los procedimientos se interrelacionan, deben estar definidos, ser útiles y estables todo el tiempo.
- Abierto: su infraestructura debe estar basada en tecnología que se encuentre habilitada a todos los integrantes calificados.
- Interoperabilidad: la estandarización de las interfaces dentro de la infraestructura debe ser organizada de tal forma que el sistema pueda ser fácilmente ajustado para una situación particular
- Extensibilidad: la estructura debe ser diseñada pensando en extender sus capacidades a futuro. Para lograr este objetivo la información debe estar definida y estructurada (modelo de datos), separando inclusive la definición de la información de los métodos empleados para transmitirla.
- Escalabilidad: la infraestructura debe poder expandirse a lo largo de todo el sistema de potencia sin limitación alguna.
- Maniobrabilidad: Los componentes de la infraestructura pueden tener su propia configuración y manejo, deben ser remotamente manejables y las fallas presentes identificadas y aisladas.

- Capacidad de actualización: las múltiples configuraciones de la infraestructura pueden ser actualizadas de forma segura con el mínimo de visitas a sitios remotos.
- Capacidad de compartir: la infraestructura debe utilizar recursos compartidos que minimicen la duplicación de esfuerzos, ofrezcan economía y fomenten la introducción de soluciones innovadoras y competitivas.
- Ubicuidad: los usuarios autorizados de Smart Grids deben sacar ventaja de la infraestructura y que esto se provea sin tener en cuenta la situación geográfica ni otro tipo de barreras.
- Integridad: la infraestructura opera en un alto nivel de disponibilidad, desarrollo y confiabilidad, lo que implica la integración masiva de tecnologías de medición y esquemas de automatización en todos los niveles de la red.
- Fácil de usar: debe contar con procedimientos y reglas lógicas, preferiblemente intuitivas para el uso y manejo de la infraestructura.

Las redes inteligentes requieren de un intercambio oportuno de información entre los diferentes actores (operadores de red, consumidores y terceras partes) a través de tecnologías avanzadas de medición y de comunicaciones. A medida que la tecnología ha evolucionado, información adicional puede ser capturada, almacenada y transmitida entre los participantes. La infraestructura de medición avanzada (AMI) es el término utilizado para representar las últimas tecnologías de sistemas de medición.

1.3 Infraestructura de Medición Avanzada (AMI)

Una definición de sistema AMI la da el Instituto de Investigaciones de Energía Eléctrica EPRI, en el año 2007 como: “La medición completa y sistema de colección que incluye medidores (Smart Meters) en el sitio del usuario; redes de comunicación entre el usuario y el proveedor de servicios, tales como electricidad, agua y gas, recepción de datos y un sistema de gestión que facilite la información para el proveedor de servicios”(E. P. R. INSTITUTE, 2014).

Actualmente el sistema AMI es utilizado por los Operadores de Red (OR) para la supervisión y operación de los sistemas eléctricos, ofrece grandes ventajas y es el

inicio para la implementación de una Red Inteligente. En la Figura 2 se observa el alcance que tiene este sistema de medición.

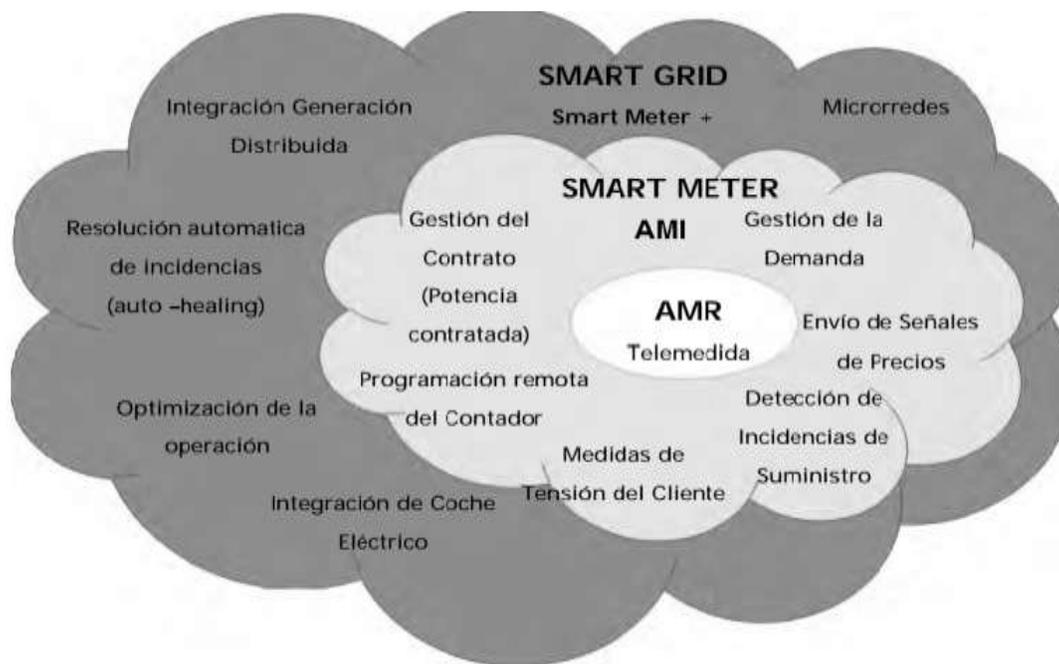


Figura 2 Alcance de un sistema AMI
Fuente: modificado de (INDRA, 2010)

La Figura 2 ilustra un sistema AMI como parte de una red inteligente, con diferentes funciones relacionadas a la gestión de información además de la telemetría. Se habla de un sistema AMI cuando hay una arquitectura de medición automatizada bidireccional (two - way) para la comunicación entre el OR y los usuarios, brindando un servicio de mejor calidad, menor costo y a la medida de cada cliente; normalmente está integrada por un medidor inteligente o Smart Meter, una red de comunicaciones de doble sentido, dispositivos de almacenamiento de datos y software para la seguridad y administración del sistema (F. E. R. COMMISSION, 2008)

1.3.1 Estructura de un sistema AMI

La estructura de un sistema AMI de forma general se identifica por 4 componentes ilustrados en la Figura 3 (Calos Betancourth, 2013):

- Componentes de campo, está constituido por medidores inteligentes independientes ubicados en los hogares de los usuarios o concentrados en armarios eléctricos para un edificio.
- Componente de comunicaciones, integrado por tecnologías de comunicación cableadas o inalámbricas requeridas por los OR, para transferir datos de los medidores de campo hacia un host de almacenamiento de datos.
- Componente Back Office, es un componente software que tiene como objetivo analizar los datos almacenados en el host, para posteriormente distribuirlos a diferentes áreas requeridas por el OR
- Componente de seguridad, debe estar inmerso en todo el sistema debido a que los tres componentes anteriores están sometidos a utilizar sistemas computacionales y se debe garantizar todas las características de seguridad para evitar daños, fraudes e ingresos no permitidos.

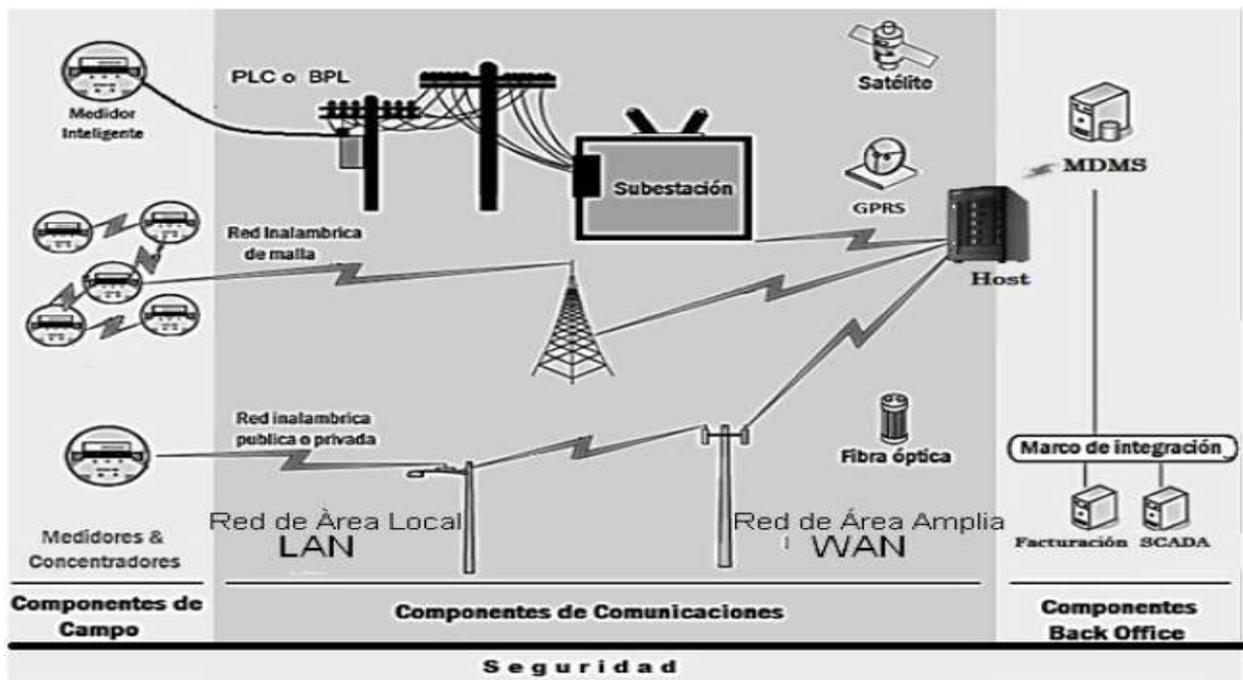


Figura 3 Estructura de un sistema AMI
Fuente: modificado de (SYSTEM, 2012)

1.3.2 Componentes de un sistema AMI

1.3.2.1 Campo

Se denomina componente de campo a causa de estar integrado por instrumentación de campo, es decir dispositivos de operación local que miden y registran directamente las variables de proceso. En el sistema AMI los dispositivos de campo son medidores inteligentes individuales o agrupados en concentradores.

➤ **Smart Meter o Medidor Inteligente**

Definido según la FERC como: “un medidor de avanzada que registra el consumo en intervalos de una hora o menos y comunica esta información al menos una vez por día a través de una red de comunicación a la empresa de servicios para propósito de facturación y monitoreo (tele-medición). El medidor inteligente habilita dos vías de comunicación entre el medidor y el sistema central” (FEDERAL ENERGY REGULATORY COMMISSION, 2008). Estos ofrecen mediante centros de gestión, la información y el control de parámetros de calidad y programación del servicio junto con la actualización del software de medición de forma telemática. Contempla la comunicación en red de área domiciliaria, *Home Area Network* (HAN), red que conecta dispositivos digitales dentro de una vivienda.

➤ **Concentrador o Colector de Datos**

Bancos de memoria con módulos de comunicación serial y telefónica cuya función es almacenar los datos recibidos desde los medidores de manera programada y transmitirlos a un software central, deben ser totalmente autónomos en su comunicación, en caso de existir ausencia de comunicación con los servidores deberán trabajar hasta que se restablezca la comunicación.

1.3.2.2 Comunicación

El componente de comunicación transfiere los datos de los medidores de campo hacia un host de almacenamiento de datos, está constituido por diferentes tecnologías de comunicación según los requerimientos de los OR, las más utilizadas son: BPL o PLC y Radiofrecuencia (RF) para Red de Área Local (LAN - Local Área Network); o GPRS, Satelital y Fibra óptica para una Red de Área Extendida (WAN - Wide Área Network). Entre las Tecnologías de Comunicación AMI se pueden encontrar:

➤ **Power Line Communications (PLC)**

La tecnología PLC utiliza líneas de transmisión y distribución eléctrica como medio de transmisión de datos entre un sistema de gestión de información y un medidor inteligente, presenta problemas de transmisión cuando hay gran cantidad de volumen de datos y de seguridad por la naturaleza de la red eléctrica, pero es ventajosa económicamente por ser el único sistema cableado que se compara con un sistema inalámbrico (Jae-Jo Lee, 2006).

La Figura 4 muestra la estructura de una red utilizando tecnología PLC, se utilizan las líneas eléctricas de media y baja tensión (MT, BT) para la comunicación de un medidor inteligente y el software de comunicación en las instalaciones del OR por medio de una red Internet.

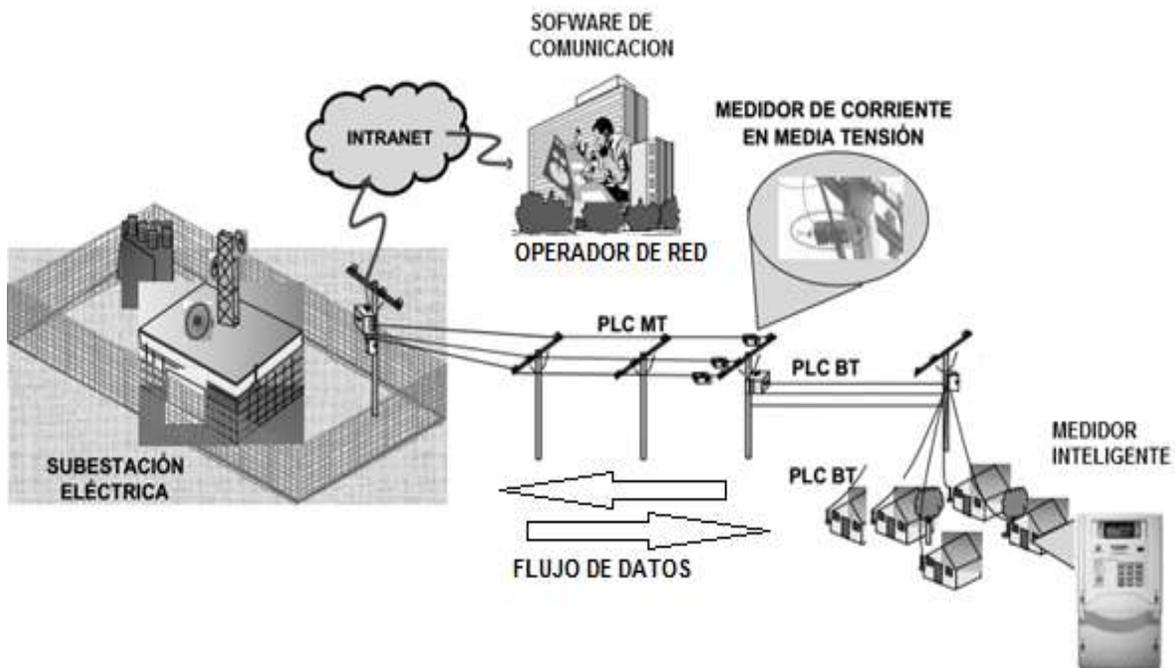


Figura 4 Estructura de comunicación con tecnología PLC
Fuente Modificada:(ELECTRICAS, 2010)

➤ **Sistemas fijos de Radio Frecuencia (RF)**

Es un sistema inalámbrico utilizado para comunicación de corto y mediano alcance, se utilizan bandas de frecuencia para enviar señales de radio con los datos a transmitir donde un transmisor envía una señal al receptor del medidor inteligente solicitando el envío de datos. Este sistema permite la gestión de

información rápidamente, reduciendo costos de operación. Una topología RF utilizada comúnmente en AMI es Wi-Fi (European Telecommunications Standards Institute).

La Figura 5 muestra un medidor inteligente utilizando la topología Wi-Fi en una LAN y una red de fibra óptica en una WAN para el envío de información hacia el OR.

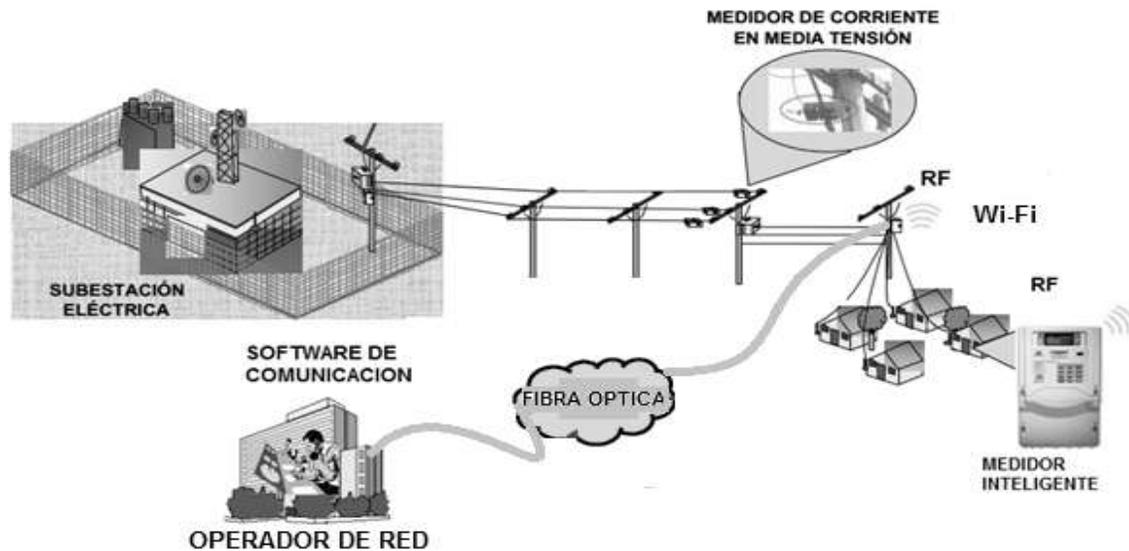


Figura 5 Comunicación AMI con tecnología RF
Fuente: Modificada (ELECTRICAS, 2010)

➤ Sistemas Utilizando Redes Publicas

Los sistemas AMI con esta tecnología usan redes de largo alcance como: satelitales, internet o redes de telefonía celular, abarcan una amplia área de acción a bajo costo sin tener que implementar una red alterna, pero deben adaptarse a la estructura de la red existente y a sus modificaciones (F. E. R. COMMISSION, 2008).

La Figura 6 ilustra la comunicación de un medidor inteligente y un OR por medio de una topología satelital.

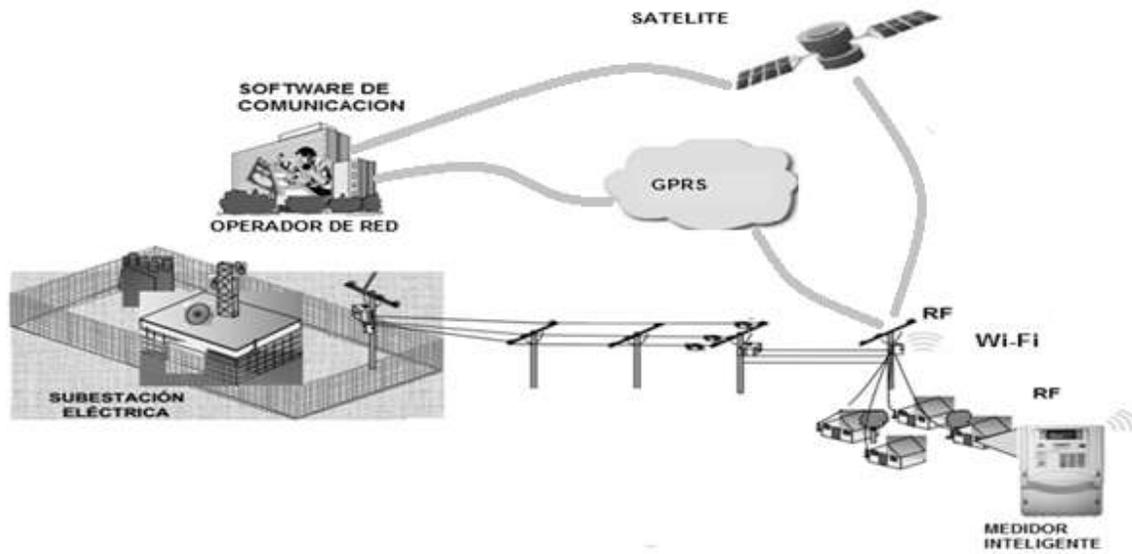


Figura 6 Sistema AMI utilizando una Red Pública Satelital
Fuente modificada:(ELECTRICAS, 2010)

1.3.2.3 Back Office

El componente Back Office está constituido por un Hardware MDMS (Sistema de Gestión de Datos Métricos), y un software especial para controlar la comunicación, éste recibe los datos del medidor inteligente para analizarlos, convertirlos y distribuirlos a diferentes áreas de los OR, como facturación, atención al cliente, mantenimiento y gestión de fallas, permitiendo monitorear y evaluar el funcionamiento de toda la red (TOSHIBA, 2010).

Entre las funciones del componente Back office se destacan la lectura de datos en intervalos de 15 minutos, análisis de los datos de medida, corte de energía y alarmas de restauración, desconexión y conexión a distancia, mantenimiento del sistema y función de búsqueda de datos.

La Figura 7 ilustra el flujo de datos por medio de un sistema de comunicación AMI, desde un medidor inteligente hasta la base de datos MDMS para posteriormente analizarlos y distribuirlos a diferentes áreas del OR.

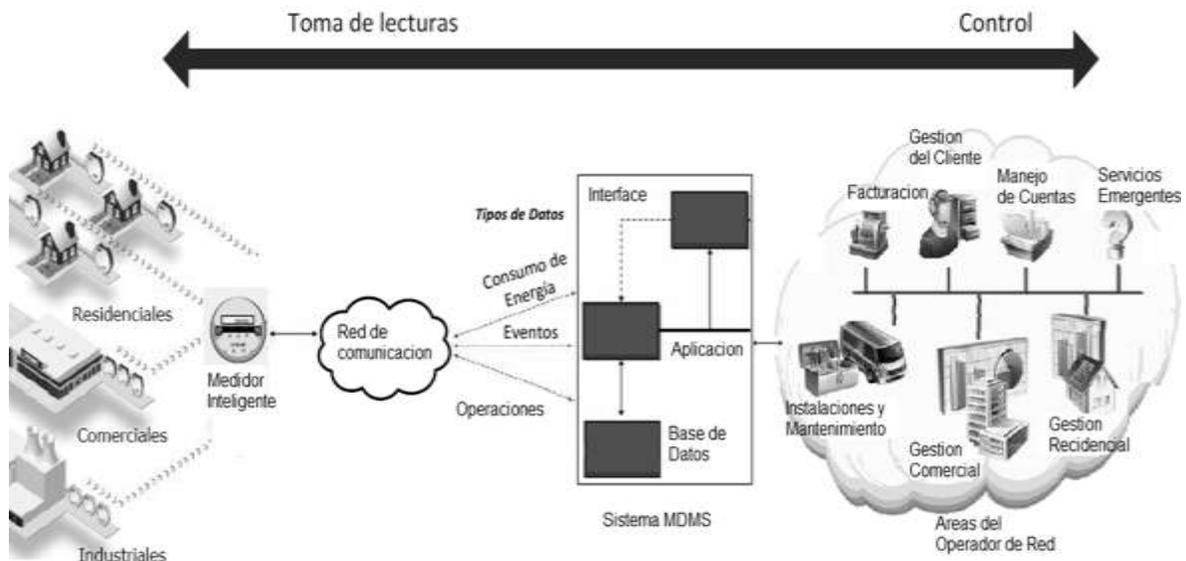


Figura 7 Sistema de Administración de Datos MDMS
Fuente: Propia

1.3.2.4 Seguridad

La estructura AMI está integrada por diversos sistemas computacionales y redes de comunicación, por esta razón se hace necesario un componente de seguridad que abarque la estructura total con el fin de evitar fraudes y daños en los sistemas de gestión, generación y distribución de los OR (Carlos Díaz, 2011).

1.3.3 Funciones de un sistema AMI

Los sistemas AMI son considerados por los OR componente fundamental de la tecnología Smart Grid, satisfaciendo las necesidades requeridas utilizando muchas o todas las funciones que puede realizar esta arquitectura.

A continuación se presenta una lista de funciones que se solicitan en la operación de los sistemas AMI (LABORATORY, 2013):

- Estampado de fecha y hora sincronizada.
- Medición bidireccional del flujo de energía (recepción y entrega).
- Capacidad de proporcionar datos por cliente, en intervalos con estampado de tiempo específico, al menos para cada hora, pero a menudo en intervalos cortos de 15 o 30 minutos.

- Opción de conexión/desconexión remota para algunos o la totalidad de los medidores.
- Posibilidad de actualización del firmware (bloque de instrucciones de programa grabado en los equipos) de los medidores en forma remota.
- Capacidad de diagnosticar, vigilar y controlar el estado de la red de comunicaciones.
- Capacidad de auto detectar, reconfigurar y reparar problemas de comunicación, para garantizar la disponibilidad de las mediciones.
- Notificación de interrupciones y de restauración del suministro.
- Alertas sobre la manipulación y detección de fraudes e informes sobre inversión, remoción, inactividad e intermitencias.
- Capacidad de lectura remota de medidores bajo demanda (cuando se lo solicite).
- Medición y reporte de eventos y parámetros de calidad de energía (armónicos, interrupciones, tensión mínima, máxima, perfiles), con capacidades de monitorización en tiempo real, configurable por la empresa y detección si el servicio se encuentra fuera del rango.
- Capacidad de modificación de bandas.
- Capacidad de lectura de la tensión en los mismos intervalos de lectura del medidor.
- Memoria para almacenar cantidad específica de días de lecturas (de 7 a 45 días, dependiendo de la empresa).
- Adaptabilidad de funciones para posibilidad de aplicaciones de prepago.
- Reporte y registros diarios de lectura de contadores, a menudo en la medianoche.
- Inclusión de sistemas de almacenamiento de datos (*data warehouse*) visto como una necesidad de almacenamiento de grandes volúmenes de datos recolectados del sistema AMI.
- Estrecha integración con el Sistema de Gestión de Datos de Medición (MDM) y de éste con otros sistemas de Gestión, con enlaces a la contabilidad, facturación, reportes, gestión de interrupciones y otros aplicativos.
- Posibilidad de enviar mensajes a los artefactos y equipos de los clientes para soportar programas de Respuesta de la Demanda.
- Capacidad de extender el sistema AMI y Smart Grid a múltiples dispositivos del hogar interconectados como parte de una Red de Área del Hogar (HAN).

1.4 Lectura Automática de Medidores AMR (Automatic Meter Reading)

AMR, término aplicado a tecnologías que permiten a los OR hacer lectura de consumo de servicios públicos con mayor eficiencia, bajo un modelo de comunicación unidireccional. Consiste generalmente en la integración de un medidor de energía eléctrica, una red de comunicación y un software de gestión de información.

AMR constituye uno de los primeros pasos hacia la automatización del sistema eléctrico, sin embargo no soluciona las exigencias del entorno actual, impidiendo la transición a la red inteligente, donde se requiere como premisa básica no solo la visualización, sino también el control generalizado en todos los niveles.

La Figura 8 ilustra la transmisión de los datos de lectura de los medidores eléctricos en un solo sentido, se utilizan tres tecnologías para AMR, una red fija, una tecnología móvil y una tecnología de computadora de mano, para transmitir los datos del medidor desde una zona residencial o industrial hacia una central en las instalaciones del operador de red.

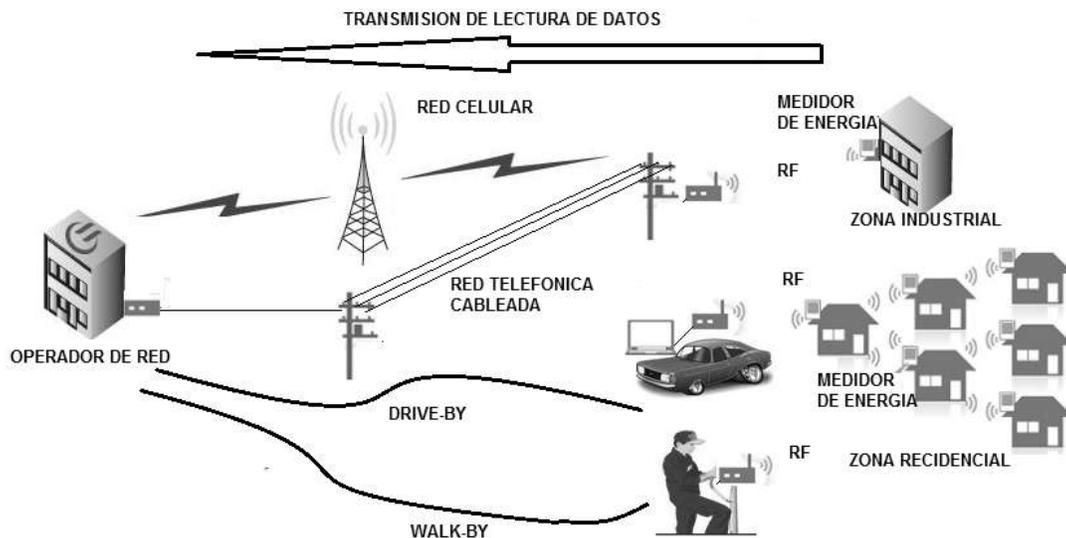


Figura 8 Infraestructura AMR

Fuente: Propia

Una gran cantidad de beneficios se pueden lograr si un OR implementa un sistema AMR, entre ellos tenemos (AHMED, 2010):

- Realizar facturación rápida
- Menor costo de lectura

- Mejora significativa en la calidad de la lectura
- Eliminación de los consumos promedios o consumos “estimados”
- Acceso instantáneo a información alterna sobre el consumo o el medidor
- Rápida identificación de las interrupciones e interferencias del servicio
- Servicios de valor agregado como identificación de perfiles de usuario.

La eliminación de la lectura manual y la implantación de sistemas AMR se llevaron a cabo con el fin de reducir costos de mano de obra en la lectura de los medidores electrónicos. No obstante con el pasar del tiempo la Industria se ha dado cuenta que los sistemas incluido el AMR, permiten a las compañías producir mayores beneficios y servicios, tales como detección inmediata de fallos en el sistema, datos más avanzados y precisos del usuario para formar el perfil de consumo y tarificación en tiempo real y así promover la eficiencia energética.

Las tecnologías utilizadas en AMR son:

Portátiles, móviles, redes fijas basadas en plataformas telefónicas (cableadas - no cableadas), PLC y RF (F. E. R. COMMISSION, 2008). A continuación se definen:

Portátiles:

Computadora de Mano

Consiste en una computadora con un transmisor/receptor (radiofrecuencia RF), recoge automáticamente la lectura a medida que un operario lleva la computadora por la ruta de los medidores, por esta misma razón, el método es conocido como “walk – by”(AHMED, 2010).

Táctil

Consiste en un dispositivo portátil para recolección de datos, provisto de una sonda y una interface de lectura con el medidor. El dispositivo recoge automáticamente las lecturas una vez que la sonda toca el medidor. Posteriormente los datos se descargan en un ordenador para su debido análisis(AHMED, 2010).

Móvil

Consiste en una computadora portátil con un dispositivo transmisor/receptor (RF), un vehículo, y antenas RF; la lectura se hace automáticamente transportando la computadora en el vehículo con antenas RF externas por el área de los medidores, sin tener que hacerlo en un orden determinado. Este método también es conocido como “drive - by” por tener que conducir para transportar el equipo de lectura (AHMED, 2010).

Redes Fijas

Consiste en una infraestructura de red instalada permanentemente como redes LAN o WAN combinadas con dispositivos de RF, por la cual se hace la lectura automática, transmisión y almacenamiento de los datos a una computadora central, sin tener que trasladarse hasta la zona donde están instalados los medidores.

Las redes pueden ser de varios tipos, la red estrella es una de las más comunes, en la que un medidor transmite sus datos a un colector central o a un repetidor para posteriormente transmitirlos por una red cableada para almacenar los datos y hacer su respectivo análisis.

También se está desarrollando redes malla, donde los medidores pueden hacer la función de repetidores, transmitiendo los datos hasta que finalmente terminan en un colector principal.

Algunos sistemas de lectura pueden estar conformados por redes fijas, (redes telefónicas cableadas), y redes móviles a los cuales se les denomina “sistema híbrido AMR”, este sistema se implementa para prevenir la lectura en caso que una de las redes falle (AHMED, 2010).

Radio Frecuencia (RF) de uso común en AMR

Las bandas de RF pueden utilizarse en varias tecnologías de lectura para AMR, como en la computadora de mano, móviles, y redes fijas. Permite hacer una lectura rápida sin tener que entrar en la propiedad del usuario, y facilita la lectura de medidores subterráneos (AHMED, 2010).

Las tecnologías de Radio Frecuencia comúnmente usadas para AMR son:

- Narrowband o Banda Estrecha
- Spread Spectrum o Espectro Ensanchado
 - DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum- Espectro Ensanchado de Secuencia Directa)
 - FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum- Espectro Ensanchado por Salto de Frecuencia)
- Bluetooth
- Cellular Phone Data Systems - Sistemas de Información de Teléfono Celular
- Wifi
- ZigBee

1.5 Normas y Estándares para Redes Inteligentes

Si bien es importante la gestión del flujo y el proceso de intercambio de la información entre diferentes actores, lo es aún más que estos desarrollos estén definidos en normas o estándares internacionales, que permitan establecer pautas para implantar en una organización diferentes sistemas de gestión dando un orden a aplicaciones repetitivas que se desarrollan en el ámbito de la industria, estas recomendaciones las han realizado organizaciones internacionales como IEC, Comisión Electrotécnica Internacional (I. E. COMMISSION, 2013) , líder mundial en crear normas internacionales relacionadas con el sector eléctrico y electrónico, IEEE, Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos(IEEE, 2014) , con reconocimiento mundial en la publicación de normas relacionadas al sector eléctrico y ANSI, Instituto Nacional Estadounidense de Estándares (A. N. S. INSTITUTE, 2013). Esta última es una organización sin ánimo de lucro que supervisa el desarrollo de estándares para productos, servicios, procesos y sistemas en los Estados Unidos.

A continuación se citan algunas normas que integran la normatividad relacionada con Smart Grids.(Tecnológica, 2012).

➤ Normas IEEE

- IEEE 2030-2011 guía para la interoperabilidad de tecnologías de energía e información de redes inteligentes del sistema eléctrico de potencia con aplicaciones de uso final y cargas.
- IEEE 1379-2000 práctica recomendada para la comunicación de datos entre unidades terminales remotas y dispositivos electrónicos inteligentes de una subestación
- IEEE 1547-2003 estándar para la interconexión de la generación distribuida con el sistema eléctrico de potencia
- IEEE 1547.3-2007 guía para monitorear e intercambiar información y realizar el control de la generación distribuida interconectada con el sistema eléctrico de potencia.
- IEEE C37.1-2007 norma para los sistemas SCADA y la automatización de sistemas

➤ Normas IEC referidas a la comunicación:

- IEC 61085 consideraciones generales para servicios de telecomunicaciones para sistemas de potencia.

- IEC 62325 marco para las comunicaciones del mercado energético

➤ *Normas IEC referidas a sistemas AMI*

- IEC 62058 equipos de medición de electricidad
- IEC 61850 redes y sistemas de comunicación en subestaciones
- IEC 61968 integración de aplicaciones para prestadores del servicio e interfaces del sistema para administración de la distribución
- IEC 61334 automatización de la distribución usando sistemas de línea de distribución portadora
- IEC 62056 medición de electricidad, intercambio de datos para lectura de medidas, tarifas y control de carga.

➤ *Normas ANSI para la medición eléctrica*

- ANSI C12.18, estándar diseñado para transportar estructuras de datos, mediante un puerto óptico. Especifica detalles como: velocidad de tráfico binario, detección de errores y time-out (tiempo de espera). También especifica la consulta log-on /log-off de registro: lea o escriba, y comandos de estructuras, así como las dimensiones y las intensidades ópticas para el puerto óptico del medidor electrónico.
- ANSI C12.19, define las tablas de datos del dispositivo de medida (medidor de energía) y las estructuras de los datos por transportar entre el medidor electrónico y una computadora. Para apoyar la innovación el estándar también permite la inclusión de tablas definidas por el fabricante. Una descripción breve de las tablas debe incluir las especificaciones para la configuración de consumo, el mando del display del medidor electrónico, seguridad, tiempo de uso según horario, las definiciones de perfil de carga, que eventos registra y las tablas definidas por el usuario.
- ANSI C12.21, este estándar es una extensión de C12.18 que permite el uso de un canal de comunicaciones remoto punto a punto, particularmente para la telefonía. Incluye adiciones para una autenticación, el control del canal conectado, desconectado y temporizado.

1.5.1 Normas para el Transporte de datos de los Medidores Eléctricos

Dentro de los estándares que se refieren al transporte de datos de los medidores eléctricos están:

➤ *La suite DLMS/COSEM IEC 62056*, es un conjunto de normas que utiliza Device Language Message Specification (DLMS) (Dispositivo Idioma Mensajería Especificación), un protocolo creado por Microchip para la interoperabilidad de sistemas de medición. DLMS fue adoptado por el grupo IEC TC13 WG14, para adaptarlas como un modelo de interfaz de comunicación de equipos de medición de energía mediante los estándares Companion Specification for Energy Metering (COSEM). Esta suite utiliza el protocolo FLAG (IEC 61107) para el intercambio de datos y la conforman los siguientes estándares:

- IEC 62056-1-0:2014, marco inteligente normalización de contadores.
- IEC 62056-21:2002, el intercambio de datos local directa (3 edición de IEC 61107) describe cómo utilizar COSEM más de un puerto local (bucle óptico o corriente).
- IEC 62056-3-1:2013, uso de redes de área local en el par trenzado con la señalización de portadora.
- IEC 62056-41:1988, el intercambio de datos mediante redes de área extensa: Red telefónica pública conmutada (PSTN) con ENLACE+ protocolo.
- IEC 62056-42:2002, servicios de la capa física y los procedimientos para el intercambio de datos asincrónica orientado a la conexión.
- IEC 62056-46:2007, la capa de enlace de datos mediante el protocolo HDLC.
- IEC 62056-47:2006, capa de transporte COSEM para redes IPv4.
- IEC 62056-51:1998, protocolos de capa de aplicación.
- IEC 62056-52:1998, Servidor de la especificación de mensaje de línea de distribución de la gestión de los protocolos de comunicación (DLMS).
- IEC 62056-5-3:2013, DLMS / COSEM capa de aplicación.
- IEC 62056-6-1:2013, sistema de identificación de objetos (OBIS).
- IEC 62056-6-2:2013, clases de Interfaz COSEM.
- IEC 62056-7-6:2013, tercera capa, el perfil de la comunicación basada a la conexión HDLC.
- IEC 62056-8-3:2013, perfil de comunicación para redes vecinales PLC S-FSK.
- IEC 62056-9-7:2013, Perfil de comunicación para redes TCP-UDP/IP.

- La suite ANSI C12, es utilizada generalmente en Norte América, fue creada específicamente para el transporte de datos de medidores por medios de comunicación definidos (puerto óptico, modem telefónico), y son prácticamente idénticas a los estándares *la suite DLMS/COSEM IEC 62056* para el transporte de datos para medidores de la IEEE, en la Tabla 2 se detalla cada estándar de la suite ANSI C12 con su equivalente IEEE, acompañado con sus respectivos títulos originales y un resumido comentario.

Tabla 2 Normas ANSI / IEEE para transporte de datos eléctricos

Estándares	Título	Comentario
ANSI C12.18-2006 / IEEE Std 1701-2011	Optical Port Communication Protocol	También implementado por ANSI C12.22-2008 / IEEE Std 1703-2012
ANSI C12.21-2006 / IEEE Std 1702-2011	Telephone Modem Communication	Protocolos para telefonía, se usa DES3 para la seguridad
ANSI C12.22-2008 / IEEE Std 1703™-2012 / Draft ANSI C12.22-2012	Local Area Network/Wide Area Network (LAN/WAN) Node Communication	
ANSI C12.19-2008 / IEEE Std 1377™-2012/ ANSI C12.19-2012	Utility Industry End Device Data Tables	

Fuente: Propia

La Tabla 3 muestra una comparación de las suites ANSI e IEC, donde se detalla las diferencias más relevantes como el protocolo que utiliza cada suite para el transporte de datos de los medidores, los medios de comunicación que utilizan y el objetivo de cada una.

Tabla 3 Comparación de las suites ANSI vs IEC

Detalles	ANSI	IEC
Suite para la Medición Eléctrica	ANSI C12	DLMS/COSEM IEC 62056
Protocolo para el transporte de datos	PSEM	FLAG
Medios de Comunicación	ANSI C12.18 Puerto Óptico, ANSI C12.21 Modem Telefónico y ANSI C12.22 para una Red	Es independiente del medio de comunicación
Objetivo	Define el transporte de datos de medidores eléctricos por medios de comunicación definidos	Define un modelo de interfaz para el transporte de datos eléctricos, independiente de las capas para el intercambio de los datos

Fuente: Propia

1.6 Medidor de Energía Eléctrica

Los medidores de energía eléctrica son dispositivos utilizados para la medida del consumo de energía eléctrica. Recogen el voltaje y la corriente de la fuente de energía, convierten la información en salida de pulsos (proporcional a la energía eléctrica) y tienen la información visualizada en un registro o un visor digital. El medidor de energía eléctrica es un dispositivo que contabiliza la energía en las líneas y redes de corriente alterna, tanto monofásicas y trifásicas. Los medidores electromecánicos funcionan bajo el principio de inducción magnética, producido por la circulación de la corriente.

En función de su propósito hay varios tipos de medidores según su, construcción, tipo de energía que mide, conexión a la red eléctrica y clase de precisión (Guillermo Velasco, 2010).

1.6.1 Clasificación de los medidores

De acuerdo con su construcción

Medidores de inducción o electromecánicos: se caracterizan por utilizar dos juegos de bobinas que producen campos magnéticos, permiten medir solamente un tipo de energía, kWh acumulados o kVAh acumulados, no poseen discriminación tarifaria siendo los medidores estándar electromecánicos de inducción.

Medidores estáticos (Electrónicos): permiten medir energía acumulada, registran la medida de energía total mensual o por intervalos de tiempo predefinidos. Permite la comunicación bidireccional básica entre el medidor y el OR, facilitando a partir de esta tecnología las medidas de tiempo de utilización. El servicio al cliente se mejora, con el uso de sistemas de lectura remota, con una eficiente administración de datos, además de tener pocos errores en las facturas del servicio de energía eléctrica. Están contruidos con dispositivos electrónicos, generalmente son de mayor precisión que los electromecánicos y por ello se utilizan para medir en centros de energía, una clasificación de ellos son los medidores inteligentes, equipos que proporcionan mediante centro de gestión la información, control de parámetros de calidad y programación del servicio junto con la actualización del software de medición de forma telemática.

Actualmente, para los pequeños consumidores, industriales y domiciliarios, se mantiene aún el uso de medidores de inducción de energía activa y reactiva. Para los medianos consumidores se instalan generalmente medidores electrónicos. Para los grandes consumidores, a fin de facilitar la tarea de medición y control, el

medidor permite además la supervisión a distancia mediante varias tecnologías de comunicación.

De acuerdo con la energía que miden:

Medidores de energía activa: mide el consumo de energía activa en kilovatios/hora.

Medidores de energía reactiva o aparente: el consumo de energía reactiva es medido en kilovares/hora. La energía reactiva se mide con medidores electrónicos que miden tanto la energía activa como la energía reactiva.

De acuerdo con la exactitud

Según la norma NTC 2288 y 2148, los medidores se dividen en tres clases:

Medidores clase 0.5: utilizados para la medición de grandes cantidades de energía, pero con un pequeño campo de carga. Permiten medir la energía activa suministrada en bloque en punto de frontera con otros OR alimentados a 115 kV.

Medidores clase 1: medidores trifásicos para medir energía activa y reactiva de grandes consumidores, para clientes mayores de 55 kW.

Medidores clase 2: incluye medidores monofásicos y trifásicos para medir energía activa en oficinas, hogares, locales comerciales y pequeñas industrias, para clientes menores de 55kW.

El índice de clase 0.5, 1 y 2 se refieren a los límites de error porcentual admisible para todos los valores de corriente entre el 10% nominal y la máxima con un factor de potencia igual a uno.

De acuerdo con la conexión en la red

Medidor monofásico bifilar: se utiliza para el registro de consumo en una acometida que tenga un solo conductor activo o fase y un conductor no activo o neutro.

Medidor monofásico trifilar: se utiliza para el registro del consumo de una acometida monofásica de fase partida (120/240V) donde se tienen dos conductores activos y uno no activo o neutro.

Medidor bifásico trifilar: se utiliza para el registro del consumo de energía de una acometida en B.T de dos fases y tres hilos, alimentadas de la red de B.T de distribución trifásica.

Medidor trifásico tetrafilar: se utiliza para el consumo de energía de una acometida trifásica en B.T de tres fases y cuatro hilos.

Medidor trifásico trifilar: se utiliza para el registro de consumo de energía de una acometida trifásica de tres fases sin neutro.

A continuación, Tabla 4, se muestra la clasificación de los medidores de energía eléctrica:

Tabla 4 Clasificación medidores de energía eléctrica

Clasificación Medidores de Energía Eléctrica			
Construcción	Electromecánicos		Electrónicos
Energía que miden	Activa		Activa – Reactiva
Exactitud	Clase 0.5	Clase 1	Clase 2
Conexión en la red	Monofásico bifilar, trifilar.	Bifásico trifilar	Trifásico trifilar, tetrafilar

Fuente Propia

De la anterior clasificación de medidores de energía eléctrica es necesario profundizar en los medidores electrónicos por ser un componente clave para cumplir con el propósito de un sistema AMR.

1.6.2 Medidores Electrónicos

Son dispositivos que hacen medición y registro de la energía, lo hace por medio de un sistema electrónico integrado por un micro-controlador y diferentes memorias, una clasificación de ellos son los medidores inteligentes o Smart Meters, equipos que permiten facturación rápida, menor costo de lectura, mejora significativa en la calidad de la lectura, eliminación de consumos promedios, acceso instantáneo a información de consumo o del medidor, rápida identificación de interrupciones e interferencias del servicio, servicios de valor agregado como identificación de perfiles de usuario. Todo esto ejecutado desde una central de control remota.

➤ Partes del medidor electrónico:

Un medidor electrónico consta de los siguientes elementos(ELECTRICIDAD-OKAR, 2008):

- *Tapa principal:* cubierta frontal del medidor
- *Base:* es la parte posterior del medidor que sirve para fijarlo
- *Caja de conexiones o bornera:* están agrupados todos o algunos de los terminales del medidor.
- *Tapa bornera:* tapa que cubre los terminales del medidor

- *Placa de características*: parte que define o agrupa todas las características técnicas del medidor.
- *Cojinete superior*: elemento de fijación del eje del disco que permite el desplazamiento del mecanismo del rotor,
- *Cojinete inferior*: elemento de fijación del eje del disco que permite el desplazamiento del mecanismo de rotor
- *Disco*: parte móvil del medidor
- *Imán de freno*: parte del medidor que produce un par de freno
- *Bobina de corriente*: es el arrollamiento del elemento motor y las conexiones internas del medidor a través de las cuales fluye la corriente del circuito al cual está conectado el medidor.
- *Bobina de tensión*: arrollamiento del elemento motor y las conexiones internas del medidor, alimentado con la tensión del circuito al cual está conectado el medidor.
- *Chasis*: parte a la cual están unidos los elementos motrices
- *Sello de seguridad*: elemento de seguridad que se coloca al medidor para evitar que pueda ser intervenido
- *Circuito electrónico*: el procesador ó chip se encarga del procesamiento de los datos de corriente y tensión recibidos de los convertidores de señal analógica a digital, para calcular la potencia consumida por el cliente.
- *Shunt*: carga resistiva a través donde se deriva una corriente eléctrica.
- *Registrador*: es un tambor de duro-plástico resistente a los rayos ultravioleta, con alta resistencia a la deformación y al desgaste, se mueve en sentido positivo aun cuando las conexiones se encuentren invertidas, le da una característica antifraude.
- *Protector de campos magnéticos y electrostáticos*: evita campos magnéticos externos o provocados intencionalmente por el usuario.

La Figura 9 ilustra las partes internas de un medidor electrónico:

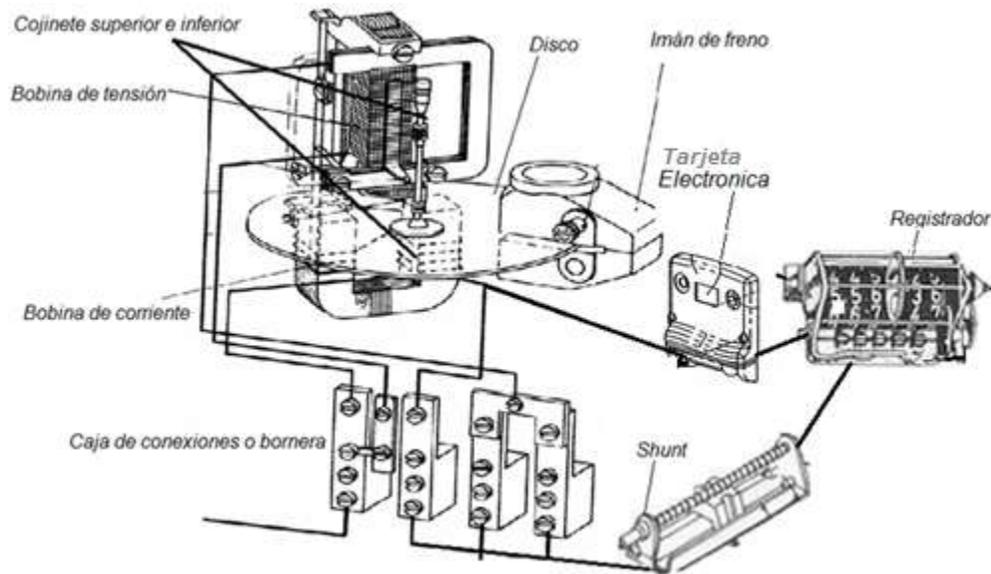


Figura 9 Parte interna de un Medidor electrónico
Fuente : modificada de (RIOS, 2010)

En la Tabla 5 se citan algunos fabricantes de medidores electrónicos y sistemas avanzados de medición en el mundo.

Tabla 5 Fabricantes Medidores electrónicos

Fabricante – País	Medidores Electrónicos
Siemens Energy – Alemania	Sentron PAC3200
GE Energy – EEUU	I-210+C, kV2c
Schneider	Power Logic ION8650
Echelon – EEUU	MTR 3500 CT, IEC / DIN
Itron, Actaris – EEUU	SENTINEL
Elster – EE UU	A1800, gREX

Fuente propia, Enero 2014

En el país se cuenta con empresas fabricantes y comercializadoras de medidores de energía eléctrica, como METREX S.A. (METREX S.A., 2014), empresa Colombiana líder en la fabricación y comercialización de equipos de alta precisión para la medición de flujos y fluidos (energía, gas, agua). INELCA (Industria Eléctrica del Cauca S.A., 2014), empresa fabricante de medidores de energía eléctrica y representantes para Colombia de la marca Eslovena ISKRA en medidores de energía. MEDER S.A. (MEDER S.A., 2014), empresa Nacional dedicada a la distribución y comercialización de productos y servicios en el campo de la medición energética. Sin embargo en cuanto a medidores electrónicos más

avanzados estos son traídos del extranjero por los OR y predominan los de empresas como ELSTER, ITRON, LANDIS+GYR, destacándose las referencias SENTINEL (ITRON, 2014), A3 ALPHA (ELSTER, 2013) y ELSTER A1800 (ELSTER, 2013) destinados a grandes clientes comerciales e Industriales. Entre ellos es de interés del presente trabajo el medidor electrónico ELSTER A1800 pues soporta protocolos de comunicación estandarizados, los cuales incluyen tablas, procedimientos y eventos que pueden ser utilizados como guía en el estudio del proceso de intercambio de información entre un medidor y su software de gestión energética.

1.6.2.1 Elster A1800

Medidor electrónico robusto y con alta precisión, apto para conexión a sistemas integrados de AMI para uso comercial, industrial o aplicaciones en subestaciones y transformadores. Cuenta con un protocolo abierto de comunicaciones, soportando los estándares de comunicación ANSI C12.18, C12.19, C12.21. Este medidor se puede integrar fácilmente a cualquier sistema de medición, incluye medición en cuatro cuadrantes, energía activa, reactiva, aparente y demanda.

Cuenta con un diagnóstico interno que permanentemente monitorea el servicio, verifica todas las fases y confirma que las conexiones sean correctas. Dentro de sus opciones cuenta con multi-protocolos de comunicación, compensación de pérdidas en transformadores y líneas, perfil de carga, perfil de instrumentación y suministro auxiliar de energía(ELSTER, 2014). En la Figura 10 se ilustra la gráfica de un medidor Elster A1800.



Figura 10 Medidor Elster A1800

Fuente: (Group, 2014)

El A1800 soporta transporte de datos por puerto óptico normalizado. Dispone también de algunas tarjetas electrónicas opcionales como: Tarjeta opcional de memoria extendida a 1 MB, tarjeta opcional de relés de salida (2 relés), tarjeta opcional de modem interno, tarjeta opcional RS-232, tarjeta opcional RS-485, fuente de poder auxiliar.

1.7 Software de Gestión Energética (SGE)

Un SGE es un componente clave en la estructura de un sistema de medición eléctrico, es desarrollado principalmente para gestionar, administrar y correlacionar información procedente de los medidores electrónicos, a través de diferentes medios de comunicación, este software tiene implementadas diversas funciones que permiten gestionar información de consumo energético en los dispositivos de campo para su posterior análisis, también es utilizado como medio para la configuración del medidor y posee la capacidad de interactuar con otros software de gestión de forma segura (COMUNICACIONES, 2011).

En la Figura 11 se observan los medidores electrónicos conectados a un software de gestión energético a través de una red LAN y WAN.

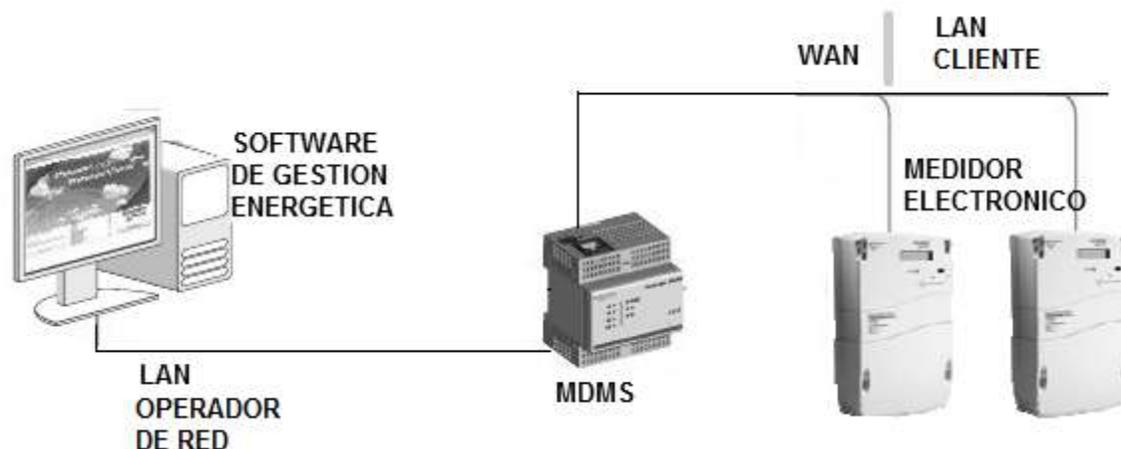


Figura 11 Software de Gestión Energética

Fuente: Propia

Cada fabricante de medidores ofrece un software propietario, por lo tanto cumplen con estándares de comunicación y de transmisión de datos de dichos medidores, algunos de los más relevantes son:

- Estándares ANSI C12:
ANSI C12.18, ANSI C12.19, ANSI C12.21, ANSI C12.22
- Estándares IEC 62056:
IEC 62056-21, 31, 42, 46, 47, 53, 61, 62

La Tabla 6 muestra algunos de los desarrolladores de software de gestión de energía más importantes en el mercado.

Tabla 6 Desarrolladores de software de gestión de la energía

Fabricante – País	Software de Gestión de Energía
Prime Stone - Colombia	PrimeRead Energy Suite, Prime Web, PrimeGrid
GE Energy – EEUU	Meter Mate TM
Itron, Actaris – EEUU	Itron Analytics
Circuitor – España	Serie Power Studio
Echelon – EEUU	Software Element Manager
Elster – EE UU	Alpha Centro, AlphaPlus software, Metercat
Schneider	PowerLogic, Power View, Master pact, ION/PMs
Siemens Energy – Alemania	SIMATIC B.data, SIMATIC power rate

Fuente: Propia

Un SGE para comunicarse con los medidores electrónicos A1800 de Elster es Metercat, este cuenta con diferentes asistentes interactivos para ayudar a configurar la gestión de información del usuario y está en diferentes idiomas como inglés, portugués, ruso, rumano y español.

➤ **Metercat**

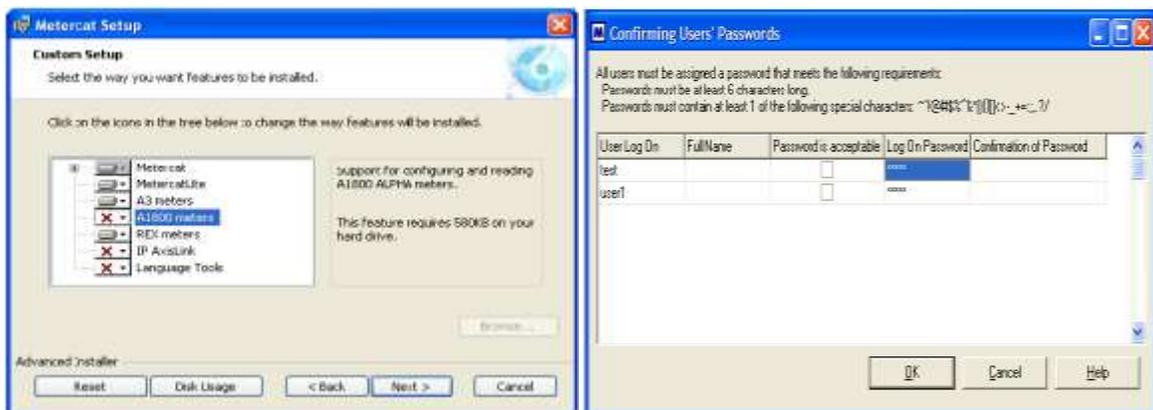
Es un software desarrollado por ELSTER para la configuración y análisis de medidores electrónicos incluido el A1800. Esta diseñado como una aplicación para todas las plataformas Windows de 32 bits y vista(ELSTER, 2008b).

Algunas características principales:

Contiene un asistente para guiar al usuario a través de la elaboración de programas que gestionan el medidor. Un sistema integral de seguridad que permite a los administradores controlar fácilmente el acceso a todas las funciones del software, el acceso a varios medidores y las contraseñas de los diferentes grupos de medidores definidos por el OR(ELSTER, 2008b).Tiene la capacidad de comunicación local a través del puerto óptico, con medidores equipados con módems internos o externos. Entrega informes de lectura en formato de hipertexto HTML para visualizarlo en un navegador, y permite importar o exportar archivos en

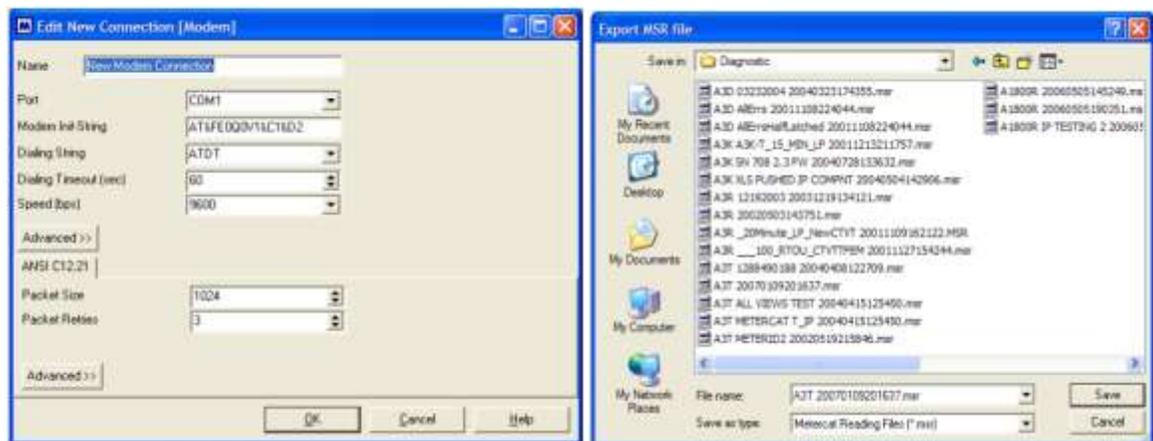
formato **.msr** o archivos de texto **ASCII**. También contiene un archivo de ayuda en línea especial y plantillas que permiten documentar procedimientos y procesos personalizados (ELSTER, 2008a).

La Figura 12 muestra en la imagen a) el asistente de instalación, en la imagen b) la configuración de las contraseñas para el acceso a medidores de dos usuarios, en la c) la configuración de una nueva conexión por modem telefónico y en la imagen d) los archivos almacenados con lecturas de medidores, los cuales pueden ser exportados en formato **.mrs**



a)

b)



c)

d)

Figura 12 Asistente de instalación del Metercat
Fuente: (ELSTER, 2008a)

2 CAPITULO: DESCRIPCIÓN ESTÁNDAR ANSI C12.21 PARA COMUNICACIÓN POR MODEM TELEFÓNICO

2.1 Alcance General de ANSI C12.21

Este estándar detalla los criterios para la comunicación entre un dispositivo C12.21 (Medidor Electrónico) y un cliente C12.21 (Computador, Estación Maestra), a través de un modem conectado a una red telefónica (American National Standard, 2008) La Figura 13 muestra la estructura física de la red de comunicación según el estándar ANSI C12.21 (red ANSI C12.21), donde un medidor electrónico está conectado a un computador a través de un modem en una red telefónica.

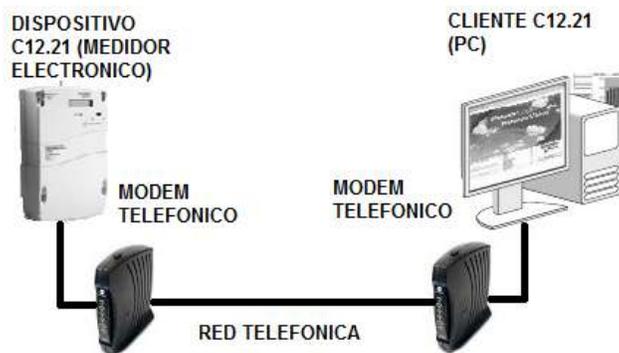


Figura 13 Estructura física general de la red de comunicación en ANSI C12.21

Fuente: Propia

Para dicha comunicación ANSI C12.21 utiliza el modelo estándar de Interconexión de Sistemas Abiertos (OSI) de 7 capas, de las cuales utilizan solo tres (3): Aplicación, Enlace de Datos y Física. La Figura 14 muestra las siete capas del modelo OSI y resalta las que utiliza ANSI C12.21.



Figura 14 Siete capas del modelo OSI

Fuente: (CIENTIFICOS, 2006)

En el nivel de aplicación ANSI C.12.21 hace uso del Protocolo de Especificación para la Medición Eléctrica (PSEM) para organizar los datos de un dispositivo C12.21 en formato de tablas, las cuales son definidas por ANSI C12.19 (American National Standard, 2008). La Figura 15 presenta la red ANSI C12.21, según las tres capas del modelo OSI, donde el intercambio de información se hace entre un Dispositivo C12.21, el cual empieza a construir los datos en formato de tablas ANSI C12.19 desde la capa de aplicación con su respectiva cabecera, estas pasan a la capa de enlace de datos donde se añade la cabecera correspondiente y se construye un paquete de datos, que finalmente se entrega a la capa física en forma de bits para transportarlos por el medio físico. Posteriormente este paquete es recibido y procesado de forma inversa por un Cliente C12.21.

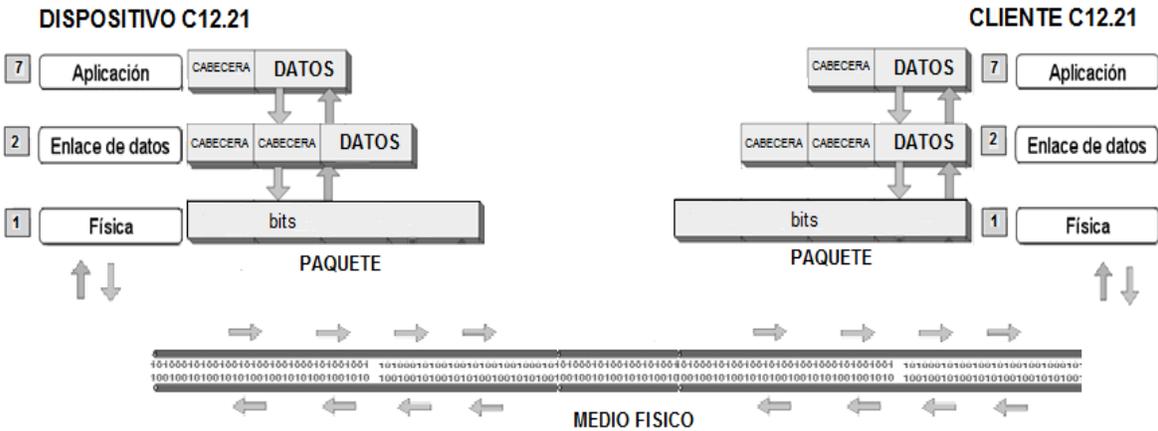


Figura 15 Secuencia de la información entre un Dispositivo C12.21 y un Cliente C12.21

Fuente: Propia

2.2 Descripción del estándar ANSI C12.21

Dentro del marco de este proyecto el dispositivo C12.21 será un medidor electrónico. El cliente C12.21 puede ser un computador portátil, una estación maestra, o algún otro dispositivo de comunicaciones electrónicas con un SGE ANSI C12.21. Esta norma proporciona detalles para la implementación de tres capas (aplicación, enlace de datos, física), y su propósito es definir los medios para el transporte de datos en formato de tablas a través de un modem telefónico. Las definiciones y estructuras de las tablas se hacen acorde a la norma ANSI C12.19 (American National Standard, 2008).

La comunicación en la capa de aplicación está basada en el protocolo de especificación para la medición eléctrica PSEM. Este protocolo ofrece tres funciones: establecimiento y modificación del canal de comunicación, transporte de información desde y hacia el dispositivo de medición y cierre ordenado del canal de comunicación. Cabe resaltar que ANSI C.12.21 no incluye requisitos para la implementación del canal de comunicación. El canal de comunicación se considera disponible una vez que la conexión telefónica se establece con éxito y los módems se han sincronizado.

A continuación se tratará específicamente la capa de aplicación y enlace de datos, su composición y servicios para el transporte de datos en formato de tablas a través de modem telefónico.

2.3 Capa de Aplicación

La capa de aplicación es la capa del modelo OSI más cercana al usuario; proporciona un conjunto de servicios y estructuras de datos necesarias para fines de configuración, programación y recuperación de información. La comunicación en esta capa está basada en el protocolo de especificación para la medición eléctrica PSEM.

2.3.1 Protocolo de Especificación para la Medición Eléctrica (PSEM)

Establece el lenguaje y las especificaciones para la comunicación en la capa de aplicación. El lenguaje PSEM proporciona una interfaz entre el Cliente C12.21 y un dispositivo C12.21 en un medio de comunicación punto a punto, consta de doce (12) servicios. Cada servicio se compone de peticiones y respuestas representadas por un código. La Tabla 7 lista los servicios del protocolo PSEM.

Tabla 7 Servicios del protocolo PSEM

Servicios		
1. Identificación	5. Seguridad	9. Negociación
2. Lectura	6. Cierre de sesión	10. Configuración de tiempos
3. Escritura	7. Espera	11. Desconexión
4. Inicio de sesión	8. Terminación	12. Autenticación

Fuente: Propia

La capa de aplicación provee un conjunto de servicios con el propósito de programar u obtener datos desde un medidor electrónico. Cada servicio consta de códigos de petición y respuesta quienes a su vez se complementan con

parámetros. Los códigos que representan las peticiones y respuestas se detallan a continuación:

2.3.1.1 Códigos de Petición PSEM

Estos son representados en formato hexadecimal en el rango 20H-7FH. Cada servicio tiene su propio código de petición y se describe a continuación, ver

Tabla 8:

Tabla 8 Códigos de petición asociados a los doce (12) servicios PSEM de la Tabla 7

SERVICIO	CÓDIGO PETICION	DESCRIPCIÓN
Identificación	20H	Requerido para la inicialización del establecimiento de una sesión.
Terminación	21H	Se encarga de abortar una sesión abierta cerrando el canal de comunicación. Servicio opcional
Desconexión	22H	Utilizado para la desconexión inmediata del canal de comunicación. Servicio opcional.
Lectura	30H	Transfiere tablas de datos al dispositivo que realiza la petición.
Escritura	40H	Transfiere tablas de datos al dispositivo de destino.
Inicio de sesión	50H	Establece una sesión sin establecer permisos de acceso.
Seguridad	51H	Proporciona la configuración de permisos de acceso. Servicio opcional.
Cierre de sesión	52H	Proporciona un cierre ordenado de sesión.
Negociación	65H	Proporciona el mecanismo para la reconfiguración del canal de comunicación. Servicio Opcional.
Espera	70H	Mantiene una comunicación establecida cuando el canal se encuentra en periodos de inactividad. Servicio opcional.
Configuración de tiempos	71H	Proporciona el mecanismo para la reconfiguración de tiempos de espera y retardos. Servicio opcional.
Autenticación	Indefinido	Complementa el servicio de Seguridad. Servicio Opcional.

Fuente Propia

2.3.1.2 Códigos de Respuesta PSEM

Estos son representados en formato hexadecimal en el rango 00H-1FH. Son quince (15) códigos de los cuales la norma solo define los 11 primeros y deja indefinidos los restantes. Cada código de respuesta tiene un significado asociado a una variable llamada dato. La Tabla 9 ilustra la descripción de cada código de respuesta y su dato asociado.

Tabla 9 Códigos de respuesta usados en las Peticiones PSEM

CÓDIGO RESPUESTA	DATO	DESCRIPCIÓN
00H	<ok>	Petición aceptada
01H	<err>	Error no previsto
02H	<sns>	Servicio no soportado
03H	<isc>	Nivel de seguridad Insuficiente
04H	<onp>	Acción que no es posible
05H	<iar>	Acción de petición inapropiada
06H	<bsy>	Dispositivo ocupado
07H	<dnr>	Datos no listos
08H	<dlk>	Datos bloqueados
09H	<rno>	Renegociar la solicitud
OAH	<iss>	Servicio invalido en el estado de secuencia
0BH-1FH	Indefinido	Códigos de respuesta indefinidos

Fuente: Propia

En el proceso de intercambio de información, cada petición y respuesta enviada contiene un propósito en particular, según la situación presentada, generalmente determinado por acciones de alto nivel como: solicitudes de procesamiento, consultas, ejecución de órdenes, etc. A continuación se hace un estudio detallado de cada uno de los servicios y códigos en el proceso de intercambio de información. Los servicios de Identificación, Negociación, Inicio de sesión, Lectura, Escritura, Autenticación y Configuración de tiempos utilizan parámetros complementarios a los listados en la Tabla 9, que conforman la respuesta positiva completa del servicio utilizado. A continuación, se detallaran cada uno de los 12 servicios indicados en la Tabla 7.

2.3.1.3 Servicio de Identificación

El servicio de Identificación es el primer servicio usado sobre el dispositivo, este es iniciado solamente por el Cliente y es requerido para la inicialización del establecimiento de una sesión. El código de petición para este servicio es: **20H**. La respuesta a esta petición puede ser negativa o positiva:

- Caso negativo, representado por los datos: <isss>, <bsy> ó <err>, indicando un problema con la solicitud de servicio recibida.
- Caso positivo, representado por el dato <ok>, indicando la aceptación de la solicitud del servicio.

Al dato de respuesta <ok> le siguen parámetros complementarios del servicio de Identificación, a los listados en la Tabla 9, que conforman la respuesta positiva completa: <ok><std><ver><rev><feature><end-of-list>

A continuación, Tabla 10, se ilustran los parámetros complementarios de respuesta positiva del servicio de Identificación:

Tabla 10 Parámetros complementarios respuesta positiva servicio de Identificación

Parámetros	Tamaño	Código	Descripción
<ok>	Byte	00H	Petición aceptada
<std>	Byte	Código de referencia que identifica el estándar	
		00H	ANSI C12.18
		01H	Reservado
		02H	ANSI C12.21
		03H	ANSI C12.22
<ver>	Byte	00H-FFH	Identifica el número de versión del estándar utilizado
<rev>	Byte	00H-FFH	Identifica el número de revisión del estándar utilizado
<feature>	Identificador de clase de dispositivo (parámetro opcional)		
<end-of-list>	Byte	00H	Indicador de fin de lista

Fuente: Propia

2.3.1.4 Servicio de Negociación

El servicio de Negociación proporciona el mecanismo para la reconfiguración del canal de comunicación con parámetros distintos a los especificados por defecto en el estándar. Este servicio es opcional y es iniciado por el Cliente, debe ser usado solo después del servicio de Identificación y antes del servicio de Inicio de sesión. El código de petición para este servicio es: **65H**. La respuesta a esta petición puede ser negativa o positiva:

- Caso negativo, representado por los datos: <sns>, <isss>, <bsy> ó <err>, indicando un problema con el receptor del servicio de Negociación, el canal de comunicación seguirá con los parámetros que tenía antes de emitir la petición.
- Caso positivo, representado por el dato <ok>, indicando que la petición fue aceptada y los nuevos parámetros serán aplicados.

Al dato de respuesta <ok> le siguen parámetros complementarios del servicio de Negociación, a los listados en la Tabla 9, que conforman la respuesta positiva completa: <ok><baud_rate_selector><packet_size><nbr_packets><baud_rate>

A continuación, Tabla 11, se muestran los parámetros complementarios de respuesta positiva del servicio de Negociación:

Tabla 11 Parámetros complementarios respuesta positiva servicio de Negociación

Parámetro	Tamaño	Código	Descripción
<baud_rate_selector>	Byte	60H	Velocidad de transmisión por defecto. No se incluye baud rate en la respuesta.
		61H	Se incluye 1 baud rate
		62H	Se incluye 2 baud rate
		63H	Se incluye 3 baud rate
		64H	Se incluye 4 baud rate
		65H	Se incluye 5 baud rate
		66H	Se incluye 6 baud rate
		67H	Se incluye 7 baud rate
		68H	Se incluye 8 baud rate
		69H	Se incluye 9 baud rate
		6AH	Se incluye 10 baud rate
6BH	Se incluye 11 baud rate		
<packet_size>	Word	40H-2000H	Tamaño máximo de paquetes que soporta. Este valor debe estar en el rango 64 a 8192 bytes.
<nbr_packets>	Byte		Número máximo de paquetes que soporta esta capa y que puedan ser re ensamblados.
<baud_rate>	Byte	00H	Definido externamente
		01H	300 Baudios
		02H	600 Baudios
		03H	1200 Baudios
		04H	2400 baudios
		05H	4800 Baudios
		06H	9600 Baudios
		07H	14400 Baudios
		08H	19200 Baudios
		09H	28800 Baudios
		0AH	57600 Baudios
		0BH	38400 Baudios
		0CH	115200 Baudios
		0DH	128000 Baudios
0EH	256000 Baudios		
0FH-FFH	Reservados		

Fuente: Propia

2.3.1.5 Servicio Inicio de sesión (Logon)

El servicio Logon establece una sesión sin establecer permisos de acceso, este es un servicio necesario que debe ser iniciado por el Cliente. El código de petición para este servicio es: **50H**, seguido de una variable tipo word de diez bytes, que contiene la identificación del usuario. A continuación se observa el código de petición para este servicio: **<50H><user_ID>** La respuesta a esta petición puede ser negativa o positiva:

- Caso negativo, representado por los datos: <isss>, <bsy>, <iar> ó <err>, indicando un problema en la recepción de la petición de este servicio.
- Caso positivo, representado por el dato <ok>, indicando que el servicio Logon fue completado satisfactoriamente y que la sesión fue establecida con éxito.

Al dato de respuesta <ok> le siguen parámetros complementarios del servicio Logon, a los listados en Tabla 9, que conforman la respuesta positiva completa: <ok><user_ID><user>

A continuación, Tabla 12, se ilustran los parámetros complementarios de respuesta positiva del servicio Logon:

Tabla 12 Parámetros complementarios respuesta positiva servicio Logon

Parámetro	Tamaño	Descripción
<user_ID>	Word	Código de identificación de usuario solicitando la creación de una sesión
<user>	10 x byte	10 bytes conteniendo la identificación del usuario

Fuente: propia

2.3.1.6 Servicio de Lectura

Este servicio se utiliza para transferir tablas de datos al dispositivo que realiza la petición, el servicio de Lectura inicia solamente durante una sesión que fue establecida con éxito utilizando el servicio Logon.

Los códigos de petición del servicio de Lectura son: 30H-39H, 3EH y 3FH. La solicitud del código 30H especifica la transferencia de una tabla completa, los códigos en el rango 31H-39H especifican la transferencia de una tabla parcial usando el método de conteo de elementos, el código 3EH es usado para la transferencia de una tabla por defecto, el código 3FH se usa para la transferencia de una tabla parcial usando el método offset/conteo de octetos.

La transferencia de tablas completas o Lectura total utiliza el código de petición **30H**, seguido de una variable tipo word de dos bytes, que es el identificador de la tabla y va desde 0000H hasta 1FFFH. A continuación se observa el código de

petición para este servicio: **<30H><ID Tabla>**. La respuesta a esta petición puede ser negativa o positiva:

- Caso negativo, representado por el dato: <nok>, indicando un problema en la recepción de la petición de Lectura.
- Caso positivo, representado por el dato <ok>, indicando que la petición del servicio de Lectura fue aceptada y los datos son transferidos como parte de la respuesta.

Al dato de respuesta <ok> le siguen parámetros complementarios del servicio de Lectura, a los listados en la Tabla 9, que conforman la respuesta positiva completa: <ok><ID Tabla><count><data><cksum>

A continuación, Tabla 13, se ilustran los parámetros complementarios de respuesta positiva del servicio de Lectura:

Tabla 13 Parámetros complementarios respuesta positiva servicio de Lectura

Parámetro	Tamaño	Descripción
<ok>	Byte	Petición aceptada
<ID Tabla>	Word	Identificador de la tabla consultada
<count>	Word	Longitud en bytes de los datos retornados
<data>	Byte	Contenido en bytes de la tabla leída
<cksum>	Byte	Checksum, suma de chequeo.

Fuente: propia

2.3.1.7 Servicio de Escritura

El servicio de Escritura se emite para la transferencia de tablas de datos para el dispositivo de destino y debe ser iniciado durante una sesión establecida satisfactoriamente usando el servicio Inicio de sesión. Este servicio es de carácter opcional y permite la transferencia de tablas completas y tablas parciales.

Los códigos de petición del servicio de Escritura son: 40H-49H y 4FH. El código 40H se utiliza para la transferencia de una tabla completa, los códigos en el rango 41H-49H se utilizan para la transferencia de una tabla parcial usando el método de conteo de elementos, el código 4FH se usa para la transferencia de una tabla parcial usando el método offset/conteo de octetos.

La transferencia de tablas completas o Lectura total utiliza el código de petición **40H**, seguido de una variable tipo word de dos bytes, que es el identificador de la tabla y va desde 0000H hasta 1FFFH. A continuación se observa la petición de este servicio: **<40H><ID Tabla>**. La respuesta a esta petición puede ser negativa o positiva:

- Caso negativo, representado por el dato: <nok>, indicando un problema en la recepción de la información
- Caso positivo, representado por el dato <ok>, indicando la aceptación de la solicitud del servicio.

Al dato de respuesta <ok> le siguen parámetros complementarios del servicio de Escritura, a los listados en la Tabla 9, que conforman la respuesta positiva completa: <ok><ID Tabla><count><data><cksum>

A continuación, Tabla 14, se ilustran los parámetros complementarios de respuesta positiva del servicio de Escritura:

Tabla 14 Parámetros complementarios respuesta positiva servicio de Escritura

Parámetro	Tamaño	Descripción
<ok>	Byte	Petición aceptada
<ID Tabla>	Word	Identificador de la tabla consultada
<count>	Word	Longitud de datos a ser escritos. En bytes
<data>	Byte	Elementos a ser escritos
<cksum>	Byte	Checksum, suma de chequeo.

Fuente: propia

2.3.1.8 Servicio de Seguridad

El servicio de Seguridad proporciona la configuración de permisos de acceso y se iniciará solo durante una sesión establecida con éxito utilizando el servicio de Inicio de sesión, este es un servicio opcional y debe ser iniciado por el cliente.

El código de petición para este servicio es: **51H**, seguido a éste, se establecen 20 bytes que contienen la contraseña de acceso, como se muestra a continuación: **<51H><contraseña>**. La respuesta a esta petición puede ser negativa o positiva:

- Caso negativo, representado por los datos: <sns> ó <isss> ó <bsy> ó <err> indicando un problema en la recepción de la petición de este servicio.
- Caso positivo, representado por el dato <ok>, indicando que el servicio de Seguridad fue completado satisfactoriamente y los permisos de acceso son concedidos.

2.3.1.9 Servicio de Autenticación

El servicio de Autenticación es utilizado para complementar el servicio de Seguridad, es un servicio opcional y no se puede utilizar de forma exclusiva. El

código de petición para este servicio es **53H**. La respuesta a esta petición puede ser negativa o positiva:

- Caso negativo, representado por los datos: <sns> ó <isss> ó <bsy> ó <err> indicando que hay un problema con la solicitud del Servicio de Autenticación recibida.
- Caso positivo, representado por el dato <ok>, indicando que la petición fue aceptada, y el permiso de acceso fue concedido.

Al dato de respuesta <ok> le siguen parámetros complementarios del servicio de Autenticación, a los listados en la Tabla 9, que conforman la respuesta positiva completa: <ok><auth-req-length> <auth-request>

A continuación, Tabla 15, se ilustran los parámetros complementarios de respuesta positiva del servicio de Autenticación:

Tabla 15 Parámetros complementarios respuesta positiva servicio de Autenticación

Parámetro	Tamaño	Descripción
<auth-req-length>	Byte	Numero de bytes del Campo
<auth-request>	Byte	Información utilizada para autenticar el iniciador de este servicio.

Fuente: propia

2.3.1.10 Servicio de Espera

Este servicio es utilizado por cualquiera de los dos dispositivos para mantener una comunicación establecida cuando el canal se encuentra en periodos de inactividad, lo que impide terminaciones automáticas. Este es un servicio opcional y busca aumentar el tiempo de espera (time-out). El código de petición para este servicio es **70H**, seguido de un parámetro complementario que conforma la petición de este servicio:

<70H> <time>, donde time es el periodo de tiempo sugerido en segundos. La respuesta a esta petición puede ser negativa o positiva:

- Caso negativo, representado por los datos: <sns>, <isss>, <bsy> ó <err>, indicando un problema con el receptor de servicio de Espera, el time-out no es extendido.
- Caso positivo, representado por el dato <ok>, indicando que la petición del servicio de Espera fue aceptada, el time-out es extendido al tiempo establecido en la petición.

2.3.1.11 Servicio de Configuración de tiempos

El servicio de Configuración de tiempos proporciona el mecanismo para la reconfiguración de los tiempos de espera, retardos y reintentos. Este es un servicio opcional, iniciado por el Cliente y si no es usado el canal de comunicaciones opera con los parámetros definidos por defecto. El código de petición de este servicio es **71H**. La respuesta a esta petición puede ser negativa o positiva:

- Caso negativo, representado por los datos: <sns> ó <isss> ó <bsy> ó <err> indicando que hay un problema con el receptor de la petición del servicio de Configuración de tiempos, lo que ocasiona que los parámetros de tiempo se mantengan en la configuración actual.
- Caso positivo, representado por el dato <ok>, indicando que la petición fue aceptada, y que la nueva Configuración de tiempos es aplicada.

Al dato de respuesta <ok> le siguen parámetros complementarios del servicio de Configuración de tiempos, a los listados en la Tabla 9, que conforman la respuesta positiva completa: <ok><traffic> <inter_char> <resp_to> <nbr_retries>

A continuación, Tabla 16, se ilustran los parámetros complementarios de respuesta positiva del servicio de Configuración de tiempos

Tabla 16 Parámetros complementarios respuesta positiva servicio Configuración de tiempos

Parámetro	Tamaño	Descripción
<traffic>	Byte	Tiempo de espera de tráfico del canal. En segundos
<inter_char>	Byte	Tiempo de espera entre caracteres. En segundos
<resp_to>	Byte	Tiempo de espera de respuesta. En segundos
<Nbr_retries>	Byte	Número máximo de reintentos

Fuente: propia

2.3.1.12 Servicio de Desconexión

Este servicio es utilizado para la desconexión inmediata del canal de comunicación. Debe ser usado cuando se presentan problemas de seguridad, errores internos o finales de sesión. Este es un servicio opcional. El código de petición para este servicio es **22H**. La respuesta a esta petición puede ser negativa o positiva:

- Caso negativo, representado por los datos: <sns> ó <err>, indicando un problema con el receptor del servicio de Desconexión y el canal de comunicación permanecerá abierto.
- Caso positivo, representado por el dato <ok>, indicando que la petición fue aceptada y que el canal de comunicación será desconectado.

2.3.1.13 Servicio de Terminación

El servicio de Terminación se encarga de abortar una sesión abierta cerrando el canal de comunicación. Todos los parámetros vuelven a sus valores predeterminados. Este es un servicio opcional. El código de petición para este servicio es **21H**. La respuesta a esta petición puede ser negativa o positiva:

- Caso negativo, representado por los datos: <sns> ó <err>, indicando que hay un problema con el receptor del servicio de Terminación.
- Caso positivo, representado por el dato <ok>, en el caso positivo, indicando que la petición fue aceptada y que el canal de comunicación volverá a los valores predeterminados.

2.3.1.14 Servicio de Cierre de sesión (Logoff)

El servicio de Cierre de sesión proporciona un cierre ordenado de la sesión establecida por el servicio de Inicio de sesión. Este es un servicio necesario. El código de petición para este servicio es **52H**. La respuesta a esta petición puede ser negativa o positiva:

- Caso negativo, representado por los datos: <isss>, <bsy> ó <err>, indicando un problema en la recepción de la petición de este servicio.
- Caso positivo, representado por el dato <ok>, en el caso positivo, indicando la aceptación del servicio Cierre de sesión y el cese de la sesión establecida por el servicio de Inicio de sesión.

2.3.2 Secuencia de Servicios y Estados

El protocolo PSEM define sus comunicaciones como una serie de secuencias de Servicios y Estados. El uso de cada servicio puede ser restringido a uno o más estados, determinados servicios pueden provocar transición entre estados y cada transición es implementada sobre la aceptación de un servicio.

A continuación se listan los estados definidos para la comunicación en el protocolo PSEM:

1. ESTADO FUERA DE LINEA: En este estado se establece el canal de comunicación.
2. ESTADO BASE: En este estado se da inicio a la comunicación. En este punto los parámetros de transmisión de datos son aplicados por defecto.
3. ESTADO ID: Una vez que el dispositivo C12.21 es identificado, este es el estado en que puede ser accesado.
4. ESTADO SESIÓN: Se logra este estado cuando la sesión iniciada fue exitosa en los servicios de Inicio de sesión, Autenticación y Seguridad.

El protocolo PSEM define la relación entre servicios y secuencia de estados y servicios bajo las siguientes condiciones:

- Las peticiones del servicio de Identificación son aceptadas únicamente en el estado BASE. La aceptación del servicio de Identificación permite la transición de la comunicación al estado ID.
- Las peticiones del servicio de Espera son aceptadas en los estados ID y SESIÓN. La aceptación de este servicio no resulta en el cambio de estado.
- Las peticiones de los servicios Negociación y Configuración de tiempos son aceptadas en el Estado ID únicamente. La aceptación de las peticiones de estos servicios no provoca cambio de estados.
- Las peticiones del Servicio de Inicio de sesión son aceptadas en el estado ID. La aceptación de este servicio cambia al estado SESIÓN.
- Las peticiones del servicio Cierre de sesión son aceptadas en el estado SESIÓN únicamente. La aceptación de este servicio ocasiona la transición al estado ID. Este servicio lo puede iniciar cualquiera de los dos dispositivos en el canal de comunicación.
- Las peticiones los servicios Seguridad, Autenticación, Lectura y Escritura son aceptadas en el estado SESIÓN. La aceptación de estos servicios no ocasiona cambio de Estado.

2.4 Capa de Enlace de Datos

La Capa de enlace de datos es la segunda capa del modelo OSI, proporciona tránsito de datos confiable a través de un enlace físico. El objetivo de esta capa es conseguir que la información de la Capa de Aplicación fluya libre de errores entre dos dispositivos que estén conectados directamente de acuerdo a ANSI C12.21.

Los servicios de la Capa de Aplicación, son transportados en uno o más paquetes de la capa de enlace de datos. Cada paquete varía en longitud, pero no puede exceder un tamaño máximo establecido por defecto cuando se abre el canal de comunicación, o establecido a través del uso del Servicio de Negociación de la capa de aplicación.

Cada vez que al dispositivo receptor llega cada paquete, este envía una respuesta positiva o negativa. Esta respuesta o ACK consiste en un byte transmitido fuera de la estructura del paquete. Si el dispositivo solicitante no recibe un ACK antes de un tiempo de espera, o si recibe un ACK negativo, el mismo paquete se retransmite hasta un número de reintentos establecidos por el servicio de Negociación. Después del último reintento, el solicitante debe asumir que se ha terminado la sesión.

Hay información básica que se debe tener en cuenta en la configuración de parámetros cuando se establece el canal de comunicación. Existen parámetros de configuración fija y variable que son importantes en la comunicación.

Parámetros de configuración Fija

En esta configuración se establecen los parámetros fijos cuando la comunicación es iniciada, dichos parámetros se pueden modificar a través del servicio de Negociación. Los parámetros retornan a valores por defecto cuando hay un servicio de Terminación o *time-out* de tráfico en el canal. La Tabla 17 muestra los parámetros de configuración fija con su respectiva descripción:

Tabla 17 Parámetros de configuración fija para la comunicación en la capa de enlace de datos

Parámetro	Descripción
Data Type	Asincrónica, operación full-duplex, comunicación bidireccional
Data Rate	La velocidad de transmisión es determinada cuando la conexión es establecida

Fuente: Estándar ANSI C12.21

Parámetros de Configuración Variable

En esta configuración se establecen los parámetros por defecto cuando la comunicación es iniciada, pero muchos pueden cambiarse mediante los servicios de Negociación y Configuración de tiempos. Los parámetros retornan a valores por defecto cuando hay un servicio de Terminación o *time-out* de tráfico en el canal.

Los parámetros de configuración variable se detallan en la Tabla 18, donde cada parámetro tiene un valor por defecto que puede ser cambiado por un servicio de la capa de aplicación.

Tabla 18 Parámetros de configuración variable para la comunicación en la capa de enlace de datos

Parámetro	Valor por defecto	Servicio de Cambio
Number of Packets	1	Negociación
Packet Size	64 bytes	Negociación
Channel Traffic Time-Out	30 segundos	Configuración de tiempos
Inter-Character Time-Out	1 segundo	Configuración de tiempos
Response Time-Out	4 segundos	Configuración de tiempos
Retry Attempts	3	Configuración de tiempos

Fuente: Estándar ANSIC12.21

2.4.1 Definición del Paquete de datos en la capa de enlace de datos

La siguiente estructura se define como un paquete de datos para ser transmitido en el intercambio de información entre un dispositivo C12.21 y un cliente C12.21.

<packet> = <stp><identity><ctrl><seq-nbr><length><data><crc>

La Tabla 19 muestra el paquete de datos dividido en sus siete componentes, cada uno de estos componentes tiene una longitud y una respectiva descripción, los dos primeros componentes indican el carácter de inicio del paquete y qué tipo de comunicación va a ser usada.

Tabla 19 Componentes de la estructura del paquete de datos a transmitir en la capa de enlace de datos

Dato	Longitud	Código	Descripción
Stp	Byte	EEH	Carácter de inicio del paquete
Identity	Byte	00H– FEH	Identificativo del dispositivo. <ul style="list-style-type: none"> • Código 00H para comunicación punto a punto • Códigos entre 01H -FEH, para cada dispositivo en una comunicación punto - multipunto • FFH, reservado para aplicaciones <i>dial-up (conexión por línea conmutada)</i>
Ctrl	Byte	Control de campo	
		Bit 7	1 si es parte de la transmisión de múltiples paquetes. 0 si es un solo paquete a transmitir
		Bit 6	1 si es el primer paquete
		Bit 5	Bit cambiante para rechazar paquetes duplicados
		Bit 4-2	Reservados, deben ser 0
		Bit 1-0	Determinan el formato de los datos: <ul style="list-style-type: none"> • 0 = C12.18 o C12.21 • 1 = C12.22 • 2 = Reservado • 3 = Reservado
seq-nbr	Byte		<ul style="list-style-type: none"> • Tiene un decremento en uno por cada paquete enviado • 1 múltiples paquetes, 0 último paquete
Length	Word16		Numero de bytes de datos que hay en el paquete (Data)
Data	Byte		Datos especificados en la capa de aplicación
Crc	LSByte+ MSByte		HDLC, implementación del polinomio $x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$ calculado para todos los componentes del paquete.

Fuente: Estándar ANSIC12.21

2.4.2 Selección del CRC

CRC (Cyclic Redundancy Check) que significa comprobación de redundancia cíclica, es decir verificar que los datos se expandan sin agregar información. Es un código para detectar errores de datos en las redes, particularmente errores causados por el ruido en los canales de transmisión, están conformados por polinomios matemáticamente fáciles de analizar, aunque hay muchas representaciones polinómicas para CRC, el utilizado para la estructura del paquete tratado en la capa de enlace de datos expuesta, es la implementada por Telegraph and Telephone Consultative Committee, polinomio estándar (CCITT) CRC (NETWORKING, 2010).

$$x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$$

El protocolo PSEM define el inicio del paquete de datos con el carácter o código EEH y este es incluido en el cálculo del CRC, el resultado deberá ser transmitido por el bite menos significativo (LSB) en primer lugar.

2.4.3 Reconocimiento del paquete de datos

Este es el modo de responder de manera positiva o negativa la admisión o rechazo de un paquete de datos.

- Un <ACK>, sucede cuándo un transmisor emite un paquete hacia el receptor, este emite una respuesta ACK hacia el transmisor por cada paquete válido recibido, su código es 06H.
<ack> = 06H
- Un <NAK>, es una respuesta negativa emitida por el dispositivo receptor hacia el transmisor por cada paquete no valido, es decir que presente
 - Errores de estructura del paquete de datos
 - Patrones incorrectos de bits y caracteres perdidos

El código es: <nak> = 15H

2.4.4 Retransmisión del paquete de datos

En este modo el mismo paquete será retransmitido si se recibe un <nak>, o si se produce un tiempo de espera. Si el intento final de transmisión no es exitoso, provoca las siguientes acciones.

- Si el solicitante es el cliente C12.21, se devuelve al estado base y puede o no finalizar la llamada
- Si el solicitante es el dispositivo C12.21, puede finalizar la llamada.

2.5 Modelo de intercambio de información

Gracias a las descripciones realizadas en las secciones 2.3 y 2.4 se percibe una detallada estructura de la norma ANSI C12.21, brindando un panorama claro de que elementos utiliza y cuáles son las funciones que permiten cumplir con la interoperabilidad entre un cliente ANSI C12.21 y un dispositivo ANSI C12.21, se propone un modelo de intercambio de información para la capa de aplicación que manifieste gráficamente la finalidad de dicha norma en esta capa.

El modelo propuesto se desarrolla bajo las consideraciones del Lenguaje de Modelado Unificado UML, lenguaje estándar para representar sistemas reales por medio de planos desde distintas vistas, este modelo además de ayudar a visualizar como es un sistema real, especifica la estructura y el comportamiento del mismo.

UML es uno de los lenguajes más utilizados para modelar sistemas por cubrir la especificación de todas las decisiones de análisis, diseño e implementación, facilitando también la comunicación entre los diferentes elementos que conforman el sistema. Las diferentes vistas se representan por medio de diagramas y se clasifican de la siguiente manera. Ver Tabla 20.

Tabla 20 Clasificación Vistas Funcional, Dinámica y Estructural de UML

Vista Funcional	Vista Dinámica	Vista Estructural
Diagrama de Casos de Uso	Diagrama de secuencia	Diagrama de clases
Diagrama de actividad	Diagrama de colaboración	Diagrama de objetos
	Diagrama de estados	Diagrama de despliegue
		Diagrama de componentes

Fuente: propia

Para el propósito de la norma ANSI C12.21 se toman como referencia los diagramas de estados y de secuencia de la vista dinámica y el diagrama de casos de uso de la vista funcional, nombrados en la Tabla 20, donde se manifieste una abstracción importante de dicha norma que permita modelar una estructura básica de comunicación y que muestre la funcionalidad en la transacción de la información. Para esta intención se inicia haciendo uso del diagrama de estados, donde se muestra de forma general el comportamiento secuencial de estados por los que pasa la comunicación PSEM, en respuesta a determinados eventos durante todo su proceso, igualmente se usan los diagramas de secuencia y de casos de uso.

2.5.1 Diagrama de Estados UML básico de Comunicación PSEM y Transacción de Información de la Norma ANSI C12.21

El diagrama de estados se utiliza para identificar los estados por los que pasa un objeto para realizar una acción específica, para el presente proyecto se toma como objeto la comunicación PSEM. Además, describen el comportamiento del objeto e ilustra que eventos provocan cambios de estado. Consta de los siguientes elementos: Estados y Transiciones.

- **Estado:** El estado representa situaciones durante la vida de un objeto o un sistema. Se representa con un rectángulo que tiene sus esquinas redondeadas.
- **Transición:** Una flecha que representa el pasaje entre diferentes estados de un sistema. Se etiqueta con el evento que lo provoca y con la acción resultante.

La Figura 17 muestra la representación de los elementos que integran un diagrama de estados bajo consideraciones UML.



Figura 17 Elementos gráficos del diagrama de estados UML

Fuente: propia

A continuación, se plantea el diagrama general de estados, versión UML, para la comunicación PSEM basado en el diagrama de Secuencia de servicios y Estados PSEM planteado por el estándar ANSI C12.21 en la Figura 16.

2.5.2 Diagrama General de Estados, versión UML, para la Comunicación PSEM

La comunicación PSEM cuenta con una secuencia de estados principales y unos servicios que pueden ser utilizados dentro de cada estado. Los estados de secuencia son:

- FUERA DE LÍNEA (Off Line)
- ID (Identificación)
- BASE
- SESIÓN

La Figura 18 detalla la dinámica que tiene la comunicación PSEM por los diferentes estados generados por diferentes transiciones. Después de que esta comunicación se encuentre en un estado de FUERA DE LÍNEA donde se establecen parámetros fijos en el canal, la comunicación es iniciada por el cliente ANSI C12.21 mediante un evento de pulsación en el icono indagar en la interfaz del SGE, este genera una transición que establece el canal de comunicación, y permite que la comunicación inicie en el estado de secuencia BASE, posteriormente la comunicación transita por los estados de secuencia ID y SESIÓN para lograr el objetivo requerido. Se debe tener en cuenta que cada estado de secuencia utiliza determinados servicios descritos en la Tabla 7, en el caso de los servicios Terminación y Desconexión son utilizadas por tres estados, BASE, ID y SESIÓN. Si un estado de secuencia utiliza el servicio de Terminación, hace que el canal de comunicación se suspenda o aborte una sesión iniciada invocando el servicio de Cierre de sesión, de forma que la comunicación entra en un estado de secuencia BASE y restablece los valores de comunicación predeterminados, si un estado de secuencia utiliza el servicio de Desconexión, hace que se cierre el canal de comunicación y quede listo para volver a ser establecido por el evento Estableciendo Parámetros fijos en el estado de secuencia FUERA DE LÍNEA.

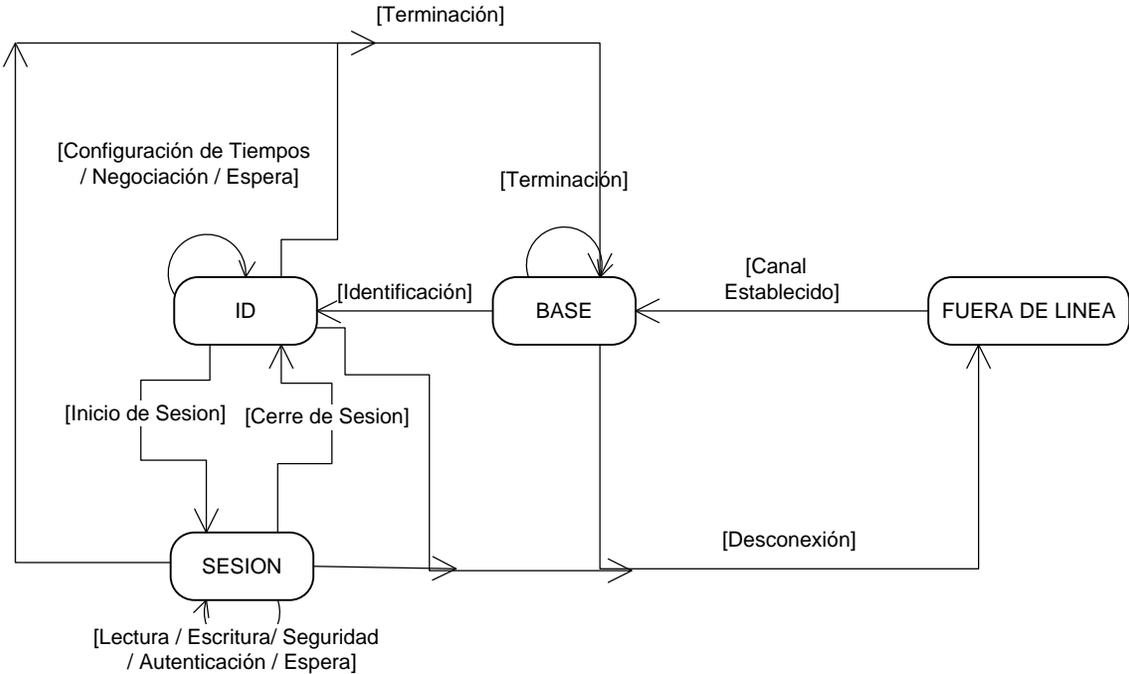


Figura 18 Diagrama general de estados, versión UML para la comunicación PSEM

Fuente: Propia

Dentro del diagrama general de estados versión UML para la comunicación, existen estados internos y una serie de transiciones iniciadas por eventos, los cuales generan acciones para que la comunicación PSEM cambie de un estado a otro.

A continuación se detalla mediante diagramas de estados el comportamiento interno de cada uno de los estados de secuencia vistos en la Figura 18.

2.5.3 Estado de Secuencia Fuera de Línea (Off Line)

Este estado se da cuando el modem telefónico es colgado o es descolgado y hay una señal que no transporta ningún dato, la Figura 19 muestra ambos casos, en el primero se genera por medio de datos que provienen del servicio de Desconexión, el segundo caso se da por medio de datos que provienen del SGE para empezar a establecer el canal de comunicación con el evento indagar donde se genera una transición Establecimiento del canal. Esta transición hace que la comunicación entre a un estado de espera de establecimiento de canal.

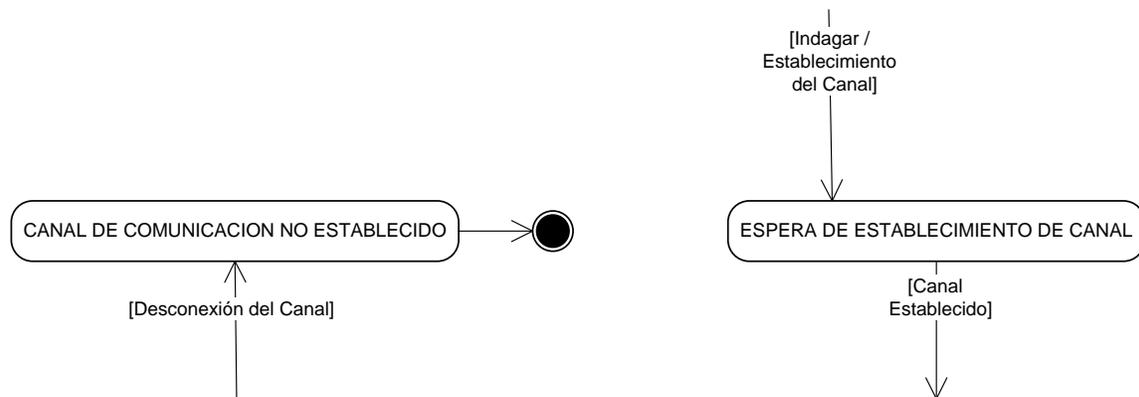


Figura 19 Diagrama estado de secuencia Fuera de Línea

Fuente: Propia

2.5.4 Estado de Secuencia BASE

En este estado se da inicio a la comunicación y es el punto donde los parámetros de transmisión de datos son aplicados por defecto. Este estado utiliza los servicios de Terminación, Desconexión e Identificación: En el primer caso, hace la petición del servicio para una suspensión del canal, cuando hay problemas en el servicio de Identificación; En el segundo caso hace la petición del servicio para un cierre inmediato del canal, cuando hay problemas internos con el servicio de Terminación o Identificación y en el tercer caso, hace la petición del servicio para la transición al siguiente estado de secuencia ID de la comunicación PSEM.

La Figura 20 muestra la dinámica interna del estado de secuencia BASE. Mediante un diagrama de estados se observa la solicitud de Terminación iniciada por el evento que genera un problema con el servicio de Identificación. Esta solicitud se realiza mediante códigos de petición de Terminación y la acción de petición hace que esta comunicación entre en un estado de espera de transferencia de códigos, si la transferencia se completa, se tome como un evento que genere una acción de verificación de códigos, lo cual lleva la comunicación a un estado de espera de verificación. Si la verificación es válida, se da término a este servicio y se suspende el canal de comunicación. Si se presentan problemas en cualquiera de los estados internos se inicia una solicitud de Desconexión.

El servicio de Desconexión, en el estado de secuencia BASE, inicia por el evento de problemas internos con el servicio de Terminación o Identificación. Esta solicitud se realiza mediante códigos de petición de Desconexión y esta acción de petición hace que la comunicación entre en un estado de espera de transferencia de códigos, si la transferencia se completa, se tome como un evento que genere una acción de verificación de códigos de Desconexión, lo cual lleva la comunicación a un estado de espera de verificación, si la verificación es válida, se dá termino a este servicio y se cierra el canal de comunicación ordenadamente. Si se presentan problemas en cualquiera de los estados internos, el canal de comunicación se cierra de forma inmediata.

Finalmente, el diagrama de estados de secuencia BASE muestra el uso del servicio de Identificación para pasar al siguiente estado de secuencia ID, el cual, inicia con la solicitud de identificación generada cuando el canal de comunicación ya está establecido. Esta solicitud se realiza mediante códigos de petición de identificación y esta acción de petición hace que la comunicación entre en un estado de espera de transferencia de códigos, si la transferencia se completa, se tome como un evento que genere una acción de verificación de códigos de identificación, lo cual lleva la comunicación a un estado de espera de verificación. Si la verificación es válida, se toma como un evento que inicia la transferencia de datos de identificación, lo cual hace que la comunicación entre en un estado de espera de transferencia de datos, si la transferencia se completa, el dispositivo es identificado y se da término a este servicio ingresando al estado de secuencia ID. Si se presentan problemas en cualquiera de los estados internos, se hace uso del servicio de Terminación o Desconexión.

2.5.5 Estado de Secuencia de Identificación (ID)

Este estado se logra cuando la petición de servicio de Identificación en el estado de secuencia BASE, es exitosa; además de utilizar los servicios de Terminación y Desconexión, incluye también los servicios de Espera, Configuración de tiempos y Negociación. El anexo A “DIAGRAMAS DE ESTADOS MODELO DE INTERCAMBIO DE INFORMACIÓN”, explica en la Figura 1, la dinámica interna del estado de Secuencia ID, donde se sigue el mismo patrón de diseño hecho en el Diagrama de estados de secuencia Base. Cuando se dice que siguen el mismo patrón, se refiere a que cada servicio envía códigos y datos utilizando la misma secuencia. En términos generales se hace un envío de códigos de petición, se aceptan los códigos, se envían los datos y finalmente, se aceptan los datos. Cada vez que un servicio complete estos pasos, inmediatamente el servicio siguiente empieza a ejecutarlos, toda la secuencia inicia en el servicio Identificación y se completa en el servicio Desconexión.

2.5.6 Estado de Secuencia Sesión

Este estado se logra cuando la petición de servicio de sesión iniciada en el estado de secuencia ID es exitosa, además de utilizar los servicios de Terminación, Desconexión y Espera, incluye también los servicios de Lectura, escritura, Seguridad, Autenticación y Cierre de sesión. El anexo A “DIAGRAMAS DE ESTADOS MODELO DE INTERCAMBIO DE INFORMACIÓN” explica en la Figura 2 la dinámica interna del estado de Secuencia SESIÓN, donde se sigue el mismo patrón de diseño hecho en el Diagrama de estados de secuencia Base. Como lo descrito anteriormente en la sección 2.5.4, cada servicio utilizado en este estado de secuencia SESIÓN, sigue la misma secuencia para intercambiar códigos y datos entre el cliente C12.21 y el dispositivo C12.21

En el presente capítulo se llevó a cabo la conceptualización del estándar ANSI C12.21, en el que se analizaron dos capas del modelo OSI, Capa de Aplicación y Capa de Enlace de datos, utilizadas en el intercambio de información entre un cliente C12.21 y un dispositivo C12.21. Adicionalmente se analizó el protocolo para la medición eléctrica PSEM y los doce servicios que lo componen, al igual que el diagrama de servicios y estados propuestos por el estándar ANSI C12.21.

Esta conceptualización y análisis del estándar ANSI C12.21, conlleva al desarrollo de un modelo de intercambio de información basado en UML a nivel de la capa de Aplicación para representar la dinámica existente en el intercambio de información

entre un cliente C12.21 y un dispositivo C12.21. Donde es interesante destacar que el estándar brinda herramientas como los cuatro estados (FUERA DE LINEA, BASE, ID y SESIÓN) del protocolo de comunicación PSEM y sus doce (12) servicios (ver Tabla 7), estas herramientas facilitan el diseño del modelo, en diagramas en UML, por estar claramente clasificadas y comportarse de forma similar, es decir, los estados dan un panorama general de la comunicación PSEM y los servicios detallan el comportamiento de cada estado.

3 CAPITULO: APLICACIÓN MODELOS DE INTERCAMBIO DE INFORMACIÓN

Teniendo en cuenta el desarrollo de proyectos de I+D que tienen por objetivo el mejoramiento de la funcionalidad, en particular el control de energía, de los OR, es obligatorio conocer a profundidad los sistemas que integran su funcionamiento, por esta razón es necesario tener conocimiento del hardware y software utilizados para la medición energética. En el presente proyecto se detalla de forma gráfica la comunicación entre un dispositivo C12.21 y un cliente C12.21, donde se explica el proceso para el intercambio de información, esto sirve como herramienta para futuros proyectos donde se requiera desarrollar dispositivos que necesiten comunicarse con un medidor electrónico para una mejora continua en la gestión de información y la prestación de los servicios por parte de los OR.

Una vez se dispone de un modelo de intercambio de información para el nivel de aplicación, modelado a partir de diagramas de estados basados en UML, es necesario definir los escenarios reales que en la práctica se presentan de potencial intercambio de información entre un medidor electrónico y un SGE. Para ello, en el presente capítulo, se aborda una sesión dedicada al estudio de los casos más comunes para representar la dinámica existente en el intercambio de información entre un cliente C12.21 y un dispositivo C12.21. Posteriormente se explican una serie de herramientas necesarias para modelar dichos escenarios.

3.1 Escenarios de intercambio de información entre un medidor electrónico y un SGE

En el presente trabajo de grado se proponen y definen dos (2) escenarios y una serie de casos asociados a cada uno para el intercambio de información entre un medidor electrónico y un SGE. Estos escenarios son: Lectura perfil de carga, y configuración del medidor, los cuales se proponen a partir del estudio y análisis del estándar ANSI C12.21 y la funcionalidad ofrecida por el SGE a los OR, donde se identificó que el SGE (Metercat) se utiliza únicamente como medio de comunicación para descarga de datos y reconfiguración del medidor de manera remota.

A continuación se definen los escenarios propuestos y casos asociados para el intercambio de información entre un medidor electrónico y un SGE:

3.1.1 Primer escenario Lectura perfil de carga (LPC)

La LPC es una herramienta fundamental que ejecutan los OR para observar el comportamiento del consumo energético de todos sus clientes. Esta lectura permite obtener el valor de las magnitudes energéticas de un determinado tiempo para su posterior análisis, con el cual se puede detectar diferentes anomalías para tomar decisiones correctivas. La suma de todas las LPC se utilizan como un indicador para proyectar la gestión de la demanda de un OR, es decir se conoce el comportamiento total de consumo a través de históricos, el cual se toma como referencia para hacer una compra aproximada de energía que se demandara en un tiempo determinado.

Debido a la importancia de la LPC para los OR, se toma como escenario de estudio para conocer en detalle cual es el proceso interno que se realiza en la comunicación de un SGE y un ME. La simplificación gráfica de la LPC se hace a través de un diagrama de estados UML, en el cual se observa paso a paso la interacción del usuario, SGE y ME; también se observa cual es el proceso secuencial de la comunicación PSEM entre SGE y ME.

Es necesario distinguir que los OR clasifican sus clientes debido a el nivel de consumo energético, en la ley 038 de 2014 o código de medida se encuentra consagrado como se debe hacer dicha clasificación. En la Tabla 21 se observa que los clientes tipo 1, son los de mayor consumo, con una demanda mensual por encima de los 15000 MWh, también se encuentran los tipo 2, 3 y 4 con una demanda mensual entre 50 y 15000 MWh y por último los clientes tipo 5, que presentan un bajo consumo mensual con un valor por debajo de los 5 MWh.

Tabla 21 Clasificación de puntos de medición según consumo o transferencia de energía

Tipo de puntos de medición	Consumo o transferencia de energía, C, [MWh-mes]
1	$C \geq 15000$
2	$15000 > C \geq 500$
3	$500 > C \geq 50$
4	$50 > C \geq 5$
5	$C < 5$

Fuente: Resolución CREG 038 de 2014.

Los OR denominan a grandes, medianos y pequeños clientes de manera autónoma, generalmente los grandes clientes son de tipo 1 y 2, los medianos clientes tipo 3 y 4 y los pequeños clientes tipo 5. A continuación se hace una descripción para observar sus diferencias:

- **Caso grandes y medianos clientes**

Generalmente los grandes y medianos clientes son consumidores Industriales o Comerciales, y se hace LPC en intervalos de tiempo cortos por el alto consumo que manejan, es decir se pueden tener casos donde la LPC se hace cada 15 minutos, cada hora o a diario, esto con la importancia de tener un historial que permita saber el comportamiento detallado de consumo y tomar medidas para un mejor aprovechamiento de la energía; por ejemplo, saber en qué operaciones se consume más, para comprar esta energía en franjas horarias donde es más barata y así desarrollar la misma operación a un menor costo.

- **Caso pequeños clientes**

Para pequeños clientes generalmente los residenciales y de pequeñas empresas, se les hace LPC mensualmente, debido a su bajo consumo energético, este tipo de clientes, tienen un comportamiento que obedece a un patrón definido, es decir tienen comportamiento similar durante todos los días del mes.

3.1.2 Segundo escenario Configuración del medidor

La configuración del medidor es de vital importancia para el OR, ya que mediante esta acción se configuran los medidores dependiendo de las necesidades de cada cliente. En este escenario se lleva a cabo la fijación de parámetros para configurar y habilitar funciones deseadas en el medidor, entre ellas se destacan la creación de programas y configuración de alarmas en el SGE.

Una herramienta utilizada por los OR es la creación de programas, en los que se habilitan o deshabilitan diferentes magnitudes que ayudan a evidenciar con mayor precisión el consumo energético del cliente y el comportamiento de la red. Entre estas magnitudes se destacan variables de voltaje, corriente, factor de potencia y frecuencias. De acuerdo a estas variables el OR puede saber cuál es el comportamiento del cliente, si se presentan fallas en las fases, como sobretensión en una de ellas o si el FP está fuera de rangos establecidos. Además, se programan funciones en el medidor, tales como: medio de comunicación a utilizar, forma de ver la información en pantalla, que información almacenar en la memoria

del medidor, qué periodos de tiempo registrar con fines de facturación y qué tipo de alarmas configurar según la necesidad.

La configuración de alarmas es un factor importante para la seguridad, donde el OR es el encargado de configurar la alarma dependiendo de las opciones que presta el medidor, la necesidad del cliente y el lugar donde se encuentre instalado. Hecho un estudio se definen los siguientes casos de configuración de alarmas:

- **Alarma resistencia al fraude**

En este caso se proporciona capacidad auditora que puede ser utilizada para indicar potenciales fraudes al medidor tales como la detección de apertura de tapas y el registro de cortes de energía por fase. Se registra el número de aperturas, duración total de las mismas así como la fecha y hora cuando se cerró la tapa por la última vez.

- **Alarma desconexión de tensión**

Ante eventuales desconexiones de tensión, se registra el número total de desconexiones así como la fecha y hora de las últimas 10 desconexiones y reconexiones de tensión. Fallas internas. Se registra el código de la falla.

- **Alarma campo magnético externo fuerte**

El medidor tiene un sensor de campo magnético que registra la influencia de campo magnético fuerte constante o alterno que puede influir en la precisión de medida. Cada influencia del campo magnético es registrada indicando la hora y fecha de inicio y de fin del evento, duración total de influencia y número de veces cuando se haya presentado.

- **Alarma por sobrecarga de la demanda**

Este caso indica que el valor de la demanda excedió el valor de sobrecarga programada. Esto generalmente intenta indicar al OR cuándo la instalación está requiriendo más potencia que la que fue asignada originalmente para operación del equipamiento instalado.

- **Alarma por flujo de potencia en sentido contrario**

En este caso la energía siempre se calcula en el sentido incremental a pesar de sentido de circulación de energía, pero en caso de conexión reversa en pantalla aparece una alarma: empieza a parpadear el símbolo de carga.

- **Configuración módulo de tarifas**

El medidor se programa para que el módulo de tarifas funcione en una sola tarifa o en tarifas múltiples. En el modo Multi tarifa los datos se acumulan en más que un registro. El módulo de tarifas es controlado por un reloj interno del medidor y las tarifas son programadas por días, semanas, estaciones o según como el OR lo requiera.

Al activar todas las tarifas se utilizan 8 registros para acumulación de datos: cuatro registros para energías totales de tarifas y cuatro registros para energías acumuladas. La distribución de datos a registros de acuerdo con el programa tarifario vigente lo realiza el módulo de tarifas programable.

En la Tabla 22 se resumen los escenarios de intercambio de información entre un medidor electrónico y un SGE, anteriormente desarrollados:

Tabla 22 Escenarios de intercambio de información entre un ME y un SGE

ESCENARIO	CASOS	
Lectura Perfil de carga	Grandes clientes	Pequeños clientes
Configuración del Medidor	ALARMAS	
	Resistencia al fraude	Desconexión de tensión
	Campo magnético externo fuerte	Sobrecarga de la demanda
	Flujo de potencia en sentido contrario	Configuración módulo de tarifas

Fuente: Propia

3.2 Diagramas UML para escenarios de Intercambio de Información

De acuerdo a los escenarios presentados y analizadas en la sección previa, en esta sección se representan los mismos modelados mediante diagramación UML. Para tal efecto, se utilizan los diagramas de casos de uso, que representan la forma cómo un actor interactúa con el sistema en desarrollo y los diagramas de secuencia, que muestran el paso de mensajes a través del tiempo entre objetos del sistema. Además, se usan diagramas de estado con el fin de identificar los estados por los que pasa un objeto para realizar una acción específica e ilustrar que eventos o transiciones pueden provocar cambios de estado en un objeto.

Los diagramas de casos de uso describen la secuencia del conjunto de acciones e interacciones (pasos) entre el Actor (Usuario) y el Sistema (SGE), a través de requerimientos que tanto el sistema como los que interactúan con este, deben cumplir, tales como: definición de actores, objetivo, precondiciones, tipo de escenario y descripción de información. En la Figura 21, se ilustra un diagrama de

casos de uso donde se identifica el actor USUARIO, quien se encarga de interactuar con el SGE. Se presentan dos (2) casos de uso: Leer Perfil de carga, y Configurar medidor. Estos casos de uso se proponen a partir del estudio y análisis del estándar ANSI C12.21 y la funcionalidad ofrecida por el SGE a los OR, donde se identificó que el SGE (Metercat) se utiliza únicamente como medio de comunicación para descarga de datos y reconfiguración del medidor de manera remota.

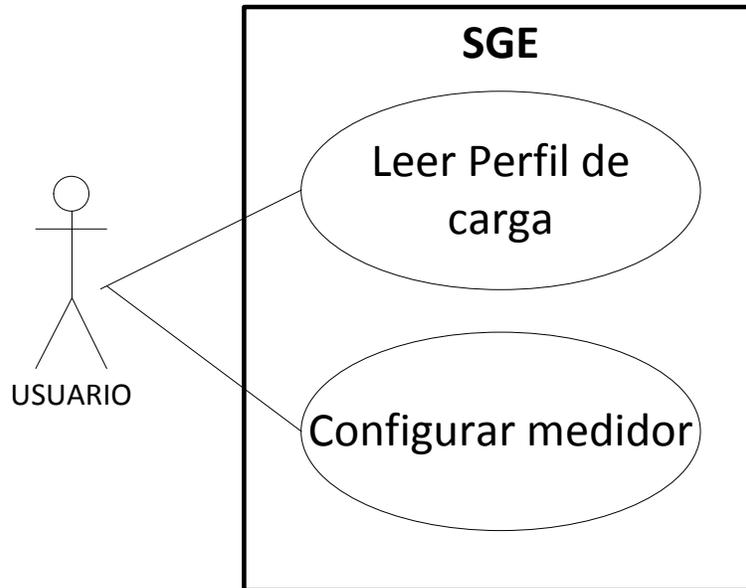


Figura 21 Diagrama de casos de uso para escenarios de intercambio de información

Fuente: Propia

En el desarrollo de diagramas de casos de uso se deben seguir requerimientos que involucran al Actor y al Sistema, estos son:

- Actor: un actor en un caso de uso es aquel que interactúa con el sistema para lograr una meta
- Tipo de escenario: define la importancia del actor en el desarrollo del procesamiento de la información.
- Precondiciones: es el estado del sistema que debe cumplirse antes de ejecutar un caso de uso.
- Objetivo: valor o beneficio que el actor desea obtener al ejecutar el caso de uso.
- Descripción de la información: se detalla mayor información para la comprensión del caso de uso.

A continuación se desarrolla el primer caso de uso, Leer perfil de carga, y su respectivo diagrama de secuencia.

3.2.1 Primer caso de uso: Leer perfil de carga

Se realiza la solicitud del perfil de carga por parte del Usuario a través del SGE, el cual se comunica con el medidor electrónico mediante una serie de mensajes, peticiones y respuestas. La dinámica de este procesamiento de información se describe en el caso de uso de la Tabla 23 y es ilustrado en el diagrama de secuencia de la Figura 22.

Tabla 23 Caso de uso Leer perfil de carga

Caso de uso	Leer Perfil de carga
Actor	Usuario
Tipo	Primario y esencial
Precondiciones	El usuario define previamente el establecimiento de la comunicación entre Cliente y Dispositivo C12.21
Descripción de la información	Se consulta el Perfil de carga mediante una serie de peticiones y mensajes que se detallan posteriormente
Objetivo	Obtener datos consumo energético

Fuente: Propia

En el diagrama de secuencia de la Figura 22 se muestra el intercambio de mensajes a través del tiempo entre el actor o usuario del sistema, el SGE y el Medidor. Dicho diagrama permite visibilizar el intercambio de información mediante una serie de mensajes definidos a continuación:

- Activar interfaz medidor: orden al SGE para abrir la interfaz del medidor por medio de un clic en un icono determinado.
- Confirma Interfaz Medidor: el SGE verifica y confirma la existencia del medidor.
- Muestra interfaz medidor: despliegue de la ventana con la interfaz del medidor.
- Activar interfaz LPC: orden al SGE para activar la interfaz LPC mediante un clic en un icono determinado.
- Confirma interfaz LPC: el SGE verifica y confirma la existencia de la LPC.
- Muestra interfaz LPC: despliegue de la ventana con la interfaz de LPC.
- Indagar medidor: orden al SGE para elegir el medidor que va ser accesado.

Basados en el estándar ANSI C12.21, el intercambio de mensajes entre el SGE y el medidor electrónico está basado en el protocolo PSEM, que define la relación entre secuencia de estados y servicios bajo las siguientes condiciones:

- La solicitud del servicio de Identificación es aceptada únicamente en el estado BASE. La aceptación del servicio de Identificación permite la transición de la comunicación al estado ID.
- La solicitud del servicio de Inicio de sesión es aceptada en el estado ID. La aceptación de este servicio cambia al estado SESIÓN.
- La solicitud del servicio de Lectura es aceptada en el estado SESIÓN. La aceptación de este servicio no ocasiona cambio de estado.

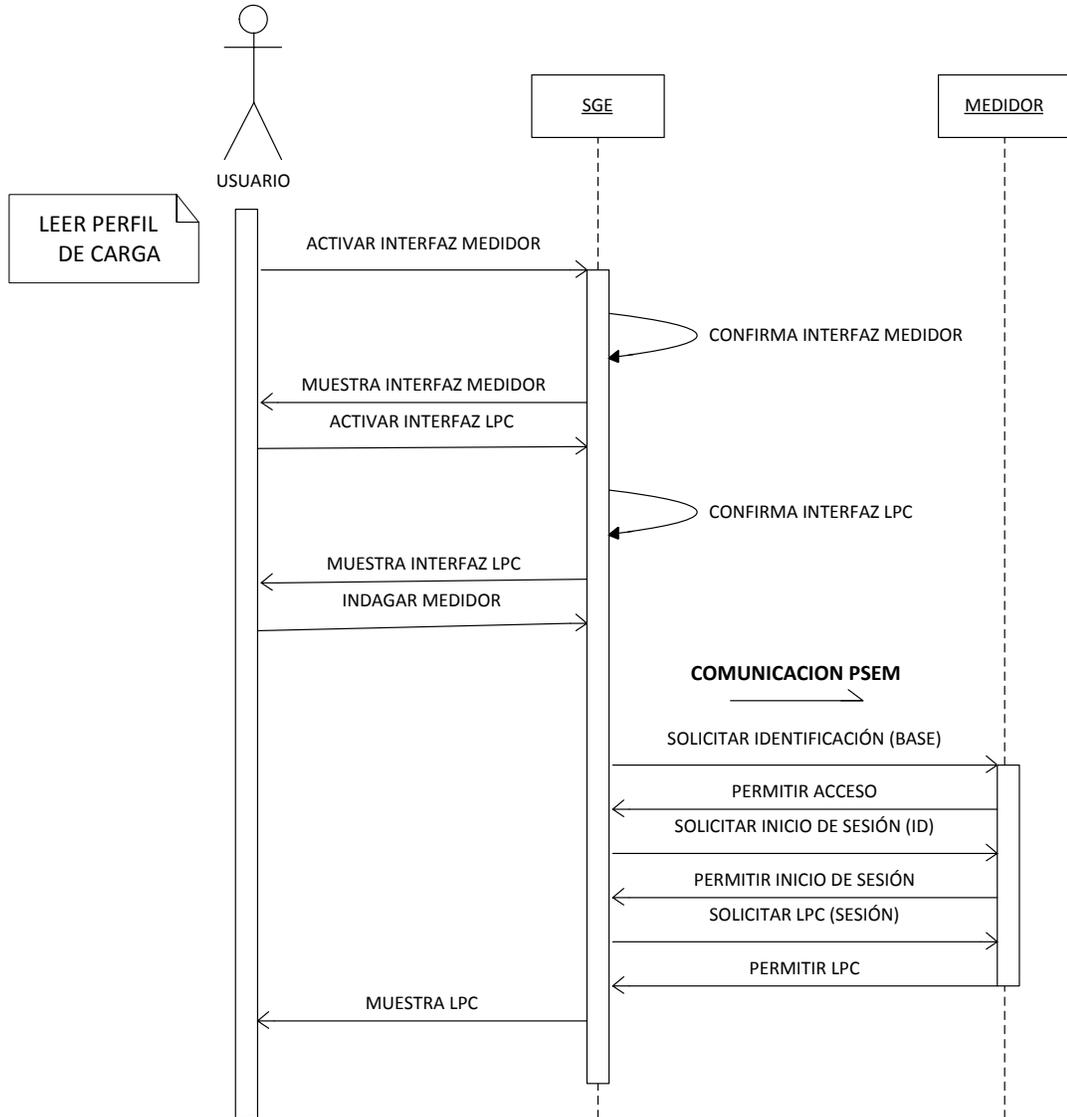


Figura 22 Diagrama de Secuencia escenario Leer Perfil de Carga

Fuente: Propia

3.2.2 Segundo caso de uso: Configurar Medidor (CF)

Se realiza la solicitud de Configuración del medidor por parte del Usuario a través del SGE, el cual se comunica con el medidor electrónico mediante una serie de mensajes, peticiones y respuestas. La dinámica de este procesamiento de información se describe en el caso de uso de la Tabla 24 y es ilustrado en el diagrama de secuencia de la Figura 23.

Tabla 24 Caso de uso Configurar Medidor

Caso de uso	Configurar medidor
Actor	Usuario
Tipo	Primario y esencial
Precondiciones	El usuario define previamente el establecimiento de la comunicación entre Cliente y Dispositivo C12.21.
Descripción de la información	Se lleva a cabo la configuración del medidor mediante una serie de peticiones y mensajes que se detallan posteriormente.
Objetivo	Configuración exitosa del medidor

Fuente: Propia

En el diagrama de secuencia de la Figura 23 se muestra el intercambio de mensajes a través del tiempo entre el actor o usuario del sistema, el SGE y el Medidor. Dicho diagrama permite visibilizar el intercambio de información mediante una serie de mensajes que se definen a continuación:

- Activar interfaz medidor: orden al SGE para abrir la interfaz del medidor por medio de un clic en un icono determinado.
- Confirma interfaz medidor: el SGE verifica y confirma la existencia del medidor.
- Muestra interfaz medidor: despliegue de la ventana con la interfaz del medidor.
- Activar interfaz CF: orden al SGE para activar la interfaz CF mediante un clic en un icono determinado.
- Confirma interfaz CF: el SGE verifica y confirma la existencia de la interfaz CF.
- Muestra interfaz CF: despliegue de la ventana con la interfaz CF
- Enviar datos CF: envío de datos con la configuración deseada al SGE.

Basados en el estándar ANSI C12.21 el intercambio de mensajes entre el software de gestión energética SGE y el medidor electrónico está basado en el protocolo PSEM, que define la relación entre secuencia de estados y servicios bajo las siguientes condiciones:

- La solicitud del servicio de Identificación es aceptada únicamente en el estado BASE. La aceptación del servicio de Identificación permite la transición de la comunicación al estado ID.
- La solicitud del servicio de Inicio de sesión es aceptada en el estado ID. La aceptación de este servicio cambia al estado SESIÓN.
- La solicitud del servicio de Escritura es aceptada en el estado SESIÓN. La aceptación de este servicio no ocasiona cambio de Estado.

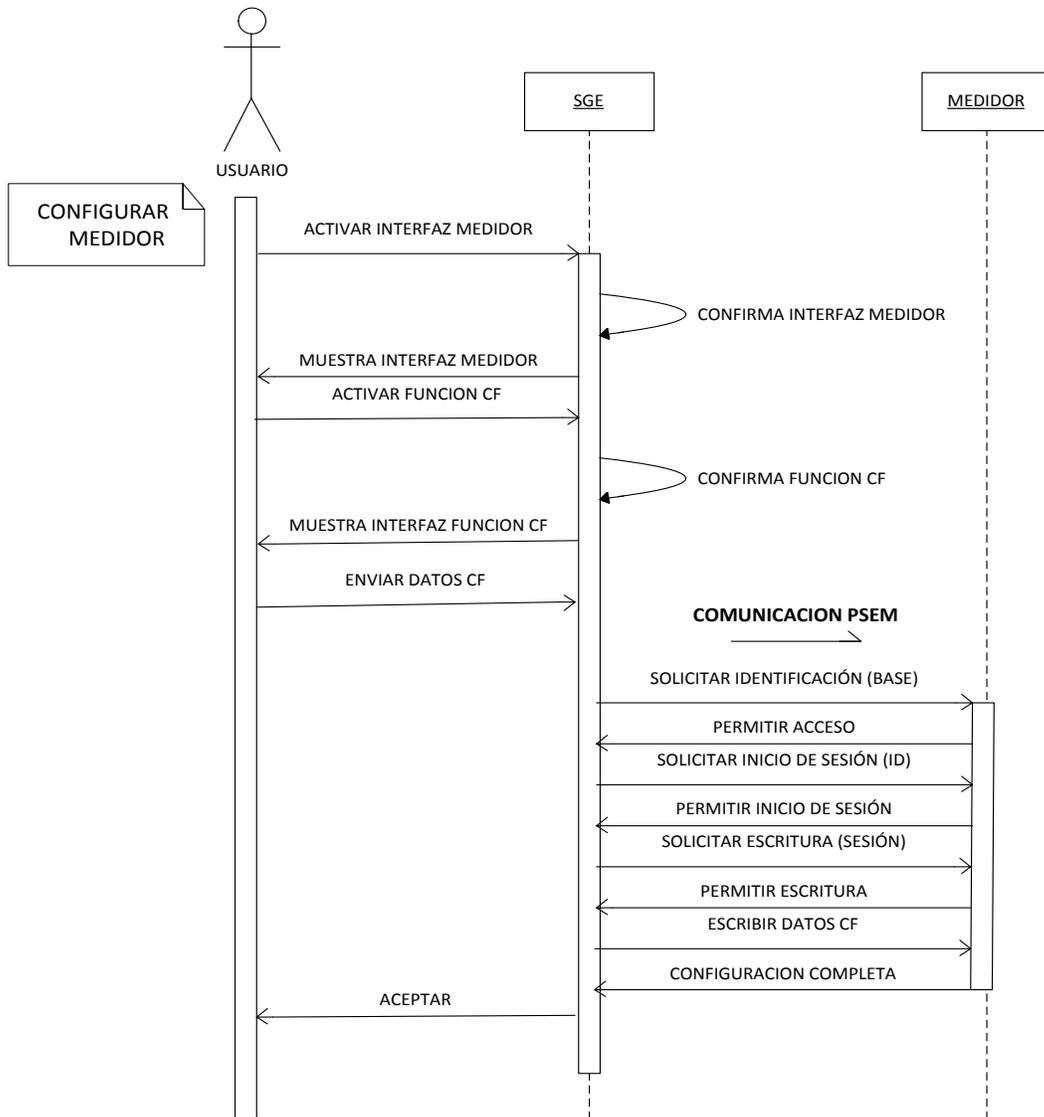


Figura 23 Diagrama de Secuencia escenario Configurar Medidor
Fuente: Propia

3.2.3 Diagrama de Estados

Muestra el conjunto de estados por los cuales pasa un objeto durante su vida, junto con los cambios que permiten pasar de un estado a otro. Para este caso se toma la comunicación PSEM como si fuera el objeto, con el fin de demostrar los distintos estados y transiciones por lo que pasa la comunicación PSEM en el intercambio de información.

A continuación se describen e ilustran los diagramas de estados correspondientes a cada escenario planteado en la sección 3.1, cada diagrama está representado por un diagrama de estados general y un diagrama de estados interno, que representan el intercambio de información en el escenario asociado.

3.2.3.1 Escenario Lectura Perfil de Carga

El diagrama de estados del escenario LPC de la Figura 24 brinda un panorama de la comunicación que ocurre entre los diferentes componentes del sistema. Para cumplir con la LPC, en primer lugar, se observa la interacción del usuario con el SGE, donde muestra la secuencia de eventos, transiciones y estados que se deben desarrollar previamente para lograr la comunicación PSEM. Posteriormente se observa la dinámica de la comunicación PSEM realizada entre el SGE y el Medidor Electrónico para hacer lectura del perfil de carga demandado. Esta comunicación pasa por diferentes eventos, transiciones y estados de secuencia definidos por el protocolo PSEM, los cuales ayudan a detallar la ruta apropiada para dicha lectura. A continuación se describen estados, transiciones y eventos, que utilizados tanto en la parte del diagrama donde ilustra la interacción con el usuario como en la parte del diagrama que ilustra la comunicación PSEM:

- *Aceptar sesión con el SGE:* Evento que genera la transición *Iniciar*.
- *Iniciar:* Representa la transición donde se abre el Software de Gestión Energético y se da paso a un estado de Menú principal del mismo.
- *Muestra Menú Principal SGE:* Estado en el que el Software de Gestión Energético está listo para interactuar con el usuario.
- *Activar Interfaz del Medidor:* Evento en el que se da clic a un icono determinado en el menú principal del SGE.
- *Abrir Interfaz del Medidor:* Una transición que abre una ventana donde están visibles todas las funciones que se pueden realizar en el medidor.

- *Salir Interfaz Medidor*: Evento en el que se da clic en un icono determinado para salir de la ventana donde están visibles todas las funciones que se pueden realizar al medidor, y volver al menú principal del SGE.
- *Muestra Interfaz Medidor*: Estado donde el usuario puede interactuar con las funciones disponibles que se pueden realizar al medidor, estas funciones se encargan principalmente de Lectura y configuración.
- *Activar Interfaz LPC*: Evento en el que se da clic a un icono determinado en la interfaz del medidor, para iniciar una transición que abre una ventana donde están visibles todos los parámetros de la LPC.
- *Abrir interfaz LPC*: transición generada por el evento *Activar Interfaz LPC*.
- *Salir Interfaz LPC*: Evento en el que se da clic en un icono determinado para salir de la ventana donde están visibles los parámetros de la LPC, y volver a la interfaz del medidor.
- *Muestra Interfaz LPC*: Estado donde están visibles los parámetros de la LPC, y el usuario está listo para enviar un mensaje de LPC directamente al medidor electrónico.

Los siguientes estados, transiciones y eventos se relacionan directamente con la comunicación PSEM y se toman como herramientas para el diseño del diagrama de estados basado en UML.

- *Indagar*: Evento que genera una transición Establecimiento del Canal donde el usuario da clic en un icono determinado.
- *Establecimiento del Canal*: transición donde se envía un mensaje de LPC directamente al medidor electrónico.
- *FUERA DE LINEA*: Estado donde se establece el canal de comunicación.
- *BASE*: Estado donde se da inicio a la comunicación entre un cliente C12.21 y un dispositivo C12.21, según la norma ANSI C12.21 en este punto los parámetros de transmisión de datos son aplicados por defecto. En este punto se puede utilizar los servicios de Terminación y Desconexión definidos por la norma ANSI C12.21.
- *Identificación*: Según la norma ANSI C12.21, es un servicio iniciado por el cliente C12.21 para conocer con que dispositivo se va a comunicar, y sirve como transición entre el estado BASE y el estado ID.
- *ID*: Estado donde puede ser accesado el dispositivo C12.21 después de haber sido identificado, en este punto se puede utilizar varios servicios, definidos por la norma ANSI C12.21, como Configuración de tiempos, Negociación, Espera, Terminación y Desconexión.
- *Inicio de sesión*: Según la norma ANSI C12.21, es un servicio iniciado por el cliente C12.21 que sirve como transición entre el estado ID y el estado de SESIÓN.

- *SESIÓN*: Se logra este estado cuando la sesión iniciada fue exitosa y el dispositivo C12.21 es accesado, en este punto se puede utilizar varios servicios definidos por la norma ANSI C12.21, como Lectura, escritura, Seguridad, Autenticación, Espera, Terminación, y Desconexión.
- *Cierre de sesión*: Según la norma ANSI C12.21, es un servicio que sirve como transición entre el estado SESIÓN y el estado ID, proporciona un cierre ordenado de la sesión establecida por el servicio de Inicio de sesión.
- *Terminación*: Según la norma ANSI C12.21, es un servicio que se encarga de abortar una sesión abierta cerrando el canal de comunicación.
- *Desconexión*: Según la norma ANSI C12.21 es un servicio usado cuando se presentan problemas de seguridad, errores internos o finales de sesión, para abortar de forma inmediata la comunicación.

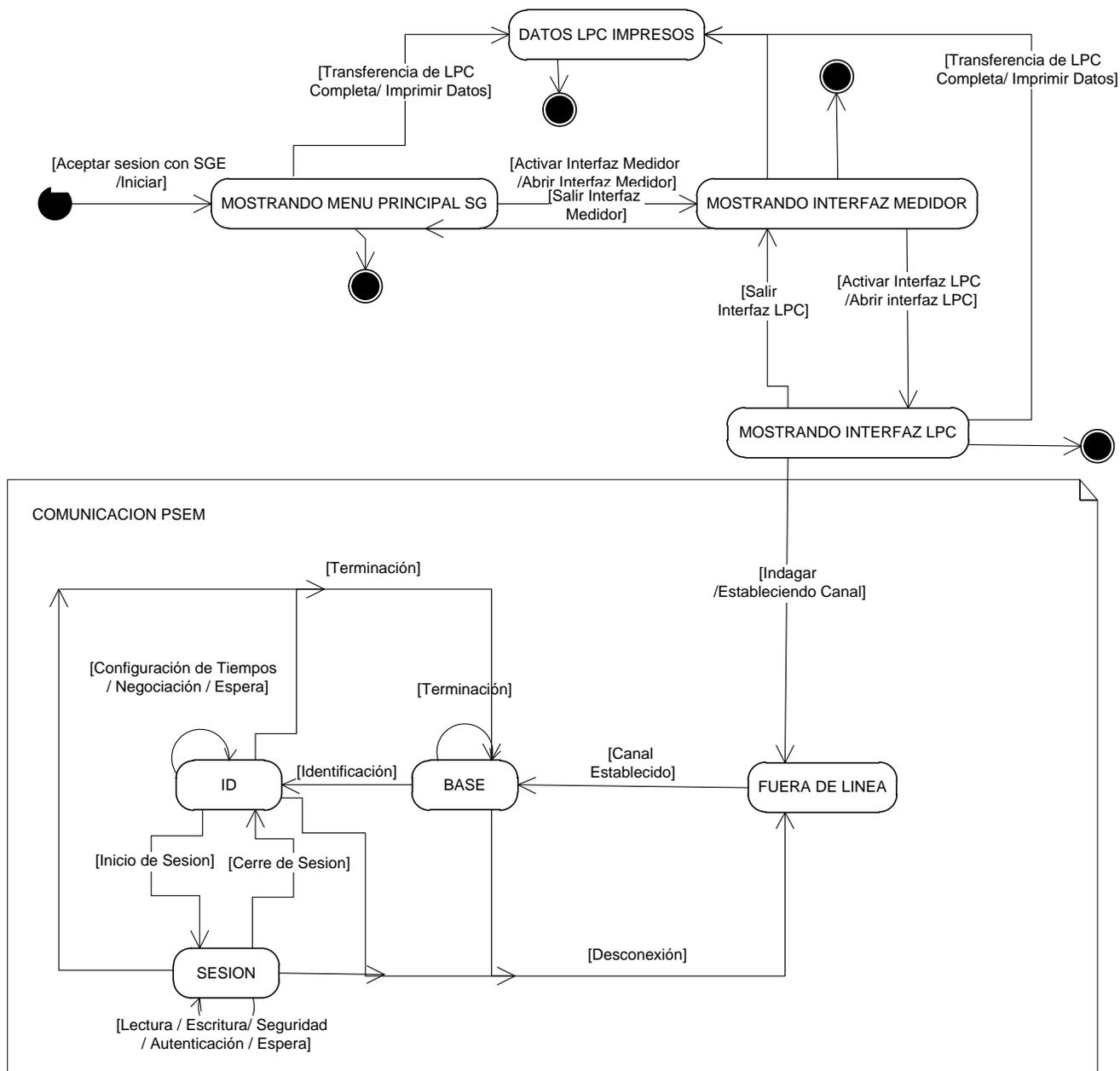


Figura 24 Diagrama de Estados General Lectura Perfil de Carga

Fuente: Propia

➤ **Estados Internos de Comunicación PSEM Lectura Perfil de Carga**

Dentro de los servicios utilizados en la comunicación PSEM, algunos de ellos se utilizan para desarrollar una tarea requerida, en este caso se desarrolla la LPC. La secuencia ideal de servicios que utiliza la LPC se muestra en el diagrama de la

Figura 3 del anexo A “DIAGRAMAS DE ESTADOS MODELO DE INTERCAMBIO DE INFORMACIÓN”.

Los detalles del funcionamiento interno de cada estado de secuencia y de los servicios, se describe en la sección 2.5 con el modelo de intercambio de información.

3.2.3.2 Escenario Configuración del Medidor (CF)

Al igual que en la LPC, este diagrama de estados de configuración del medidor, mostrado en la Figura 25, brinda un panorama de la comunicación entre los diferentes actores del sistema, donde la interacción del usuario con el SGE se debe hacer previamente a la comunicación PSEM. Estos estados y transiciones anteriores, tratan básicamente de mostrar las interfaces a las cuales tiene acceso el usuario para configurar el Medidor con parámetros requeridos. Posteriormente se observa la dinámica de la comunicación PSEM realizada entre el SG y el Medidor Electrónico, para realizar la configuración requerida esta comunicación pasa por diferentes eventos, transiciones y estados de secuencia definidos por el protocolo PSEM, los cuales ayudan a detallar la ruta apropiada.

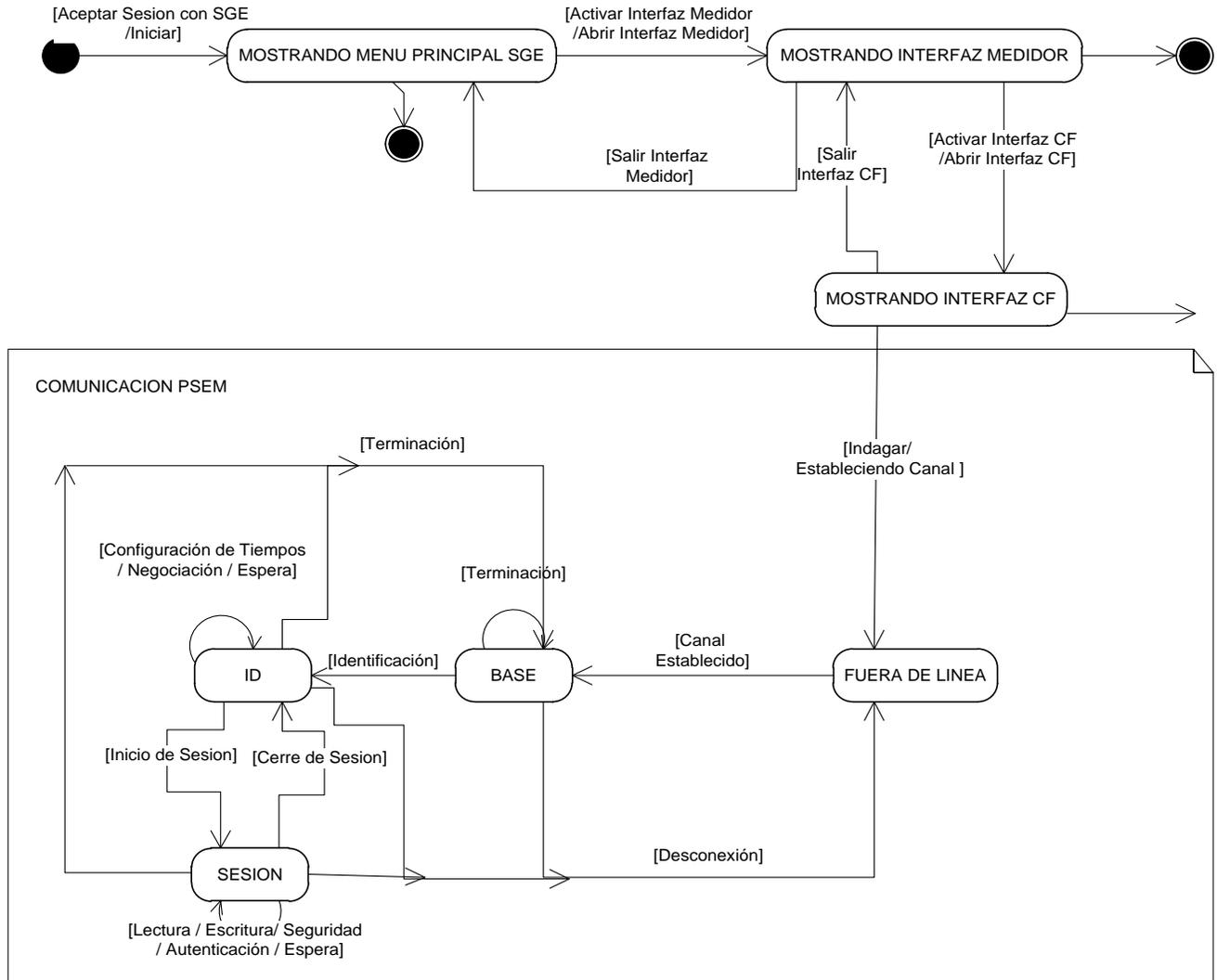


Figura 25 Diagrama de Estados General Configuración del Medidor
Fuente: Propia

➤ **Estados internos de Comunicación PSEM Configuración del Medidor**

La secuencia ideal de servicios que utiliza el escenario CF, se muestra en el diagrama de la Figura 4 del anexo A “DIAGRAMAS DE ESTADOS MODELO DE INTERCAMBIO DE INFORMACION”. El cumplimiento de esta secuencia es idéntico al realizado en LPC, la diferencia radica que en el estado de secuencia SESIÓN, no utiliza el servicio de Lectura, pero si utiliza el servicio de Escritura para aplicar los parámetros de configuración en el medidor electrónico.

En el presente capítulo se definen escenarios reales que, en la práctica, muestran el potencial intercambio de información entre un medidor electrónico y un SGE; para ello se definen y analizan los casos más comunes para representar la dinámica existente en el intercambio de información entre un cliente C12.21 y un dispositivo C12.21.

El análisis de los escenarios se realiza mediante los modelos UML: Casos de uso, Secuencia y Estados, donde se muestra la interacción del usuario con el sistema SGE a través del diagrama de casos de uso, el intercambio de mensajes a través del tiempo entre el actor o usuario del sistema, el SGE y el Medidor a través de los diagramas de secuencia y el conjunto de estados por los que pasa la comunicación PSEM durante toda su vida, a través de los diagramas de estados.

Los modelos planteados conllevan al diseño y desarrollo de una prueba de escritorio que ilustre la dinámica existente en el intercambio de mensajes entre un medidor electrónico y un software de gestión energética.

4 CAPITULO: PRUEBA Y ANÁLISIS DE DATOS

Los diferentes modelos UML utilizados: Casos de uso, Secuencia y Estados en el modelamiento de los escenarios de Lectura Perfil de carga y Configuración del medidor, propuestos en la sección 3.2 del capítulo 3, son los que implementan el modelo de intercambio de información. De los modelos planteados, el que está directamente relacionado con un procedimiento de intercambio de información es el modelo de estados.

Este Capítulo realiza una prueba de escritorio, tomando como referencia los elementos del modelo propuesto, donde se evidencia la correlación de servicios y estados de la comunicación PSEM en el intercambio de mensajes entre un software de gestión energética y un medidor electrónico. La prueba demuestra, de manera general, el intercambio de información y modela en alto porcentaje las potenciales situaciones que considera la norma ANSI C12.21.

4.1 Selección de elementos para la Prueba de Escritorio

Debido a que el intercambio de información se hace por medio de servicios, y los servicios funcionan a través de códigos, es necesario diseñar una prueba en la cual se evidencie que el modelo propuesto cumple con la transferencia de códigos y datos del protocolo para la comunicación PSEM, contemplado en la norma ANSI C12.21.

Es posible hacer varias pruebas para los 12 servicios en el proceso de intercambio de información entre un cliente C12.21 y un dispositivo C12.21, sin embargo se diseña una prueba utilizando solamente un servicio, ya que la transferencia de códigos y datos en los servicios restantes se hace de manera similar (ver sección 2.5.4).

El servicio seleccionado es Identificación por ser el primero en ser utilizado en la comunicación PSEM y solo puede ser iniciado por el cliente C12.21, es decir que el servicio se puede iniciar solamente en una dirección. También es seleccionado porque es obligatorio en cualquier actividad que el SGE desarrolla sobre el medidor; por ejemplo, en la Lectura de Perfil de carga o en la Configuración del medidor. Una vez realizado este servicio, cualquier otro servicio que se lleve a cabo, posterior a este, desarrolla un procedimiento similar (ver sección 2.5.4, 2.5.5 y 2.5.6).

4.2 Diseño de Prueba de Escritorio

El diseño propuesto para la prueba de escritorio tiene como objetivo evidenciar paso a paso, la validez del modelo propuesto en los lineamientos que contempla la norma ANSI C12.21 y su protocolo de comunicación PSEM.

En el diseño de la prueba, se propone hacer un seguimiento del diagrama de estados propuesto para el servicio Identificación, detallando la equivalencia de cada componente del diagrama con los códigos y datos que maneja este servicio, es decir, por cada evento/transición, corresponde determinado (s) código (s), de igual forma sucede con cada estado.

Los elementos a tener en cuenta para la prueba de escritorio son:

Disponer los códigos que maneja el servicio Identificación. Estos códigos se detallan en la

- Tabla 8 (pág. 40) para los códigos de petición; en la Tabla 9 (Pág. 41) para los códigos de respuesta y en la Tabla 10 (pág. 42), para los códigos y datos de este servicio.
- Disponer del modelo de estados del servicio Identificación.
- Disponer de la Tabla 25 para consignación de códigos y datos del servicio Identificación durante la prueba de escritorio.

Tabla 25 Consignación códigos Servicio Identificación para prueba escritorio

Paso	Evento	Transición	Estado	Código	Datos

Fuente: Propia

- Relacionar, secuencialmente, cada transición y estado del diagrama de estados del servicio Identificación, con los códigos contenidos en las tablas 8, 9 y 10 mencionadas anteriormente, para ello se desarrolla un procedimiento paso a paso que se describe a continuación.

4.3 Desarrollo de la Prueba de escritorio servicio Identificación

Para el desarrollo y seguimiento de la prueba es necesario en simultánea disponer a un lado del diagrama de estados del servicio Identificación, ver Figura 26. La Tabla 8 que ilustra los códigos de petición asociados a los doce (12) servicios PSEM, la Tabla 9 que ilustra los códigos de respuesta usados en las Peticiones PSEM y la Tabla 10 que ilustra los parámetros complementarios de respuesta

positiva del servicio de Identificación. A continuación se presentan las tablas y diagramas citados anteriormente.

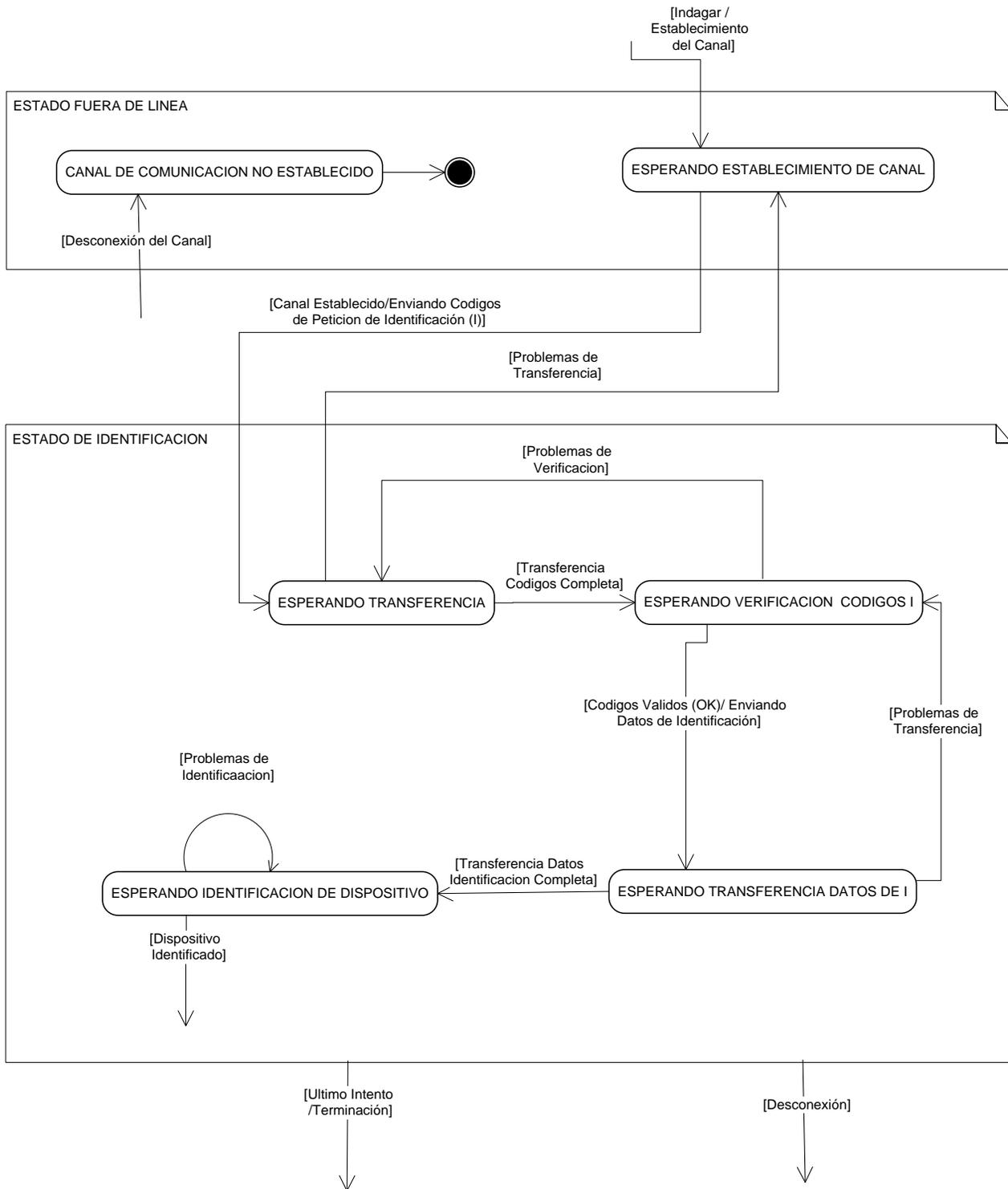


Figura 26 Diagrama de estados del servicio Identificación

Fuente: Propia

Tabla 8 Códigos de petición asociados a los doce (12) servicios PSEM

SERVICIO	CÓDIGO PETICION	DESCRIPCIÓN
Identificación	20H	Requerido para la inicialización del establecimiento de una sesión.
Terminación	21H	Se encarga de abortar una sesión abierta cerrando el canal de comunicación. Servicio opcional
Desconexión	22H	Utilizado para la desconexión inmediata del canal de comunicación. Servicio opcional.
Lectura	30H	Transfiere tablas de datos al dispositivo que realiza la petición.
Escritura	40H	Transfiere tablas de datos al dispositivo de destino.
Inicio de sesión	50H	Establece una sesión sin establecer permisos de acceso.
Seguridad	51H	Proporciona la configuración de permisos de acceso. Servicio opcional.
Cierre de sesión	52H	Proporciona un cierre ordenado de sesión.
Negociación	65H	Proporciona el mecanismo para la reconfiguración del canal de comunicación. Servicio Opcional.
Espera	70H	Mantiene una comunicación establecida cuando el canal se encuentra en periodos de inactividad. Servicio opcional.
Configuración de tiempos	71H	Proporciona el mecanismo para la reconfiguración de tiempos de espera y retardos. Servicio opcional.
Autenticación	Indefinido	Complementa el servicio de Seguridad. Servicio Opcional.

Fuente: Propia

Tabla 9 Códigos de respuesta usados en las Peticiones PSEM

CÓDIGO RESPUESTA	DATO	DESCRIPCIÓN
00H	<ok>	Petición aceptada
01H	<err>	Error no previsto
02H	<sns>	Servicio no soportado
03H	<isc>	Nivel de seguridad Insuficiente
04H	<onp>	Acción que no es posible
05H	<iar>	Acción de petición inapropiada
06H	<bsy>	Dispositivo ocupado
07H	<dnr>	Datos no listos
08H	<dlk>	Datos bloqueados

09H	<rno>	Renegociar la solicitud
OAH	<isss>	Servicio invalido en el estado de secuencia
0BH-1FH	Indefinido	Códigos de respuesta indefinidos

Fuente: Propia

Tabla 10 Parámetros complementarios respuesta positiva servicio de Identificación

Parámetros	Tamaño	Código	Descripción
<ok>	Byte	00H	Petición aceptada
<std>	Byte	Código de referencia que identifica el estándar	
		00H	ANSI C12.18
		01H	Reservado
		02H	ANSI C12.21
		03H	ANSI C12.22
<ver>	Byte	00H-FFH	Identifica el número de versión del estándar utilizado
<rev>	Byte	00H-FFH	Identifica el número de revisión del estándar utilizado
<feature>	Identificador de clase de dispositivo (parámetro opcional)		
<end-of-list>	Byte	00H	Indicador de fin de lista

Fuente: Propia

Descripción del seguimiento

Antes de iniciar con el seguimiento de la prueba, se debe tener en cuenta que la comunicación PSEM se encuentra en el estado fuera de línea como se especifica en la sección 2.5.3, es decir, que la comunicación se encuentra en un estado “Canal de Comunicación no Establecido” como se observa de color morado en la Figura 27. Para salir de este estado, es necesario que el usuario ejecute actividades en el Metercat que interactúen con el medidor electrónico. Después de esta interacción, empieza la transferencia de datos que se detallan en los pasos a continuación:

Paso 1. De color azul en el diagrama de la Figura 27 se observa la secuencia de este paso, donde una transición “Establecimiento del Canal”, se genera por un evento “Indagar”; esto hace que la comunicación PSEM cambie a un estado llamado “Esperando Establecimiento del Canal”. Esta transición y estado, se relaciona con la apertura del canal después que el usuario manipula el Metercat para realizar una LPC o para configurar el ME. En este paso no se registra código alguno en la Tabla 26.

Paso 2. Detallado de color rojo en el diagrama de la Figura 27, se observa que al establecerse el canal de comunicación, se toma como evento “Canal Establecido”,

que genera una transición “Enviando Códigos de Petición de Identificación (I)”, y hace que la comunicación pase al estado “Esperando Transferencia”. Esta transición se relaciona con transferir el código de petición de Identificación 20H contenido en la Tabla 8, y el estado se relaciona con el tiempo que la comunicación utiliza para transferir este código. En el caso de no completar la transferencia, esto se toma como evento para generar la transición “Problemas de Transferencia”; de esta forma la comunicación vuelve al estado anterior y reintenta el Paso 1. El número de reintentos se detalla en el servicio de Negociación de la sección 2.3.1.4. El cumplimiento de este paso se consigna en la Tabla 26, donde se ilustra que la transferencia del código de petición de Identificación 20H, satisface la transición y el estado asignado en el paso 2.

Paso 3: Si la transferencia del Paso 2 se completa satisfactoriamente, se toma como un evento que genera la transición “Transferencia de Códigos Completa”; esto hace que la comunicación pase al estado “Esperando Verificación de Códigos”. La transición se relaciona con el ACK de la sección 2.4.3, el cual tiene código 06 que indica que el cliente C12.21, ha recibido el paquete de datos satisfactoriamente. El estado se relaciona con el tiempo utilizado para extraer el código de petición 20H del paquete de datos recibido y posteriormente enviar un dato de respuesta. Este proceso se observa en el diagrama de la Figura 27 con el color verde. Si la verificación de códigos no es exitosa se toma como evento para la transición “Problemas de Verificación”, la cual hace que la comunicación vuelva al estado anterior y se reintente el Paso 2. El cumplimiento de este paso también se consigna en la

Tabla 26, donde muestra que la transferencia del código 06, satisface la transición y el estado asignado en el paso 3.

Tabla 26 Consignación códigos Servicio Identificación ejecutado

Paso	Evento	Transición	Estado	Código
1	Indagar	Establecimiento del canal	Esperando establecimiento del canal	
2	Canal establecido	Enviando códigos de petición de Identificación (i)	Esperando transferencia	20H
3	Transferencia completa	Enviando código ACK	Esperando verificación de códigos	06H
4	Códigos validos	Enviando datos de identificación	Esperando transferencia de datos de (I)	00H
5	Transferencia completa	Enviando código ACK	Esperando verificación de Identificación (I)	06H

Fuente: Propia

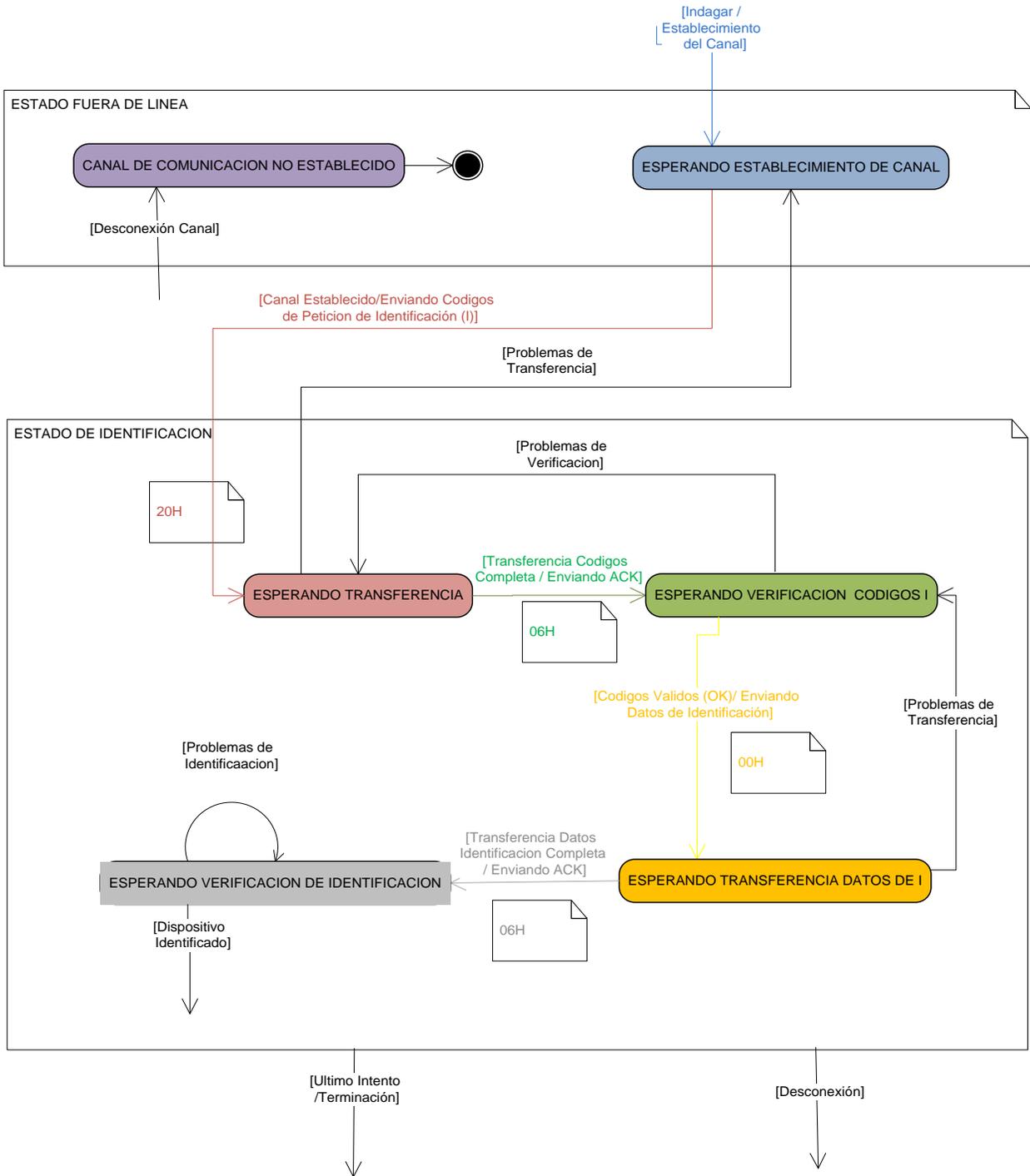


Figura 27 Seguimiento de diagrama de estados del servicio Identificación

Fuente: Propia

Paso 4: En color amarillo se observan los elementos que componen este paso. Cuando la verificación del Paso 3 se realiza satisfactoriamente, se toma como un evento que genera una transición “Códigos Validos (OK)/Enviando datos de Identificación”, la cual hace que la comunicación entre a un estado “Esperando Transferencia de Datos de (I)”. La transición se relaciona con el envío de datos de identificación contenidos en la tabla 10, donde describe que la petición ha sido aceptada con el código 00H y diferentes códigos de parámetros de identificación. El estado se relaciona con el tiempo que la comunicación utiliza para que la transferencia se realice con éxito. Si la transferencia de datos no es exitosa, se toma como evento para la transición “Problemas de Transferencia” la cual hace que la comunicación vuelva al estado anterior y se reintente el Paso 3. Al igual que los pasos anteriores, el cumplimiento de este paso 4 se consigna en la Tabla 26, donde muestra que la transferencia de datos de identificación satisface la transición y el estado asignado.

Paso 5: Si la transferencia de datos se realiza sin problemas, se toma como un evento que genera una transición “Transferencia de Datos Identificación Completa / Enviando ACK”, la cual hace que la comunicación pase a un estado “Esperando Verificación de Identificación”. Esta descripción se detalla de color gris en el diagrama de la figura 27. La transición se relaciona con el ACK y su código 06 que indica que el cliente C12.21 ha recibido el paquete de datos satisfactoriamente. El estado se relaciona con el tiempo que la comunicación utiliza para transferir este código. Si la verificación de identificación no es exitosa, se toma como evento para la transición “Problemas de Identificación”, la cual hace que la comunicación reintente el mismo Paso 5 las veces acordadas en el servicio de Negociación. El cumplimiento de este paso 5, de igual manera que los pasos anteriores, se consigna en la Tabla 26, donde muestra que la transferencia del ACK satisface la transición y el estado asignado. Si la verificación se cumple satisfactoriamente se toma como un evento que genera una transición “Dispositivo Identificado” la cual lleva a un estado contenido en el diagrama de otro servicio.

De la misma manera como se hizo el seguimiento en la prueba de escritorio para el servicio Identificación, se realiza para los servicios restantes ya que estos se comportan de forma similar para realizar el pleno cumplimiento de una función como perfil de carga o configuración del medidor.

La Figura 28 resume la misma dinámica propuesta en el diagrama de estados del servicio Identificación realizado en la prueba de escritorio, donde se sigue una

Secuencia de pasos que debe seguir cada servicio para cumplir con éxito el intercambio de información modificada del estándar ANSI C12.21. Empieza con el servicio de Identificación, donde en la línea 1 se construye un paquete pasando por las capas de Aplicación (7) y Enlace de datos (2) del dispositivo de lectura, en este caso el computador. El paquete es enviado hacia el dispositivo final, medidor electrónico A1800, donde pasa por las capas de Enlace de datos (2) y Aplicación (7) para recibir el paquete. Este paso es equivalente en el servicio de Identificación de los diagramas de estados, con la transición “**Enviando códigos de petición de Identificación (I)**”, la cual hace que la comunicación PSEM entre en un estado llamado “**Esperando transferencia**”.

Posteriormente en la línea 2 se confirma la llegada del paquete con un código que envía el dispositivo final hacia el dispositivo de lectura. Equivalente a la transición llamada “**Transferencia completa**”, y el estado llamado “**Esperando verificación códigos I**”.

Enseguida en la línea 3 el mismo dispositivo final envía los datos de respuesta hacia el dispositivo de lectura. Equivalente a la transición llamada “**Códigos validos (OK) / Enviando datos de Identificación**”, donde hace que la comunicación PSEM entre en un estado llamado “**Esperando transferencia de datos de I**”.

Finalmente en la línea 4 el dispositivo de lectura envía un código de confirmación o ACK hacia el dispositivo final. Equivalente a la transición llamada “**Transferencia datos Identificación completa**”, donde la comunicación PSEM entre en un estado llamado “**Esperando Identificación del dispositivo**”.

En la misma secuencia que la Figura 28 ilustra, se comportan todos los servicios que interactúan en la comunicación PSEM que se establece entre un medidor A1800 y un computador con la aplicación Metercat instalada, en resumen la forma en que los servicios funcionan para realizar intercambio de información en una función de perfil de carga o configuración del medidor.

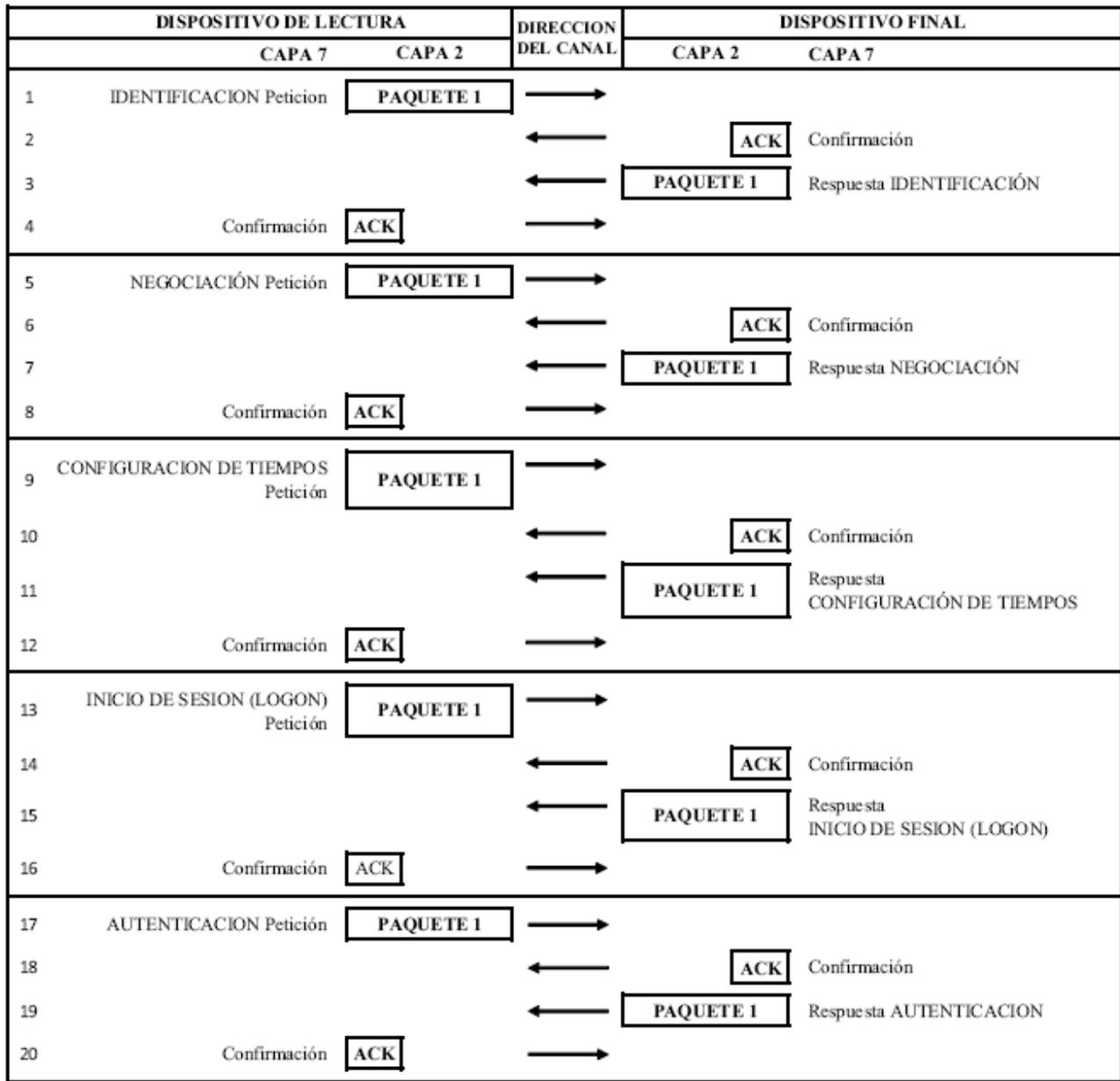


Figura 28 Secuencia servicios comunicación PSEM
Fuente: Modificada de estándar ANSI C12.21

4.4 Diseño de Prueba de Laboratorio

El diseño propuesto para la prueba de laboratorio, tiene como objetivo obtener los códigos y datos que fluyen en la comunicación entre un medidor A1800 y un computador con la aplicación Metercat para confirmar el seguimiento de los códigos y datos arrojados en la prueba de escritorio para el servicio Identificación. Para este propósito se realiza un montaje entre un medidor A1800 y un PC con Metercat donde se utiliza como herramientas adicionales un software libre para monitorear los puertos usados en dicha comunicación. Después de obtener los códigos y datos se procede a hacer un seguimiento detallado de estos, para verificar si cumple o no el proceso de la prueba de escritorio de la sección 4.3. Los elementos a tener en cuenta para esta prueba son:

- A. Disponer del diagrama de la Figura 27, donde se ilustra el seguimiento de la prueba de escritorio.
- B. Disponer de los códigos de monitoreo obtenidos con el software libre, estos deben ser registrados por el software en el intercambio de información, cuando se ejecuta una función en el Elster A1800 desde el Metercat.
- C. Hacer un análisis y evaluar si se cumple o no el seguimiento de la prueba de escritorio.

Debe tenerse en cuenta que la prueba de laboratorio permite ejecutar actividades de alto nivel desde el Metercat y no servicios específicos. Es por esto que se usará el escenario de lectura de perfil de carga y en esta el servicio Identificación que obligatoriamente, siempre se ejecuta como una validación practica de la prueba de escritorio.

4.5 Desarrollo de la prueba de laboratorio

Para el desarrollo y seguimiento de la prueba es necesario tener a disposición el diagrama de la Figura 27, el cual permite hacer el seguimiento de los códigos de Identificación a través de un diagrama de estados del servicio de Identificación. También es necesario contar con los códigos y datos que se obtienen con el software libre. Para esto a continuación se detalla el proceso de monitoreo.

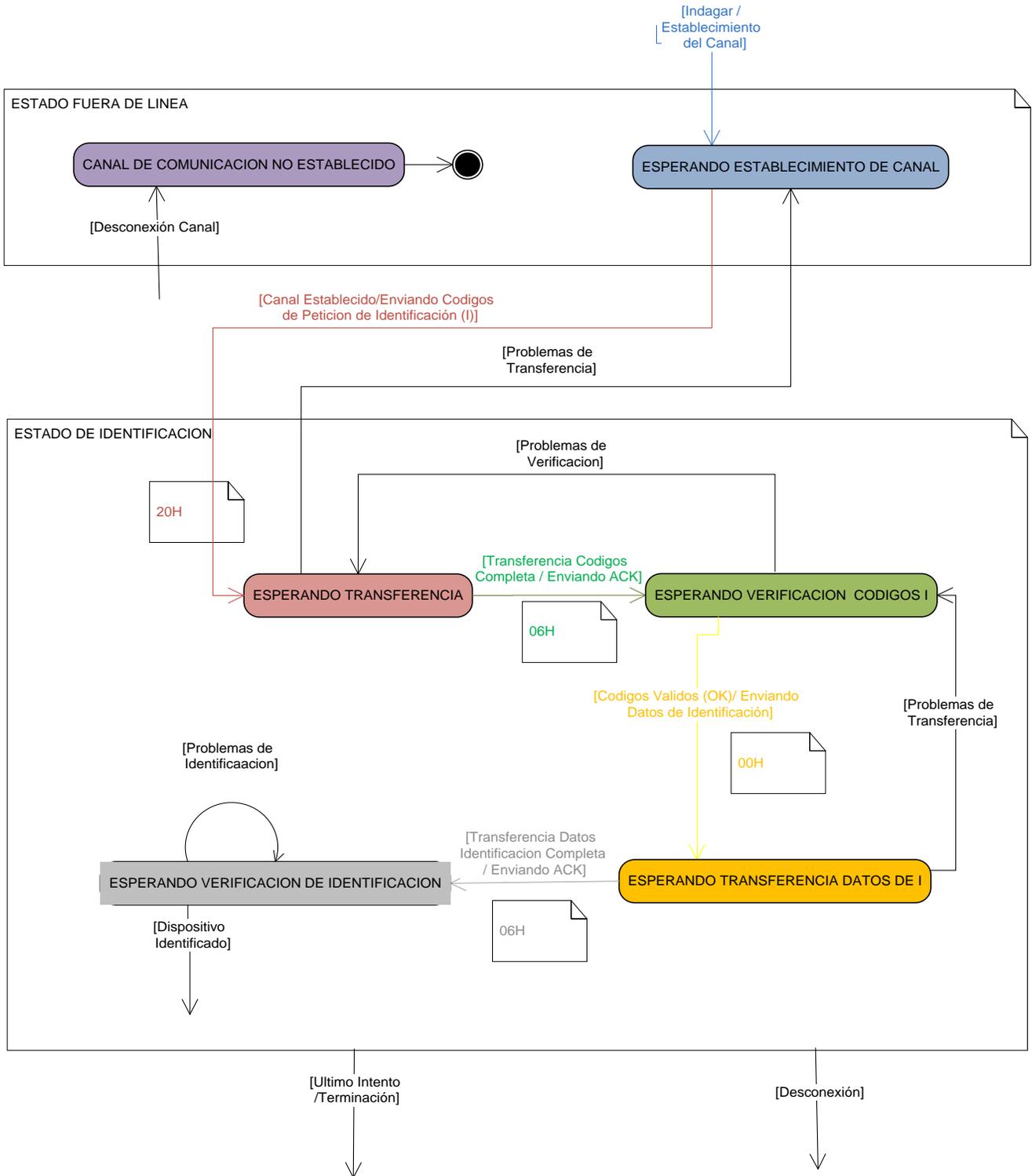


Figura 27 Seguimiento de diagrama de estados del servicio Identificación

Fuente: Propia

Monitoreo de la Comunicación PSEM

En este proceso se debe realizar la conexión física de un A1800 y un computador con la aplicación Metercat instalada, dicha conexión se debe hacer por medio de un cable serial RS232. Para mayor información de los elementos necesarios para dicha conexión, remitirse al anexo B “INFORMACION DE LOS ELEMENTOS NECESARIOS Y SU CONEXIÓN PARA EL ESTABLECIMIENTO DE LA COMUNICACIÓN PSEM”

La Figura 29 ilustra la conexión, donde el A1800 se ha alimentado y conectado una carga consistente en una lámpara 250 W a 120 Vac en su línea número uno (1). El Metercat se ha configurado para acceder al medidor con el objetivo de leer perfiles de carga. Para mayor información sobre las opciones de configuración que ofrece el Metercat remitirse al anexo C “CONFIGURACIÓN DEL PROGRAMA (PLANTILLA) EN EL METERCAT PARA UN MEDIDOR ELECTRÓNICO CASO DE ESTUDIO ELSTER A1800”.



Figura 29 PC con Metercat conectado por medio de un cable serial a un Medidor Elster A1800
Fuente: Propia

De esta manera el medidor está listo para ser accedido para la lectura de perfil de carga, dicha lectura se ejecuta desde el Metercat por manipulación del usuario, finalmente se imprime un reporte indicando que la comunicación a terminado.

Para realizar el proceso de monitoreo del puerto del A1800 se utiliza el software libre “Serial Port Monitor”, el cual permite observar la transacción de datos en formato hexadecimal.

La Figura 30 muestra la interfaz del software Serial Port Monitor, esta contiene los datos monitoreados del puerto número diez (10), donde está conectado el medidor. Estos datos son producto de la ejecución de lectura perfil de carga realizada desde el Metercat en el montaje que se implementó en laboratorio.

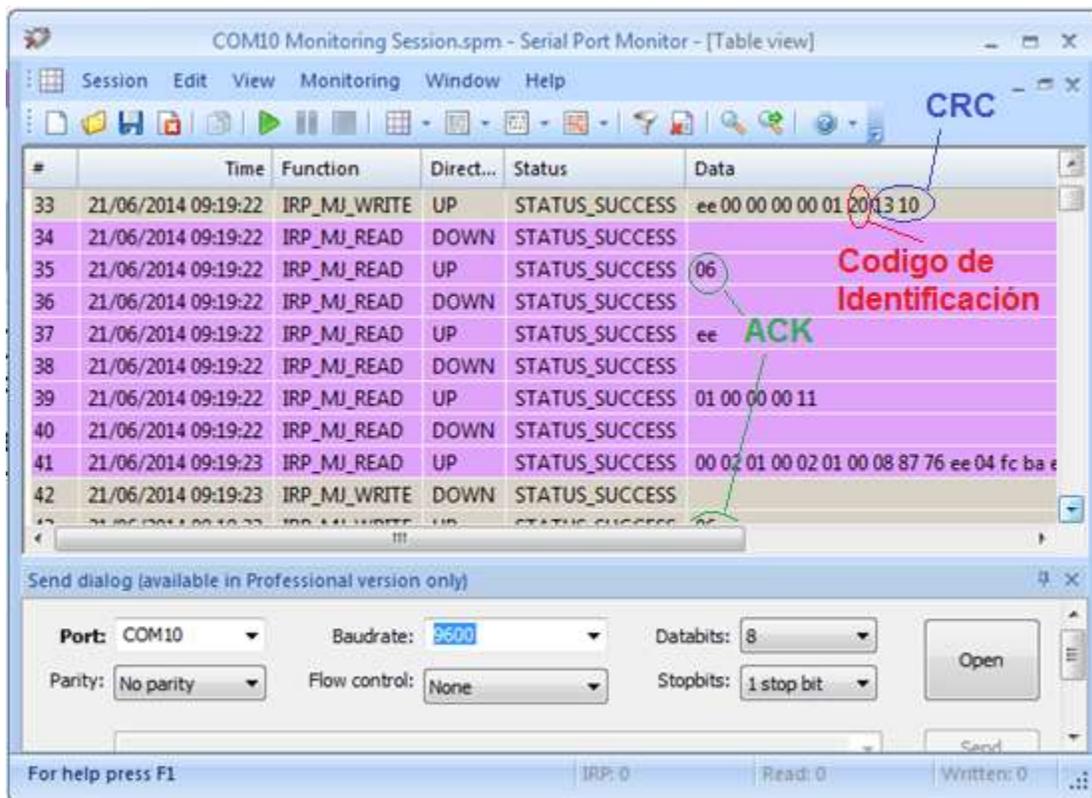


Figura 30 Interfaz del software de monitoreo “Serial Port Monitor” con los datos de comunicación PSEM

Fuente: Propia

Teniendo los datos intercambiados se procede a hacer un análisis y seguimiento para verificar si se cumple el intercambio de información que especifica la norma ANSI C12.21 y en consecuencia el desarrollo de la prueba de escritorio.

Descripción del análisis y seguimiento

En los datos de la Figura 30 obtenidos con el monitoreo de la comunicación entre el Metercat y el A1800, se analiza si corresponde a los códigos contenidos en la norma ANSI C12.21 y si se transmiten de la forma en que detalla la prueba de escritorio, específicamente en la ilustración del diagrama de la Figura 27.

Al igual que en la realización de la prueba de escritorio de la sección 4.3, se analizan los datos del servicio de Identificación, siendo el primer servicio de la comunicación PSEM usado sobre el dispositivo y se utiliza como transición del estado de secuencia BASE a un estado de secuencia ID según la norma ANSI C12.21. Es necesario aclarar que este servicio es utilizado siempre que se use el medidor electrónico, es decir que se emplea cuando se hace lectura de perfil de carga o una configuración del medidor.

A continuación se hace un seguimiento de la prueba de laboratorio donde se toman los códigos obtenidos en el monitoreo y se relacionan con el diagrama de la Figura 27, cuyo diagrama contiene el seguimiento de la prueba de escritorio. Para llevar a cabo el análisis de datos, se utiliza una secuencia de pasos con los cuales se evidencia si la prueba de escritorio se cumple satisfactoriamente.

Paso 1: en la Figura 30 se observa, en la línea 33, el paquete que se transmite desde el computador por el Metercat, donde lleva incluido el código de petición de Identificación 20H y este paquete está conformado por los siguientes bytes: EE 00 00 00 01 20 13 10. Se debe aclarar que algunos bytes corresponden a los encabezados de las capas de aplicación o a diferentes parámetros que se incluyen en una comunicación serial, por ejemplo el CRC de la sección 2.4.2. El código EE indica que inicia un paquete de datos, los datos correspondientes a la petición de Identificación son 00 00 00 00 01 20 y los dos datos restantes 13 10 se generan por el cálculo del polinomio CRC. Evidentemente se transfiere el código 20H, el cual satisface el paso 1 de la prueba de escritorio ilustrada en color rojo en el diagrama de la Figura 27, donde la transición llamada “**Enviando códigos de petición de Identificación (I)**”, hace que la comunicación PSEM entre en un estado de llamado “**Esperando transferencia**”.

Paso 2: Posteriormente en la línea 35 se observa un código 06 en hexadecimal, respuesta ACK que confirma que la transferencia de códigos es exitosa, este código verifica que el diagrama de estados de la Figura 27 en color verde cumple su seguimiento. Aquí la transición llamada “**Transferencia completa**”, donde se confirma que el paquete ha sido recibido por parte del A1800, posteriormente la

comunicación PSEM entre en un estado llamado “**Esperando verificación códigos I**” para proceder a enviar datos de respuesta.

Paso 3: En las líneas 37, 39 y 41 aparecen los datos de respuesta con los cuales se identifica el dispositivo C12.21; estos datos corresponden al estándar que utiliza: versión, número de revisión e identificador de fin del lista. Estos datos satisfacen la secuencia del diagrama de estados en color amarillo de la Figura 27, donde la transición llamada “**Códigos validos (OK) / Enviando datos de Identificación**”, la cual hace que la comunicación PSEM entre en un estado llamado “**Esperando transferencia de datos de I**”.

Paso 4: Finalmente, en la línea 43 se presenta un dato ACK que envía el Cliente C12.21 el cual confirma que la transferencia de los datos fue completada, el dato verifica que en el diagrama de estados de la Figura 27 cumple también en este paso. La transición llamada “**Transferencia datos Identificación completa**”, donde la comunicación PSEM entra a un estado llamado “**Esperando Identificación del dispositivo**”, aquí el Cliente C12.21 registra los datos que identifican el Dispositivo C12.21.

De igual forma como se comparó previamente la dinámica del servicio de Identificación registrado en el software de monitoreo, también se hace con todos los servicios de la comunicación PSEM. Los datos que se intercambian cada servicio en ambas direcciones se observan en la Tabla 27, la cual contiene los códigos transferidos entre el computador con el Metercat y el A1800 en ambas direcciones.

Tabla 27 Transferencia de códigos y datos completa en la comunicación PSEM entre un computador con la aplicación Metercat y el Elster A1800.

1	→	EE 00 00 00 00 01 20 13 10
2	←	06
3	←	EE 00 00 00 00 11 00 02 01 00 02 01 00 08 30 36 31 37 34 30 33 30 00 C5 6A
4	→	06
5	→	EE 00 20 00 00 04 60 00 40 04 FD BF
6	←	06
7	←	EE 00 20 00 00 05 00 00 40 04 06 03 1C
8	→	06
9	→	EE 00 00 00 00 05 71 1E 04 04 03 D4 AA
10	←	06
11	←	EE 00 00 00 00 05 00 1E 04 04 03 63 B4
12	→	06
13	→	EE 00 20 00 00 0D 50 00 00 41 42 43 44 45 46 47 48 49 4A EE 54
14	←	06
15	←	EE 00 20 00 00 01 00 80 51
16	→	06
17	→	EE 00 00 00 00 0B 53 09 00 DF A9 10 4C 37 BC 1E 26 AC BC
18	←	06
19	←	EE 00 00 00 00 0B 00 09 00 CC C8 09 95 63 9E B3 2C 93 7C
20	→	06
21	→	EE 00 20 00 00 08 3F 00 01 00 00 10 00 96 2B 50
22	←	06
23	←	EE 00 E0 02 00 38 00 00 96 01 02 03 04 05 06 07 08 09 0A 0B 0C 0D 0E 0F 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 1A 1B 1C 1D 1E 1F 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 2A 2B 2C 2D 2E 2F 30 31 32 33 34 35 09 F0
24	→	06
25	←	EE 00 80 01 00 38 36 37 38 39 3A 3B 3C 3D 3E 3F 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 4A 4B 4C 4D 4E 4F 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 5A 5B 5C 5D 5E 5F 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 6A 6B 6C 6D 43 39
26	→	06
27	←	EE 00 A0 00 00 2A 6E 6F 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 7A 7B 7C 7D 7E 7F 80 81 82 83 84 85 86 87 88 98 A8 B8 C8 D8 E8 F0 90 91 92 93 94 95 96 27 1C 9E
28	→	06
29	→	EE 00 00 00 00 01 52 86 40
30	←	06
31	←	EE 00 00 00 00 01 00 11 31
32	→	06
33	→	EE 00 20 00 00 01 21 0B 61
34	←	06
35	←	EE 00 20 00 00 01 00 80 51
36	→	06
37	→	EE 00 00 00 00 01 22 01 33
38	←	06
39	←	EE 00 00 00 00 01 00 11 31
40	→	06

Fuente: Modificada de ANSI C12.21

En conclusión la prueba de laboratorio ratifica que el seguimiento de la prueba de escritorio se cumple satisfactoriamente, esto certifica que el modelo de intercambio de información propuesto en el presente proyecto cumple con los objetivos previstos.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La creciente conciencia por contar con un sistema energético eficiente ha motivado en los OR diversas reformas estructurales, como la inclusión de proyectos de tecnologías Smart Grids, en los que se incluyen sistemas de medición avanzada (AMI) y Lectura automática de medidores (AMR), con el fin de conseguir un suministro eléctrico eficiente, seguro y sostenible. La descripción de tecnologías Smart Grids permitió conocer cuál es su estructura organizacional, los sistemas que lo conforman y hacer una exploración sobre la normatividad y aspectos regulatorios a los cuales están orientados. El uso de estándares internacionales, como ANSI C12.21 y la suite DLMS/COSEM 62056, en el proceso de intercambio de información entre dispositivos en el sector eléctrico, permite una mayor flexibilidad e interoperabilidad entre sistemas eléctricos.

Se llevó a cabo la conceptualización del estándar ANSI C12.21, en el que se analizaron dos capas: Capa de Aplicación y Capa de enlace de datos, utilizadas en el intercambio de información entre un cliente C12.21 y un dispositivo C12.21 a través de un modem telefónico. Adicionalmente se analizó el protocolo para la medición eléctrica PSEM y los doce servicios que lo componen, al igual que el diagrama de servicios y estados propuestos por el estándar ANSI C12.21.

A partir de la conceptualización y análisis del estándar ANSI C12.21 se propuso y desarrolló un modelo de intercambio de información basado en UML a nivel de la capa de aplicación, en el que se diseña un diagrama de estados general que describe el comportamiento secuencial por los que pasa la comunicación PSEM durante todo su proceso. El diagrama general de estados propuesto, se basó en el diagrama de Secuencia de servicios y estados PSEM planteado por el estándar ANSI C12.21, donde se utilizan los estados: FUERA DE LINEA, ID, BASE y SESIÓN. Adicionalmente se desarrolló un diagrama por cada estado mencionado anteriormente lo que aclara con mayor detalle la dinámica que tiene la comunicación PSEM.

Los modelos de estados propuestos se desarrollaron bajo consideraciones reales comunes en los OR, por lo que se seleccionaron dos (2) escenarios importantes de funcionamiento, estos son: Lectura de perfil de carga y Configuración del medidor, que en la práctica se presentan como potencial intercambio de información entre un medidor electrónico y un SGE. Donde la Lectura de perfil de carga se toma como indicador para proyectar la gestión de la demanda de un OR, es decir conocer el comportamiento total de consumo a través de históricos, el cual se toma como referencia para hacer una compra aproximada de energía que se demandará en un tiempo determinado, y la Configuración del medidor,

escenario donde se lleva a cabo la fijación de parámetros para configurar y habilitar funciones deseadas en el medidor, entre las que se destacan la creación de plantillas y la configuración de alarmas. El modelado de los escenarios propuestos se realizó en tres (3) vistas diferentes: diagramas de Casos de uso, de Secuencia y de Estados, donde se evidenció la interacción del usuario con el SGE a través del diagrama de casos de uso, el intercambio de mensajes a través del tiempo entre el actor o usuario del sistema, el SGE y el Medidor a través de los diagramas de secuencia y los estados por los que pasa la comunicación PSEM durante toda su vida, a través de los diagramas de estados.

Los modelos planteados se verificaron mediante una prueba de escritorio y una prueba de laboratorio, por esta razón fue necesario el diseño y desarrollo de las pruebas mencionadas para corroborar el cumplimiento de la dinámica existente en el intercambio de mensajes entre un medidor electrónico y un software de gestión energética. La prueba de escritorio se realizó relacionando los códigos del servicio Identificación que contiene la norma ANSI C12.21 y el diagrama donde contiene el modelo de estados del servicio de Identificación, se hizo un seguimiento detallado y efectivamente se evidencia el cumplimiento del modelo para dicho intercambio de información. Posteriormente se realizó la prueba de laboratorio, donde se hizo el montaje de los dispositivos necesarios para establecer una comunicación PSEM, se manipuló el Elster A1800 a través del Metercat, y se monitoreo el puerto de comunicación con el software libre Serial Monitor para obtener los datos de intercambio entre dichos dispositivos, finalmente se analizaron los datos monitoreados y se verificó el cumplimiento de la prueba de escritorio, por lo que de igual forma se corroboró el cumplimiento del modelo de intercambio de información propuesto, el cual es el objetivo principal de este proyecto.

RECOMENDACIONES

Debido al constante avance tecnológico evidenciado en los medios de comunicación, los sistemas de tele-medición igualmente evolucionan a pasos agigantados, por esta razón es importante conocer cuáles son los estándares internacionales que utilizan los dispositivos eléctricos para la comunicación, y cuáles son los cambios que sufren continuamente, de esta manera es posible hacer un adecuado estudio, diseño y desarrollo de nuevas tecnologías que tengan como objetivo la adaptabilidad al medio.

Algunos de los estándares tan importantes como las ANSI C12.21 que se deben conocer para el desarrollo de proyectos orientados a la comunicación de dispositivos eléctricos son la suite de estándares para la medición eléctrica DLMS/COSEM 62056 los cuales se fundamentan en la utilización de códigos AT. También el estándar ANSI C12.22 por el avance de los sistemas de comunicación orientado a redes inteligentes que utilizan un modelo TCP/IP, una característica importante de este estándar es la utilización del protocolo de comunicación PSEM mejorado, llamado SPSEM.

Con el presente proyecto se desea incentivar a los grupos de investigación de la Universidad del Cauca como el "I+D en Automática Industrial", para trabajar en proyectos orientados al sector eléctrico, debido a que en la actualidad existe la necesidad de sistemas eléctricos más eficientes, no solo en la tele-medida con sistemas AMR, si no en la tele-gestión de información con sistemas de redes inteligentes (Smart Grids). Se espera que la continúa investigación y desarrollo en este sector, se evidencie en el aporte para sostenibilidad de los OR y en consecuencia al desarrollo del país.

BIBLIOGRAFIA

- AHMED, T. (2010). AUTOMATIC ELECTRIC METER READING SYSTEM: A COST-FEASIBLE ALTERNATIVE APPROACH IN METER READING FOR BANGLADESH PERSPECTIVE USING LOW-COST DIGITAL WATTMETER AND WIMAX TECHNOLOGY. Retrieved Marzo, 2014, from <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1209/1209.5431.pdf>
- ASSOCIATION, I. S. (2011). IEEE Draft Guide for Smart Grid Interoperability of Energy Technology and Information Technology Operation with the Electric Power System (EPS), and End-Use Applications and Loads.
- Calos Betancourth, E. B. (2013). DEFINICIÓN DE CRITERIOS PARA EL DISEÑO Y DESARROLLO DE UNA PRUEBA PILOTO EN EL ÁREA DE TELEGESTIÓN AMI: Universidad del Cauca
- Carlos Díaz, J. H. (2011). Smart Grid: Las TICs y la modernización de las redes de energía eléctrica – Estado del Arte. Retrieved Marzo, 2014, from http://bibliotecadigital.icesi.edu.co/biblioteca_digital/bitstream/item/5654/1/Smart_Grid.pdf
- COMMISSION, F. E. R. (2008). Assessment of Demand Response and Advanced Metering. Retrieved Enero, 2014, from <http://www.ferc.gov/legal/staff-reports/demand-response.pdf>
- COMMISSION, I. E. (2013). Normas Internacionales y Evaluación De La Conformidad párr TODAS Las Tecnologías Eléctricas, Electrónicas Y Relacionadas Retrieved Marzo, 2014, from <http://www.iec.ch/>
- ELECTRIC, G. (2014). Medición inteligente. 2014, from <https://www.gedigitalenergy.com/SmartMetering/catalog/i210plusc.htm>
- ELECTRICAS, I. D. I. (2010). INFRAESTRUCTURA DE MEDICIÓN AVANZADA. Retrieved Febrero, 2014, from <http://www.slideshare.net/FiiDEM/infraestructura-de-medicin-avanzada-ami-en-las-redes-inteligentes>
- ELSTER. (2012). CATALOGO. Retrieved Marzo, 2014, from http://www.elster.com.ar/es/downloads/catalogo_Elster_2012.pdf
- ELSTER. (2014a). A1800. Retrieved Marzo, 2014, from <http://www.elster.com.ar/es/A1800.html>
- ELSTER. (2014b). Medidor AMI gREX. 2014, from http://www.elster.com.ar/downloads/ar_ri_grex.pdf
- European Telecommunications Standards Institute, E. Fixed Radio Systems. http://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/101800_101899/101845/01.01.01_60/tr_101845v010101p.pdf
- GRID, I. S. (2014). SMART GRID Modelo Conceptual. Retrieved Febrero, 2014, from <http://smartgrid.ieee.org/ieee-smart-grid/smart-grid-conceptual-model>
- Grids, E. C. T. F. f. S. (2010). Expert Group 1: Functionalities of smart grids and smart meters. Retrieved Diciembre, 2013, from http://ec.europa.eu/energy/gas_electricity/smartgrids/doc/expert_group1.pdf
- Group, E. (2014). Elster. Retrieved Enero, 2014, from <http://www.elster.com.ar/es/index.html>
- IEEE. (2014). IEEE Advancing Technology for Humanity. Retrieved Marzo, 2014, from <http://www.ieee.org/index.html>
- INDRA. (2010). Las Redes Electrica Inteligentes: El Aporte de las TIC. Retrieved Febrero, 2014, from http://www.fundaciongasnaturalfenosa.org/SiteCollectionDocuments/Actividades/Seminarios/Madrid%2020100526/2_Santiago%20Blanco.pdf
- INSTITUTE, A. N. S. (2013). ANSI. Retrieved Noviembre, 2013, from <http://www.ansi.org/>

- INSTITUTE, E. P. R. (2014). Electric Power Research Institute. Retrieved Marzo, 2014, from <http://www.epri.com/Pages/Default.aspx>
- ITRON. (2014). SENTINEL. 2014, from [https://www.itron.com/mxca/es/productsAndServices/Pages/SENTINEL%20-%20Spanish%20\(Spain\).aspx](https://www.itron.com/mxca/es/productsAndServices/Pages/SENTINEL%20-%20Spanish%20(Spain).aspx)
- Jae-Jo Lee, C. S. H. (2006). INTERNATIONAL JOURNAL OF NETWORK MANAGEMENT. Retrieved Febrero, 2014, from http://mail.apnoms.org/papers/IJNM/06/Power_line_communication_network_trial_and_management_in_Korea.pdf
- LABORATORY, N. E. T. (2013). SMART GRID. Retrieved Enero, 2014, from <http://www.netl.doe.gov/research/energy-efficiency/energy-delivery/smart-grid>
- SYSTEM, P. S. (2012). sistema Infraestructura de Medicion Avanzada. Retrieved Marzo, 2014, from http://www.prosoftsystems.ru/products_eng/product-ecom.htm
- Technology, N. I. o. S. a. (2014). NIST. Retrieved Febrero, 2014, from <http://www.nist.gov/index.html>
- Tecnológica, U. d. I. E. (2012). Unidad de Inteligencia Estrategica Tecnológica. 2014, from http://www.cidet.org.co/sites/default/files/documentos/uiet/normatividad_sobre_redes_inteligentes.pdf
- TOSHIBA. (2010). Smart Grid Retrieved Febrero, 2014, from <http://www.toshiba-tds.com/tandd/technologies/smartgrid/en/mdms.htm>
- AHMED, T. (2010). AUTOMATIC ELECTRIC METER READING SYSTEM: A COST-FEASIBLE ALTERNATIVE APPROACH IN METER READING FOR BANGLADESH PERSPECTIVE USING LOW-COST DIGITAL WATTMETER AND WIMAX TECHNOLOGY. Retrieved Marzo, 2014, from <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1209/1209.5431.pdf>
- ASSOCIATION, I. S. (2011). IEEE Draft Guide for Smart Grid Interoperability of Energy Technology and Information Technology Operation with the Electric Power System (EPS), and End-Use Applications and Loads.
- Calos Betancourth, E. B. (2013). DEFINICIÓN DE CRITERIOS PARA EL DISEÑO Y DESARROLLO DE UNA PRUEBA PILOTO EN EL ÁREA DE TELEGESTIÓN AMI: Universidad del Cauca
- Carlos Díaz, J. H. (2011). Smart Grid: Las TICs y la modernización de las redes de energía eléctrica – Estado del Arte. Retrieved Marzo, 2014, from http://bibliotecadigital.icesi.edu.co/biblioteca_digital/bitstream/item/5654/1/Smart_Grid.pdf
- CIENTIFICOS, T. (2006). TCP/IP Y EL MODELO OSI. Retrieved MARZO, 2014, from <http://www.textoscientificos.com/redes/tcp-ip/comparacion-modelo-osi>
- COMMISSION, F. E. R. (2008). Assessment of Demand Response and Advanced Metering. Retrieved Enero, 2014, from <http://www.ferc.gov/legal/staff-reports/demand-response.pdf>
- COMMISSION, I. E. (2013). Normas Internacionales y Evaluación De La Conformidad párr TODAS Las Tecnologías Eléctricas, Electrónicas Y Relacionadas Retrieved Marzo, 2014, from <http://www.iec.ch/>
- COMUNICACIONES, G. E. D. (2011). SISTEMAS DE MONITOREO AVANZADO PARA LA GESTIÓN DE ENERGÍA
- ELECTRICAS, I. D. I. (2010). INFRAESTRUCTURA DE MEDICIÓN AVANZADA. Retrieved Febrero, 2014, from <http://www.slideshare.net/FiiDEM/infraestructura-de-medicin-avanzada-ami-en-las-redes-inteligentes>

- ELECTRICIDAD-OKAR. (2008). INSTALACIONES DE CONTADORES. Retrieved ABRIL, 2014, from <http://electricidad-okar.blogspot.com/2008/11/instalacin-de-contadores.html>
- ELSTER. (2008a). METERCAT. Retrieved Marzo, 2014, from http://www.support.tikaenergy.com/Elster_info/Elster_Metercat_User_Guide_2_1.pdf
- ELSTER. (2008b). METERCAT AND POCKET METERCAT. Retrieved Marzo, 2014, from http://www.elster.ru/downloads/Metercat_data_sheet_1.pdf
- ELSTER. (2014). A1800. Retrieved Marzo, 2014, from <http://www.elster.com.ar/es/A1800.html>
- European Telecommunications Standards Institute, E. Fixed Radio Systems. http://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/101800_101899/101845/01.01.01_60/tr_101845v010101p.pdf
- GRID, I. S. (2014). SMART GRID Modelo Conceptual. Retrieved Febrero, 2014, from <http://smartgrid.ieee.org/ieee-smart-grid/smart-grid-conceptual-model>
- Grids, E. C. T. F. f. S. (2010). Expert Group 1: Functionalities of smart grids and smart meters. Retrieved Diciembre, 2013, from http://ec.europa.eu/energy/gas_electricity/smartgrids/doc/expert_group1.pdf
- Group, E. (2014). Elster. Retrieved Enero, 2014, from <http://www.elster.com.ar/es/index.html>
- IEEE. (2014). IEEE Advancing Technology for Humanity. Retrieved Marzo, 2014, from <http://www.ieee.org/index.html>
- INDRA. (2010). Las Redes Electrica Inteligentes: El Aporte de las TIC. Retrieved Febrero, 2014, from http://www.fundaciongasnaturalfenosa.org/SiteCollectionDocuments/Actividades/Seminarios/Madrid%2020100526/2_Santiago%20Blanco.pdf
- INSTITUTE, A. N. S. (2013). ANSI. Retrieved Noviembre, 2013, from <http://www.ansi.org/>
- INSTITUTE, E. P. R. (2014). Electric Power Research Institute. Retrieved Marzo, 2014, from <http://www.epri.com/Pages/Default.aspx>
- Jae-Jo Lee, C. S. H. (2006). INTERNATIONAL JOURNAL OF NETWORK MANAGEMENT. Retrieved Febrero, 2014, from http://mail.apnoms.org/papers/IJNM/06/Power_line_communication_network_trial_and_management_in_Korea.pdf
- LABORATORY, N. E. T. (2013). SMART GRID. Retrieved Enero, 2014, from <http://www.netl.doe.gov/research/energy-efficiency/energy-delivery/smart-grid>
- NETWORKING, B. (2010). COMPROBACIÓN DE REDUNDANCIA CÍCLICA. Retrieved MAYO, 2014, from <http://searchnetworking.techtarget.com/definition/cyclic-redundancy-checking>
- RIOS, F. (2010). MEDIDORES DE ENERGÍA ELÉCTRICA. Retrieved ABRIL, 2014, from <http://dc439.4shared.com/doc/rEQ08tHj/preview.html>
- SYSTEM, P. S. (2012). sistema Infraestructura de Medicion Avanzada. Retrieved Marzo, 2014, from http://www.prosoftsystems.ru/products_eng/product-ecom.htm
- Technology, N. I. o. S. a. (2014). NIST. Retrieved Febrero, 2014, from <http://www.nist.gov/index.html>
- Tecnológica, U. d. I. E. (2012). Unidad de Inteligencia Estrategica Tecnológica. 2014, from http://www.cidet.org.co/sites/default/files/documentos/uiet/normatividad_sobre_redes_inteligentes.pdf
- TOSHIBA. (2010). Smart Grid Retrieved Febrero, 2014, from <http://www.toshiba-tds.com/tandd/technologies/smartgrid/en/mdms.htm>