

## **Anexo 1 Pirámide de la Productividad en la Automatización**

La International Standard Organization (ISO), propuso una definición de Sistemas de Interconexión Abierta (OSI) la cual se ajusta para los sistemas de control y se basa en un modelo creado en los 90's conocido como modelo piramidal.

Este modelo establece diferentes niveles de funcionalidad en un sistema de control distribuido, a continuación se proporciona la descripción general de cada uno de ellos:

El nivel más alto es el denominado de Empresa en el cual las actividades estratégicas son planeadas y el análisis de las operaciones de la compañía son realizadas. Una gran cantidad de información se utiliza en este nivel y se suministra por varias fuentes tales como agencias del gobierno, organizaciones industriales, etc. El esquema de comunicación utilizado, red de área amplia (WAN), incluye una red muy compleja que interconecta varias computadoras, terminales y dispositivos de almacenamiento, que pueden estar ubicados a lo largo del país o del mundo.

El siguiente nivel se conoce como de Planta, aquí la información es proporcionada por diferentes departamentos de una misma compañía tales como generación, transmisión, distribución, etc. Los datos se transmiten por medio de una red de área local (LAN).

Siguiendo con la pirámide se tiene el nivel de Área o Supervisión, éste tiene la función de optimización del proceso, producción y administración de alarmas y otros eventos críticos. Las acciones son realizadas por un operador humano el cual supervisa las operaciones de un área específica, utiliza equipo de cómputo y una Interfase Hombre-Máquina (MMI) alimentada con información de niveles más bajos, en este nivel se hace uso de redes de área local.

El Control de Unidad es nuestro siguiente nivel y su función es la administración en tiempo real de los dispositivos que ejecutan los algoritmos de control. Los equipos aplicados varían dependiendo de la aplicación, los más comunes son los PLC's. La información es recolectada desde los niveles más bajos en cuestión de milisegundos usando redes específicas o conexiones punto a punto.

Por último el nivel más bajo es el llamado de Proceso, esta constituido por sensores, actuadores, etc.

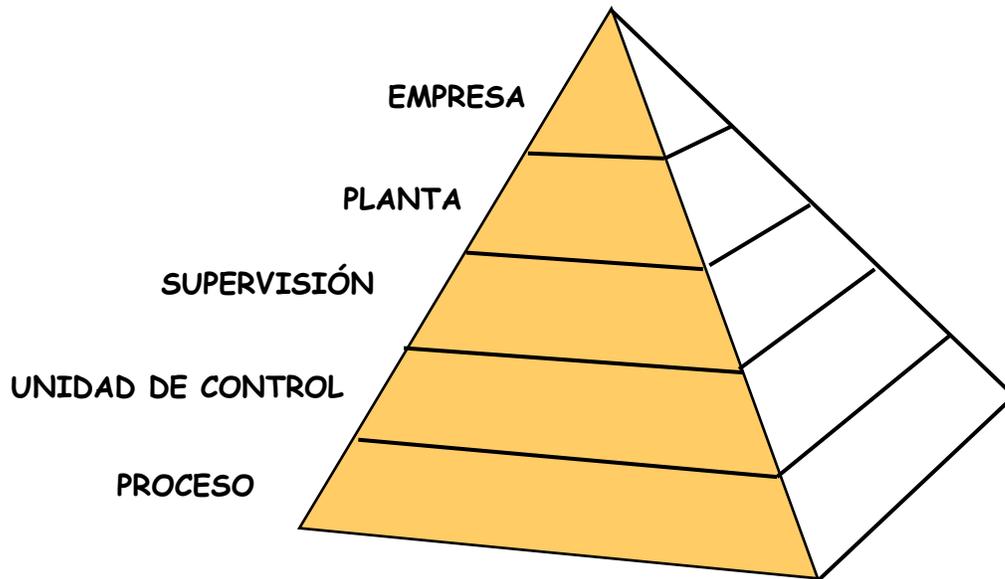


Figura A.1 Modelo Piramidal

Para obtener un sistema de control distribuido robusto es necesario que se cubran las siguientes actividades:

- ◆ Un buen desempeño del software y hardware básico.
- ◆ Algoritmos de detección de fallas.
- ◆ Carga de una base de datos óptima.
- ◆ Protocolos de comunicación.
- ◆ Una buena plataforma que soporte los programas de aplicación (MMI).
- ◆ Un procedimiento de prueba efectivo.

El cubrir los anteriores puntos dará la seguridad de contar con un sistema flexible que proporcionará las características necesarias de interoperabilidad, interconectividad e intercambiabilidad que establece el modelo OSI.

## Anexo 2 TOPOLOGÍAS

La topología de un sistema de control para una subestación es la arquitectura del sistema de cómputo utilizado. La funcionalidad de tal sistema es el conjunto de funciones que pueden ser implementadas en el sistema de control.

Los sistemas de control con computadora pueden utilizar una de las dos topologías básicas:

- a. Topología Centralizada
- b. Topología Distribuida

Los primeros ejemplos de automatización de subestaciones utilizaron el concepto de topología centralizada, debido a las limitaciones de la tecnología, tanto en la potencia del procesador como en las técnicas de comunicaciones. En los últimos años se ha optado por la topología distribuida, en la que varios DEI's se enlazan en una conexión serie multidrop a un procesador local.

El procesador local puede controlar una o más bahías en la subestación. Todos los procesadores a su vez, son conectados a una interfaz hombre-máquina (HMI), y posiblemente también a un sistema SCADA local o remoto para el monitoreo y control de toda la red.

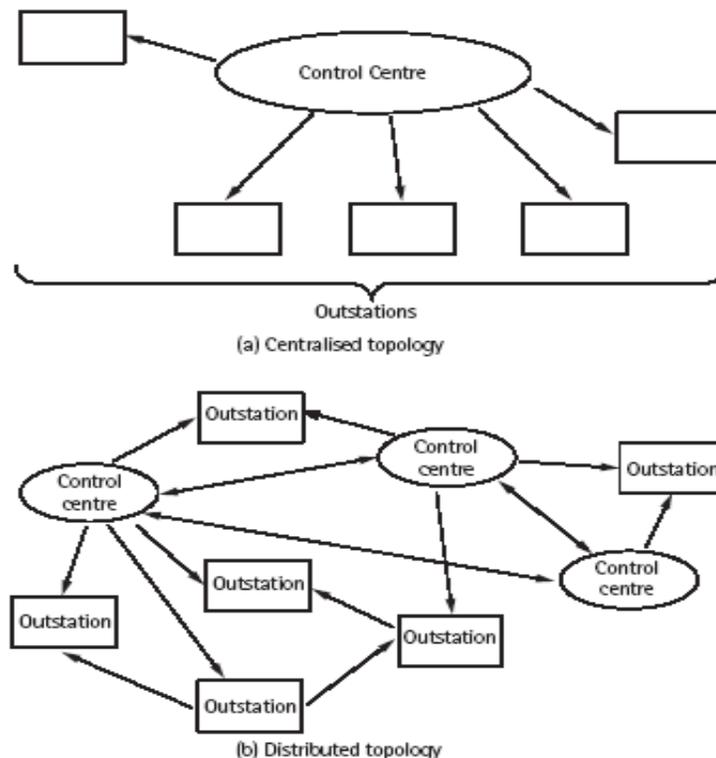


Figura B.1 Topologías Básicas de Sistemas de Automatización de Subestaciones

Para formar un sistema de control en una subestación es necesario contar con una topología de hardware. Existen tres tipos de topologías, comúnmente usadas y son las siguientes:

### *Topología basada en la IHM*

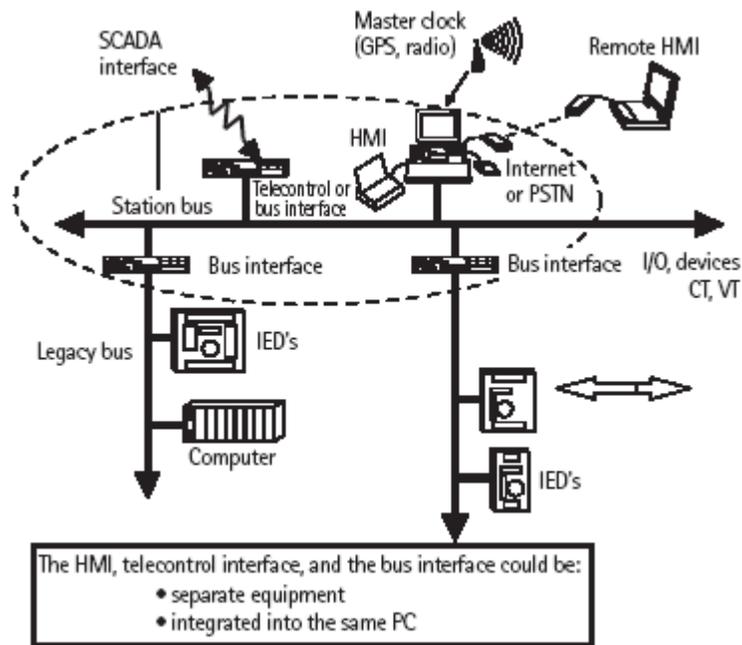


Figura B.2 Topología de hardware basada en IHM

En esta topología, en la interfaz hombre-máquina (IHM) reside el software para poder implementar las funciones de control/automatización. La IHM tiene un enlace directo con los DEI's usando uno o más protocolos de comunicación. También proporciona, normalmente un enlace a un sistema SCADA remoto, o se puede hacer uso de una unidad interfaz por separado para descargar algunos de los requerimientos del procesador de la computadora IHM, en especial si se utiliza un protocolo propietario para el sistema SCADA.

Para este tipo de topología es apreciable que se requiere de una poderosa computadora, si es que se van a necesitar un gran número de DEI's. Sin embargo, en la práctica debido a los altos costos no se puede adquirir este tipo de computadoras o el acceso a este tipo de tecnología suele ser restringido.

Es por ello, que para poder aplicar este tipo de topología a una subestación, es necesario que esta sea limitada en cuanto a su tamaño, ya que de ello dependerá el número de DEI's que se puedan conectar a una PC estándar.

Otro punto importante es el de la confiabilidad y la disponibilidad, ya que al contar solo con una computadora para controlar la subestación, cuando esta llegue a fallar solo se contará con el control local. Así que este tipo de topología resulta adecuada para subestaciones pequeñas de mediana tensión, en las cuales las consecuencias de la falla en la computadora (que requiere la visita de una cuadrilla para solucionar el problema) son aceptables.

### *Topología basada en UTR*

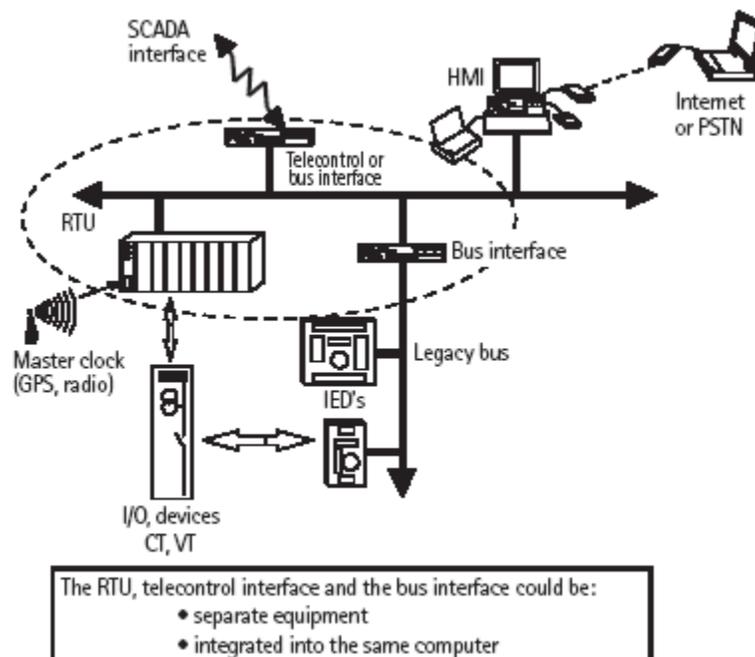


Figura B.3 Topología basada en UTR

Esta topología muestra una mejora con respecto a la anterior. Se usa una UTR basada en microprocesadores, de esta forma se libera a la IHM para las labores de interfaz del operador. La IHM tiende a ser menos poderosa y comienza a tomar la forma de una PC estándar, en las subestaciones donde usualmente no existe un operador, el personal de visita puede llevar una PC portátil.

La UTR se diseña de acuerdo a las necesidades de la subestación y puede alojar uno o más microprocesadores. Se pueden acomodar un mayor número de E/S, además de que existe la posibilidad de hospedar una amplia variedad de protocolos de comunicación para DEI's y la conexión SCADA remota.



La conexión más simple es el arreglo en estrella (figura a), es de bajo costo pero tiene dos desventajas. La primera, en caso de que haya un rompimiento en el enlace, se pierde el control remoto de la bahía afectada y solo se podrá tener un control local vía una IHM conectada a la bahía. Una posible solución a este problema, es duplicar los enlaces y canalizarlos por rutas físicamente separadas; sin embargo a su vez esto empeora los problemas de los puertos de E/S e implica un mayor esfuerzo para contar con los diseños que aseguren la diversidad de rutas de los cables. La segunda desventaja, el número de puertos de comunicación disponible en la IHM limitara el número de módulos de bahía.

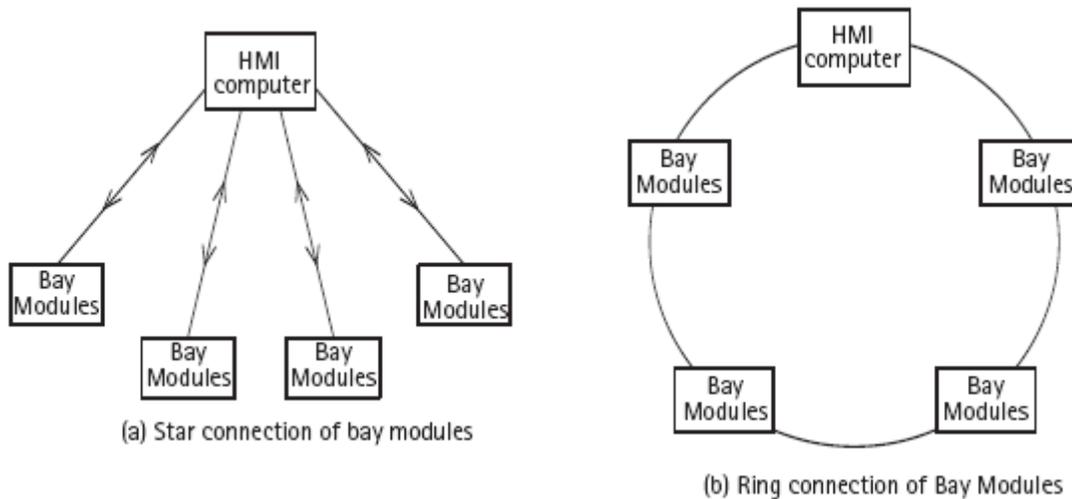


Figura B.5 Métodos de Interconexión de Hardware

La alternativa al arreglo en estrella, es una conexión o un arreglo donde los módulos de bahía, la IHM y el gateway del SCADA estén conectados en un anillo (figura b). Usando una arquitectura de comunicaciones tal como en una red LAN, los dispositivos pueden comunicarse entre sí, sin que existan problemas entre los mensajes. En caso de presentarse una falla en un dispositivo o un rompimiento en el anillo, la red no deja de funcionar, ya que la detección de la falla y la reconfiguración requerida se pueden hacer de forma automática.

Dentro de las ventajas de esta conexión, se mejora la disponibilidad y la tolerancia a fallas. Se pueden usar varios anillos emanando de la IHM si el número de dispositivos excede el límite del anillo.

En las desventajas, encontramos que el costo de dicho arreglo es más elevado comparado con las soluciones anteriores, por lo que este tipo de arreglo queda reservado para situaciones donde se requiera mayor confiabilidad y disponibilidad como en subestaciones de alta tensión y extra alta tensión.

Se puede recurrir a la redundancia a nivel individual. Se pueden duplicar los relevadores y los DEI's, esto no es usual, pero se puede aplicar en caso que sea necesario. Por ejemplo en las líneas de transmisión de EHV, se puede requerir que la protección primaria este duplicada.

Es usual tener más de una IHM de los operadores, ya sea por razones de operación o por tolerancia a fallas. La computadora puede estar duplicada en una base "Hot-Standby" o "Redundante dual", las tareas son normalmente compartidas entre dos o más computadoras del sistema, donde cada una tiene la capacidad de realizar las funciones de cualquiera de las otras en caso de una falla.

## **Anexo 3 Aspectos a Considerar para la Automatización de Subestaciones**

Los requerimientos básicos de diferentes usuarios son independientes de la tecnología y son lo que motivan el como resolver, implementar y optimizar las funciones requeridas para monitoreo, control y protección.

Al realizar una modernización inteligente de sistemas convencionales viejos y cambiarlos por nuevos sistemas, es indispensable para el cliente el no perder la funcionalidad a todo lo ancho de la estación. La operación en paralelo de la parte convencional “antigua” y las bahías ya equipadas con la nueva y moderna tecnología debe ser posible. El acceso remoto desde el centro de control de un nivel más alto no debe ser afectado y el control de las bahías viejas así como las bahías modernizadas debe ser posible en todo momento.

El hacer las selecciones correctas sobre la tecnología de automatización de la subestaciones es mucho más complejo que antes. Así es también, el asegurar los financiamientos para estas inversiones.

Igualmente retador es distribuir las enormes cantidades de datos recolectados a través de la automatización de las subestaciones para que la empresa obtenga las ventajas estratégicas y operacionales correspondientes.

Se debe realizar un análisis sobre las necesidades y decisiones tecnológicas, incluyendo el conocimiento de negocios y administración de proyectos, para poder identificar los servicios clave de la automatización de subestaciones, entre los cuales podemos destacar los siguientes:

- ⇒ **Análisis de las necesidades inmediatas y a largo plazo**  
Se debe tener un amplio entendimiento de las implicaciones técnicas así como de las necesidades funcionales específicas, determinar los requerimientos funcionales críticos de la arquitectura del sistema (ej. Que cambios son necesarios en el entorno de la subestación, si es que se desea hacer un retrofit, de lo contrario el análisis correspondería a un nuevo proyecto).
- ⇒ **Asegurar las opciones de expansión y migración**  
Se debe tener el conocimiento sobre el hardware y el software de los productos de los fabricantes (ej. Las necesidades dentro del sistema de control, acceso a la subestación desde múltiples centros de control).

- ⇒ Desarrollar un plan de implementación para subestaciones específicas  
Formulando objetivos específicos de integración para cada subestación. Y determinando el presupuesto requerido así como el programa de ejecución. Con las metas de reducción de costos de operación y de mantenimiento, incremento general de los niveles de servicio a los usuarios y aumento en la competitividad.
- ⇒ Determinar el alcance económico así como las capacidades con las que cuenta el personal.