



## PROTOCOLO IEC-104/VSAT APLICADO AL SEGUIMIENTO Y CONTROL DE SUBESTACIONES ELÉCTRICAS.

(Protocol IEC-104/VSAT applied to monitoring and control of electrical  
substations)

### Gerardo Echeto

Ingeniero en Electrónica.

Correo electrónico: [paulecheto@hotmail.com](mailto:paulecheto@hotmail.com)

### Leonardo Suárez

Ingeniero en Computación.

ENELVEN. Maracaibo – Venezuela.

Correo electrónico: [leosuarz@hotmail.com](mailto:leosuarz@hotmail.com)

### RESUMEN

El propósito fundamental de esta investigación fue determinar un sistema para el seguimiento y control de las subestaciones eléctricas localizadas en áreas foráneas en Venezuela. Este desarrollo está relacionado directamente a los problemas que se producen en localizaciones de difícil acceso, para solventar dicho problema fue necesario aplicar un medio satelital (VSAT) para llegar a estas zonas lejanas utilizando un protocolo de comunicación IEC-104 con una topología estrella bajo un servicio TDM/TDMA. Esta investigación es de tipo documental. Se concluyó el establecimiento de un sistema de comunicaciones vía satélite entre las estaciones remotas y el hub, obteniendo así un control total de las subestaciones eléctricas en Venezuela.

**Palabras clave:** Subestaciones eléctricas, IEC-104, VSAT, TDMA.

### ABSTRACT

The primary purpose of this research was to determine a system for monitoring and control of electrical substations located in foreign areas in Venezuela. This development is related directly to the problems that occur in locations where access is difficult; to solve this problem it was necessary to apply a media Satellite (VSAT) to reach these remote areas by using a communication protocol IEC - 104 with a star topology in a TDM / TDMA service. This research is a documentary. It was concluded the establishment of a satellite communications system between the remote stations and the hub, thus obtaining full control of electrical substations in Venezuela.

**Keywords:** Electrical Substations, IEC-104, VSAT, TDMA.

### Subestaciones eléctricas: nuevas teorías de control

Las teorías de control numérico han hecho grandes modificaciones a nivel de los cuartos de control y equipos destinados al control de subestaciones eléctricas, tomando un enfoque basado más en las redes y estableciendo pequeñas redes LAN entre los equipos que facilitan la comunicación entre ellas. Según Suárez (2007) una subestación eléctrica es un conjunto de maquinas, aparatos y circuitos que tienen la función de modificar los parámetros de la potencia eléctrica (tensión y corriente), además de proveer un medio de interconexión y despacho entre las diferentes líneas de un sistema, contemplando un costo razonable.

La selección del tipo de subestación viene dado por la magnitud de la carga a servir y la importancia de la misma, así sea de tipo residencial o industrial.

En la ejecución de la subestación intervienen varios elementos, como lo son los transformadores, interruptores, seccionadores, sistema de puesta a tierra, sistema de protección contra sobre corriente, regulación de voltaje, protección contra rayos, coordinación de aislamiento, sistema de medición de energía, aspectos económicos.

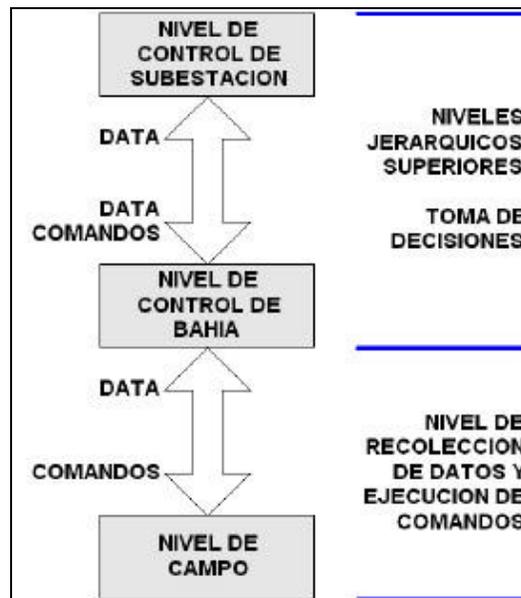


Figura 1. Fuente: Contreras (2005)

Es importante además mencionar la estructura de los sistemas de control de las subestaciones eléctricas que según Contreras (2005) se divide principalmente en 3 sectores, los niveles de patio, los niveles de bahía conformado por elementos intermedios que dependerán de la tecnología de control de la subestación (numérica o convencional) y un nivel superior, nivel de control de subestación, a través del cual



se realizan las tareas de supervisión, maniobras y control llevado a cabo por las labores diarias de los operadores, relacionado con la subestación, tales como: control local de la subestación, comunicación, y manejo de los servicios auxiliares

Esto nos define una estructura lógica del sistema de control (ver figura 1.) con dos (2) niveles jerárquicos superiores, los cuales deben estar interconectados para los intercambios de información. Y un nivel inferior, nivel de campo, encargado de la adquisición de datos

Es en el nivel de control de subestación donde se encuentra el protocolo de comunicación IEC-104 para enviar las telemetrías y ofrecer los servicios de seguimiento y control de las subestaciones eléctricas.

### **IEC-104: Control de subestaciones bajo Redes de Área Local (LAN)**

El ambiente de las subestaciones eléctricas manejaba el control bajo las premisas de redes seriales en protocolos RS-485 para utilizar buses de control que permitían la integración de los equipos a un centro de recopilación de datos como lo son las RTU para su posterior retransmisión al SCADA. Este tipo de control ha venido variando con el tiempo, y debido a las necesidades de las atenciones vía redes de los inconvenientes que se puedan presentar dentro de las operaciones cotidianas de las subestaciones eléctricas.

Esto permite entonces la entrada de equipos de conmutación de paquetes y el protocolo IEC -104 que trabaja bajo ambiente tcp/ip para que surjan dentro de las subestaciones eléctricas conexiones remotas para configuración de equipos y redes más rápidas para el control basadas en fibra para dar un mayor nivel de seguridad en caso de perturbaciones eléctricas o sobrecorrientes que forman parte del día a día en una subestación.

Según Cole (2003) IEC 60870-5-104 (IEC 104) es una extensión del protocolo IEC 101 con cambios en los servicios de la capa de transporte, de la capa de red, de la capa de enlace y de la capa física para satisfacer la totalidad de accesos a la red. El estándar utiliza la interfaz de red TCP / IP para disponer de conectividad a la red LAN (Red de Área Local) con routers con diferentes protocolos de enrutamiento (RDSI, X.25, Frame relay, etc) también se puede usar para conectarse a la WAN (Wide Area Network ). La capa de aplicación IEC 104 se conserva igual a la del IEC 101 con algunos de los tipos de datos y los servicios no utilizados

Generalmente para los sistemas de energía se utiliza el protocolo IEC 104 para el centro telecontrol y el protocolo IEC 101 para la interacción con las remotas de campo. El protocolo TCP se utiliza para garantizar la confiabilidad de los datos que son de vital importancia debido a que la respuesta y la interacción entre el scada y los sistemas de control de las subestaciones de transmisión requieren la mayor rapidez y eficacia posible, debido a que las operaciones son medidas en milisegundos.



La interoperabilidad entre dispositivos de diferentes fabricantes está garantizada por la lista de interoperabilidad, que se define por la norma.

Cole, explica además que el protocolo define dos modos de transmisión de los datos, la transmisión no balanceada, que permite que una estación primaria inicia todas las transmisiones de mensajes e implica funcionamiento bajo interrogación. Se interroga periódicamente a las Remotas. Las Remotas solo pueden transmitir cuando son interrogadas. Y la transmisión balanceada en la que cualquier estación es primaria y secundaria a la vez y puede iniciar una transmisión de mensajes. Permite que las Remotas generen respuestas espontáneas. Permite que parte de la información se transmita espontáneamente y otra por 'interrogación'.

Como ya se ha explicado, el protocolo IEC-104 maneja una diversidad de datagramas y estilos de transmisión que pueden ser aprovechados para el envío de los datos, para un medio de transporte particular en el caso a tratar, este medio de transporte viene siendo soportado por sistemas satelitales particularmente por el servicio de redes VSAT el cual será explicado a continuación.

### **Redes VSAT: Aplicaciones del control a redes satelitales**

Según UPV (2003) Vsat "very small aperture terminal" Terminal de apertura muy pequeña que brinda servicios fijos por satélite (geoestacionario), utilizada para la comunicación de datos interactivos y por lotes en diversos protocolos, operación de redes con conmutación de paquetes, servicios de voz, transmisión de datos y videos y operación en red en una vasta área, y entre sus principales características se tienen:

- No requieren disponer de infraestructura previa
- Soportan aplicaciones multimedia integradas en PC (voz, datos, imágenes)
- Interconexión de redes locales, comunicaciones de voz/fax, vídeo conferencias /transmisión de imágenes, etc.
- La calidad y disponibilidad del enlace vía satélite son muy superiores a los medios tradicionales de comunicación.

En la figura tres (03) se demuestran los diferentes elementos que participan en el funcionamiento de las redes VSAT:

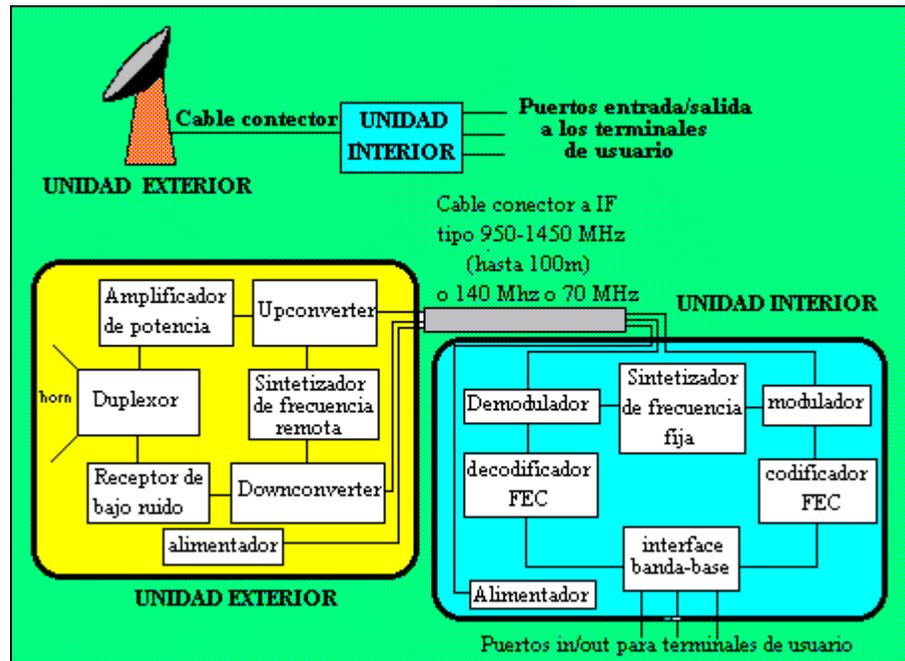


Figura 3. Fuente: UPV (2003)

La estación terrena VSAT, está compuesta por dos elementos: Unidad Exterior (Outdoor Unit), que es el interfaz entre satélite y VSAT y la unidad Interior (Indoor Unit), que es el interfaz entre el VSAT y el terminal de usuario o LAN. Básicamente la Unidad Exterior se compone de una antena, sistemas electrónicos, amplificadores de transmisión, sintetizador de frecuencia, duplexor, amplificador de potencia, etc. Los parámetros necesarios en la Unidad Interior son los números, tipos y velocidad de los puertos

Según la óptica de Maral (2003) las vsat se componen a su vez de dos segmentos muy particulares para poder trabajar, estos segmentos se encuentran por lo general en los sistemas satelitales y se conocen como segmento espacial y segmento terreno.

El Segmento espacial está formado por el satélite geoestacionario cuya función consiste en amplificar y cambiar las frecuencias de recepción (banda C aproximadamente 4 down a 7 up GHz, banda Ku aproximadamente 12 down a 14 up GHz.), unos recursos electromagnéticos de ancho de banda y potencia, los cuales están limitados obviamente por razones técnicas y legales, y sus principales características son:

Es el único canal por donde se realiza la comunicación con las consiguientes ventajas y desventajas que ello conlleva. Es un canal compartido por lo que necesitaremos usar alguna técnica o protocolo de acceso al medio (FDMA, TDMA, DA-TDMA). Es el único punto de la red que no puede ser manejado con total libertad por el instalador de una red VSAT. Debe ser contratado a empresas o

consorcios proveedores de capacidad espacial.

El Segmento terreno a su vez está formado por el Hub y las estaciones Vsat; la visión de los segmentos y como se puede trabajar con las redes VSAT particularmente se puede apreciar en la figura número 4.

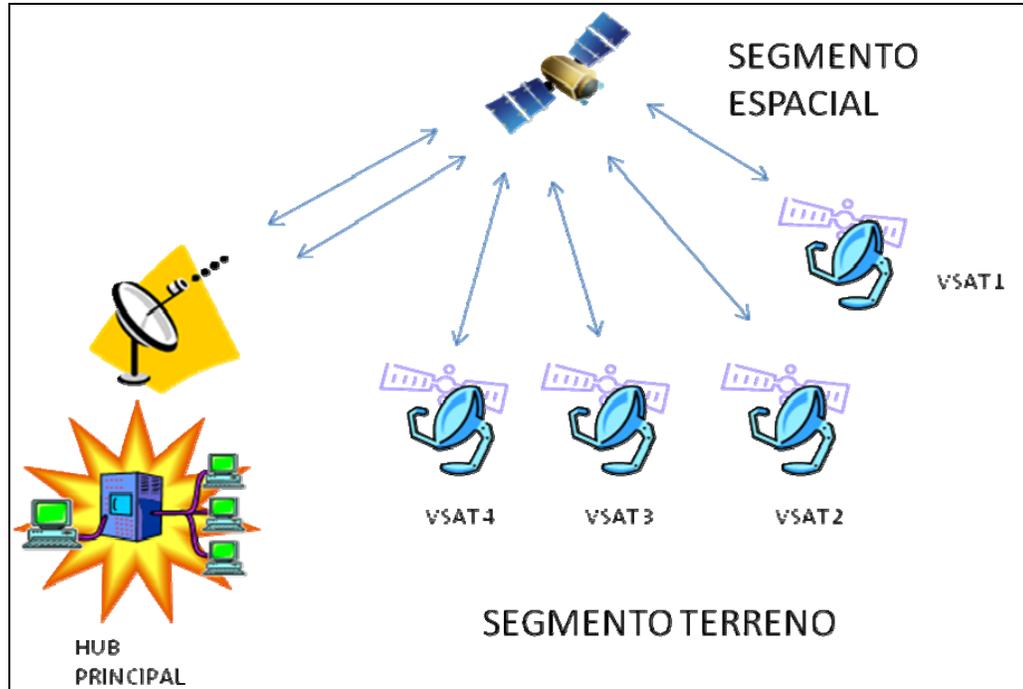


Figura 4. Fuente: Propia

También debemos mencionar que las VSAT trabajan con una serie de tecnologías en particular que se pueden dividir en una serie de áreas comenta Sadiku (2002) que existen:

Las VSAT de red en estrella: El tipo más común de VSAT depende de la operación de la Estación Terrena Maestra (HUB) (cuenta con una antena parabólica de gran diámetro generalmente de 4 a 8 m) para la retransmisión de datos.

Por otra parte debemos mencionar las bandas de frecuencia que permiten ser trabajadas por las redes Vsat para determinar el uso particular que supone cada una de las bandas de frecuencia y su funcionalidad para el desempeño particular de la propuesta que se quiere encaminar, entonces podemos hablar de la banda C la cual tiene disponibilidad mundial, se logra con tecnología económica y brinda robustez contra atenuación por lluvia.

Entre sus desventajas podemos mencionar que se necesitan antenas grandes para trabajar con la misma, de 1 a 3 metros, y que es susceptible de recibir y causar



interferencias desde satélites adyacentes y sistemas terrestre que compartan la misma banda (Se necesitaría en algunos casos recurrir a técnicas de espectro ensanchado y CDMA).

Existen además servicios para establecer la comunicación que proveen las VSAT comenta Everett (1992) que entre estos están:

Servicio TDM/TDMA provee comunicación entre una ubicación central y múltiples ubicaciones remotas en lo que se denomina topología tipo estrella. En esta red de topología estrella tenemos una estación terrena compartida denominada HUB y muchas estaciones remotas denominadas VSAT.

Desde la localidad central se puede monitorear y controlar la operación de todas las partes del sistema. Estos servicios pueden operar en las bandas C, Ku y Ka. En esta ubicación todos los equipos son redundantes y el diámetro de la antena que conforma el HUB varía entre 5.9 y 9 m. A esta localidad llegan los canales de voz, datos y videos que se desean transportar a las estaciones remotas.

### **Consideraciones Finales**

Visto que las redes Vsat permiten la transmisión de telemetrías de control y monitoreo, y además tomando en cuenta la necesidad creciente de supervisión de las subestaciones venezolanas, en el caso particular de subestaciones de locaciones foráneas donde se hace de difícil acceso la entrada de medios de comunicación como la fibra óptica o las microondas, basamos una propuesta de un sistema de transmisión bajo el protocolo de comunicación IEC-104 de tipo desbalanceado, lo cual permitirá la interrogación de múltiples locaciones hacia un centro remoto utilizando la topología estrella bajo el servicio TDM/TDMA.

Un sistema desbalanceado permitirá optimizar recursos a nivel de transmisiones de datos en la red, el maestro es el SCADA quien se encarga de interrogar a cada uno de los esclavos mediante direcciones ASDU que vienen empaquetadas en el protocolo TCP por medio del IEC 104 y son predefinidas para el canal de comunicación particular que va a interrogar.

Por otro lado a nivel de la estación remota es necesario que se establezca la misma dirección ASDU para que exista la interrogación, además se debe mencionar que la mayor carga de datos a la red será enviada para el inicio de la comunicación, ya que en este momento se realiza una interrogación general desde el centro maestro para poder conocer cada una de las alarmas y las condiciones generales de la subestación.

Una interrogación periódica que sólo envía 1 byte de datos para asegurar que la remota sigue transmitiendo y así no ser declarada fuera de servicio. Esto se hace fundamental ya que las remotas deben tener un 99.99% de disponibilidad debido a que manejan operaciones importantes dentro de una subestación.

La propuesta se basa fundamentalmente en el concepto de que las redes de servicios VSAT bajo TDMA poseen un centro de monitoreo central, que interroga a las demás estaciones remotas, o pequeñas VSAT, lo cual permitiría centralizar la información de múltiples subestaciones a un centro de control particular para realizar el control y monitoreo de las telemetrías requeridas.

El esquema de conexionado sería el presentado a continuación:

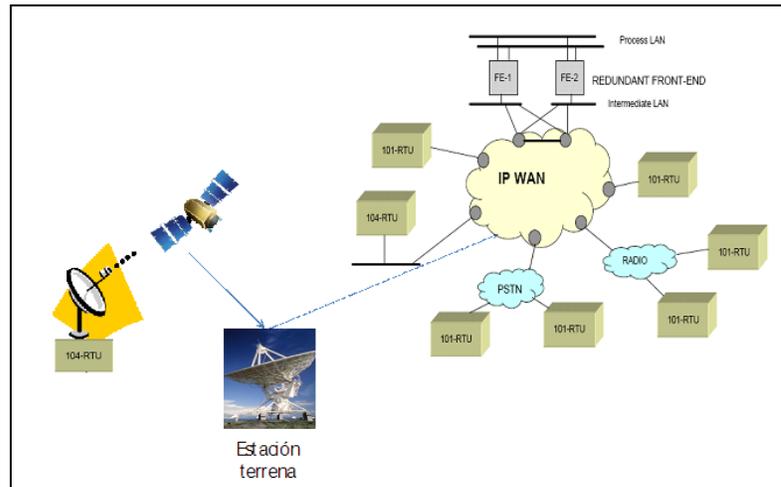


Figura 5. Fuente: Propia

Bajo este concepto se necesitan una serie de equipos para garantizar las comunicaciones para las redes VSAT entre el segmento terrenal y el segmento espacial. Estos equipos formarán las redes VSAT, una en cada subestación que requiera las comunicaciones mediante antenas de 2.4 metros diseñadas para las comunicaciones de las redes, hacia el segmento espacial.

Por otro lado es necesaria la creación de una estación terrena donde se encontrará el hub para las comunicaciones y la recepción de los datos de cada una de las subestaciones, es desde esta estación que serán llevados los datos hacia el SCADA para el seguimiento y control de las señales que se produzcan. Para la creación de la estación terrena necesitamos una antena de 5,9 metros que será la que recoja la información enviada por el satélite, estableciendo así el área de HUB para la recolección de los múltiples datos enviados por las diferentes subestaciones que formen parte de las redes VSAT.

Una vez obtenidos los datos en la estación terrena, se necesitan llevar los mismos hacia un equipo multiplexor que será el encargado de transmitir los datos hacia el centro de control para establecer la interrogación del maestro hacia cada uno de los esclavos. Esto se hace llevando el enlace que entrega la antena, o guía de onda hacia un equipo particular, las IDU, que en nuestro caso deben soportar puertos Ethernet para poder conectar en ellos la información que lleva el maestro



para la interrogación, de igual manera cada una de las IDU de las subestaciones deben soportar puertos Ethernet para poder llevar la información de las remotas.

Para algunos casos y debido a que algunas remotas se encuentran en protocolo IEC-101 el cual básicamente tiene salidas de conexión serial, bien sea RS-232 o RS-485 se necesitarán convertidores de protocolo que existen en el mercado actualmente que se encargan de agregar la capa de transporte al IEC-101 mediante el protocolo TCP pasando así a ser protocolo IEC-104 los mismos entregan una salida Ethernet que puede ser conectada a las IDU's para de ésta manera lograr la interrogación del centro de control.

Lo importante de establecer conexiones mediante el protocolo TCP es que las aplicaciones pueden comunicarse en forma segura (gracias al sistema de acuse de recibo del protocolo TCP) independientemente de las capas inferiores. Para posibilitar la comunicación y que funcionen bien todos los controles que la acompañan, los datos se agrupan; es decir, que se agrega un encabezado a los paquetes de datos que permitirán sincronizar las transmisiones y garantizar su recepción. Otra función del TCP es la capacidad de controlar la velocidad de los datos usando su capacidad para emitir mensajes de tamaño variable. Estos mensajes se llaman segmentos.

Todas estas aplicaciones son de suma importancia en las subestaciones eléctricas debido a que garantizan seguridad de datos que necesitan ser entregados con un alto nivel de fiabilidad, además de brindar la posibilidad de la segmentación que es de suma importancia debido al costo de los enlaces satelitales.

En resumen la cantidad de equipos necesaria para la transmisión de los datos y garantizar las comunicaciones de las redes VSAT para llevar la información de las subestaciones eléctricas es la siguiente:

- HUB central de monitoreo.
- Estaciones remotas VSAT con antenas de al menos 2,4 metros
- IDU's con puertos Ethernet.
- Convertidores de protocolo IEC-101 – IEC-104 para el caso de las subestaciones que lo requieran.

Como se ha visto es posible establecer interrogaciones de las remotas hacia las subestaciones foráneas, donde no es posible llevar medios de comunicación convencionales, mediante las redes VSAT, se podrá incrementar el nivel de supervisión de este tipo de subestaciones, aumentado de esta manera la calidad de servicio prestado por las empresas eléctricas e incrementando la capacidad de respuesta ante fallas lo cual es de suma importancia para mejorar el negocio y la rentabilidad del mismo.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cole, B (2003). **An Introduction to IEC 60870-5-104, A Standard for the Telecontrol of Electric Power Transmission Systems, Using Internet Communication Services.** Documento en línea disponible en: [http://webstore.iec.ch/preview/info\\_iec60870-5-104%7Bed2.0%7Den\\_d.pdf](http://webstore.iec.ch/preview/info_iec60870-5-104%7Bed2.0%7Den_d.pdf)
- Contreras, C y Hernández, E (2003) **Sistemas de Control en Subestaciones de Alta Tensión del Control Convencional al Control Numérico.** Documento en línea disponible en: <http://proyecto-nr.googlecode.com/files/Sist.%20de%20control.pdf>
- UPV (2003). **Redes VSAT.** Universidad del País Vasco. Documento en línea disponible en: [http://www.upv.es/satelite/trabajos/pract\\_4/eltos/terminal.htm](http://www.upv.es/satelite/trabajos/pract_4/eltos/terminal.htm)
- Sadiku, M (2002). **Optical and Wireless Communications: Next Generation Networks.** CRC Press. Florida.
- Maral, G (2003). **VSAT Networks.** Editorial John Wiley & Sons, LTD. New York
- Everett, J (1992). **VSATs, Very Small Aperture Terminals.** Institute of Electrical and Electronics Engineers. Washington.