

ÍNDICE ANEXO

1	DNP3	4
1.1	HISTORIA	4
1.2	ARQUITECTURA EN CAPAS	5
1.3	MODELO DE REPORTES	14
2	MODBUS	16
2.1	ESPECIFICACIONES DEL PROTOCOLO INDUSTRIAL MODBUS.....	16
3	IEC 60870-5-104	23
3.1	ESPECIFICACIONES DEL PROTOCOLO DE TELECONTROL IEC 60870-5-104 23	

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura A1.- Capa transmisión de datos
- Figura A2.- Capa de pseudo-transporte
- Figura A3.- Ejemplo de código de función
- Figura A4.- Organización base de datos
- Figura A5.- Grupo de objetos
- Figura A6.- Comunicación MODBUS
- Figura A7.- APCI
- Figura A8.- Campo de control para formato I
- Figura A9.- Campo de control para formato S
- Figura A10.- Campo de control para formato U
- Figura A11.- Secuencia correcta de tramas I
- Figura A12.- Envío de tramas S
- Figura A13.- Trama de Test
- Figura A14.- Inicialización de la estación
- Figura A15.- Adquisición de datos por encuesta
- Figura A16.- Interrogación General
- Figura A17.- Transmisión cíclica de datos
- Figura A18.- Transmisión de eventos
- Figura A19.- Sincronización de reloj
- Figura A20.- Transmisión de comandos
- Figura A21.- Unidad de dato del servicio de aplicación

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla A1.- Modo ACII

Tabla A2.- Modo RTU

Tabla A3.- Funciones MODBUS

Tabla A4.- Interrogación de lectura binaria

Tabla A5.- Respuesta a lectura binaria

Tabla A6.- Interrogación para lectura de registros

Tabla A7.- Respuesta a lectura de registros

Tabla A8.- Comando para escritura de bit

Tabla A9.- Reporte de escritura de bit

Tabla A10.- Comando para escritura de registro

Tabla A11.- Reporte de escritura de registro

Tabla A12.- Códigos de error

1 DNP3

1.1 HISTORIA

DNP fue creado originalmente por Westronic, Inc. (ahora GE Harris) en 1990. En 1993, el set de documentos de especificación del protocolo “DNP 3.0 Basic 4” cobró dominio público. La propiedad del protocolo fue entregada al recientemente formado DNP Users Group en octubre de ese año. Desde entonces, el protocolo ha ganado aceptación mundial, incluyendo la formación de grupos de usuarios en China, América latina y Australia.

En enero de 1995, fue formado el DNP Technical Committee para estudiar mejoras y recomendarlas para su aprobación al Users Group general. Una de las tareas más importantes de este cuerpo era publicar el documento DNP Subset Definitions, que establece los estándares para las puestas en marcha de DNP 3.0.

DNP 3.0 es un protocolo para sistemas SCADA moderno, abierto, inteligente, robusto y eficiente. Entre otras cosas, puede:

- Solicitar y responder con múltiples tipos de datos en un solo mensaje.
- Segmentar mensajes en múltiples frames para asegurar excelente detección y recuperación de errores.
- Incluir en una sola respuesta datos cambiados.
- Asignar prioridad a los ítems de datos y solicitarlos periódicamente basado en su prioridad.
- Responder sin solicitud previa.
- Utilizar sincronización de tiempo y con un formato estándar.
- Permitir múltiples operaciones punto a punto y al master.
- Permitir objetos definibles por el usuario incluyendo transferencia de archivos.

1.2 ARQUITECTURA EN CAPAS

DNP 3.0 es un protocolo de capas. Aún así, en lugar de asemejarse al protocolo de 7 capas de la OSI (Open System Interconnection - interconexión de sistemas abiertos), DNP 3.0 adhiere a un estándar simplificado de 3 capas propuesto por el IEC (International Electrotechnical Commission - Comisión internacional de Electrotecnia) para implementaciones más básicas. El IEC llama a esto Enhanced Performance Architecture, o EPA.

La estructuración en capas o niveles, sigue el siguiente esquema:

- Los mensajes a nivel de aplicación son denominados Fragmentos. El tamaño máximo de un fragmento está establecido en 2048 bytes.
- Los mensajes a nivel de transporte son denominados Segmentos.
- Los mensajes a nivel de enlace son denominados Tramas. El tamaño máximo de una trama DNP3 es de 292 bytes.

Cuando se transmiten datos, estos sufren las siguientes transformaciones al pasar por las diferentes capas:

- Los datos se encapsulan en fragmentos a nivel de aplicación.
- El nivel de transporte es el encargado de adaptar los Fragmentos para poder encapsularlos en tramas (nivel de enlace), para lo cual, secciona el mensaje del nivel de aplicación si es necesario, y les agrega la cabecera de transporte, formando de este modo los segmentos.
- En el nivel de enlace, los segmentos recibidos del nivel de transporte son empaquetados en tramas, para lo cual se les añade a estos una cabecera de enlace, y además, cada 16 bytes un CRC de 2 bytes.

IMPLEMENTACIÓN PRÁCTICA DEL PROTOCOLO IEC 61850 EN SUBESTACIONES ELÉCTRICAS. PROBLEMAS Y SOLUCIONES

Cuando se **reciben** datos, las transformaciones se hacen de la siguiente forma:

- El nivel de enlace se encarga de extraer las tramas recibidas, los segmentos que son pasados al nivel de transporte.
- El nivel de transporte lee la cabecera de los segmentos recibidos del nivel de enlace, y con la información obtenida extrae y compone los fragmentos que serán pasados al nivel de aplicación.
- En el nivel de aplicación los fragmentos son analizados y los datos son procesados según el modelo de objetos definido por las especificaciones del estándar.

1.2.1 CAPA FÍSICA

La capa física se refiere sobre todo a los medios físicos sobre los cuales se está comunicando el protocolo. Por ejemplo, maneja el estado del medio (libre u ocupado), y la sincronización a través del medio (iniciando y parando). Más comúnmente, DNP se especifica sobre una capa física serial simple tal como RS-232 o RS-485 usando medios físicos tales como fibra, radio o satélite. Los proyectos se orientan actualmente para implementar DNP sobre una capa física Ethernet.

1.2.2 CAPA DE TRANSMISIÓN DE DATOS

La capa de transmisión de datos maneja la conexión lógica entre el remitente y el receptor de la información y pone a prueba las características de error del canal físico. DNP logra esto comenzando cada frame de transmisión de datos con una cabecera, e insertando un CRC de 16 bits cada 16 bytes del frame. Un frame es una porción de un mensaje completo comunicado sobre la capa física. La medida máxima de un frame de transmisión de datos es 256 bytes.

IMPLEMENTACIÓN PRÁCTICA DEL PROTOCOLO IEC 61850 EN SUBESTACIONES ELÉCTRICAS. PROBLEMAS Y SOLUCIONES

Cada frame tiene una dirección fuente de 16 bits y una dirección de destino también de 16 bits, las que pueden ser una dirección de difusión o broadcast (0xffff).

La información del direccionamiento, junto con un código de inicio de 16 bits, la longitud del frame, y un byte de control de transmisión de datos se hallan en la cabecera (10 bytes) de transmisión de datos.

El byte de control de transmisión de datos indica el propósito del frame de transmisión de datos, y el estado de la conexión lógica. Los valores posibles del byte de control de transmisión de datos son: ACK, NACK, la conexión necesita resetear, la conexión ha sido reseteada, confirmación de solicitud de transmisión de datos del frame, solicitud de estado de conexión, y contestación de estado de conexión.

Cuando se solicita una confirmación de transmisión de datos, el receptor debe responder con un frame ACK de transmisión de datos si el mismo es recibido y pasa los controles del CRC.

Si una confirmación de la transmisión de datos no se solicita, no se requiere ninguna respuesta de la transmisión de datos.

IMPLEMENTACIÓN PRÁCTICA DEL PROTOCOLO IEC 61850 EN SUBESTACIONES ELÉCTRICAS. PROBLEMAS Y SOLUCIONES

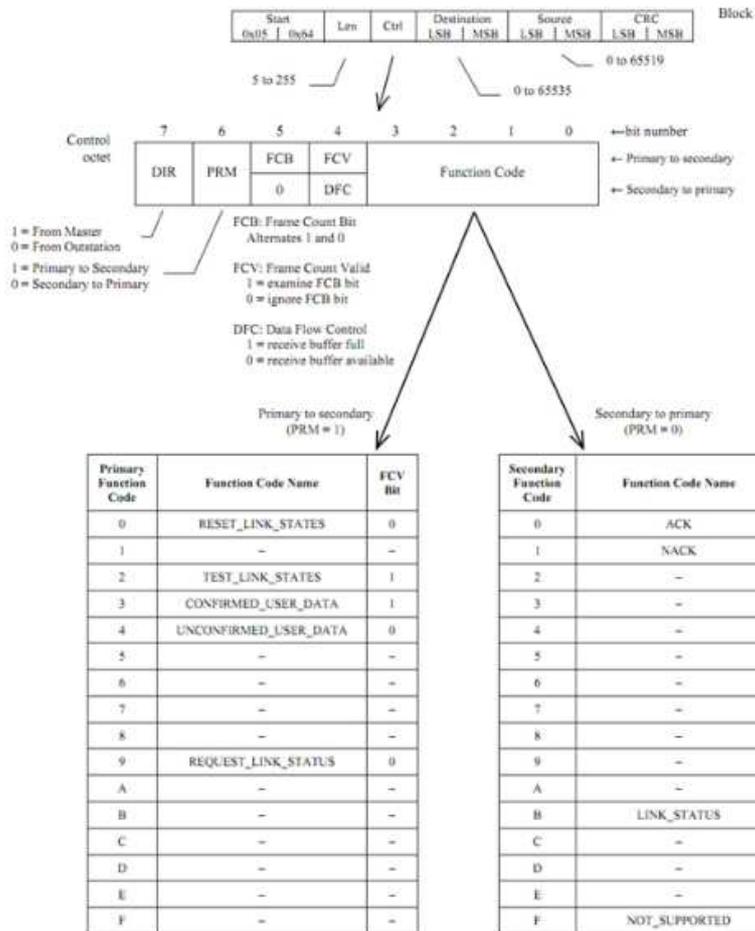


Figura A1.- Capa transmisión de datos

- 2 bytes de inicio (star bytes) cuyo valor es fijo: 0x05 (valor en hexadecimal) para el primero y 0x64 para el segundo.
- 1 byte con el tamaño de la trama. Este valor no tiene en cuenta ni la cabecera, ni los CRC.
- 1 byte con el código de control, que permite fijar los servicios del nivel de enlace, el sentido del flujo, etc.
- 2 bytes con la dirección de destino, codificada en big-endian.
- 2 bytes con la dirección de origen, codificada en big-endian.
- 2 bytes de CRC.

1.2.3 CAPA DE PSEUDO-TRANSPORTE

La capa de pseudo-transporte divide mensajes de la capa de aplicación en múltiples frames de transmisión de datos. Para cada frame, inserta un código de función de 1 byte que indica si el frame de transmisión de datos es el primer frame del mensaje, el último frame del mensaje, o ambos (para mensajes singles). El código de función también incluye un número de secuencia del frame que se incrementa con cada uno y permite que la capa de transporte recipiente detecte frames perdidos.

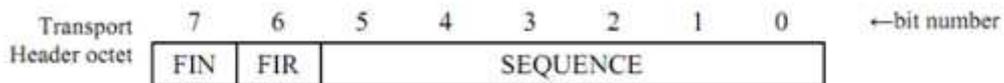


Figura A2.- Capa de pseudo-transporte

1.2.4 CAPA DE APLICACIÓN

La capa de aplicación responde a mensajes completos recibidos, y construye los mensajes basados en la necesidad o la disponibilidad de los datos del usuario. Una vez que se construyan los mensajes, se pasan a la capa de pseudo-transporte donde se dividen en segmentos y se pasan a la capa de transmisión de datos y eventualmente comunicados sobre la capa.

Cuando los datos a transmitir son demasiado grandes para un solo mensaje de la capa de aplicación, se pueden construir mensajes múltiples de la capa de aplicación y transmitirlos secuencialmente.

Sin embargo, cada mensaje es un mensaje independiente de la capa de aplicación; existe una indicación de su asociación con el siguiente, en todos excepto en el último.

IMPLEMENTACIÓN PRÁCTICA DEL PROTOCOLO IEC 61850 EN SUBESTACIONES ELÉCTRICAS. PROBLEMAS Y SOLUCIONES

Debido a esta posible fragmentación de los datos de aplicación, cada mensaje es referido como un fragmento, y un mensaje por ende puede ser un mensaje de un solo fragmento o un mensaje de múltiples fragmentos.

Los fragmentos de la capa de aplicación de las estaciones Master de DNP son típicamente solicitudes de operaciones sobre objetos de datos, y los fragmentos de la capa de aplicación de estaciones esclavas de DNP son típicamente respuestas a esas peticiones. Una estación esclava DNP puede también transmitir un mensaje sin una petición (una respuesta no solicitada).

Como en la capa de transmisión de datos, los fragmentos de la capa de aplicación se pueden enviar con una solicitud de confirmación. Una confirmación de la capa de aplicación indica que un mensaje no sólo ha sido recibido, sino también analizado sin error (por otra parte, una confirmación de la capa de transmisión de datos, o ACK, indica solamente que se ha recibido el frame de la transmisión de datos y que pasó los controles de error del CRC).

Cada fragmento de la capa de aplicación comienza con una cabecera seguida por una o más combinaciones de objetos de datos y objetos cabecera. La cabecera de la capa de aplicación contiene un código de control de la aplicación y un código de función de la aplicación.

El código de control de la aplicación contiene una indicación de si el fragmento es parte de un mensaje multi-fragmento, una indicación de si una confirmación de la capa de aplicación es requerida por el fragmento, una indicación de si el fragmento fue no solicitado, y contiene un número de secuencia de la capa de aplicación.

Este número de secuencia de la capa de aplicación permite que la capa de aplicación receptora detecte los fragmentos que están fuera de secuencia, o los fragmentos perdidos.

IMPLEMENTACIÓN PRÁCTICA DEL PROTOCOLO IEC 61850 EN SUBESTACIONES ELÉCTRICAS. PROBLEMAS Y SOLUCIONES

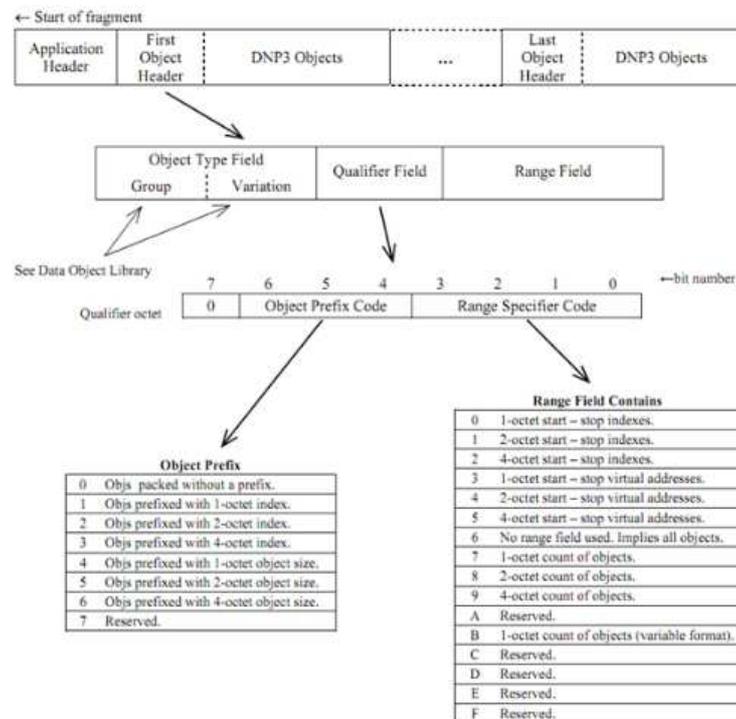


Figura A3.- Ejemplo de código de función

+ Organización de la Base de datos:

En DNP, los datos se ordenan en tipos de datos. Cada tipo de datos es un grupo objeto, incluyendo:

- Entradas de información binaria (valores de un solo bit sólo lectura).
- Salidas binarias (valores de un solo bit cuyo estado puede ser leído, o que puede ser pulsado o trabado directamente o a través de operaciones tipo sbo).
- Entradas de información analógicas (valores múltiple-dígito sólo lectura).
- Salida analógica (valor múltiple-dígito cuyo estado puede ser leído, o que puede ser controlado).
- Directamente o a través de operaciones tipo sbo.
- Contadores.
- Hora y fecha.
- Objetos de transferencia de archivos.
- Etc.

IMPLEMENTACIÓN PRÁCTICA DEL PROTOCOLO IEC 61850 EN SUBESTACIONES ELÉCTRICAS. PROBLEMAS Y SOLUCIONES

Table of Object Groups

Group Range	Object Group Description
0-9	Binary Input Objects
10-19	Binary Output Objects
20-29	Counter Objects
30-39	Analog Input Objects
40-49	Analog Output Objects
50-59	Time Objects
60-69	Class Objects
70-79	File Objects
80-89	Device Objects
90-99	Application Objects
100+	Alternate Numeric Objects

Figura A4.- Organización base de datos

Para cada grupo de objetos, o tipo de datos, existen uno o más puntos de referencia. Un punto de referencia es un único valor del tipo especificado por su grupo de objeto.

También dentro de cada grupo de objeto, existen variaciones. Una variación del grupo de objeto se utiliza típicamente para indicar un método diferente de especificar datos dentro del grupo de objeto. Por ejemplo, las variaciones de entradas de información analógicas permiten la transferencia de los datos como valores enteros con signo de 16 bits, de 32 bits, o como valores de 32 bits con coma flotante.

Según lo descrito arriba, un mensaje de la capa de aplicación puede contener múltiples cabeceras del objeto.

Una cabecera del objeto especifica un grupo de objeto, una variación del grupo de objeto, y un rango de puntos dentro de esa variación del grupo de objeto. Algunos códigos de función de la cabecera de la capa de aplicación indican que a cada cabecera del objeto siguen los datos del mismo; otros códigos de función indican que no hay datos del objeto en el mensaje- en su lugar, múltiples cabeceras del objeto, si existen, siguen contiguamente a cada una de las otras.

IMPLEMENTACIÓN PRÁCTICA DEL PROTOCOLO IEC 61850 EN SUBESTACIONES ELÉCTRICAS. PROBLEMAS Y SOLUCIONES

Por ejemplo, un fragmento leído del mensaje de solicitud contiene solamente las cabeceras del objeto que describen los grupos de objeto, las variaciones, y los rangos de puntos que se solicitan leer y responder; un fragmento leído del mensaje de respuesta contiene cabeceras del objeto y los datos del objeto solicitado.

DNP 3.0 permite que los object point ranges sean especificados en una variedad de maneras. Para petición de mensajes, los object point ranges pueden consistir en:

- Una petición para todos los puntos del grupo de objetos especificados.
- Una petición para un rango contiguo de puntos comenzando con un específico punto de partida y terminando con un específico punto de llegada.
- Una petición para una máxima cantidad de puntos con una lista de puntos solicitados.

Para los mensajes de respuesta, los object point ranges consisten típicamente en un rango contiguo de puntos que comienzan con un punto de partida especificado y terminan con un punto de llegada especificado, o con una lista de puntos. Para los object point ranges de respuesta que consisten en una lista de puntos, un número de punto precede a cada objeto de datos. El número de puntos en la lista se especifica como parte del object point range.

1.3 MODELO DE REPORTE

Muchos de los grupos de objeto pueden corresponder, pero se separan, los grupos de objeto que contienen datos del cambio. Los datos del cambio representan solamente los puntos que han cambiado para un grupo de objeto específicamente correspondiente. Por ejemplo, el grupo número 1 de objeto representa las entradas de información binarias (considerados los datos estáticos), y el grupo número 2 de objeto representa datos binarios con cambio de la entrada de información.

IMPLEMENTACIÓN PRÁCTICA DEL PROTOCOLO IEC 61850 EN SUBESTACIONES ELÉCTRICAS. PROBLEMAS Y SOLUCIONES

Cuando un punto en el grupo de objeto 1 se detecta que ha cambiado, un acontecimiento de cambio en el grupo de objeto 2 para el mismo número del punto se crea. Incluye solamente los puntos que han cambiado en los mensajes de respuesta, esto permite mensajes más pequeños y eficientes.

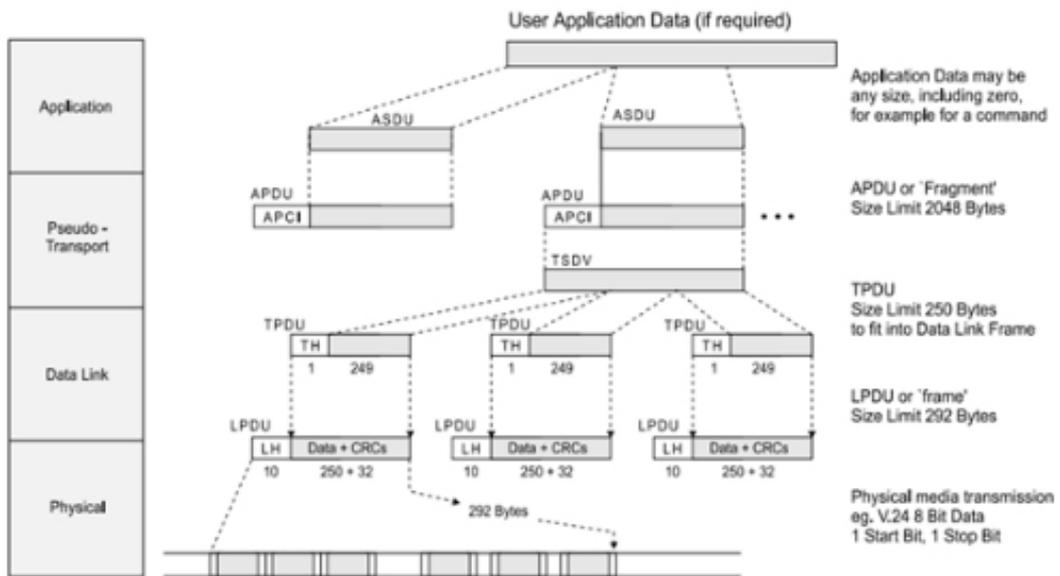


Figura A5.- Grupo de objetos

2 MODBUS

2.1 ESPECIFICACIONES DEL PROTOCOLO INDUSTRIAL MODBUS

El protocolo MODBUS define una estructura de mensajes que puede ser reconocida por diferentes dispositivos independientemente del tipo de red de comunicaciones utilizada. El protocolo describe el proceso para acceder a la información de un dispositivo, cómo debe responder éste, y como se notifican las situaciones de error. El protocolo MODBUS define una red digital de comunicaciones con un solo master y uno o más dispositivos slave.

2.1.1 MODO DE TRANSMISIÓN

El modo de transmisión es la estructura de las unidades de información contenidas en un mensaje. El protocolo MODBUS define dos modos de transmisión: ASCII (American Standard Code for Information Interchange) y RTU (Remote Terminal Unit). En una red de dispositivos conectados mediante el protocolo MODBUS no se pueden compartir dispositivos utilizando diferentes modos de transmisión.

2.1.2 FORMATO GENERAL DE LAS TRAMAS

Un mensaje consiste en una secuencia de caracteres que puedan ser interpretados por el receptor, como se muestra en la figura A6. Esta secuencia de caracteres define la trama, tal como se ilustran en las tablas A1 y A2. Para sincronizar la trama, los dispositivos receptores monitorizan el intervalo de tiempo transcurrido entre caracteres recibidos.

Si se detecta un intervalo mayor que tres veces y media el tiempo necesario para transmitir un carácter, el dispositivo receptor ignora la trama y asume que el siguiente carácter que recibirá será una dirección.

IMPLEMENTACIÓN PRÁCTICA DEL PROTOCOLO IEC 61850 EN SUBESTACIONES ELÉCTRICAS. PROBLEMAS Y SOLUCIONES



Figura A6.- Comunicación MODBUS

Comienzo de Trama	Dirección	Función	Datos	Control de Errores	Fin de Trama
:	2 bytes	2 bytes	N x 2 bytes	2 bytes	CR + LF

Tabla A1.- Modo ASCII

Comienzo de Trama	Dirección	Función	Datos	Control de Errores	Fin de Trama
Tiempo de 3 bytes	1 bytes	1 bytes	N x 1 bytes	2 bytes	

Tabla A2.- Modo RTU

+ Dirección:

El campo dirección es el primero de la trama después del tiempo de sincronización. Indica el dispositivo al que va dirigido el mensaje. Cada dispositivo de la red debe tener asignada una dirección única, diferente de cero.

IMPLEMENTACIÓN PRÁCTICA DEL PROTOCOLO IEC 61850 EN SUBESTACIONES ELÉCTRICAS. PROBLEMAS Y SOLUCIONES

Igualmente, cuando un dispositivo responde a un mensaje, debe enviar en primer lugar su dirección para que el master reconozca la procedencia del mensaje. MODBUS permite enviar mensajes a todos los dispositivos a la vez (broadcast) utilizando para ello la dirección cero.

+ Función:

El campo función indica al dispositivo direccionado qué tipo de función ha de realizar. Estas funciones están definidas en la tabla A3.

Código	Función
01 o 02	Leer N bits (máximo 255)
03 o 04	Leer N registros (máx 52)
05	Escribir 1 bit
06	Escribir 1 registro

Tabla A3.- Funciones MODBUS

+ Datos:

El campo datos contiene la información necesaria para que los dispositivos puedan ejecutar las funciones solicitadas, o la información enviada por los dispositivos al master como respuesta a una función.

+ Control de Errores:

El campo de control de errores es el último de la trama y permite al master y a los dispositivos detectar errores de transmisión. Ocasionalmente, debido a ruido eléctrico o a interferencias de otra naturaleza, se puede producir alguna modificación en el mensaje mientras se está transmitiendo.

IMPLEMENTACIÓN PRÁCTICA DEL PROTOCOLO IEC 61850 EN SUBESTACIONES ELÉCTRICAS. PROBLEMAS Y SOLUCIONES

El control de errores asegura que los dispositivos receptores o el master no efectuarán acciones incorrectas debido a una modificación accidental del mensaje. El formato RTU utiliza el control de redundancia cíclica (CRC), mientras que el ASCII utiliza el control de redundancia longitudinal (CRL) para finalizar la trama de comunicación.

2.1.3 FUNCIONES MODBUS

+ Leer N bits (Código de función 01 o 02):

Esta función permite al usuario obtener los valores lógicos (ON/OFF) de los bits del dispositivo direccionado. Los datos de respuesta van empaquetados en bytes de manera que el primer bit solicitado ocupa el bit de menos peso del primer byte de datos. Los siguientes van a continuación de manera que si no son un número múltiplo de 8, el último byte se completa con ceros. Esta comunicación se ilustra en las tablas A4 y A5.

Dirección del dispositivo	Código de Función (01 o 02)	Dirección del primer bit		Número de bits a leer (máx 255)		CRC	
		MSB	LSB	MSB	LSB	MSB	LSB
1 byte	1 byte						

Tabla A4.- Interrogación de lectura binaria

Dirección del dispositivo	Código de Función	Número de bytes leídos	Primer byte de datos	.....	Último byte de datos	CRC	
				.....		MSB	LSB
1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	.....	1 byte		

Tabla A5.- Respuesta a lectura binaria

IMPLEMENTACIÓN PRÁCTICA DEL PROTOCOLO IEC 61850 EN SUBESTACIONES ELÉCTRICAS. PROBLEMAS Y SOLUCIONES

+ Leer N Registros (Código de función 03 o 04):

Esta función permite al usuario obtener los valores de los registros del dispositivo direccionado. Estos registros almacenan los valores numéricos de los parámetros y variables del controlador. El rango de los datos varía de 0 a 65536. Los datos correspondientes a direcciones de registros que pasan de la última dirección válida de parámetros se asignan a cero (00 00). La trama de comunicación para esta función está definida en las tablas A6 y A7.

Dirección del dispositivo	Código de Función (03 o 04)	Dirección del primer registro		Número de registros a leer (máx 51)		CRC	
1 byte	1 byte	MSB	LSB	MSB	LSB	MSB	LSB

Tabla A6.- Interrogación para lectura de registros

Dirección del dispositivo	Código de Función	Número de bytes leídos	Valor del primer registro		.....	Valor de último registro		CRC	
1 byte	1 byte	1 byte	MSB	LSB	.....	MSB	LSB	MSB	LSB

Tabla A7.- Respuesta a lectura de registros

+ Función para escribir 1 bit (Código de función 05):

Esta función permite al usuario escribir los valores lógicos (ON/OFF) de los bits del dispositivo direccionado. Para desactivar el bit se debe enviar 00h, y para activarlo se debe enviar 01h o FFh. Éste valor se debe escribir en el byte más significativo. Como se muestra en las tablas A8 y A9.

IMPLEMENTACIÓN PRÁCTICA DEL PROTOCOLO IEC 61850 EN SUBESTACIONES ELÉCTRICAS. PROBLEMAS Y SOLUCIONES

Dirección del dispositivo	Código de Función (05)	Dirección del bit		Valor del bit		CRC	
		MSB	LSB	MSB	LSB	MSB	LSB
1 byte	1 byte						

Tabla A8.- Comando para escritura de bit

Dirección del dispositivo	Código de Función (05)	Dirección del bit		Valor del bit		CRC	
		MSB	LSB	MSB	LSB	MSB	LSB
1 byte	1 byte						

Tabla A9.- Reporte de escritura de bit

+ Función para escribir un registro (Código de función 06):

Esta función permite al usuario modificar el contenido de los parámetros del dispositivo direccionado. Los valores se envían escalados según el factor de escala correspondiente a cada parámetro, en un rango entre 0000h y FFFFh. Las tramas de comunicación para esta función están ilustradas en las tablas A10 y A11.

Dirección del dispositivo	Código de Función (06)	Dirección del registro		Valor del registro		CRC	
		MSB	LSB	MSB	LSB	MSB	LSB
1 byte	1 byte						

Tabla A10.- Comando para escritura de registro

Dirección del dispositivo	Código de Función (06)	Dirección del registro		Valor del registro		CRC	
		MSB	LSB	MSB	LSB	MSB	LSB
1 byte	1 byte						

Tabla A11.- Reporte de escritura de registro

IMPLEMENTACIÓN PRÁCTICA DEL PROTOCOLO IEC 61850 EN SUBESTACIONES ELÉCTRICAS. PROBLEMAS Y SOLUCIONES

2.1.4 CÓDIGOS DE ERROR

Comúnmente, los errores que aparecen durante las operaciones de acceso y programación de dispositivos tienen relación con datos no válidos en la trama, tal como se ve en la tabla A12. Cuando un dispositivo detecta un error de esta naturaleza, la respuesta al master consiste en la dirección del dispositivo, el código de la función, el código de error y el CRC. Para indicar que la respuesta es una notificación de error, el bit de más peso del código de la función está activado a 1.

Código	Tipo de Error	Significado
01	Función inválida	La función recibida no está permitida en el esclavo.
02	Dirección inválida	La dirección está fuera del rango permitido.
03	Dato inválido	El dato contiene un valor no válido.
04	Falla en el dispositivo	El controlador no responde o ha ocurrido un error.
05	Reconocimiento (ACK)	Se ha aceptado la función y se está procesando.
06	Ocupado	El mensaje ha sido recibido sin error, pero el dispositivo no puede procesarlo en este momento.
07	Reconocimiento Negativo (ACK)	La función solicitada no puede realizarse en este momento.

Tabla A12.- Códigos de error

3 IEC 60870-5-104

3.1 ESPECIFICACIONES DEL PROTOCOLO DE TELECONTROL IEC 60870-5-104

IEC 60870-5-104 (también conocido como IEC 870-5-104) es un estándar internacional, liberado en el año 2000 por el IEC (International Electrotechnical Commission) y basado en la norma IEC 60870-5-101.

IEC 60870-5-104 habilita la comunicación entre una estación de control y una subestación eléctrica a través de una red estándar TCP/IP. El protocolo TCP es usado para conexiones orientadas a la transmisión segura de datos.

IEC 60870-5-104 limita los tipos de información y parámetros de configuración definidos en la norma IEC 60870-5-101, lo cual significa que no todas las funciones definidas en IEC 60870-5-101 están soportadas en el IEC 60870-5-104. Por ejemplo, en IEC 60870-5-104 no se soportan las estampas de tiempo cortas (formato de 3 bytes).

La principal ventaja de IEC 60870-5-104 es que establece comunicación a través de una red estándar, lo cual permite la transmisión simultánea entre diferentes dispositivos o servicios.

El protocolo IEC 60870-5-104 es muy usado por sistemas SCADAS, a nivel de Subestación y de Centros de Control, los cuales disponen del driver IEC 60870-5-104 Cliente para comunicarse con equipos Gateways o RTUs que contienen el protocolo IEC 60870-5-104 Server.

3.1.1 DEFINICIÓN APCI (APPLICATION PROTOCOL CONTROL INFORMATION)

Para detectar el comienzo y el fin de cada ASDU (Application Service Data Unit), cada APCI incluye los siguientes elementos: un carácter de inicio, la especificación de la longitud del ASDU y el campo de control, tal como se muestra en la figura A7. Para propósitos de control, el APDU corresponde únicamente a los campos del APCI.

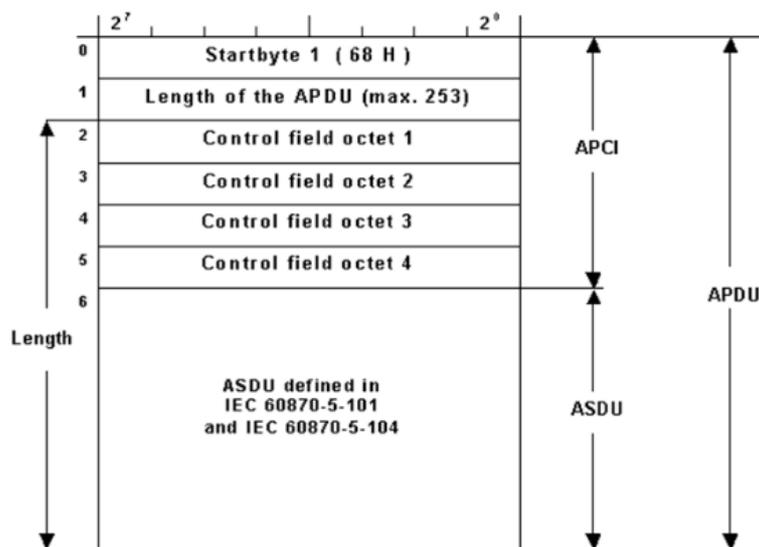


Figura A7.- APCI

68H es el carácter de inicio. El segundo campo corresponde a la longitud del cuerpo del APDU, el cual está formado por los cuatro bytes de los campos de control más la longitud del ASDU.

Existen tres diferentes formatos de mensajes en este protocolo, el cual es identificado en el campo de control tal como se muestra en la figura A8, donde se muestra el campo de control para una trama de información (formato I).

IMPLEMENTACIÓN PRÁCTICA DEL PROTOCOLO IEC 61850 EN SUBESTACIONES ELÉCTRICAS. PROBLEMAS Y SOLUCIONES

En las figuras A9 y A10 se muestran los formatos para tramas de supervisión (S) y de control (U). Este campo de control también es utilizado para la implementación de mecanismos para prevenir la pérdida y duplicación de mensajes.

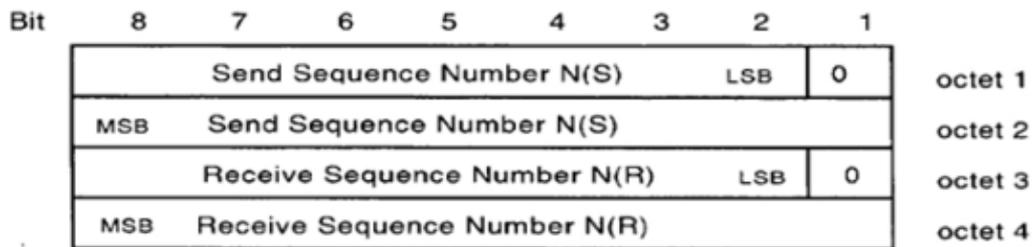


Figura A8.- Campo de control para formato I

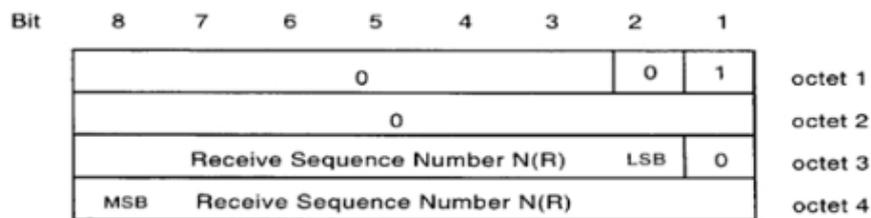


Figura A9.- Campo de control para formato S

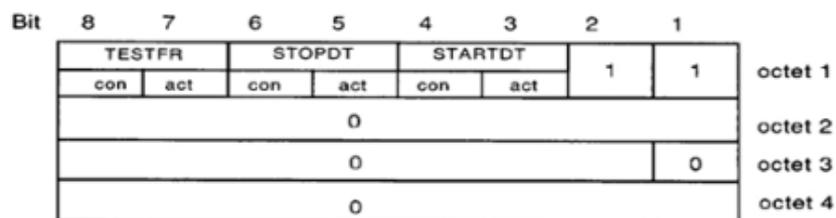


Figura A10.- Campo de control para formato U

3.1.2 PROTECCIÓN CONTRA PÉRDIDA Y DUPLICACIÓN DE TRAMAS

La figura A11 ilustra un escenario donde se transmiten tramas tipo I entre dos estaciones y el mecanismo para el reconocimiento en el envío y recepción de tramas.

IMPLEMENTACIÓN PRÁCTICA DEL PROTOCOLO IEC 61850 EN SUBESTACIONES ELÉCTRICAS. PROBLEMAS Y SOLUCIONES

La nomenclatura utilizada para verificar la integridad de las tramas de comunicación tipo I es la siguiente:

V(S)= Envía estado de la variable

V(R)= Recibe el estado de la variable

Ack= Indica que el DTE ha recibido correctamente todas las tramas de formato I numeradas arriba, incluyendo la actual.

I(a,b)= APDU con formato de información, donde a: número de secuencias enviadas y b: número de secuencias recibidas.

S(b)= APDU con formato de supervisión, donde b: número de secuencias recibidas.

U= APDU de función de control, no numerada.

Cada formato tipo I enviado reconoce las tramas recibidas por la estación origen, en este ejemplo la estación B envía 3 tramas I e indica que no ha recibido ninguna de este tipo en la estación A. Posteriormente la estación A envía 2 tramas I reconociendo las 3 que ha recibido de la estación B.

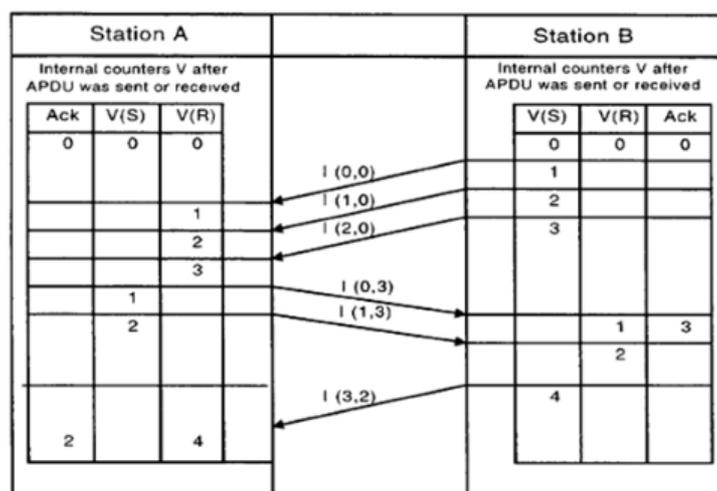


Figura A11.- Secuencia correcta de tramas I

IMPLEMENTACIÓN PRÁCTICA DEL PROTOCOLO IEC 61850 EN SUBESTACIONES ELÉCTRICAS. PROBLEMAS Y SOLUCIONES

3.1.3 RECONOCIMIENTO POR TRAMA S

En la norma IEC 60870-5-104 se definen 4 temporizadores para el mantenimiento de la conexión entre las estaciones.

El disparo de uno de estos temporizadores (t2) hace que se envíe una trampa tipo S para reconocer los paquetes de información que han llegado, tal como se ilustra en la figura A12.

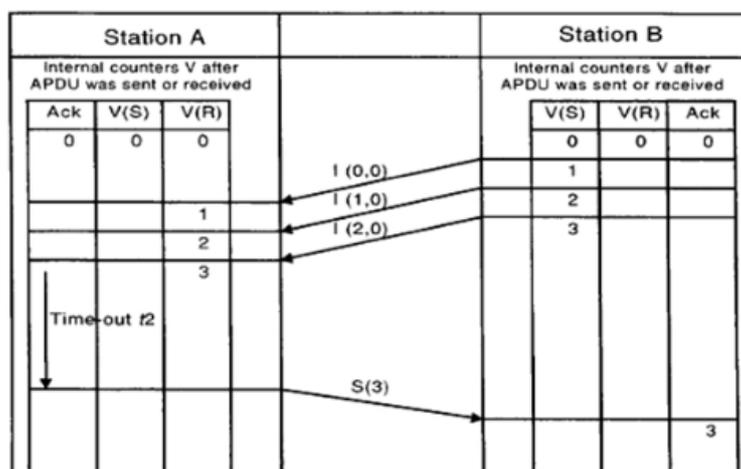


Figura A12.- Envío de tramas S

+ Temporizadores:

IEC 60870-5-104 define cuatro timers para el mantenimiento del enlace.

- T(0): Corresponde al timeout para el establecimiento de la conexión.
- T(1): Timeout de envío o de APDUs de test.
- T(2): Timeout para el reconocimiento en caso de que no lleguen datos.
- T(3): Timeout para el envío de tramas de test en caso de un estado de inactividad prolongado, esta situación es ilustrada en la figura 82, donde la estación B ha enviado dos tramas I a la estación A y esta las reconoce a través de una trama tipo S.

IMPLEMENTACIÓN PRÁCTICA DEL PROTOCOLO IEC 61850 EN SUBESTACIONES ELÉCTRICAS. PROBLEMAS Y SOLUCIONES

Cuando la estación B recibe esta trama de reconocimiento, el temporizador T3 reinicia el conteo. Si se cumple el tiempo y no ha llegado una trama de comunicación desde la estación A, la estación B procede a enviar una comunicación tipo U, para verificar la conectividad con la estación A.

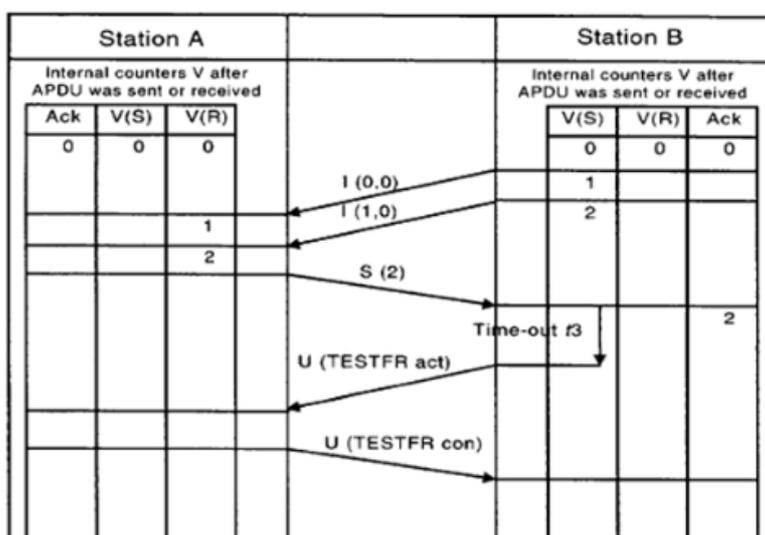


Figura A13.- Trama de Test

3.1.4 ESTRUCTURA GENERAL DE DATOS DE APLICACIÓN

La notación para cada ASDU se especifica dentro de un orden jerárquico, el cual ofrece la posibilidad de usar una notación global y especificaciones en diferentes Companion Standard.

+ Clase de Información Nivel 1:

- Información Moniton M
- Información Control C
- Parámetros P
- Transferencia de archivos F

+ Clase de Información Nivel 2:

- Información Monitor: Single Point Information M_SP Medidas M_ME
- Información Control: Double_Command C_DC
- Parámetros: Parámetros de Medidas P_ME
- Transferencia de archivos: Directorio F_DR

+ Clase de Información Nivel 3:

- El tercer nivel se usa para diferentes Companion Standards, este tipo específico de ASDU, el uso de Time Tag. La primera letra de este nivel indica si incluye la estampa, la segunda especifica el tipo de dato; cada Companion standard puede definir su propio tipo en orden alfabético. Medidas Normalizadas con tiempo M_ME_TA Medidas Punto flotante sin tiempo M_ME_NB.

3.1.5 FUNCIONES

Las funciones utilizadas en la norma IEC 60870-5-104 son definidas en la especificación IEC 60870-5-5, y permite la comunicación de la estación controladora equivalente al cliente y la estación controlada o servidor.

3.1.6 INICIALIZACIÓN DE LA ESTACIÓN PRIMARIA

Función encargada del establecimiento de la comunicación entre la estación controladora y la estación controlada. Función definida en los apartados 6.1.5 a 6.1.7 de la norma IEC 60870-5-5. El flujo de información en esta función es el expresado en la figura A14, donde la estación maestra inicializa la estación esclava.

IMPLEMENTACIÓN PRÁCTICA DEL PROTOCOLO IEC 61850 EN SUBESTACIONES ELÉCTRICAS. PROBLEMAS Y SOLUCIONES

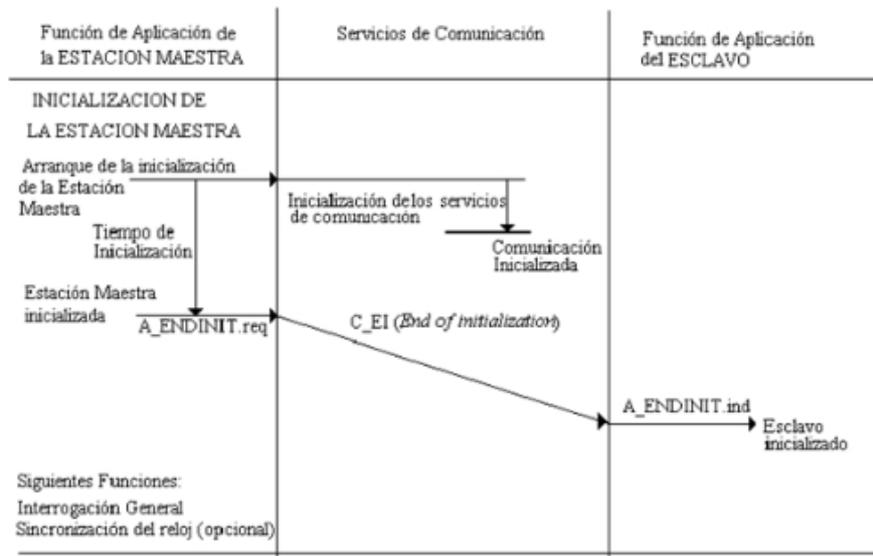


Figura A14.- Inicialización de la estación

3.1.7 ADQUISICIÓN DE DATOS POR POLLING

La estación controladora puede solicitar el valor de una variable a través de esta función. Está especificada en el apartado 6.2 de la norma IEC 60870-5-5. La figura A15 muestra los mensajes transmitidos entre la estación principal y la secundaria, cuando la primera solicita el estado de un objeto de información desde la segunda.

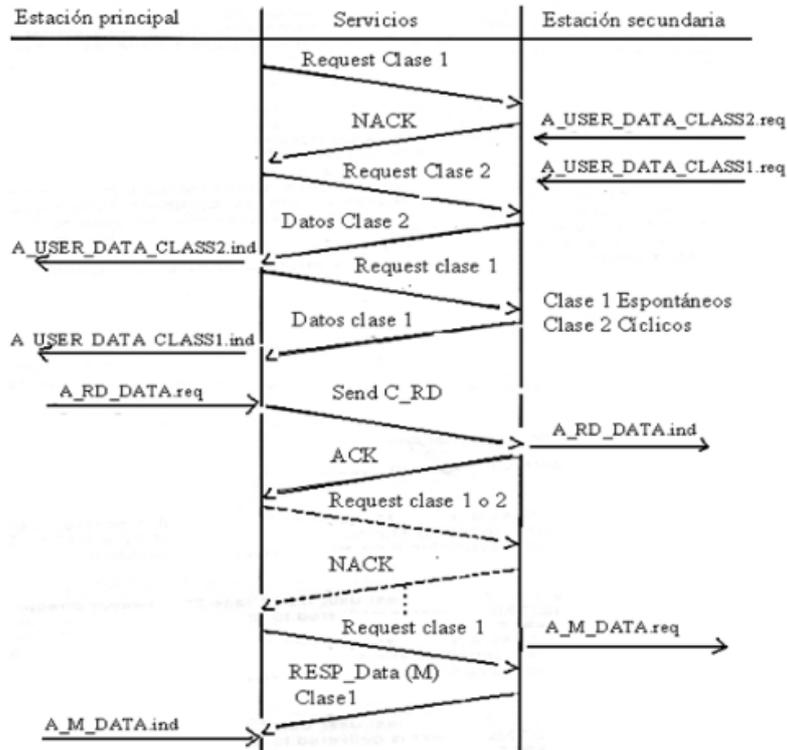


Figura A15.- Adquisición de datos por encuesta

3.1.8 INTERROGACIÓN GENERAL

En esta función, la estación controladora pide el reporte de todos los objetos de información definidos en la estación controlada. Está especificada en el apartado 6.6 de IEC 60870-5-5. La figura A16 muestra el funcionamiento de la interrogación general, donde la estación primaria hace el requerimiento a la secundaria de un grupo de objetos de información. Para esto, la secundaria debe enviar tramas de reconocimiento ante la solicitud de la primaria y cuando finalice la transmisión de los objetos de información envía una trama que lo indica.

IMPLEMENTACIÓN PRÁCTICA DEL PROTOCOLO IEC 61850 EN SUBESTACIONES ELÉCTRICAS. PROBLEMAS Y SOLUCIONES

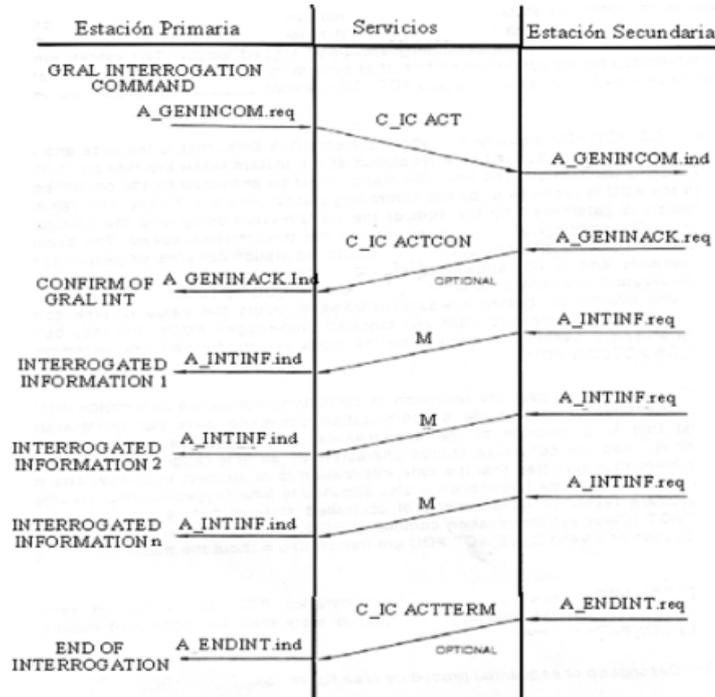


Figura A16.- Interrogación General

3.1.9 TRANSMISIÓN CÍCLICA DE DATOS

Con esta función, los objetos de información de la subestación son transmitidos periódicamente hacia la estación de control. No es necesario que la estación controladora solicite la transmisión cíclica de los datos, puesto que esta función es configurada únicamente en la estación controlada, tal como se muestra en la figura A17.

La transmisión de estos objetos de información no necesita tramas especiales de reconocimiento.

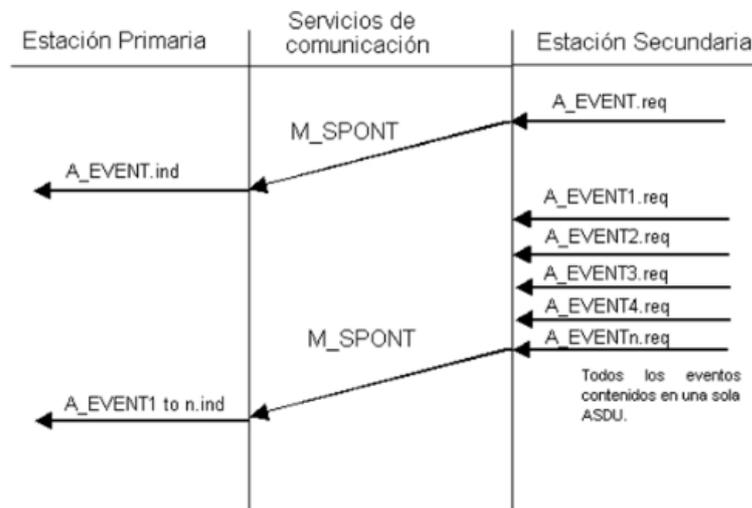


Figura A18.- Transmisión de eventos

3.1.11 SINCRONIZACIÓN DE RELOJ

Función ordenada por la estación controladora y ejecutada en la estación controlada, tiene como finalidad la sincronización del reloj en la segunda. Está definida en el apartado 6.7 de IEC 60870-5-5.

La figura A19 muestra como la estación primaria inicia la sincronización del reloj de la estación secundaria, en este caso, lo hace debido a que un evento reportado desde la estación secundaria difiere en gran proporción del reloj de la estación primaria.

Pero no siempre la sincronización del reloj, se presenta por este motivo. En muchas ocasiones, se sincroniza el reloj después de inicializar la subestación.

IMPLEMENTACIÓN PRÁCTICA DEL PROTOCOLO IEC 61850 EN SUBESTACIONES ELÉCTRICAS. PROBLEMAS Y SOLUCIONES

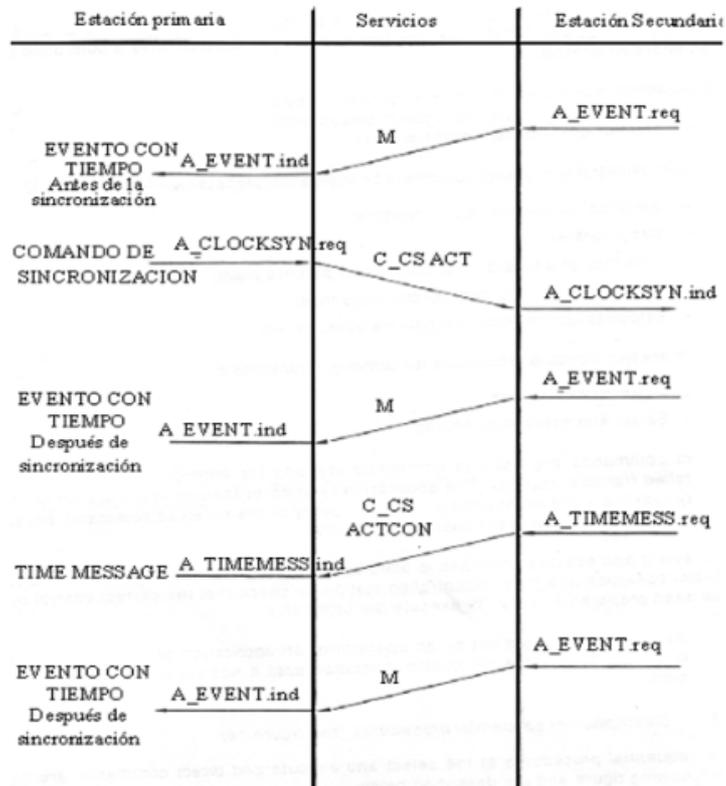


Figura A19.- Sincronización de reloj

3.1.12 TRANSMISIÓN DE COMANDOS

Esta función le permite a la estación controladora operar sobre la subestación. Es así como puede fijar consignas analógicas, abrir o cerrar interruptores, seccionadores, en fin, modificar variables en las subestaciones eléctricas.

Esta función está definida en la sección 6.8 de IEC 60870-5-5. La figura A20 muestra la comunicación para la transmisión de comandos desde la estación principal hacia la subestación. Muchas de estas comunicaciones son opcionales, de acuerdo a la configuración del sistema, por ejemplo, se hacen opcionales las tramas de terminación de la ejecución del comando.

IMPLEMENTACIÓN PRÁCTICA DEL PROTOCOLO IEC 61850 EN SUBESTACIONES ELÉCTRICAS. PROBLEMAS Y SOLUCIONES

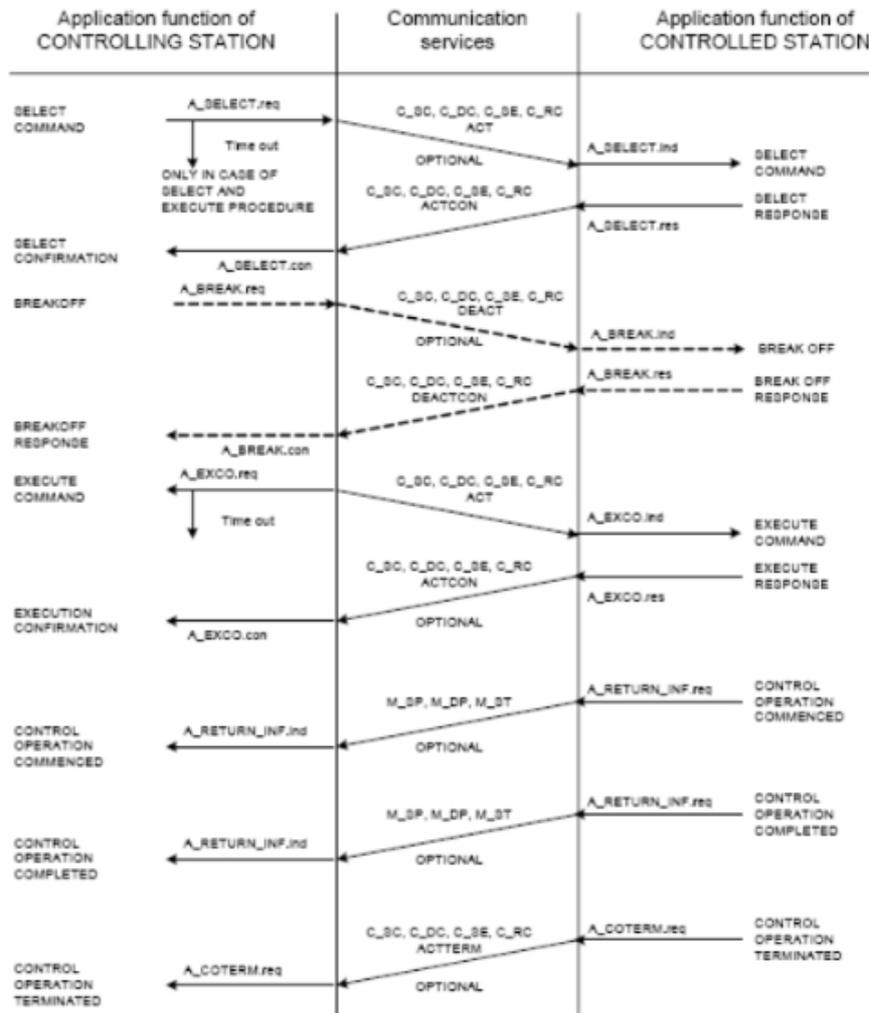


Figura A20. - Transmisión de comandos

3.1.13 UNIDAD DE DATOS DE LA CAPA DE APLICACIÓN ASDU

El ASDU se compone de un bloque para Datos de Identificar de Unidad y de uno o más objetos de información, tal como muestra la figura A21.

El bloque de datos de identificador de unidad tiene siempre la misma estructura para todos los ASDUs. Los objetos de información de un ASDU son siempre de la misma estructura y tipo, la cual es definida en el campo TYPE IDENTIFICATION.

IMPLEMENTACIÓN PRÁCTICA DEL PROTOCOLO IEC 61850 EN SUBESTACIONES ELÉCTRICAS. PROBLEMAS Y SOLUCIONES

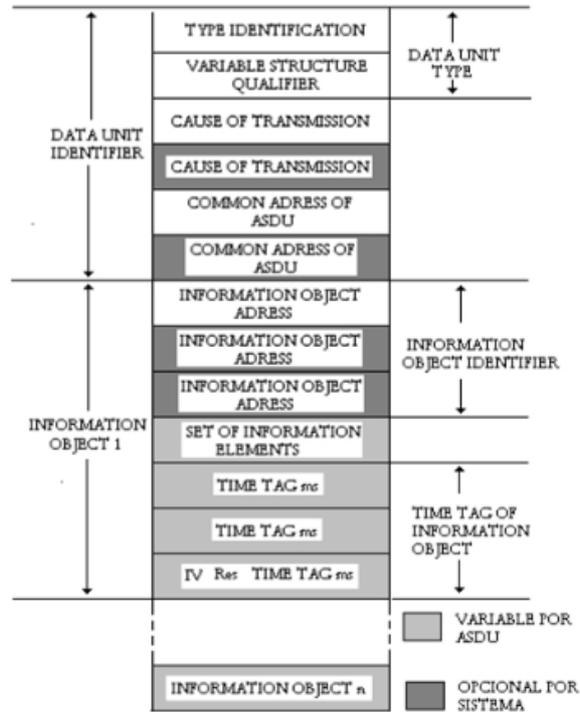


Figura A21.- Unidad de dato del servicio de aplicación