

**PASARELA DE COMUNICACIÓN ENTRE MODBUS E IEC 60870-5-104 -
CASO DE ESTUDIO PARA EL SECTOR ELÉCTRICO**



Cristian Darío Alvira Manios

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
DEPARTAMENTO DE ELECTRONICA, INSTRUMENTACION Y CONTROL
POPAYÁN
Noviembre de 2009**

**PASARELA DE COMUNICACIÓN ENTRE MODBUS E IEC 60870-5-104 -
CASO DE ESTUDIO PARA EL SECTOR ELÉCTRICO**

Cristian Darío Alvira Manios

**Documentos Anexos al Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero en Automática Industrial**

**Director
Ing. Msc. JUAN FERNANDO FLOREZ MARULANDA**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
DEPARTAMENTO DE ELECTRONICA, INSTRUMENTACION Y CONTROL
POPAYÁN
Noviembre de 2009**

TABLA DE CONTENIDO

ANEXO A.....	1
ESPECIFICACIONES DEL PROTOCOLO DE TELECONTROL IEC 60870-5-104.....	1
Definición APCI (Application Protocol Control Information).....	1
Protección contra Pérdida y Duplicación de Tramas.....	3
Reconocimiento por trama S.....	5
Temporizadores.....	5
Estructura general Datos de Aplicación.....	6
Clase de Información Nivel 1:.....	7
Clase de información de Nivel 2.....	7
Clase de información de Nivel 3.....	7
Funciones.....	8
Inicialización de la estación primaria.....	8
Adquisición de datos por Polling.....	9
Interrogación General.....	10
Transmisión Cíclica de datos.....	11
Adquisición de Eventos.....	11
Sincronización de Reloj.....	12
Transmisión de Comandos.....	13
Unidad de datos de la capa de aplicación ASDU.....	15
Type Identification.....	16
Variable Structure Qualifier.....	17
Cause of Transmission:.....	17
Common Address of ASDU.....	18
Information Object Address.....	18
ANEXO B.....	20
ESPECIFICACIONES DEL PROTOCOLO INDUSTRIAL MODBUS.....	20

Modo de transmisión.....	20
Formato general de las tramas.....	20
Dirección.....	21
Función.....	22
Datos	22
Control de Errores	22
Funciones MODBUS	23
Leer N bits (Código de función 01 o 02)	23
Leer N Registros (Código de función 03 o 04).....	24
Función para escribir 1 bit (Código de función 05)	24
Función para escribir un registro (Código de función 06)	25
Códigos de error.....	25
ANEXO C.....	27
CÓDIGO FUENTE DE GM104.	27
ANEXO D.....	31
Manual de Usuario	31
Nuevo Proyecto.....	31
Comunicaciones	31
Mapear Variables a Centro de Control.....	33

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. MODO ASCII	21
TABLA 2. MODO RTU	21
TABLA 3. FUNCIONES MODBUS	22
TABLA 4. INTERROGACIÓN DE LECTURA BINARIA	23
TABLA 5. RESPUESTA A LECTURA BINARIA	23
TABLA 6. INTERROGACIÓN PARA LA LECTURA DE REGISTROS	24
TABLA 7. RESPUESTA A LECTURA DE REGISTROS	24
TABLA 8. COMANDO PARA ESCRITURA DE BIT	25
TABLA 9. REPORTE DE ESCRITURA DE BIT	25
TABLA 10. COMANDO PARA ESCRITURA DE REGISTRO.	25
TABLA 11. REPORTE DE ESCRITURA DE REGISTRO	25
TABLA 12. CÓDIGOS DE ERROR	26

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. APCI	2
FIGURA 2. CAMPO DE CONTROL PARA FORMATO I	3
FIGURA 3. CAMPO DE CONTROL PARA FORMATO S	3
FIGURA 4. CAMPO DE CONTROL EN FORMATO U	3
FIGURA 5. SECUENCIA CORRECTA DE TRAMAS I	4
FIGURA 6. ENVÍO DE TRAMAS S	5
FIGURA 7. TRAMA DE TEST	6
FIGURA 8. INICIALIZACIÓN DE LA ESTACIÓN	8
FIGURA 9. ADQUISICIÓN DE DATOS POR ENCUESTA	9
FIGURA 10. INTERROGACIÓN GENERAL	10
FIGURA 11. TRANSMISIÓN CÍCLICA DE DATOS	11
FIGURA 12. TRANSMISIÓN DE EVENTOS	12
FIGURA 13. SINCRONIZACIÓN DE RELOJ	13
FIGURA 14. TRANSMISIÓN DE COMANDOS	14
FIGURA 15. UNIDAD DE DATO DEL SERVICIO DE APLICACIÓN ASDU	15
FIGURA 16. COMMON ADDRESS OF ASDU (1 BYTE)	18
FIGURA 17. INFORMATION OBJECT ADDRESS CON 3 BYTES	19
FIGURA 18. COMUNICACIÓN MODBUS	21
FIGURA 19. PROYECTO TASK	27
FIGURA 20. PROYECTO MODELO	28
FIGURA 21. PROYECTO COMMUNICATION	29
FIGURA 22. PROYECTO MAIN	30
FIGURA 23. NUEVO PROYECTO	31
FIGURA 24. DRIVERS DE COMUNICACIÓN	32
FIGURA 25. AGREGAR DISPOSITIVO	33
FIGURA 26. PUBLICAR LAS VARIABLES MODBUS	34
FIGURA 27. TRAMAS DE COMUNICACIÓN	34
FIGURA 28. ACCIONES PARA INICIAR O DEPURAR LA APLICACIÓN	35

ANEXO A.

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.

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 caracter de inicio, la especificación de la longitud del ASDU y el campo de control, tal como se muestra en la figura 1.

Cada APDU (Application Protocol Data Unit) puede ser transferido. Para propósitos de control, el APDU corresponde únicamente a los campos del APCI.

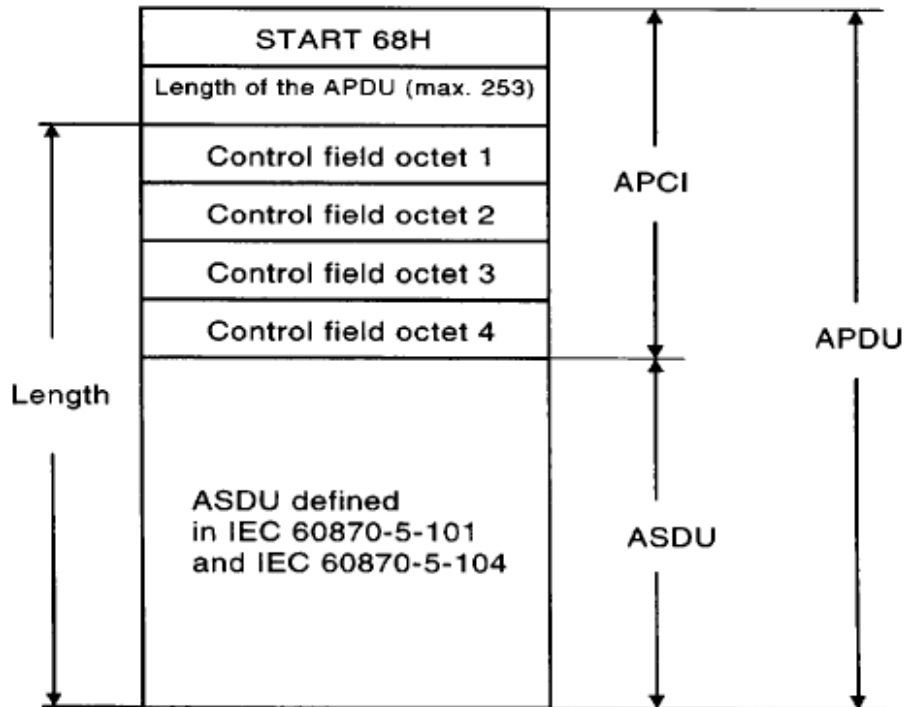


Figura 1. APCI

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.

Los campos de control definen la información necesaria para la protección contra la pérdida y duplicación de mensajes. Además, indican el tipo de formato transmitido, tal como se muestra en la figura 2, donde se muestra el campo de control para un formato de transferencia de información (formato I), o la figura 3 donde se indica el formato para una trama de supervisión (S) y de control (U) como en la figura 4.

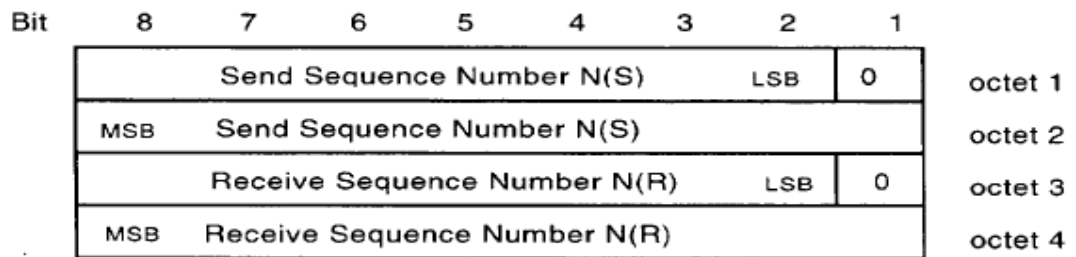


Figura 2. Campo de control para formato I

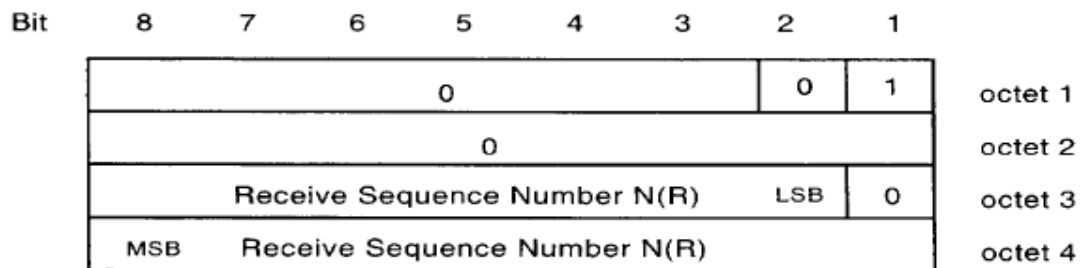


Figura 3. Campo de control para formato S

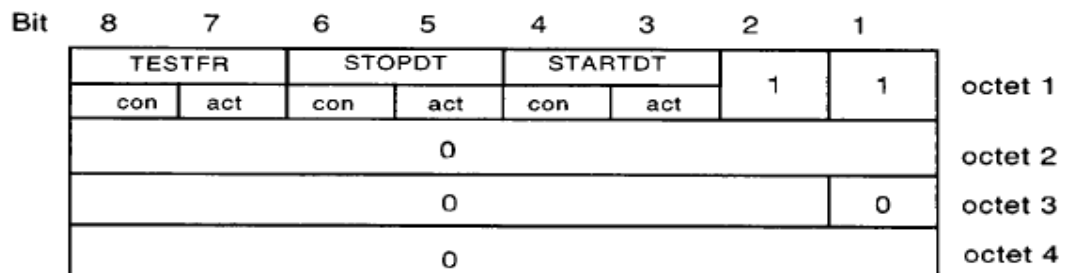


Figura 4. Campo de control en formato U

Protección contra Pérdida y Duplicación de Tramas

La figura 5 ilustra una secuencia de tramas tipo I. Cada formato tipo I enviado reconoce las tramas recibidas por la estación origen. En este ejemplo, la estación B envía tres tramas I, indicando además que no ha recibido ninguna. Posteriormente la estación A envías dos tramas I reconociendo las tres que ha recibido de la estación B.

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.

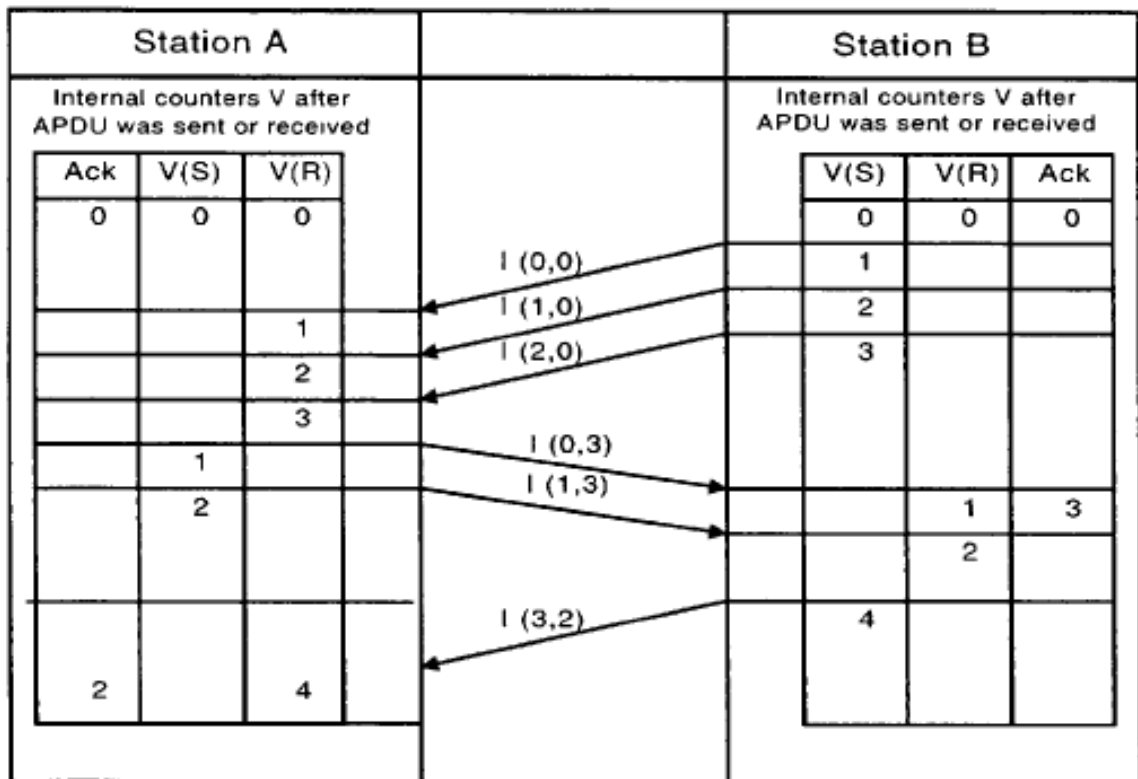


Figura 5. Secuencia correcta de tramas I

Reconocimiento por trama S

En la norma IEC 60870-5-104 se definen 4 temporizadores para el mantenimiento de la conexión entre la estación de control y la subestación.

El disparo de uno de estos temporizadores (t_2) hace que se envíe una trama tipo S para reconocer los paquetes de información que han llegado, tal como se ilustra en la figura 6.

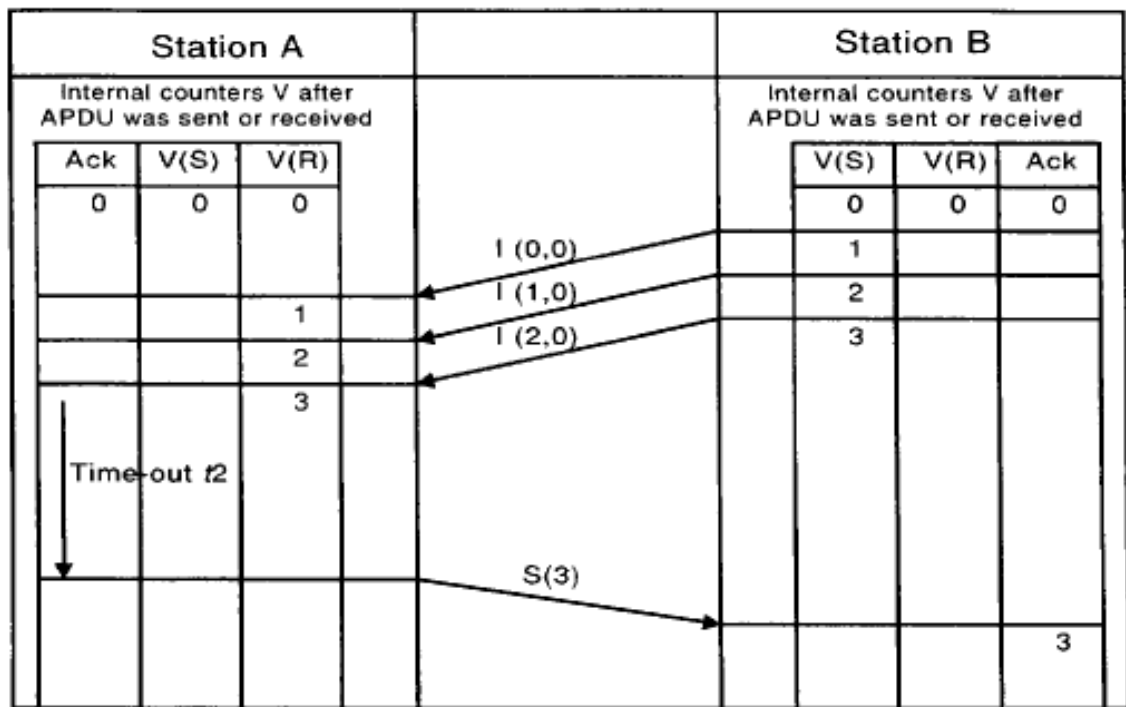


Figura 6. Envío de tramas S

Temporizadores

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

- T(0) : Corresponde al tiempo fuera para el establecimiento de la conexión.
- T(1) : Tiempo fuera de envío o de APDUs de test.
- T(2) : Tiempo fuera para el reconocimiento en caso de que no lleguen datos

- T(3) : Tiempo fuera para el envío de tramas de test en caso de un estado de inactividad prolongado, esta situación es ilustrada en la figura 7, donde la estación B ha enviado dos tramas I a la estación A y esta las reconoce a través de una trama tipo S.

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 procesa a enviar una comunicación tipo U, para verificar la conectividad con la estación A.

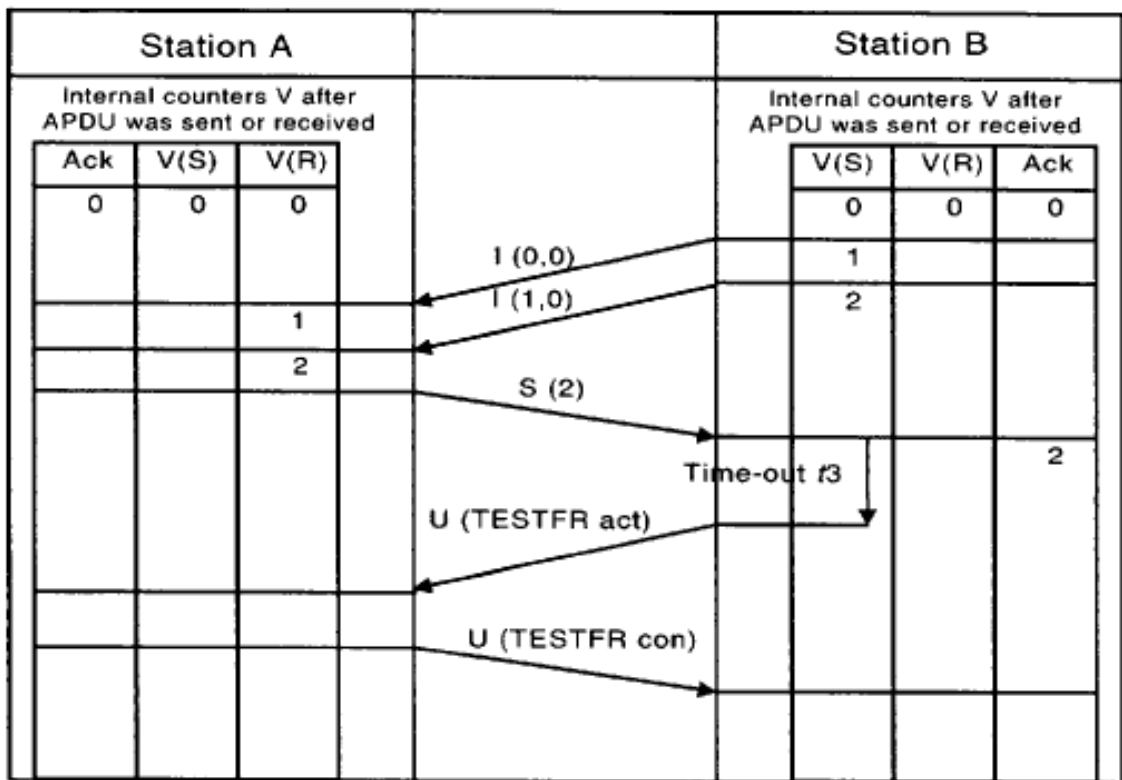


Figura 7. Trama de Test

Estructura general 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 Monitor M
- Información Control C
- Parámetros P
- Transferencia de archivos F

Clase de información de 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 de Nivel 3

El tercer nivel se usa para diferentes Companion Standards, éste define el tipo específico de ASDU, el uso de Time Tag.

La primera letra de este nivel indica si es con tiempo o no, la segunda especifica el tipo, 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

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.

Inicialización de la estación primaria

Función encargada del establecimiento entre la estación controladora y la estación controlada. Función definida en los apartes 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 8, donde la estación maestra inicializa la estación esclava.

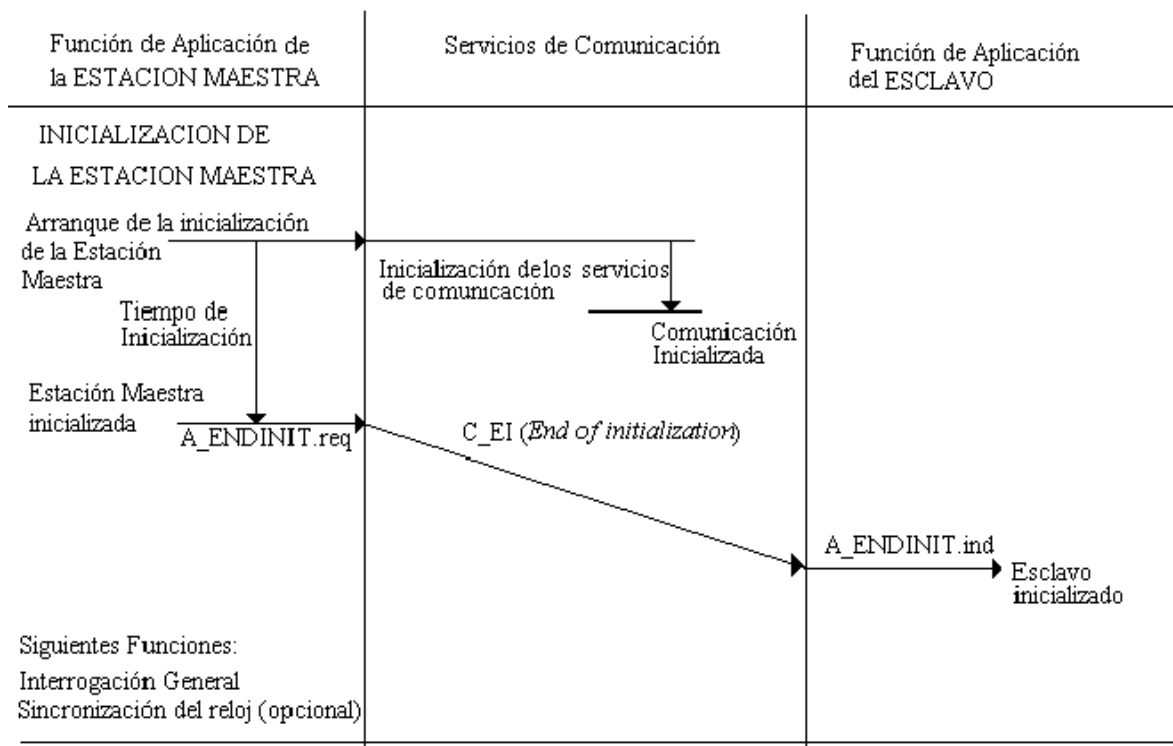


Figura 8. Inicialización de la estación

Adquisición de datos por Polling

La estación controladora puede solicitar el valor de una variable a través de esta función. Está especificada en el aparte 6.2 de la norma IEC 60870-5-5. La figura 9 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.

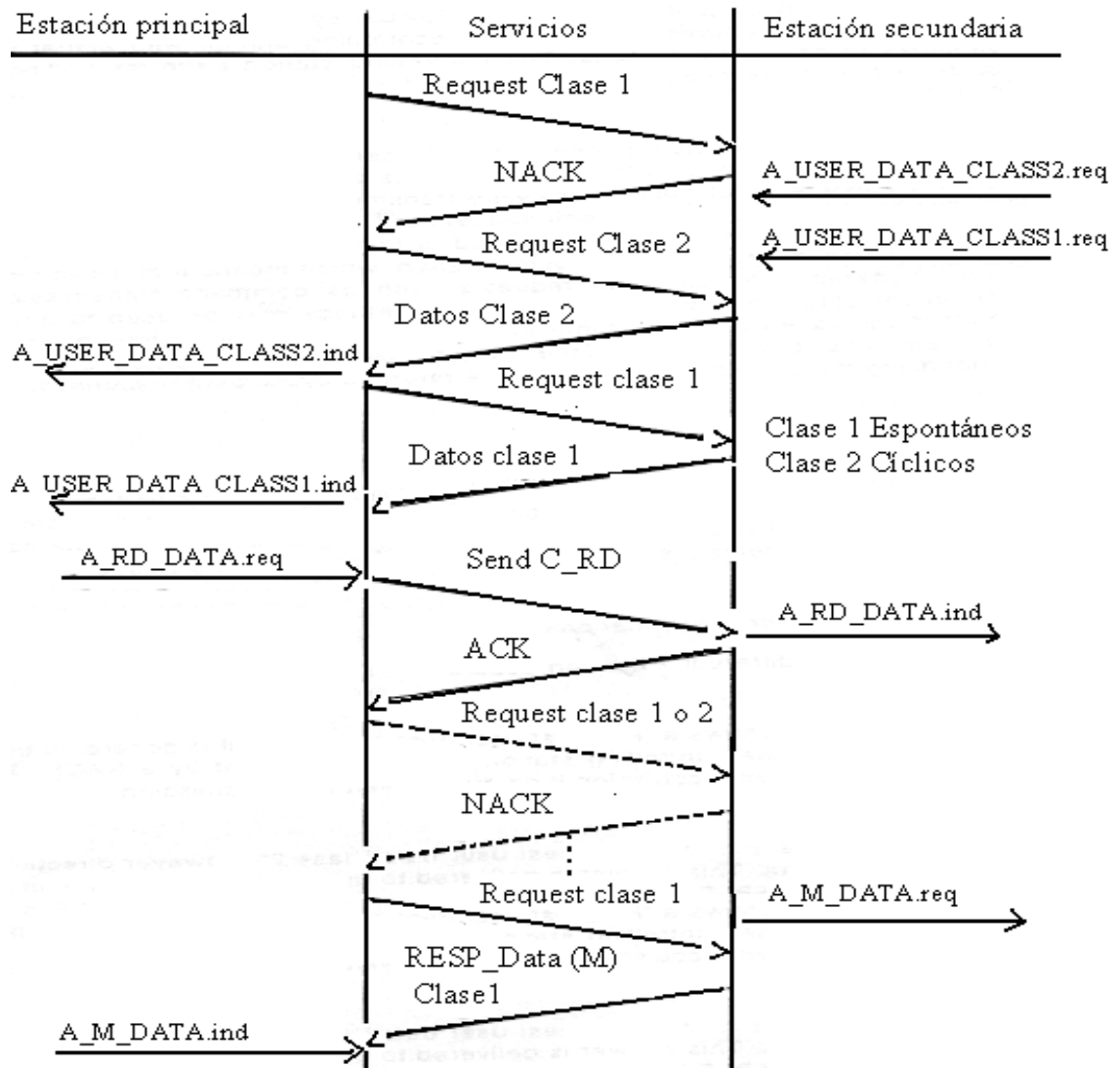


Figura 9. Adquisición de datos por encuesta

Interrogación General

En esta función, la estación controladora pide el reporte de todos los objetos de información definidos en la estación controlada. Especificada en el aparte 6.6 de IEC 60870-5-5. La figura 10 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.

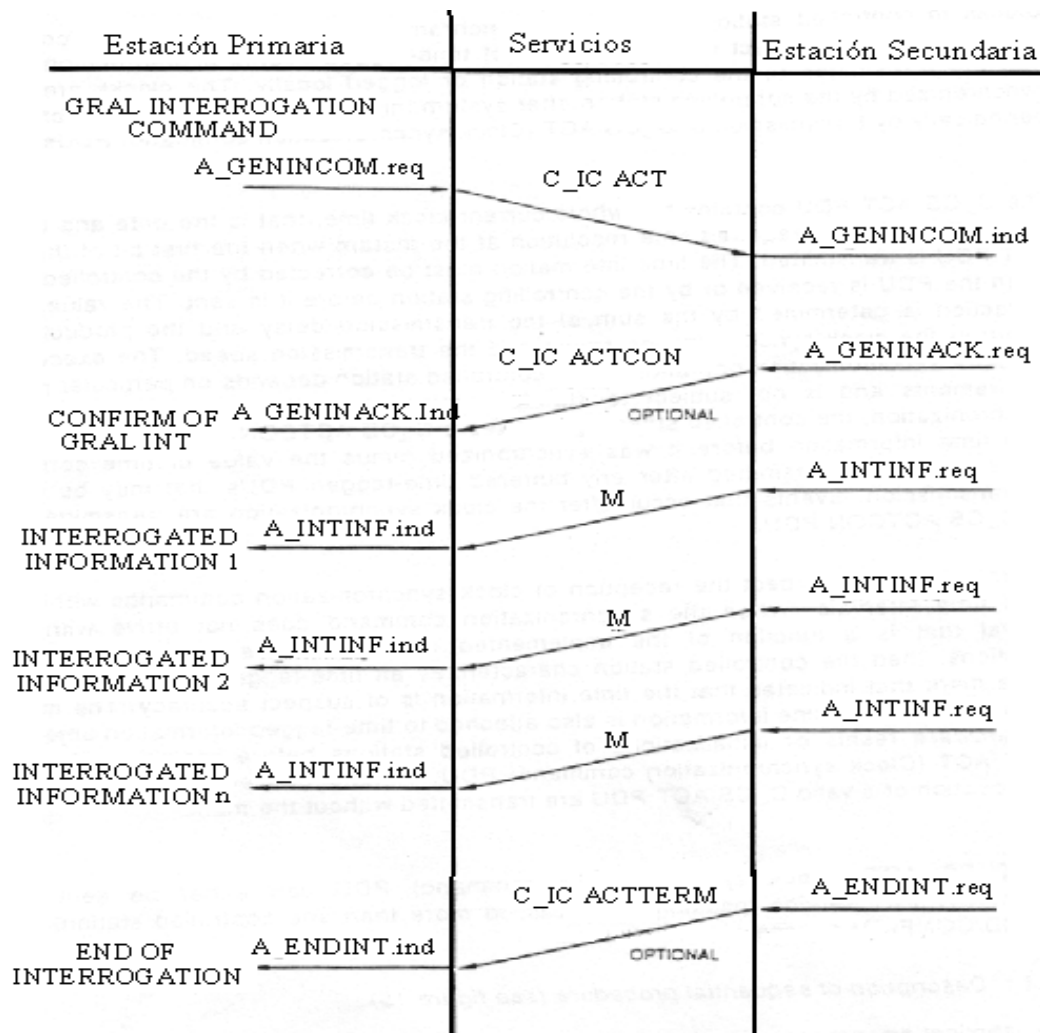


Figura 10. Interrogación General

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 11. La transmisión de estos objetos de información no necesitan tramas especiales de reconocimiento.

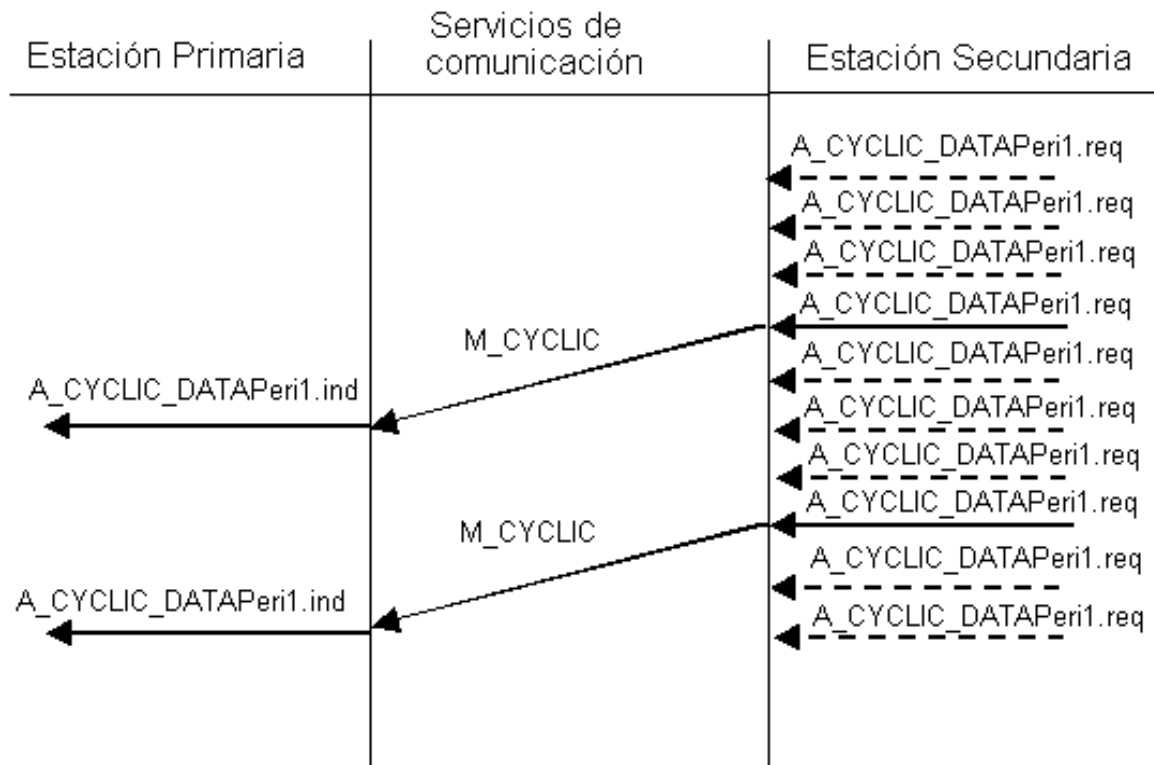


Figura 11. Transmisión cíclica de datos

Adquisición de Eventos

La actualización del valor de los objetos de información en una subestación son automáticamente reportados a la estación controladora. Función definida en el aparte 6.4 de IEC 60870-5-5. La figura 12 muestra la comunicación establecida para la transmisión de eventos desde la estación secundaria hacia la estación primaria. Tampoco son requeridas tramas especiales de reconocimiento.

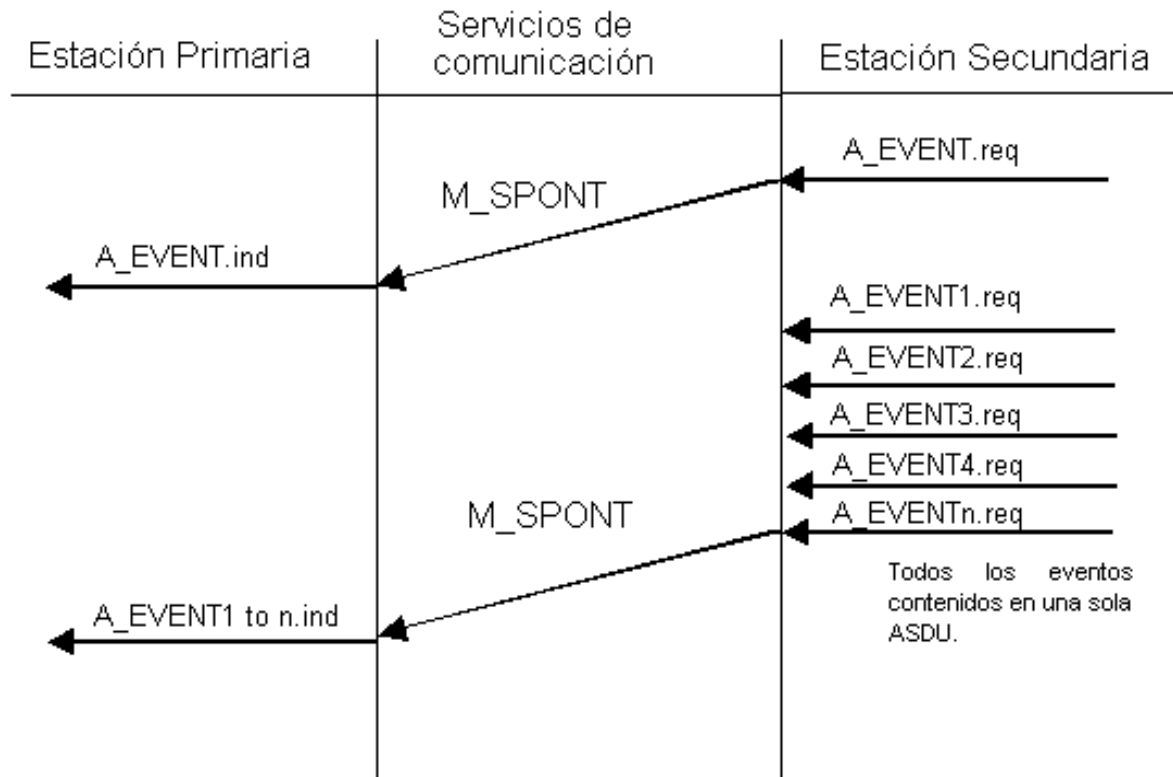


Figura 12. Transmisión de eventos

Sincronización de Reloj

Función ordenada por la estación controladora y ejecutada con la subestación. Tiene como finalidad la sincronización del reloj de la subestación. Está definida en el aparte 6.7 de IEC 60870-5-5. La figura 13 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.

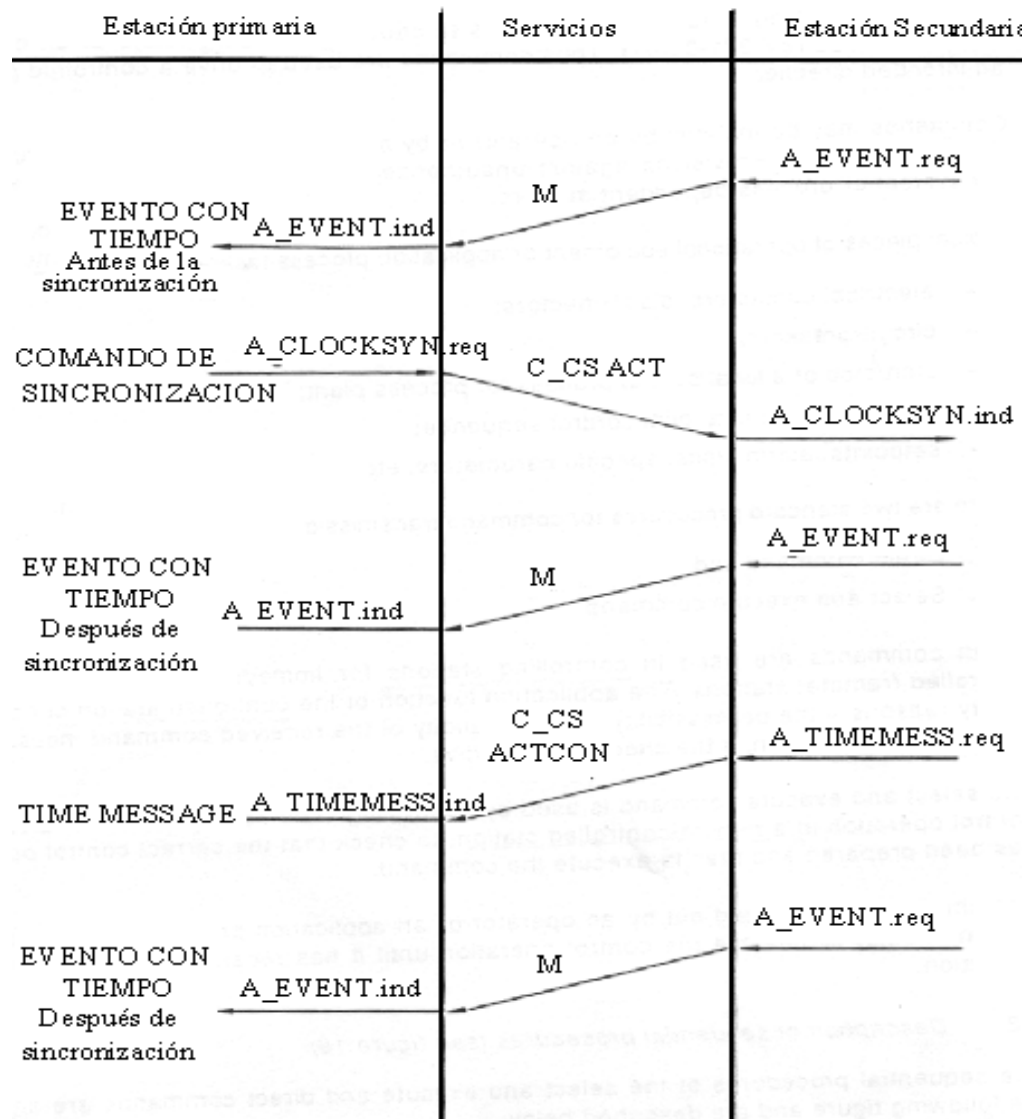


Figura 13. Sincronización de reloj

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 14 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.

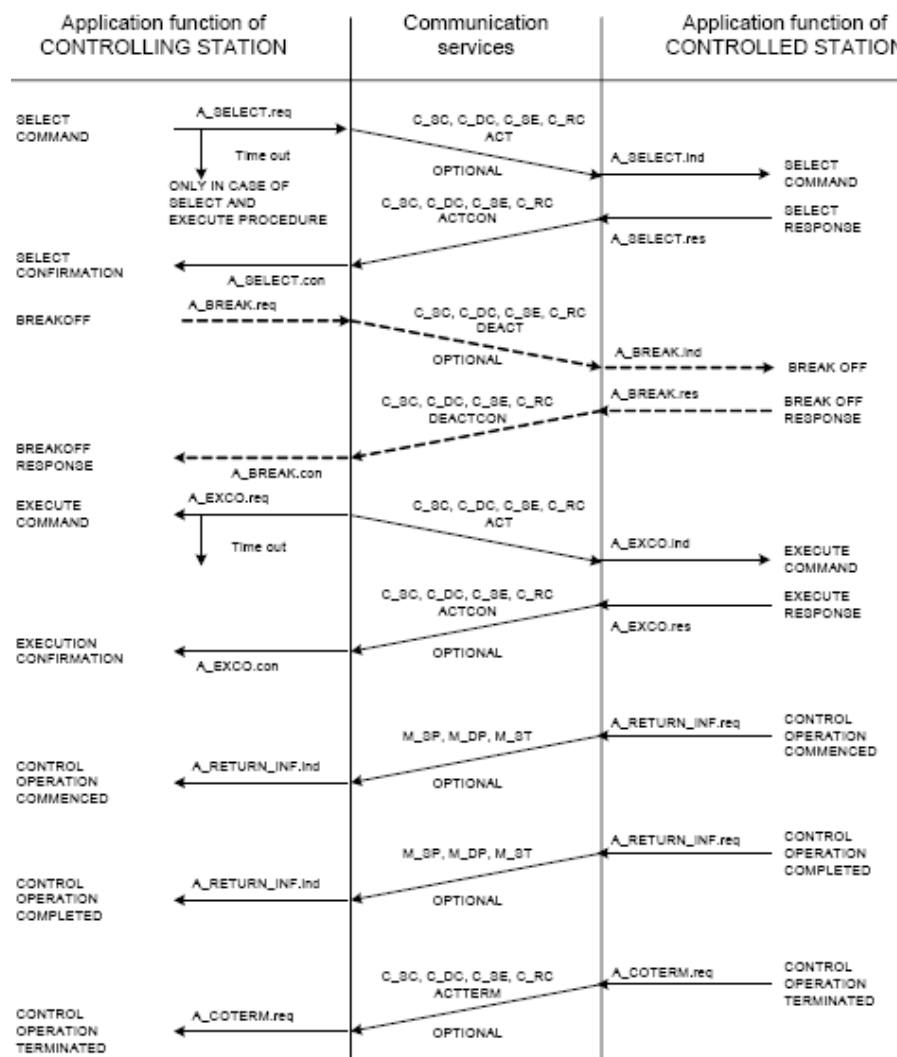


Figura 14. Transmisión de comandos

Unidad de datos de la capa de aplicación ASDU

El ASDU se compone de un bloque para Datos de Identificador de Unidad y de uno o mas objetos de información, tal como lo muestra la figura 15.

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.

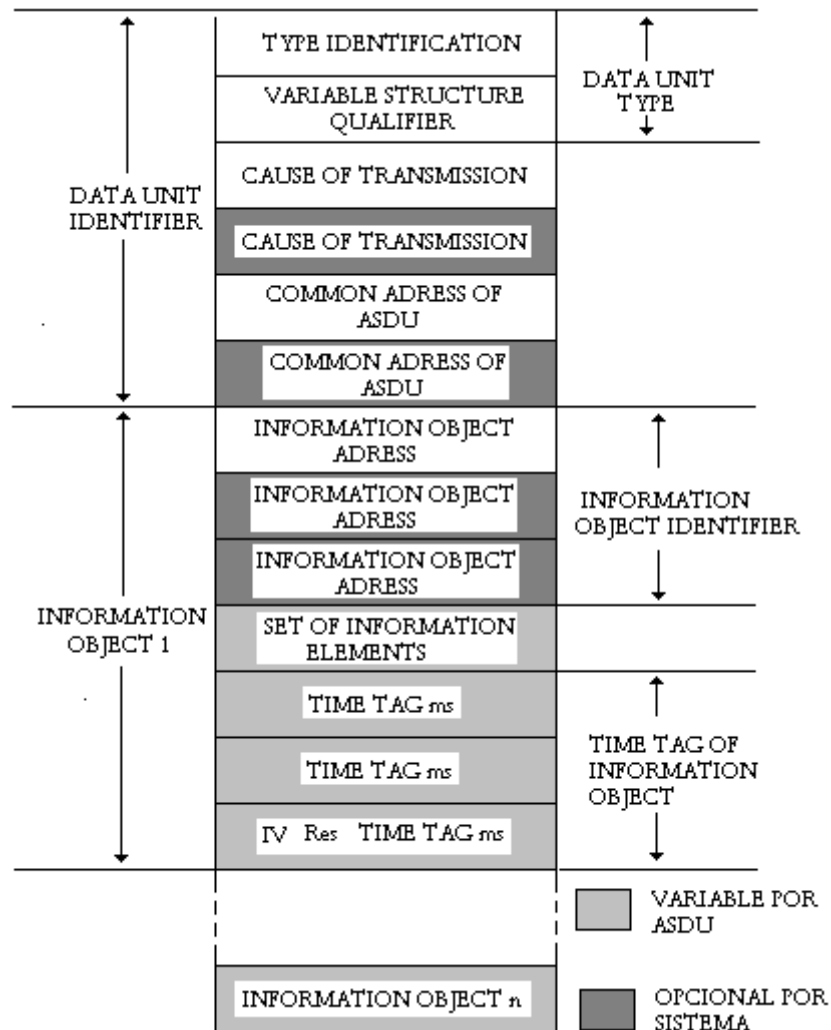


Figura 15. Unidad de dato del servicio de aplicación ASDU

Type Identification

Define la estructura, el tipo y el formato del objeto de información. Todos los objetos de información de una ASDU específica poseen la misma estructura, tipo y formato.

DIRECCIÓN MONITOR:

- <1> M_SP_NA_1 (Single-point Information)
- <3> M_DP_NA_1 (Double-point Information)
- <5> M_ST_NA_1 (Step Position Information)
- <7> M_BO_NA_1 (Bitstring of 32 bit)
- <9> M_ME_NA_1 (Measured value, normalized value)
- <11> M_ME_NB_1 (Measured value, scaled value)
- <13> M_ME_NC_1 (Measured value, short floating point number)
- <15> M_IT_NA_1 (Integrated Totals)
- <20> M_PS_NA_1 (Packet single-point Information w status change detection)
- <21> M_ME_ND_1 (Measured value, normalized value w quality descriptor)
- <70> M_EI_NA_1 (End of initialization)

Con estampa de tiempo

- <30> M_SP_TB_1 (Single-point information with time tag CP56time2a)
- <31> M_DP_TB_1 (Double-point information with time tag CP56time2a)
- <32> M_ST_TB_1 (Step position information with time tag CP56time2a)
- <33> M_BO_TB_1 (Bitstring of bit with time tag CP56time2a)
- <34> M_ME_TD_1 (Measured value, normalized value with time tag CP56time2a)
- <35> M_ME_TE_1 (Measured value, scaled value with time tag CP56time2a)
- <36> M_ME_TF_1 (Measured value, short floating point value with time tag CP56time2a)
- <37> M_IT_TB_1 (Integrated Totals with time tag CP56time2a)
- <38> M_EP_TD_1 (Event of protection equipment with time tag CP56time2a)

<39> M_EP_TE_1 (Packed start events of protection equipment with time tag CP56time2a)

<40> M_EP_TF_1 (Packed output circuit information of protection equipment with time tag CP56time2a)

DIRECCIÓN CONTROL

<45> C_SC_NA_1 (Single command)

<46> C_DC_NA_1 (Double command)

<47> C_RC_NA_1 (Regulating step command)

<48> C_SE_NA_1 (Set point command, normalized value)

<49> C_SE_NB_1 (Set point command, scaled value)

<50> C_SE_NC_1 (Set point command, short floating point number)

<51> C_BO_NA_1 (Bitstring of 32 bits)

<100> C_IC_NA_1 (Interrogation Command)

<101> C_CI_NA_1 (Counter Interrogation Command)

<102> C_RD_NA_1 (Read Command)

<103> C_CS_NA_1 (Clock Synchronization Command)

<105> C_RP_NA_1 (Reset Process Command)

Variable Structure Qualifier

Contiene el tipo de secuencia y el número de Information Objects. SQ=0 Cada Information Object tiene su respectivo IOA.

SQ: 1 solo tiene la primera IOA.

Number: Número de Objects en el ASDU.

Cause of Transmission:

T= Test

P/N = (0/1) Confirmación Positiva o Negativa.

- <1> periodic, cyclic
- <2> Background scan
- <3> spontaneous
- <4> initialized
- <5> requested
- <6> activation
- <7> activation confirmation
- <8> deactivation
- <9> deactivation confirmation
- <10> activation termination
- <20> interrogated by general interrogation
- <21> interrogated by group1 - 16

Common Address of ASDU

Está determinada por un parámetro fijo del sistema (1 o 2 bytes), corresponde a la dirección de la estación, tal como lo muestra la figura 16.

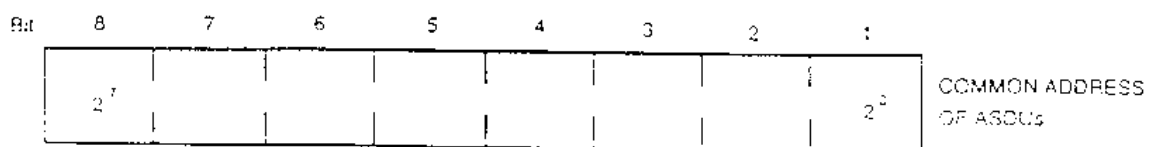


Figura 16. Common Address of ASDU (1 byte)

Information Object Address

La longitud del Information Object Address es de uno, dos o tres bytes, el cual es un parámetro configurado para todo el sistema, como se ve en la figura 17.

Esta dirección es usada como una dirección de destino para tramas en dirección control y como origen en dirección monitor.

En todos los casos, el primer byte corresponde al menos significativo. Cuando se configura la dirección con valor cero, se considera que la dirección es irrelevante. Se pueden disponer de todas las demás direcciones posibles.

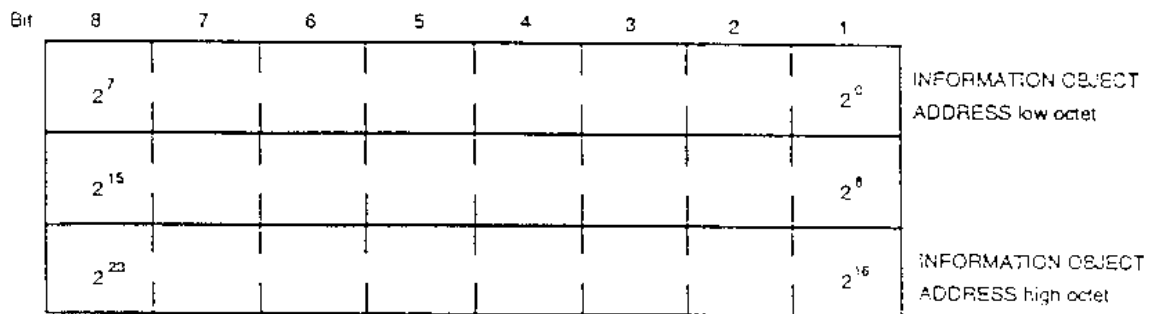


Figura 17. Information Object Address con 3 bytes

ANEXO B

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 información de un dispositivo, cómo debe responder éste, y cómo 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.

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.

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 18. Esta secuencia de caracteres define la trama, tal como se ilustran en las tablas 1 y 2. 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.

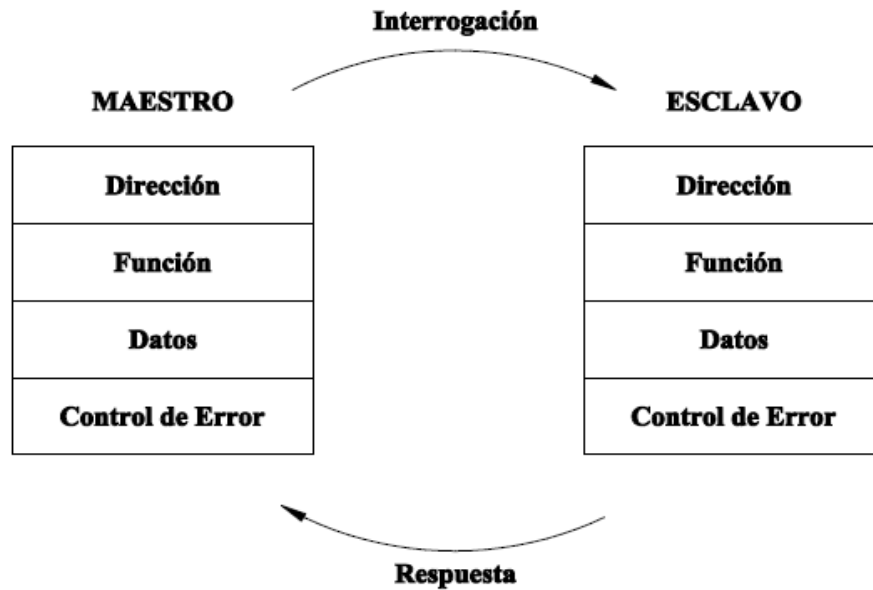


Figura 18. Comunicación MODBUS

Tabla 1. Modo ASCII

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 2. Modo RTU

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	

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.

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 3.

Tabla 3. Funciones MODBUS

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

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. 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.

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 4 y 5.

Tabla 4. Interrogación de lectura binaria

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 5. Respuesta a 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		

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). Las tramas de comunicación para esta función está definido en las tablas 6 y 7.

Tabla 6. Interrogación para la lectura de registros

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 7. Respuesta a 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

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 8 y 9.

Tabla 8. Comando para escritura de bit

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

Tabla 9. Reporte de escritura de bit

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

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 10 y 11.

Tabla 10. Comando para escritura de registro.

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

Tabla 11. Reporte de escritura de registro

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

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 12. 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.

Tabla 12. Códigos de error

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.

ANEXO C

CÓDIGO FUENTE DE GM104.

El desarrollo de la pasarela de comunicación GM104 se realizó de manera modular, pensando en la escalabilidad y las facilidades que esto representa para la depuración del sistema. Está organizado en cuatro proyectos: Communication, Main, Modelo y Task, tal como se ve en la figura 19.

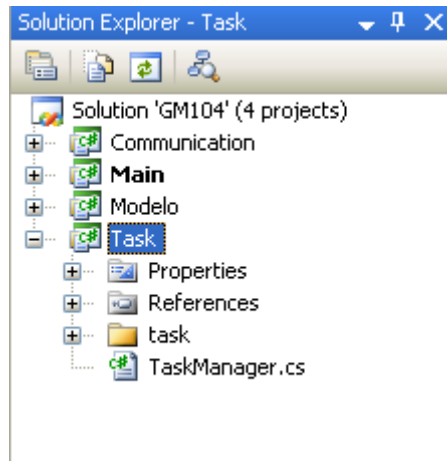


Figura 19. Proyecto Task

La funcionalidad del proyecto Task permite la ejecución de hilos para el desarrollo de tareas independientemente del hilo principal. Es así como se pueden realizar por ejemplo consultas periódicas a los dispositivos modbus sin que esto represente el descuido de otros módulos de la aplicación

El proyecto llamado Modelo tiene la representación de la base de datos interna de la aplicación, como se muestra en la figura 20. Allí, por medio de un DataSet se implementó un modelo entidad relación acorde a la arquitectura de mediación que se propuso en el presente trabajo. Este versátil componente, además de modelar la representación de los datos, permite guardar la configuración de los proyectos

elaborados en GM104 en formato xml.

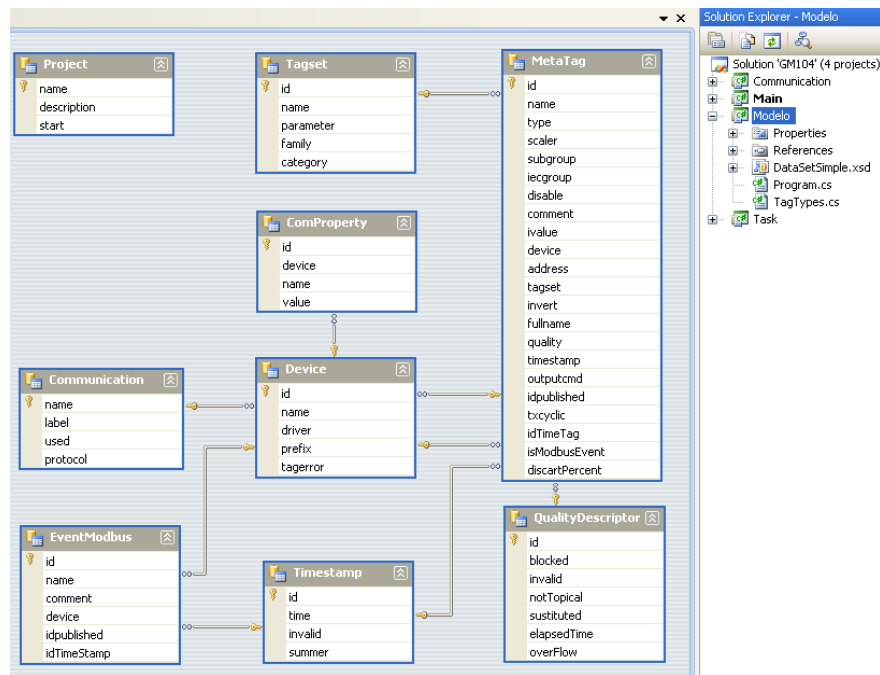


Figura 20. Proyecto Modelo

En el proyecto Communication se implementó lo referente a los protocolos de comunicación involucrados en la pasarela, este se observa en la figura 21. Allí se codificaron los controladores y las interfaces de comunicación de los protocolos IEC 60870-5-104 y modbus.

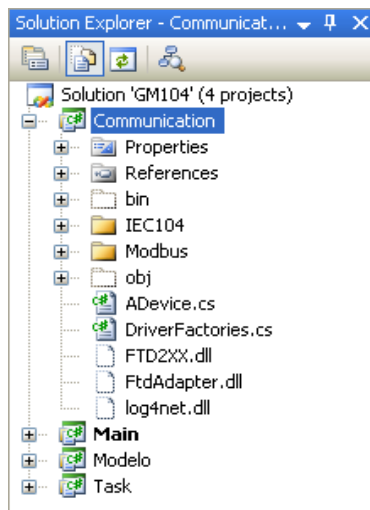


Figura 21. Proyecto Communication

El proyecto principal en la implementación de GM104 fue al que se llamó Main, como se observa en la figura 22. A este le corresponden las tareas de control de la aplicación. Se encarga de todo lo referente a la interfaz gráfica, edición de conexiones, visualización de datos, etc. También en este recae la responsabilidad de realizar el mapeo de las variables de un dispositivo a otro, entre otras tareas, esto utilizando los otros tres proyectos de la aplicación.

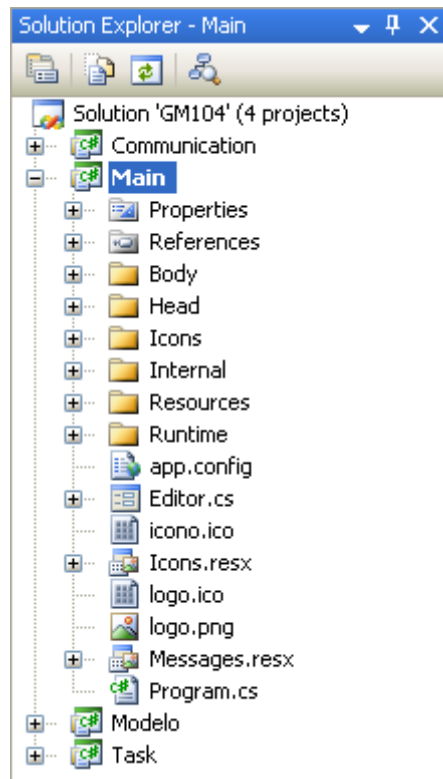


Figura 22. Proyecto Main

Adicionalmente, se creó un proyecto para generar el instalador de la aplicación, este incluye la salida principal del proyecto Main y los recursos necesarios para la funcionamiento.

ANEXO D

Manual de Usuario

Nuevo Proyecto

Cuando el GM104 se abre, carga un proyecto en blanco o el último guardado. Si se desea abrir un proyecto nuevo, la aplicación sugiere un nombre y una ruta predeterminada donde guardarlo tal como se aprecia en la figura 23.

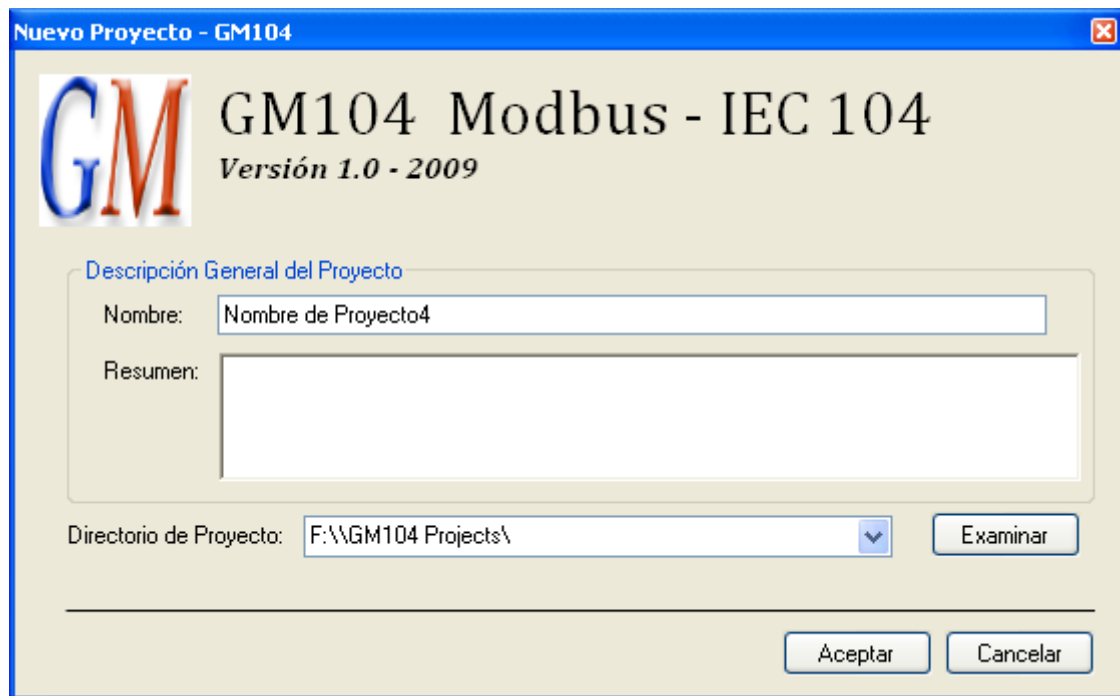


Figura 23. Nuevo Proyecto

Comunicaciones

En el campo *Dispositivos* del explorador de proyecto se pueden agregar los drivers de comunicación para dispositivos Modbus serial, Modbus tcp e IEC 60870-5-104,

a través de una interfaz como la mostrada en la figura 24.

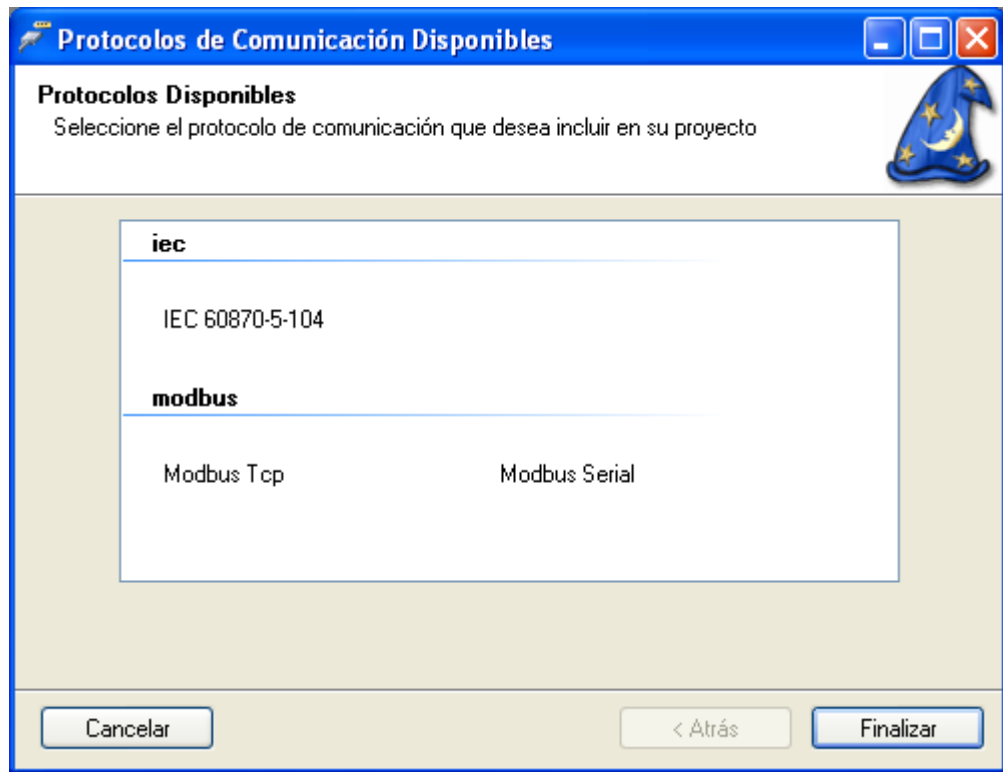


Figura 24. Drivers de comunicación

Una vez se han agregado los drivers de comunicación, se adicionan los dispositivos que se conectarán a la pasarela de comunicación, editando las propiedades y los parámetros de configuración desde un formulario como el de la figura 25, el cual cambia de acuerdo al tipo de dispositivo que se esté editando.

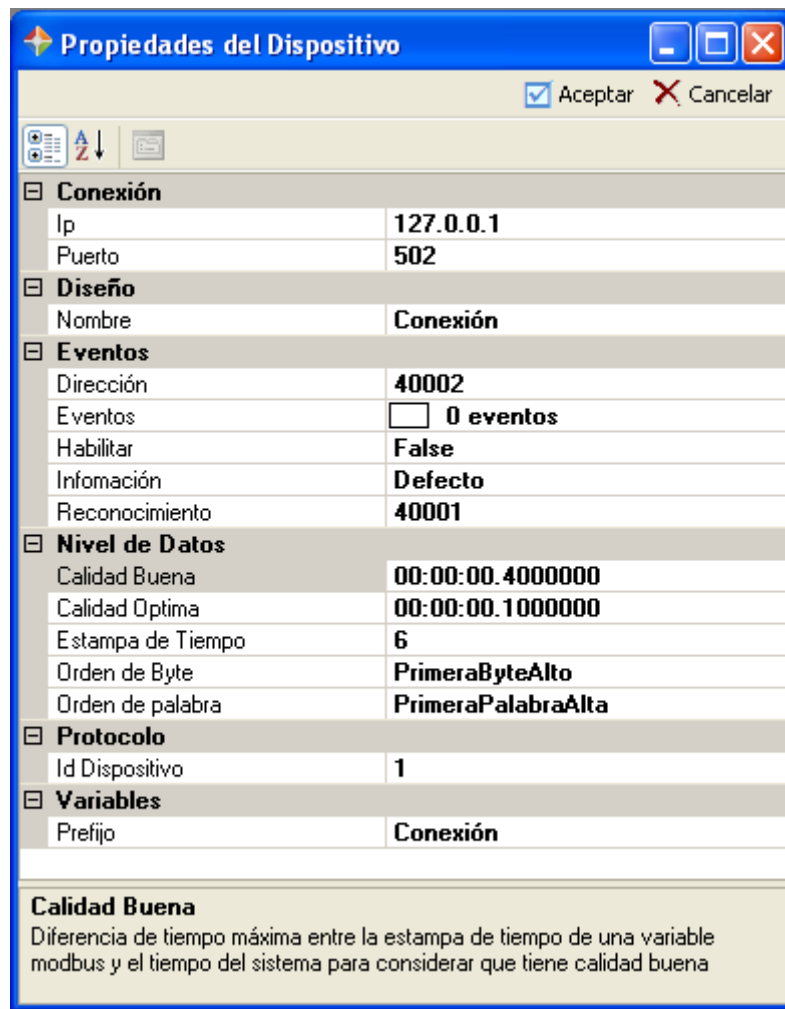


Figura 25. Agregar dispositivo

Mapear Variables a Centro de Control

Una vez se han editado las variables que se leen de los dispositivos Modbus, estas se deben mapear al Centro de Control. Para esto, en el explorador del proyecto a cada dispositivo Modbus se le realiza la operación de publicación, tal como lo muestra la figura 26. Con esto, se crea automáticamente si no existe, el dispositivo IEC 60870-5-104 con las variables que han sido mapeadas; en caso de estar creado, actualiza únicamente las variables que no estaban con anterioridad publicadas.



Figura 26. Publicar las variables MODBUS

La figura 27 indica la manera en la que se puede acceder a las diferentes ventanas con las que cuenta la aplicación GM104, las cuales prestan funcionalidad para la edición del proyecto, como lo son el explorador de proyecto, el editor de propiedades, la lista de errores y la ventana de mensajes. La ventana que muestra las tramas de comunicación y el estado de las variables se pueden utilizar para hacer seguimiento a la pasarela de comunicación cuando se está ejecutando.

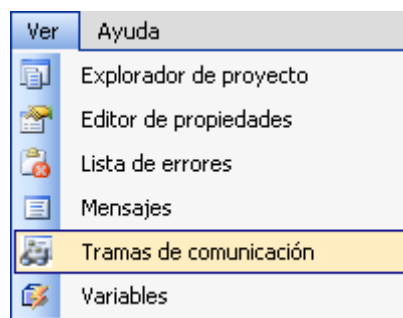


Figura 27. Tramas de comunicación

GM104 dispone de dos acciones para la ejecución de sus proyectos, tal como lo ilustra la figura 28. Con la primera de ellas se generara el proyecto para verificar la configuración de la pasarela sin conectarse a los dispositivos. La segunda acción

es la de ejecución del proyecto, con esto se conecta la pasarela a los dispositivos que tenga configurados e inicia el mapeo de variables.



Figura 28. Acciones para iniciar o depurar la aplicación