

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



"ANÁLISIS, OPTIMIZACIÓN Y PROPUESTA DE MEJORA DEL SISTEMA DE TELEMANDO Y CONTROL (SCADA) PARA EL SUMINISTRO DE ENERGÍA DEL FERROCARRIL SUBURBANO DEL VALLE DE MÉXICO"

ELABORACIÓN DE TESIS
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO



FACULTAD DE INGENIERÍA

PRESENTA

TADEO COVARRUBIAS RAMÍREZ

CIUDAD UNIVERSITARIA, FEBRERO 2012

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

TEMA DE TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE	INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO
POR LA OPCIÓN DE TITULACIÓN	ELABORACIÓN DE TESIS
DEBERÁ(N) DESARROLLAR	C. TADEO COVARRUBIAS RAMÍREZ

“ANÁLISIS, OPTIMIZACIÓN Y PROPUESTA DE MEJORA DEL SISTEMA DE TELEMANDO Y CONTROL (SCADA) PARA EL SUMINISTRO DE ENERGÍA DEL FERROCARRIL SUBURBANO DEL VALLE DE MÉXICO”

PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN Y MEJORAS EN LA OPERACIÓN, SEGURIDAD Y SERVICIO DEL SISTEMA DE TRENES SUBURBANO REALIZANDO UN ANÁLISIS DEL SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO (SCADA).

- SISTEMAS DE TRANSPORTE FERROVIARIOS ELECTRIFICADOS
- SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA EN FERROCARRILES
- TELEMANDO DE CONTROL (SCADA)
- SCADA: SISTEMA DE INTEGRACIÓN
- MEJORAS Y APLICACIONES

Ciudad Universitaria, 2012

ASESOR

ING. JESÚS FRANCO ORTEGA

Agradecimientos

Quiero agradecer en primer lugar a mis padres, por todo el apoyo que recibí durante la carrera, por que siempre han estado a mi lado y por impulsarme día a día a seguir luchando y trabajando honestamente con principios y valores fundamentados en la responsabilidad y fuerza interna para llegar siempre a mis objetivos.

A esta gran institución que me dio escuela, profesores, amigos, compañeros...

A todos mis profesores que han hecho que llegue muy alto y que me dieron las herramientas suficientes para enfrentarme profesionalmente a la vida laboral con una toda esa gama de conocimientos impartidos en mi carrera.

Por ultimo me queda decir que agradezco a mi sinodal el Ing. Jesús Franco Ortega que ha impulsado con todo su conocimiento y fuerza a que esta tesis haya concluido con el trabajo que presento el día de hoy.

Gracias UNAM, Facultad de Ingeniería por todo lo que he recibido de ti, no tengo palabras para decir que me siento orgulloso de haber estudiado en tus aulas y laboratorios...

“Por mi raza hablara el espíritu”

Tadeo Covarrubias Ramírez. Egresado de la Facultad de Ingeniería

CAPÍTULO 1. Sistemas de Transporte Ferroviarios Electrificados	1
Introducción	1
Evolución Tecnológica	2
Sistemas Ferroviarios Electrificados	3
Sistemas Alimentados en C.D.	4
Sistemas Alimentados en C.A.	4
Sistemas de Transporte Electrificados en la Ciudad de México.....	5
Sistema de Transporte Colectivo Metro	6
Tren Suburbano (Sistema de Trenes Suburbanos Concesionados).....	8
Sistema 1	8
Sistema 2	9
Sistema 3	10
Referencias	12

CAPÍTULO 2. SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA EN FERROCARRILES. 13

Introducción	13
2.1. Generalidades de la Electrificación	13
2.2. Energía del Transporte	16
2.2.1. Estructura del Sistema	16
2.3. Subestaciones Eléctricas para Sistemas de Corriente Alterna	17
2.4. Subestaciones Eléctricas para Sistemas de Corriente Continua	18
2.4.1. Alta Tensión	18
2.4.2. Equipos de Alta Tensión.....	18
2.4.3. Subestaciones Rectificadoras.....	21
2.5. Subestaciones de tracción	23
2.5.1. Voltajes y Corrientes de Alimentación a Trenes.....	26
2.5.2. Elección de la Corriente de Tracción.....	27
2.6. Elementos Fundamentales que Integran el Circuito de Tracción	28
2.7. Sistemas de Tracción en los Trenes	29
2.7.1. Motores de corriente continua.....	29
2.7.2. Motores asíncronos	29
2.7.3. Equipos de alimentación mixta.....	30
2.8. La Electrificación de Trenes	31
2.8.1. Estructura.....	31
2.8.2. Sistemas de Alimentación	32
2.9. Catenaria	38
2.9.1. Catenaria. Su función	40
2.9.2. Catenaria como Sistema de Transmisión de Potencial Eléctrico.....	41
2.9.3. Feeder de Alimentación	42
2.9.4. El “Tercer” Riel	43
2.9.5. Diversos tipos de catenaria.....	44
2.9.6. Catenaria Compensada	46
2.9.7. Las zonas neutras.....	49

CAPÍTULO 3. TELEMANDO DE CONTROL (SCADA)	54
Introducción	54
3.1. SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA DEL FERROCARRIL SUBURBANO DEL VALLE DE MÉXICO	56
3.2. Objetivo del Telemando de Energía del Ferrocarril Suburbano	57
3.2.1. Objetivo	57
3.2.2. Descripción del General del Telemando de Energía	57
3.3. Arquitectura Funcional del Telemando de Energía.....	58
3.3.1. Centro de Control de Operaciones (CCO)	59
3.3.2. Redes de Áreas	61
3.3.3. Nodos de Campo	65
3.3.4. Elementos Finales. Redes Locales	66
3.4. Arquitectura de las Comunicaciones y Modos de Operación.....	69
3.4.1. Arquitectura y Jerarquía de las Comunicaciones	70
3.4.2. Jerarquía y Modo Funcional	73
3.5. Procesos Fundamentales del centro de control y operaciones CCO.....	74
3.5.1. Generalidades.....	74
3.5.2. Núcleo de tiempo real	74
3.5.3. Núcleo de históricos y Base de datos	77
3.5.4. Núcleo de Representación	79
3.5.5. Control de la configuración	80
3.6. Descripción Funcional del Telemando de Energía	82
3.6.1. Control de acceso	82
3.6.2. Control y Monitoreo de Instalaciones	83
3.6.3. Tratamiento de señales	86
3.6.4. Alarmas y Eventos	89
3.6.5. Análisis de Tensión en Línea	94
3.7. Sistema Gráfico. Interfaz Hombre Máquina	96
3.7.1. Interfaz Hombre Máquina	96
3.7.2. Administración del Sistema	98
Términos y abreviaturas	100

CAPÍTULO 4. SCADA DE INTEGRACIÓN.....	101
Introducción.....	101
4.1. Sistema de integración.....	103
4.2. Arquitectura del Sistema	105
4.3. Equipamiento	107
4.3.1. Servidores	107
4.3.2. Puesto de Operación Integrado.....	107
4.3.3. Puesto de Operación/Administración	108
4.3.4. Patrón horario.....	109
4.4. Plataforma de integración SCADA OASyS.....	109
4.4.1. Núcleo de Tiempo Real	110
4.4.2. Núcleo de Representación.....	114
4.5. Funcionalidad Específica del Sistema de Integración.....	115
4.5.1. Descripción General.....	115
4.6. Seguridad.....	120
4.6.1. Concepto Básico.....	121
4.7. Estudio RAMS	124
4.7.1. Reliability. Confiabilidad	125
4.7.2. Availability. Disponibilidad.....	127
4.7.3. Maintainability. Mantenibilidad	129
4.7.4. Safety. Seguridad	132
4.8. Arquitecturas de control.....	133
4.8.1. Concepto de Control Centralizado y Control Distribuido	134

CAPÍTULO 5. Mejoras y Aplicaciones	137
Evolución y Tendencias del Sistema SCADA.....	137
5.1.1. Sistema de Control Centralizado.....	140
5.1.2. Sistema de Control Distribuido. Propuesta de Mejora	143
5.2. Sistema GPS. Aplicaciones y Tendencias	147
5.2.2. Aplicaciones de los GPS.....	148
5.2.3. Sistemas de Tráfico Inteligente (ITS).....	150
5.2.4. El Futuro de los Sistemas de Posicionamiento Global	151
Referencias	154

ANÁLISIS, OPTIMIZACIÓN Y PROPUESTA DE MEJORA DEL SISTEMA DE TELEMANDO Y CONTROL (SCADA) PARA EL SUMINISTRO DE ENERGÍA DEL FERROCARRIL SUBURBANO DEL VALLE DE MÉXICO

Conclusiones y Trabajo a Futuro	155
ANEXOS.....	157
Bibliografía.....	177

Resumen

En esta tesis se presenta el panorama técnico sobre los sistemas SCADA aplicado al control y monitoreo de los sistemas eléctricos de potencia, señalización y sistemas auxiliares del tren suburbano, analizado desde sus principales componentes y equipos tales como catenaria, subestaciones eléctricas, equipo de control y puestos de mando proponiendo una mejora en la arquitectura de los sistemas SCADA.

Como agregado el estudio RAMS con la aplicación del Sistema de Tráfico Inteligente dedicado a los sistemas de control y monitoreo, que hace que los sistemas SCADA tengan una mejora de la calidad del servicio caracterizado por un desempeño confiable, seguro y de bajo mantenimiento.

Capítulo 1. Sistemas de Transporte Ferroviarios Electrificados

Introducción

Los transportes desempeñan un papel esencial en la vida moderna. Difícilmente se puede concebir una sociedad futura en la que no continúen siendo de primordial importancia. La eficiencia de un sistema de transportes es un índice del desarrollo económico de un país.

El transporte conceptualmente hablando es el movimiento de personas y mercancías por los medios que se utilizan para ese fin. Para muchos el transporte de pasajeros es el de mayor importancia, especialmente en zonas urbanas; pero el transporte de mercancías, o sea el transporte de carga, es quizá de mayor importancia para el funcionamiento adecuado y económico de una sociedad. Ambos se deben considerar esenciales.

El transporte ferroviario es uno de los elementos considerados como el futuro de la movilidad. En los tiempos en que los sistemas sostenibles juegan un papel muy importante, el ferrocarril presenta múltiples ventajas, tanto a nivel medio ambiental como económico. La sociedad ha entendido que un transporte basado en un gasto energético de combustibles contaminantes no es sostenible, por tanto los sistemas electrificados presentan una gran ventaja ante dichos sistemas, ya que prestan una mayor eficiencia y practicidad como es el caso del tren o ferrocarril eléctrico [1].

A comienzos del siglo XXI, los Metros y los Ferrocarriles de alta velocidad son las ramas de mayor crecimiento de la industria ferroviaria. Es un hecho evidente que la alta velocidad ferroviaria está cambiando de forma acelerada así como las actividades de las personas.

Más importante aún es el fenómeno del desarrollo de los metros y ferrocarriles urbanos y suburbanos en las últimas décadas. Desde finales del siglo XIX, el continuo aumento en la población de las ciudades y la congestión de tráfico que sufrían en sus centros urbanos, forzó a la construcción de los primeros metros del mundo. Hoy, el continuo crecimiento de las ciudades y el simultáneo aumento de los automóviles privados llevan a la construcción de metros como única solución para muchas de ellas.

Especialmente en las zonas urbanas la transportación representa el lazo de unión entre las unidades habitacionales y los centros de trabajo. Aproximadamente el 50% de los viajes urbanos son viajes de trabajo. Tanto los viajes para ir de compras, diversiones, a la escuela como otros muchos dependen directamente de los transportes. Esta es la razón por la cual el uso

correspondiente del suelo debe ser accesible a los habitantes de la ciudad. El desplazamiento de personas representa el empleo de un servicio vital de transportes que supone el uso de calles y carreteras, autobuses, vehículos y otras formas de transporte de la manera más eficiente posible. Los viajes de una ciudad a otra, ya sean de negocios o recreativos, se llevan a cabo entre todos los lugares del país y del mundo [2].

Evolución Tecnológica

El desarrollo de los sistemas de control y monitoreo a través de la historia han sido de gran importancia en el avance de la ingeniería. Los sistemas de control en diversos campos como los son la aeronáutica, los procesos de manufactura, los procesos industriales modernos y por supuesto en el campo de la generación y transmisión de energía eléctrica son fundamentales para que se lleve un correcto funcionamiento. Los avances en la teoría y práctica del control automático han dado los medios para lograr el funcionamiento óptimo de los sistemas dinámicos, mejorando la calidad, abaratando costos y minimizando la complejidad de muchas rutinas.

En los inicios del control automático no se contaba con tantos avances tecnológicos como los hay actualmente por ello se usaba equipos electrónicos/analógicos como relevadores para energizar circuitos de mando o para sensar algún cambio en el estado de alguna variable del sistema, también se empleaban gran cantidad de dispositivos electromecánicos como perillas, botoneras, contactores, pulsadores. A todo esto se le denomina como sistemas control convencional o sistemas de control electromecánico, debido a que como se mencionó utiliza en su mayoría dispositivos eléctricos y dispositivos mecánicos [3].

Actualmente, la tecnología de control ha reducido notablemente el número de componentes, lo cual ha aumentado la disponibilidad del sistema y disminuido la complejidad de la programación, haciendo rutinas más eficientes con lo cual se ha podido llegar a tener sistemas de control con un alto grado de seguridad, fiabilidad y bajo mantenimiento.

Adicionalmente, el uso de redes de alta velocidad para la transmisión de datos ahorra de manera considerable la cantidad de cableado, y gracias a su inmunidad a las interferencias electromagnéticas (en el caso de la fibra óptica) permite su utilización lo más cerca posible del sistema de potencia.

Por otra parte el uso de dispositivos electrónicos inteligentes (DEI's) basados en microprocesadores ofrece nuevas posibilidades tales como el monitoreo, análisis de señales, facilidades computacionales para los algoritmos de protección y control, almacenamiento de datos, manejo de eventos y análisis de fallas. Todo esto integrado en una interfaz de monitoreo y control llamada SCADA, que es la responsable de llevar a cabo todas las funciones y tareas programadas para el uso eficiente de todos y cada uno de los componentes que están integrados, desde un puesto local de operación o un puesto central de operaciones.

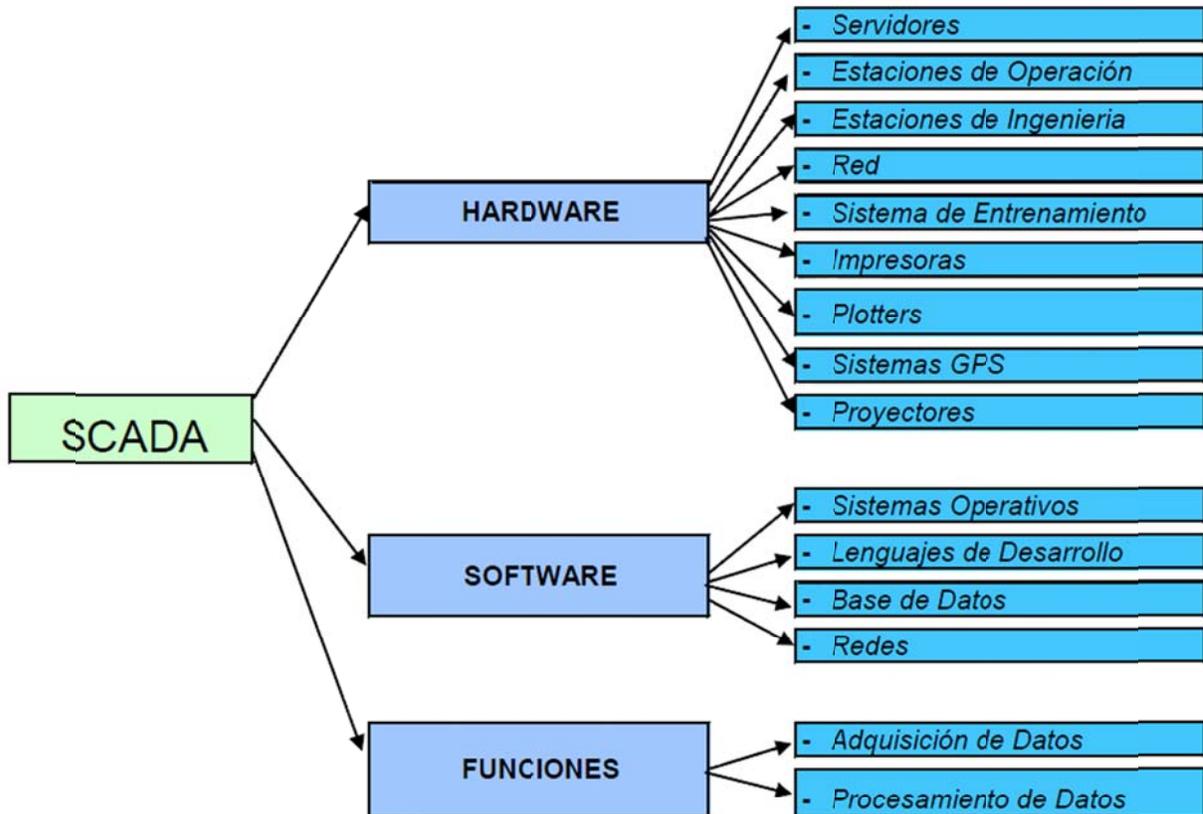


Diagrama del Sistema SCADA

Figura 1.

Sistemas Ferroviarios Electrificados

Actualmente, el aumento en la demanda de este sistema de transporte en ciertos casos, obliga a que muchos sistemas ferroviarios trabajen al máximo de su capacidad nominal. Esto provoca que la corriente se eleve a muy altas intensidades, y en consecuencia, aparezcan importantes caídas de tensión, que repercutirán directamente en el sistema de tracción de los trenes. En estos casos, se debe ampliar el sistema, bien sea reduciendo la resistividad de la instalación (colocando cables en paralelo o cables más anchos) o bien instalando más subestaciones en el recorrido. Los costos de conexión a red, en los casos en que el punto donde se vaya a construir esté muy alejado de la red eléctrica, pueden llegar a ser tan elevados, que la instalación sea inviable económicamente.

Los sistemas ferroviarios que funcionan con tracción eléctrica, independientemente de la tensión y la potencia nominal a las que están diseñados, poseen un esquema general común.

Sistemas Alimentados en C.D.

Básicamente, todo ferrocarril de este tipo está alimentado por una catenaria, un cable suspendido sobre la vía, paralelo y con una distancia constante entre ambos elementos durante todo el recorrido.

La catenaria está alimentada a su vez por subestaciones repartidas a lo largo del trayecto, que toman la potencia de la red eléctrica y transforman a tensión continua mediante rectificadores. Estas subestaciones son equivalentes a una fuente de tensión conectada entre los carriles y la catenaria. El tren, para tomar la potencia necesaria para moverse, se conecta eléctricamente entre estos dos elementos, tomando la potencia del cable suspendido y usando la vía para cerrar el circuito.

Los sistemas ferroviarios están diseñados teniendo en cuenta el número y el tipo de trenes que transiten la línea. Según la cantidad de ferrocarriles que utilicen el sistema y la distancia que se tenga que abarcar, se determina la potencia necesaria y el número de subestaciones que se deben instalar. Además de esto, la alimentación de los sistemas ferroviarios tienen distintos niveles de tensión, que van desde 600V (es el caso de la electrificación de tranvías y las redes de metro más antiguas), 750V, 1500V y hasta 3000V, siendo esta última la electrificación más común de los tramos de larga distancia.

El número de subestaciones que pueden estar repartidas a lo largo del trayecto, así como las distancias entre ellas, no solo vendrá determinado por la potencia y el tráfico de trenes, sino también por el espacio disponible donde poder hacer la instalación y la accesibilidad a la red eléctrica del lugar por donde se vaya a trazar la vía. Así las distancias entre subestaciones son variables, siendo valores habituales entre 8 y 25 kilómetros.

Sistemas Alimentados en C.A.

Hoy en día, para el transporte de grandes potencias se usan universalmente los sistemas de corriente alterna. Se ha llegado a estos sistemas como consecuencia de la simplicidad de los grandes generadores y transformadores de corriente alterna.

El voltaje de transmisión puede ser adaptado a las necesidades de servicio con mayor sencillez y economía que en el caso de sistemas de corriente continua.

Por exigencia de transporte a grandes distancias, las tensiones de salida en alternadores es elevada, mediante transformadores de potencia, a altas tensiones normalizadas.

En cuanto a las líneas de transporte o líneas de alta, son en algunos casos propiedad de la Empresa Suministradora, por razones de seguridad de servicio, se tiende a instalar por cuenta propia estas líneas en forma de malla, interconectando entre si las subestaciones rectificadoras de un sector y con dos a más puntos de suministro de energía de las fuentes originales [3].

Sistemas de Transporte Electrificados en la Ciudad de México

Los tranvías son trenes ligeros de superficie que circulan en el área urbana, en las propias calles, particularmente con separación del resto de la vía.

En general, los tranvías utilizan un carril especial, denominado carril de garganta. Esto permite pavimentar a ambos lados de los carriles y hasta su nivel superior, para hacer posible la circulación de los automóviles y peatones, manteniendo un espacio del lado interno destinado pestaña de las ruedas del material rodante. Cuando van por una vía separada del tránsito automóvil, pueden utilizar el mismo tipo de carriles que los trenes, aunque no es necesaria la misma sección y peso por metro lineal, debido a la ligereza del material rodante tranviario.

La energía eléctrica la captan de un cable conductor aéreo, a través del pantógrafo, aunque existen algunos que lo toman de un tercer carril, y el circuito eléctrico se cierra a través de los carriles.

Ventajas del tranvía

- No hay los consumos asociados a una instalación subterránea (ventilación, ascensores).
- En comparación con el metro, la construcción de su infraestructura es más económica.
- Mejor accesibilidad debido a que en la mayoría de los casos no hay escaleras para llegar a los andenes y además hay tranvías de “Piso Bajo”, que permite ahorrar tiempo en las paradas, aumentando la velocidad.

Inconveniente del tranvía

- Problemas con el tráfico vehicular al compartir calzadas i/o cruces.

En el entorno de la Ciudad de México el Tranvía y el Trolebús han perdido importancia tanto en lo que se refiere al número de vehículos como a la cantidad de viajes realizado en ellos. El primero porque su tecnología obsoleta y su rigidez lo convierten en un modo de transporte inadecuado para las dimensiones de la ciudad. El segundo, no obstante sus ventajas desde el punto de vista del medio ambiente, sólo puede ser útil en áreas restringidas de la ciudad, en las que se pueden reservar carriles exclusivos de circulación [4].

Sistema de Transporte Colectivo Metro

La historia del Sistema de Transporte Colectivo Metro (STC Metro), uno de los pilares del transporte público de la ciudad de México, ha sido entrecortada, siguiendo los vaivenes de la política de vialidad y transporte de los gobiernos de la entidad.

Según la cronología del SCT Metro, esta historia se inició en junio de 1967, en medio del auge económico, con la construcción de las 3 primeras líneas, con una longitud de 39.9 Km. las cuales se inauguraron a mediados de 1970 y a las que se añadió una prolongación, para llegar a 42.4 km. en 1972. Luego, hubo que esperar hasta finales de 1976, para que siguiera su ampliación; a fines de 1982, el Metro llegaba a 79.5 Km.

Entre 1983 y fines de 1988, el Metro llegó a 140.8 Km., a pesar de la entrada del país en 1982 en la larga fase recesiva de la economía, y del impacto de los sismos de 1985 sobre la economía y la estructura física de la capital. Entre 1988 y 1994, la ampliación del Metro continuó a ritmo pausado, para llegar a 178.1 Km. En el trienio 1994 -1997, solo se inició la construcción de la línea B, concluida en el 2000, la cual penetró en el Estado de México y ha sido el único intento de buscar la integración del sistema en escala metropolitana. Así, la red llegó a los 201.7 Km. actuales.

La última Regencia del DF (1994 - 1997) promovió la construcción de un tren elevado entre el DF y el Estado de México, concesionado al capital privado, el cual enfrentó la oposición de los vecinos de las áreas involucradas en el trazo, y hoy sigue sin materializarse. Entre 2000 y 2006, el GDF suspendió la ampliación programada por su antecesor (32.15 Km.), justificándolo en la ausencia de estudios vigentes de origen-destino, la caída del número de usuarios y la redistribución territorial de la población del DF, el cambio de formas de gobierno, y la falta de acuerdos con el Estado de México para desarrollar la red metropolitana. También declaró que las obras del Metro eran costosas y lentas, por lo que excederían el tiempo de su mandato gubernamental [5].

Para el período de gobierno 2006 - 2012, se programaron los estudios y las obras de una nueva línea, la 12, entre Mixcoac y Tláhuac, con 24 Km. de longitud y 22 estaciones. En la medida que han pasado los años, el gobierno del DF ha desatendido la opción del Metro, lo ha ampliado a un ritmo muy lento o lo ha dejado de lado, y se ha inclinado por las obras viales para el automóvil.

Hoy, la red del Metro alcanza menos del 50% de la longitud prevista como necesaria para el 2030 por el Plan Maestro del Transporte de 1996; este objetivo será imposible de lograr dada la falta de consenso sobre la urgencia de construirla, esto se debe al ritmo excesivamente lento de construcción de los últimos tiempos.

En general, la red del Metro cuenta con 200 km de vías dobles, 11 Líneas, 175 estaciones, 200 trenes en servicio, transporta 4.2 millones de personas al día (Programa Integral de Transporte y Vialidad). Últimamente se encuentra en construcción la Línea 12 que correrá de Mixcoac a Tláhuac beneficiando a las delegaciones Tláhuac, Xochimilco, Iztapalapa, Benito Juárez, Coyoacán y Milpa Alta. Contará con 21 estaciones, transportando un aproximado de 412 mil pasajeros al día y se tiene previsto que entre en funcionamiento a mediados del año 2012 [6].



RED DEL METRO



Figura 2. Red del Sistema de Transporte Colectivo Metro.

Tren Suburbano (Sistema de Trenes Suburbanos Concesionados)

El Tren Suburbano que va de Buenavista a Cuautitlán es el primero de tres sistemas dentro de un proyecto de mayor amplitud denominado Ferrocarril Suburbano el cual comprende, en su conjunto, una red metropolitana de 242 kilómetros integrada por tres Sistemas. El Sistema 1 corre de Buenavista a Cuautitlán, el Sistema 2 correrá de Ecatepec a Martín Carrera y el Sistema 3 de Chalco a la Paz, y cada Sistema cuenta con la posibilidad de ampliación hacia otros ramales incrementando así su nivel de cobertura. Sin embargo sólo el Sistema 1, y en su diseño troncal, ha sido definido, licitado y autorizado en su totalidad y actualmente se encuentra en proceso de operación, los otros dos proyectos y sus ramales están en evaluación técnica y planeación.

Sistema 1

El Sistema 1 además de utilizar la infraestructura férrea existente y el derecho de vía de propiedad federal de la antigua ruta México-Querétaro, y de contar con la participación de la iniciativa privada, del gobierno Federal, del Estado de México y del Distrito Federal, tiene un alto impacto metropolitano pues coincide con la configuración de corredores de viajes de la zona norte del Valle de México atendiendo así a una región de alta y creciente densidad demográfica y actividad económica

Este Sistema 1 cuenta con 2 terminales (Buenavista y Cuautitlán) y 5 estaciones intermedias (Fortuna, Tlalnepantla, San Rafael, Lechería y Tultitlán), en un recorrido de 27 km, en 24 minutos, atendiendo a las delegaciones Cuauhtémoc y Azcapotzalco, en el Distrito Federal, y a los municipios de Tlalnepantla, Tultitlán, Cuautitlán y Cuautitlán Izcalli, en el Estado de México (aunque también se señala, su influencia abarcara a 11 municipios del Estado de México), y transportando un aproximado de 320 mil personas al día (100 millones al año), quienes ahorraran en su traslado 2.4 horas. Conecta, además, con dos líneas del STC-Metro, la línea 6 y B, y con el Metrobus.

Este Sistema cuenta, además, con la opción de expandirse en tres ramales sobre el derecho de vía existente con una extensión de 52 kilómetros: el Ramal 1, de Cuautitlán a Huehuetoca, con 20 km, el Ramal 2, de Lechería a Xaltocan (Santa Ana Nextlapan), con 20 km, y el Ramal 3, de San Rafael a Tacuba, con 12 km. Hasta el momento la empresa constructora (CAF) sólo ha anunciado la construcción del Ramal 1 y 2.

Este proyecto también implica la redefinición de varias rutas de transporte colectivo para abastecer el sistema, se dice que participarán 59 organizaciones de transportistas con un total de 1496 camiones. Sin embargo hasta el momento no se ha podido encontrar información sobre cuáles serán las nuevas rutas e incluso en las notas periodísticas mencionan que las rutas que se ha creado hasta el momento no son bien aceptadas ni por los usuarios ni por los transportistas.

Entre las obras viales asociadas a la construcción de esta primera etapa se encuentran los siguientes puentes. En el D.F, pasos a desnivel Flores Magón, Eulalia Guzmán, Pino, Ciprés, Rama 40 (Río Consulado), en la delegación Cuauhtémoc, Rama 50 (Río Consulado), Rama 80 (Av. Jardín), Rama 120 y 150, y Eje 4 Norte, en la delegación Azcapotzalco. Y en el Estado de México: 11 de

Julio, en Tlalnepantla, Av. Independencia y San Antonio, en Tultitlán, Venustiano Carranza, Morelos y Fresnos, en Cuautitlán de Romero Rubio. Además para entender la nueva demanda de usuarios en la estación Buenavista, que necesitaran vincularse con otras áreas y modos de transporte de la ciudad, se prevé construir puentes y pasos peatonales que permitan conectar al Tren Suburbano con las línea del Metro así como ampliar el parque vehicular del Metrobus, pues la mayor parte de la gente que arribe a la estación Buenavista buscará conectar al centro de la ciudad a través de la Av. Insurgentes y la línea 3 del Metro (Indios Verdes-Universidad) provocando una mayor saturación de las mismas [7].

Entre los beneficios que se señalan:

- Ahorro en tiempo de traslado de 2h 40 minutos.
- Reducción de tráfico y congestión.
- Disminución en un 14% de las emisión de contaminantes, desarrollo urbano orientado.
- Reducción de accidentes.



Figura 3. Red del Sistema 1 del Tren Suburbano.

Sistema 2

El Sistema 2 correrá de Jardines de Morelos, en Ecatepec, hacia Martín Carrera, en la delegación Gustavo A. Madero, y se prevé estará operando hacia el 2011. Conectará a la línea 4 y 6 del Sistema de Transporte Colectivo-Metro. Tendrá una longitud de 19.8 km y transportará a una demanda aproximada de 80 millones de pasajeros anualmente, beneficiando a 1.2 millones de habitantes. También contará con la opción de expandirse a cuatro ramales sobre el derecho de vía

en 70 km; ramales que no están definidos pero que se especula serán los siguientes. El primer Ramal iría de Martín Carrera a Tacuba, el segundo de Buenavista a Polanco, el tercero de Martín Carrera a Otumba, y el cuarto de Teotihuacán a Jaltocan (Santa Ana Nextlapan) [8]-[9].



Figura 4. Red del Sistema 2 del Tren Suburbano

Sistema 3

El Sistema 3 correrá de Chalco a la Paz, al oriente del Estado de México, enlazándose a la línea A del STC-Metro. Tendrá una longitud de 14.2 km, dos terminales - La Paz y La Caseta y 4 estaciones intermedias, Santa Catarina, Puente Rojo, Solidaridad y El Elefante, beneficiando a los municipios de Chalco, Valle de Chalco Solidaridad, Ixtapaluca y la Paz.

Transportará a un aproximado de 64 millones de personas al año, y contará con la opción de expandirse en tres ramales, con una longitud de 60 km. El Ramal 1, de la Paz a Nezahualcóyotl, el Ramal 2 de Nezahualcóyotl a San Rafael, y el Ramal 3 de La Paz a Texcoco [8].



Figura 5. Red del Sistema 3 del Tren Suburbano

Referencias

- [1] Delgado, J. "Ciudad-Región y Transporte en el México Central. Un largo camino de rupturas y continuidades". Colección Ciudad y Región. UNAM y Plaza y Valdes.2003.
- [2] Duhau, E y Cruz, L. "Los procesos de urbanización periférica y la relación entre vivienda y empleo en la zona metropolitana de la ciudad de México", Duhau, E (coord.), Espacios Metropolitanos, UAM-A y Red Nacional de Investigación Urbana, México, 2001.
- [3] Enríquez, G. "Elementos de diseño de subestaciones eléctricas", 1ra edición, Limusa, México, 1982.
- [4] Islas, V. "Llegando tarde al compromiso: la crisis del transporte en la ciudad de México". El Colegio de México. México, 2000.
- [5] Empresas ICA (Ed.). "Treinta años de hacer el Metro. Ciudad de México", Editorial Espejo de Obsidiana, México D.F., México 1997.
- [6] Sistema de Transporte Colectivo Metro, Página web: www.metro.df.gob.mx
- [7] Portal de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (STC) y la empresa concesionaria del Tren Suburbano Sistema 1: Construcciones y Auxiliares de Ferrocarril.
- [8] Construcciones y Auxiliar de Ferrocarriles (CAF), S.A. Ferrocarriles Suburbanos. La vía rápida al bienestar.
PáginaWeb_http://www.fsuburbanos.com/secciones/la_empresa/presentacion.php
- [9] Secretaría de Comunicaciones del Gobierno del Estado de México, consultado en: <http://Awww.edomex.gob.mx/portal/page/portal/secom/transporte/sistema2>

Capítulo 2. Sistemas de Distribución Eléctrica en Ferrocarriles

Introducción

La tracción eléctrica en los ferrocarriles es muy antigua y originalmente todos los sistemas de alimentación eléctrica de tracción fueron de corriente continua, básicamente con el objetivo de alimentar en forma directa los motores de tracción de los trenes, también de corriente continua, capaces de desarrollar velocidades variables y grandes torques iniciales.

Posteriormente, con el desarrollo de rectificadores simples y de menor costo, se generalizó la alimentación en corriente alterna a voltajes más elevados, la cual es rectificada en los trenes para alimentar los motores de tracción en corriente continua. El desarrollo posterior de motores de tracción de corriente alterna con características de velocidad variable y alto torque inicial no ha cambiado este esquema.

En la electrificación de los ferrocarriles se plantean dos problemas totalmente distintos. Por una parte está el problema del transporte de la energía hasta los equipos móviles que la consumen, y por otra el problema que implica la utilización de esta energía en el vehículo motor.

Las técnicas utilizadas por los diseñadores de ambos sistemas son totalmente diferentes y constituyen especialidades que tienen muy poco en común. Los primeros se ocupan del transporte, transformación y distribución de la energía y los segundos de su eficiente utilización en los vehículos.

2.1. Generalidades de la Electrificación

Se entiende por electrificación al conjunto de las instalaciones necesarias para un sistema de tracción eléctrica.

Desde sus inicios, la tracción eléctrica ha sido aplicada a los trenes por numerosas razones. Una o varias de las consideraciones tomadas a continuación, han sido llevadas a cabo para electrificar determinados trenes en distintas partes del mundo.

- Economía de combustible.
- Mayor flexibilidad en el servicio suburbano.
- Rápida aceleración, aumentando la capacidad de las vías.
- Supresión de contaminación ambiental.
- Rampas de la zonas montañosas, que al ser electrificadas ha permitido un gran aumento de la capacidad en la línea.
- Freno regenerativo: La energía cinética del tren, puede ser convertida por los motores de tracción, al funcionar como generadores, en energía eléctrica recuperada y mandada por la línea de contacto a la subestación.
- Freno eléctrico: Usando esta energía en el propio tren.
- Conservación del equipo: Disponibilidad elevada en el servicio de los trenes, poco mantenimiento.
- A pesar del elevado costo de los trenes eléctricos, su elevada eficiencia compensa el alto grado, dado que admite cierta potencia intrínseca de sobrecarga para cortos períodos aumentando prácticamente la potencia efectiva de los trenes eléctricos (Por ejemplo: una rampa corta, la salida de estación y la aceleración)

En una electrificación ferroviaria pueden considerarse los elementos fundamentales siguientes:

- a. Fuentes de energía
- b. Líneas de transporte
- c. Subestaciones rectificadoras
- d. Líneas aéreas de contacto "Catenaria"

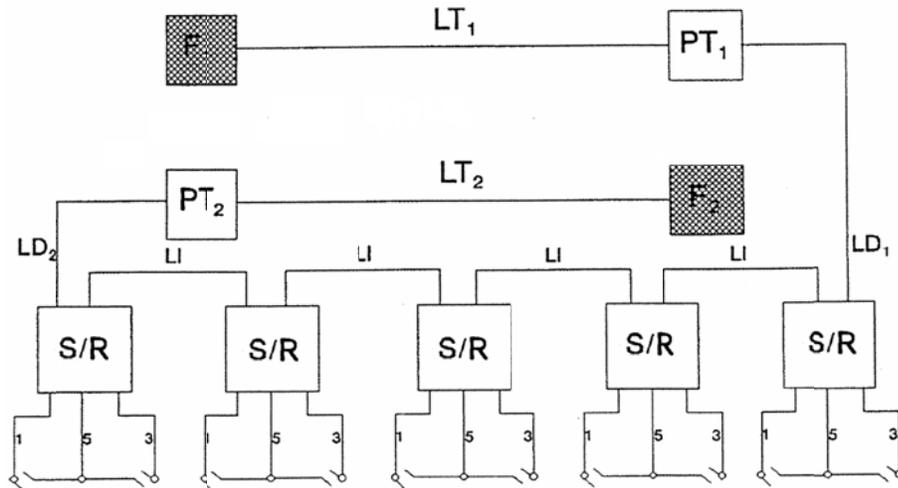


Figura 6. Esquema General de una Electrificación

$F_1 - F_2$: Fuentes de Energía

$PT_1 - PT_2$: Puestos de Transformación

S/R : Subestaciones Rectificadoras de C.C.

$LT_1 - LT_2$: Líneas de Transporte

$LD_1 - LD_2$: Distribución

LI : Interconexión de SS/RR

La electrificación de trenes ha sido llevada a cabo por diferentes métodos y sistemas principalmente caracterizados por la forma de distribuir la energía a los trenes.

SISTEMAS	Corriente alterna	Sistema monofásico
	Corriente alterna	Sistema trifásico
	Corriente continua	Línea aérea de contacto Tercer riel

Figura 7. Sistemas de Electrificación

A veces la energía en corriente continua es tomada de un carril colocado paralelamente a los carriles de la vía, usándose un cuarto carril, colocado al lado de él, para devolver energía, manteniendo de ese modo la corriente de tracción aislada de la tierra.

La tensión puede ser utilizada satisfactoriamente con el tercer carril, pero para tensiones más elevadas, se utiliza generalmente líneas de contacto aéreas.

2.2. Energía del Transporte

Los sistemas modernos de corriente alterna constan generalmente de los siguientes elementos.

1. Centrales Generadoras
2. Estaciones transformadoras - Elevadoras
3. Líneas de Transmisión
4. Estaciones de Maniobras
5. Estaciones transformadoras - Reductoras
6. Líneas de Distribución
7. Bancos Transformadores de Servicio
8. Redes Secundarias

Esencialmente los elementos como Estaciones Elevadoras, Líneas de Transmisión, Estaciones de Maniobras y Estaciones Reductoras constituyen el sistema de transmisión y las Líneas de Distribución, Bancos de Transformadores de servicio y Redes Secundarias constituyen el sistema de distribución. La diferencia entre ambos sistemas radica en su función. La función del sistema de transmisión es el transporte de grandes potencias a los centros de la carga y a los grandes consumidores industriales que sobrepasan los límites convenientes y económicos de las líneas primarias de distribución.

2.2.1. Estructura del Sistema

El sistema de alimentación de energía eléctrica a los vehículos ferroviarios está formado por cinco subsistemas diferentes:

1. El subsistema de distribución pública de energía, que abarca desde las centrales generadoras de electricidad, hasta la conexión de la alimentación del sistema ferroviario. Normalmente este subsistema opera con corriente alterna, en voltajes elevados y frecuencia normalizada.
2. El subsistema de distribución interna de energía, propio del tren, que abarca desde la conexión de alimentación del sistema público, hasta la conexión de alimentación de las subestaciones. Este subsistema puede no existir y en ese caso las subestaciones ferroviarias son alimentadas directamente desde la red pública.
3. El subsistema de transformación y rectificación, formado por las subestaciones eléctricas del ferrocarril, las que transforman, filtran, regulan y rectifican la energía eléctrica, dejándola en condiciones de alimentación eléctrica directamente a los vehículos ferroviarios.

4. El subsistema de alimentación a los trenes, que abarca desde la salida de las subestaciones hasta los equipos toma corriente de los vehículos, formado por catenarias simples o compuestas, barras de alimentación u otros equipos similares.
5. El subsistema de comando y control de los otros cuatro subsistemas, que comprende:
 - Monitoreo y control automáticos
 - Monitoreo y control locales (en los equipos mismos)
 - Monitoreo y control desde un puesto local (preferentemente en la subestación)
 - Monitoreo y control desde un puesto centralizado

2.3. Subestaciones Eléctricas para Sistemas de Corriente Alterna

Para transformar corriente, trifásica de 60 Hz en alta tensión se recurre a transformadores monofásicos.

Esta disposición produce desequilibrio en la línea trifásica de la distribuidora, por lo cual en subestaciones sucesivas se toman las fases en forma alternativa. Esto exige establecer zonas neutras en la línea aérea de contacto entre subestaciones para evitar cortocircuitar las fases diferentes.

Para disminuir este problema, en ferrocarriles de doble vía las líneas aéreas de contacto de cada sentido de circulación de los trenes se alimentan desde dos transformadores diferentes de la subestación de transformación, alimentados a su vez desde fases distintas de la distribuidora.

Las disposiciones y combinaciones de seccionamientos en las subestaciones de transformación permiten aminorar el problema de los desequilibrios de cargas.

El desequilibrio de la línea trifásica en este tipo de instalaciones es admisible normalmente si el factor K es menor que 3%, siendo:

$$K = \frac{\text{Potencia media en subestación}}{\text{Potencia de corto circuito de la alimentación}}$$

2.4. Subestaciones Eléctricas para Sistemas de Corriente Continua

2.4.1. Alta Tensión

Con respecto al suministro eléctrico en alta tensión por parte de la empresa suministradora, se presentan varias alternativas a analizar.

- Si el suministro proviene de una subestación de la distribuidora, la alimentación puede efectuarse mediante una acometida o mediante dos acometidas (redundancia).
- Si el suministro proviene de líneas de alta tensión de la distribuidora, cuando ésta tiene dos circuitos de alta tensión en esa línea, cabe la posibilidad de que mediante seccionamientos pueda tomarse la acometida desde uno u otro circuito. En el caso de líneas de alta tensión, es conveniente tener el seccionamiento de la línea en el punto de conexión de la acometida. De esta forma si hay una falla en la línea, se desconecta el tramo en falla y la acometida se alimenta del otro tramo que queda en servicio.
- La acometida puede ser de uso exclusivo del tren o de uso compartido.
- Si la alimentación de la acometida implica un proceso de transformación en la subestación de la distribución, la transformación puede ser exclusiva del tren o compartida con terceros.

El suministro ideal es con doble acometida y con exclusividad de transmisión y transformación, sin embargo esta alternativa representa un mayor costo, que se debe contrastar con la confiabilidad que se debe exigir a la alimentación eléctrica del tren.

La alimentación de las subestaciones, sean éstas de transformación o de transformación y rectificación proviene de una línea aérea trifásica, con conductores de cobre o aluminio apoyados en postes. En el fin de apoyo de la línea (torre de llegada) se instalan seccionadores con puesta a tierra y pararrayos de protección contra sobretensiones.

En el caso de subestaciones ubicadas en zonas urbanas, la acometida a la subestación es generalmente subterránea.

Desde la torre de llegada, se debe tender una línea aérea (o subterránea) de acometida hasta el portal de entrada en el patio de la subestación. Para el caso de subestaciones en que el equipamiento de alta tensión sea del tipo indoor, la acometida desde la torre de llegada se debe tenderá en cables aislados subterráneos hasta las celdas de alta tensión ubicadas en el edificio de la subestación.

2.4.2. Equipos de Alta Tensión

La torre de llegada de la acometida de alta tensión al patio de la subestación, se diseña con un seccionador con conexión a tierra, apto para voltaje y corriente que depende de la tensión de la

acometida y de la potencia del o de los transformadores a alimentar. Dispone, además, del correspondiente pararrayos. Se tiende una línea de acometida de forma subterránea desde la torre de la acometida hasta el edificio de la subestación.

Una vez en la subestación, la línea ingresa a una celda que contiene un interruptor- seccionador motorizado y el disyuntor de protección.

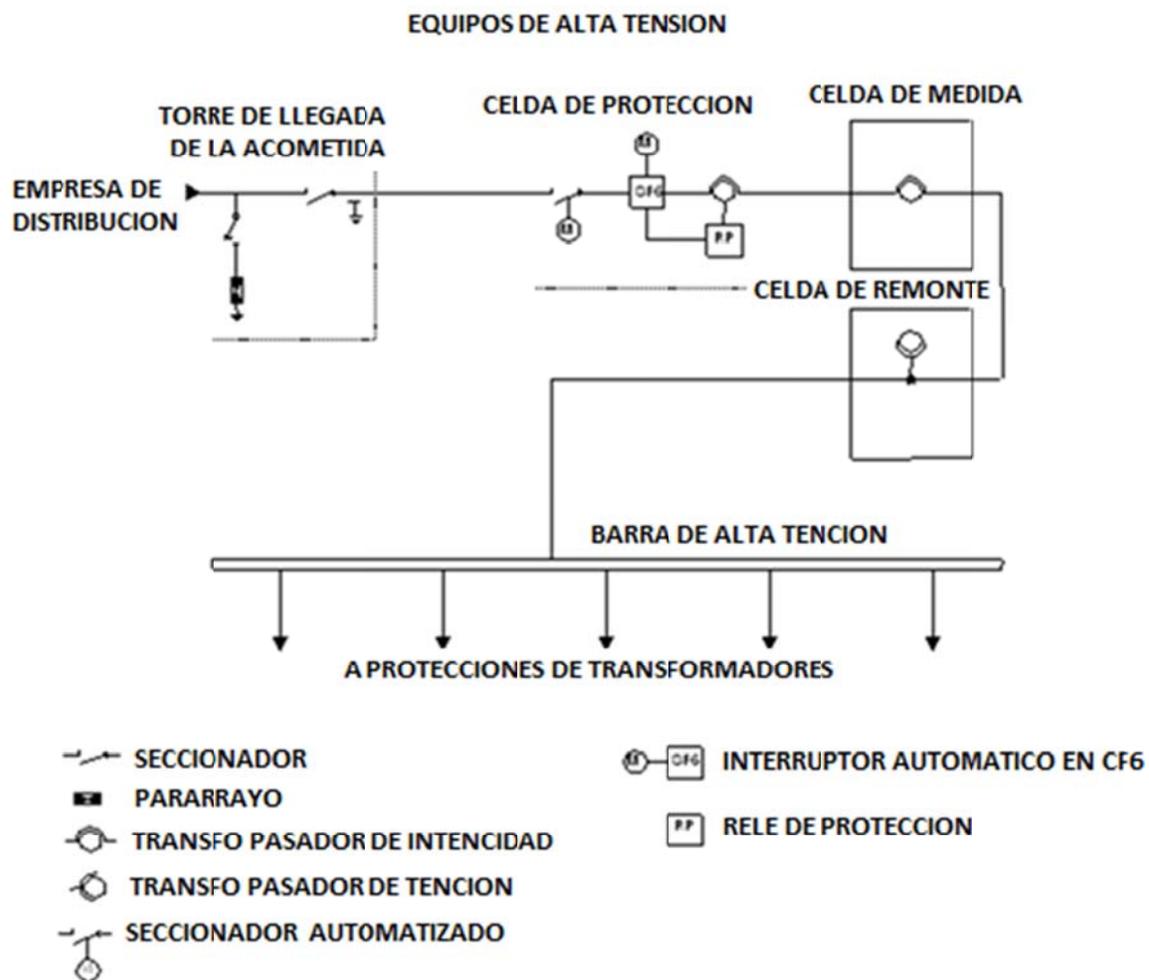


Figura 8.

2.4.2.1. Protección de la Subestación

Esta protección general de la subestación debe ser blindada en gas SF₆ (hexafluoruro de azufre), simple barra de entrada-salida con seccionador de cables de 3 posiciones (abierto-cerrado-puesta a tierra) y debe disponer de:

- 1 mando motorizado para seccionador simple barra.
- 1 Interruptor automático en SF₆, mando eléctrico, bobina de cierre y apertura, relé anti bombeo y contador de maniobras.
- 1 Indicador de presión de SF₆.
- 3 Transformadores de intensidad.
- 1 Relé de protección para 1000 funciones.
- 3 Conectores de alta tensión.
- 1 Conmutador selector, dos posiciones a 90°
- Conjunto de relés auxiliares de corriente continua, interruptores automáticos, contactos auxiliares y demás accesorios.

2.4.2.2. Protección de Transformadores

Las protecciones de los transformadores se pueden clasificar en:

- Celda de grupo de transformación asociado a la tracción eléctrica.
- Celda asociada a la alimentación de subestación móvil o portátil.
- Celda asociada a la transformación para red de media tensión exclusiva de sistema de señalización.
- Celda asociada a la transformación para red de baja tensión de servicios auxiliares.

Para el caso de protección de grupo de transformación para tracción, se debe disponer de un interruptor-seccionador motorizado y disyuntor de protección en SF₆, transformadores de intensidad toroidales y relé de protección de 1000 funciones, conjunto de relés auxiliares de corriente continua, interruptores automáticos, contactos auxiliares y demás accesorios.

En cuanto a la protección de la subestación portátil, deberá disponer de dos interruptores-seccionadores, uno motorizado a la salida de la barra de alta tensión y uno manual en el pórtico de la subestación portátil.

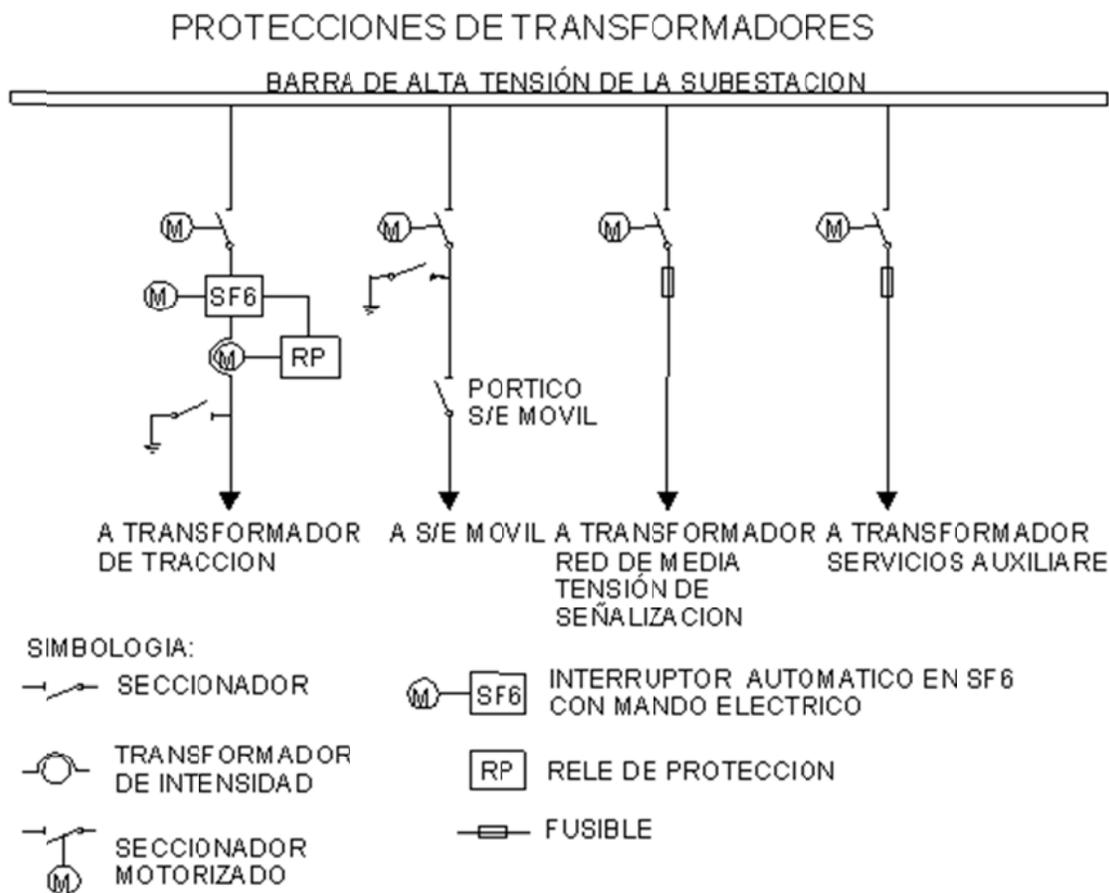


Figura 9.

2.4.3. Subestaciones Rectificadoras

Anteriormente la corriente continua era la forma más conveniente para la tracción eléctrica de los trenes, debido a una serie de condiciones ventajosas que reúne el motor serie (fuerte par de arranque, multiplicidad de marchas económicas). Actualmente la corriente alterna presenta mayores ventajas: Su facilidad de producción, de modificación de sus tensiones con buen rendimiento y su transporte a grandes distancias con pérdidas prácticamente despreciables.

Actualmente, la utilización de dispositivos electrónicos, como transistores bipolares de puerta aislada (IGBT, por su siglas en inglés), gateturn-off thyristors (GTO) y microprocesadores simplifican el control sobre los motores de tracción en los trenes alimentados con AC. Antes del desarrollo de estas tecnologías, la realización del control sobre los motores de tracción cuando se empleaba alimentación AC representaba un desafío mucho mayor que cuando se alimentaban los

trenes con DC; de ahí que desde el origen de los sistemas de transporte masivo eléctrico la utilización de sistemas en DC fuera tan popular alrededor del mundo.

Los componentes principales de una subestación rectificadora son:

- Transformadores de potencia, que proveen la tensión a los puentes rectificadores al nivel adecuado.
- Interruptores AC, para proteger contra fallas.
- Seccionadores aisladores, para la selección de las barras alimentadoras, transformadores, en caso de emergencia y acciones de mantenimiento.
- Puentes rectificadores de IGBT o diodos de 6 o 12 pulsos, conectados en paralelo o en serie.
- Seccionadores aisladores DC, para seleccionar puentes rectificadores en caso de cualquier eventualidad.
- Interruptores DC de alta velocidad, para proteger las secciones de las líneas y de los trenes mismos. Son costosos, pero necesarios, ya que es difícil abrir secciones de líneas cuando se trata con altas corrientes DC en un circuito inductivo.

Para complementar las ventajas de ambos tipos de energía eléctrica, se instalan, convenientemente repartidas a lo largo de la vía, subestaciones rectificadoras que, tomando la energía alterna de las líneas de distribución, la convierten en corriente continua y que conectada a las líneas aéreas de contacto, es captada por los trenes eléctricos mediante sus pantógrafos.

Las tensiones elevadas se utilizan siempre con hilos de contacto aéreo. Es evidente que las tensiones altas requieran relativamente menos cobre, o su equivalencia, en la distribución y que las subestaciones pueden disponerse más distanciadas si los circuitos son de tensiones elevadas, en igualdad de las demás condiciones.

Las subestaciones rectificadoras, atendiendo a su principio de funcionamiento, pueden ser de dos tipos fundamentales:

- Rotativas: motor - dínamo o conmutatrices.
- Estáticas: rectificador a vapor de mercurio o de células de silicio.

Con los avances industriales en la fabricación de "semiconductores", las del primer tipo tienden a su desaparición y en la actualidad es utilizado con mayor frecuencia nuevos montajes a base exclusivamente de subestaciones con rectificadores de silicio, de simple y económico mantenimiento y conservación.

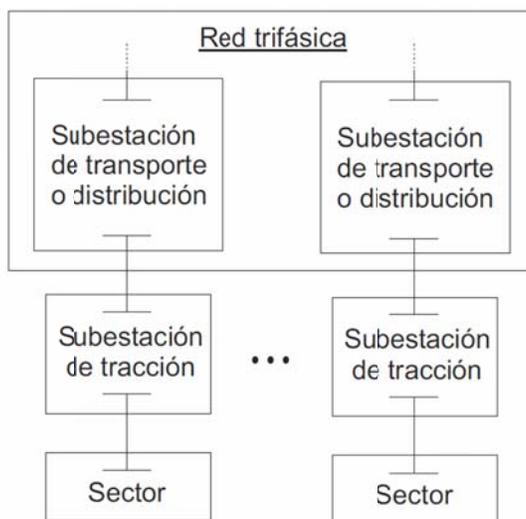
Por razones de fiabilidad, las subestaciones de tracción están diseñadas para permitir la alimentación simultánea a dos subsectores desde cada transformador, de forma que cada subsector funciona como respaldo de los subsectores adyacentes. En situación de falla, desde el

centro de control es posible realizar las maniobras oportunas para modificar la topología de la electrificación y aislar así la falla.

2.5. Subestaciones de tracción

La subestación de tracción es la instalación en la que se realiza la conexión de los tramos de la electrificación a la red trifásica correspondiente (generalmente la de transporte). Para ello, se realiza la transformación de tensiones desde los niveles de la red trifásica (que dependen del punto de conexión a la misma) a los niveles de la catenaria.

Habitualmente, la conexión de la subestación de tracción a la red trifásica correspondiente se realiza mediante una línea que conecta la subestación de tracción a una subestación de transporte o distribución.



Forma de conexión de la electrificación a la red

Figura 10.

Generalmente, las subestaciones de tracción presentan una topología en barra simple. Dicha topología proporciona un costo inferior al de otras opciones, a la vez que proporciona una flexibilidad de operación suficiente a la subestación. No obstante, en aquellos casos en los que se alimentan a varias líneas desde una misma subestación, podría ser aconsejable el uso de

topologías más complejas (en anillo o en doble barra). En algunos casos, es posible reunir la subestación de tracción y la de transporte o distribución en una misma instalación.

Habitualmente, las subestaciones de tracción se controlan desde el centro de control mediante un sistema de telemando. Esto permite realizar maniobras en varias subestaciones de forma coordinada, para adaptar la topología de la electrificación a las necesidades. Por último, la topología de la subestación puede variar ligeramente en función del tipo de conexión de los transformadores que se quieran emplear.

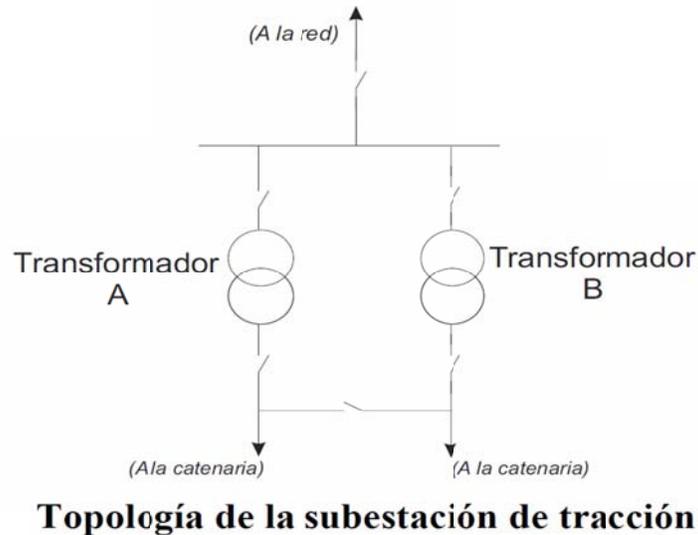
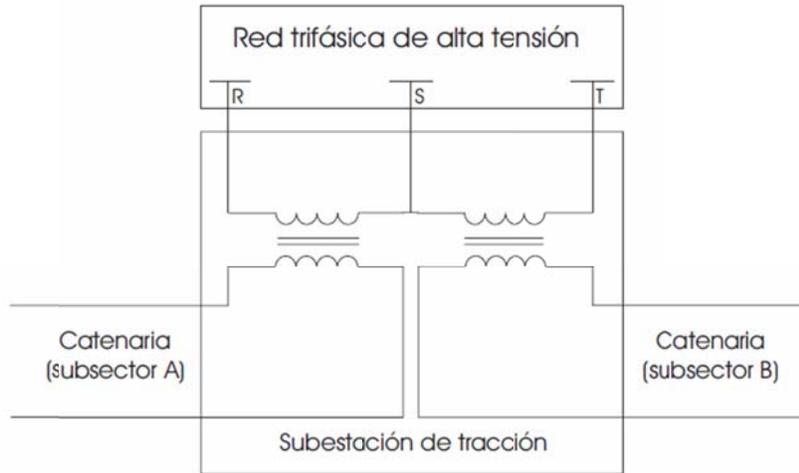


Figura 11.

Existen varias formas de conexión de transformadores empleadas comúnmente para conectar cargas monofásicas a redes trifásicas. Entre los factores que destacan la elección hacia una u otra forma de conexión cabe resaltar factores como la simplicidad, el costo y los desequilibrios en la red trifásica.

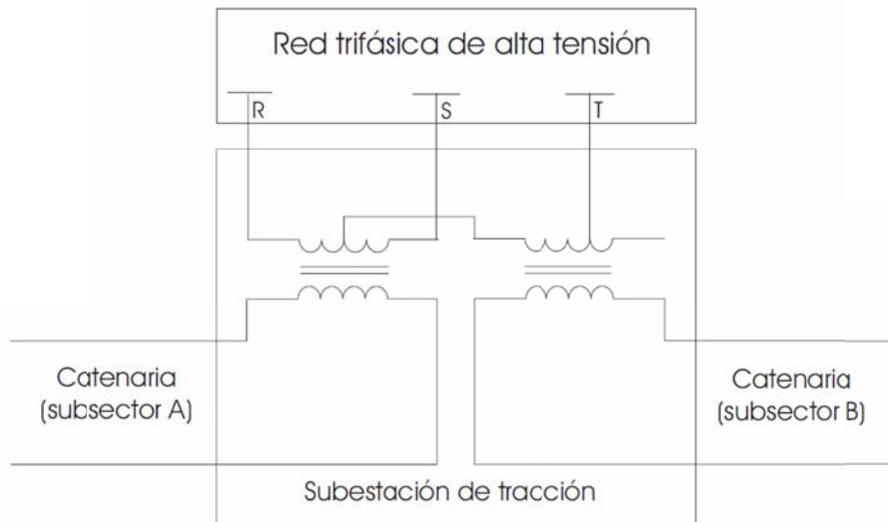
La figura 12 muestra el esquema de conexión en $\Delta - Y$ (Delta – Estrella). Dicha conexión destaca por su simplicidad y porque el desequilibrio que produce en la red no tiene componente homopolar.



Conexión de la subestación de tracción: $\Delta - Y$

Figura 12.

La figura 13 muestra el esquema de conexión de Scott. Dicha conexión es algo más complicada que las anteriores y además requiere que los transformadores tengan accesibles una toma intermedia. Sin embargo, permite reducir en gran medida los desequilibrios.



Conexión de la subestación de tracción: conexión de Scott

Figura 13.

En la subestación de tracción se instalan además instrumentos de medida, así como los elementos de protección necesarios para garantizar la seguridad de la instalación. Típicamente se suelen instalar al menos protecciones de sobre corriente y de sobretensión.

2.5.1. Voltajes y Corrientes de Alimentación a Trenes

En corriente continua, las tensiones utilizadas varían normalmente entre 600 V, utilizada preferentemente en sistemas de tipo urbano (tranvías, suburbanos, metros), hasta 3000 V, utilizada en sistemas de mayor distancia.

No resulta práctico utilizar voltajes mayores por las dificultades derivadas de los dispositivos de interrupción (contactores y disyuntores) y de los equipos auxiliares, aunado a que hay un límite práctico de la tensión máxima para una realización económica y limitación del volumen y peso de los motores de tracción del orden de 1500 V. En este caso, la tensión de 3000 V se utiliza para alimentar dos motores de 1500 V dispuestos en serie.

El desarrollo de la alimentación en corriente alterna ha llevado a la utilización de voltajes mucho más altos, lo que se traduce en menores secciones de los conductores y costo más bajo consiguiente del sistema de líneas de contacto. Asimismo, al trasladar el proceso de rectificación a los trenes, se simplifican las subestaciones, limitándolas a funciones de transformación y regulación del voltaje, con lo que se disminuye las instalaciones fijas.

2.5.1.2. Alimentación en Corriente Continua

Los sistemas de tracción de corriente continua se utilizaron extensamente debido a las características del motor de corriente continua, de velocidad variable y alto torque inicial. El voltaje de alimentación quedó limitado por razones prácticas, ya que no existía ninguna manera simple y a la vez eficiente de transformar la tensión de una corriente continua, por lo que la tensión de alimentación debió ser la misma o a lo más el doble de la tensión de funcionamiento de los motores de tracción de los trenes.

Sin embargo, los crecientes requerimientos de potencia llevaron a la necesidad de operar con grandes intensidades de corriente para lograr las potencias requeridas y para no tener caídas de tensión inaceptables, lo que requiere de líneas de alimentación de gran sección y subestaciones de alimentación bastante próximas.

En estas condiciones, los costos de inversión en subestaciones numerosas y complicadas (deben transformar y rectificar), más los de un sistema de catenarias pesadas u otro sistema de alimentación equivalente, representa una fuerte desventaja para el sistema de corriente continua.

El sistema de alimentación en corriente continua subsiste en muchas aplicaciones ferroviarias en muchos países del mundo.

Por diversas razones de orden práctico, los sistemas de alimentación en corriente continua se siguen utilizando en forma habitual en las aplicaciones urbanas, como tranvías, metro y sistemas suburbanos.

2.5.1.3. Alimentación en Corriente Alterna

La necesidad de disponer de catenarias más ligeras y de subestaciones más simples, llevó en los años 50's a desarrollar sistemas electrificados con alimentación en corriente alterna a voltajes elevados. El equipamiento de trenes con rectificadores eficientes y de bajo costo, permitió que la alimentación se hiciera en corriente alterna de frecuencia industrial y que sus motores de tracción siguieran operando con corriente continua.

La alimentación en corriente alterna presenta las siguientes ventajas:

- Permite elevar el voltaje de las catenarias, disminuyendo así su sección y sus correspondientes costos.
- Simplifica las subestaciones, las que se reducen a las funciones de transformación de voltaje, regulación y filtrado de la corriente.
- Permite un mayor espaciamiento de las subestaciones, al reducir las pérdidas en las catenarias.
- Mantiene el uso de motores de tracción de corriente continua.

Este sistema se ha extendido en el mundo para todos los trenes de larga distancia, sin embargo no ha sustituido los sistemas de corriente continua existentes en sistemas suburbanos y de cercanías.

2.5.2. Elección de la Corriente de Tracción

Una vez definida las características de transporte que debe otorgar el tren, se conoce el requerimiento de los trenes, su cantidad, tamaño y consumo estimado y la frecuencia de operación.

Si se trata de una nueva línea, es recomendable considerar una alimentación en corriente alterna estándar. Sólo cuando la compatibilidad con el sistema existente sea indispensable, se deberá considerar un sistema en corriente continua.

Sin embargo, en sistemas de tipo suburbano se sigue utilizando sistemas de corriente continua.

Si se trata de una extensión o modernización de parte de un trazado actualmente en explotación, existen dos alternativas:

- Si en la extensión o modernización, además de los nuevos trenes, sólo circularán trenes con tracción Diesel, es posible electrificar.
- Si en la extensión o modernización, además de nuevos trenes, también circularán los actuales trenes con tracción en corriente continua deberá evaluarse la conveniencia de reemplazar los equipos rodantes o transformarlos a equipos bitensión. Si esto no resulta conveniente, sólo cabe electrificar el nuevo sistema en corriente continua.

2.6. Elementos Fundamentales que Integran el Circuito de Tracción

El circuito de tracción puede considerarse dividido en cinco partes fundamentales:

- Circuito aéreo positivo:** Está constituido por la línea aérea de contacto. Pertenecen a este circuito "positivo" tanto la línea aérea propiamente dicha como todos los cables auxiliares que la sustentan o que alimentan: cables de acero, equipos de suspensión y de atirantado, feeders.
- Circuito negativo o de tierra:** Está integrado por los dos carriles de la propia vía, pozos de tierra de subestaciones, conexiones longitudinales y transversales de carriles, autoinducciones de "circuitos de vía" para señalización y sus lazos. Todo esto conectado al carril negativo de la Subestación.
- Circuito de tracción:** Es el conjunto de los dispositivos descritos en positivo y negativo. De manera que sin tener en cuenta las posibles "fugas de corriente" que, abandonando los carriles, retornan a la Subestación por tierra, la misma intensidad que circula por la catenaria, que es la consumido por el tren, es la que debe de circular por los carriles.
- Cortocircuito:** Se entiende por cortocircuito todo puente accidental que sea efectuado entre los conductores de un circuito eléctrico, siempre que el valor de la resistencia de dicho "puente" sea "cero" o de muy escaso valor. La corriente de cortocircuito tiende a infinito y, por si misma, debe poner en acción las protecciones de seguridad (automáticos, fusibles)
- Intensidad en régimen:** Se entiende por intensidad de régimen de un circuito a aquella intensidad administrada como anormal y que es capaz de ser suministrada por la fuente de energía (Subestaciones).

2.7. Sistemas de Tracción en los Trenes

2.7.1. Motores de corriente continua

Los motores de corriente continua tienen un estator diseñado para corriente continua y un rotor también para corriente continua, a través del colector.

En los equipos clásicos, el control de la tensión de alimentación de los motores se efectúa mediante el uso de resistencias y distintas combinaciones de motores (serie-paralelo)

Con la aparición de los tiristores se desarrolló el "chopper" que es básicamente un convertidor continua-continua que permite un muy preciso control de la tensión de alimentación de los motores.

Los motores de corriente continua son simples y confiables; tienen un alto torque inicial y son de fácil control. Por otra parte, requieren de mantenimiento, en especial en los colectores, son pesados y voluminosos.

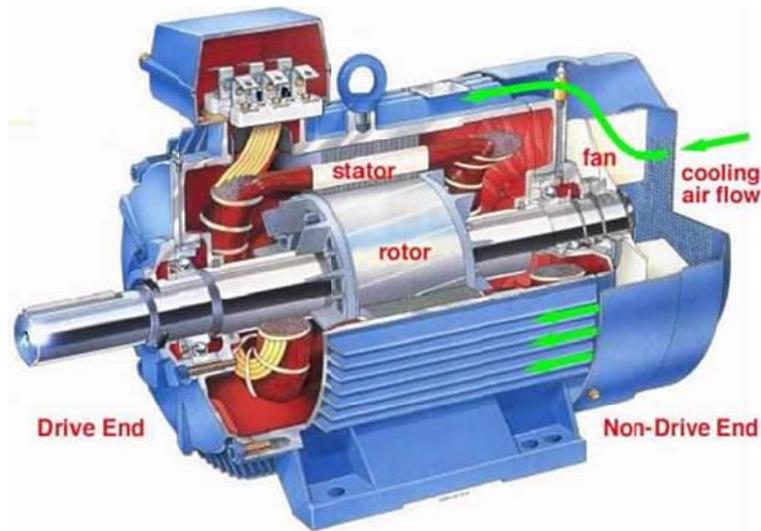


Figura 14. Motor de Corriente Continua

2.7.2. Motores asíncronos

La tecnología actual ha sustituido los motores con colector por motores trifásicos asíncronos sin escobillas, alimentados por un convertidor estático continuo trifásico, el que alimenta los motores con corriente trifásica de frecuencia y tensión variables. Esto en cierta forma equivale a sustituir el colector por un conmutador electrónico.

En estos motores, el estator esta recorrido por corrientes alternas trifásicas y el rotor por corrientes alternas polifásicas.

Las ventajas de los motores de corriente alterna es que son simples y livianos, y requieren menos mantenimiento por no tener colector, todo lo cual se traduce en menores costos de inversión y operación. Su desventaja principal reside en la complejidad de sus equipos de control.



Figura 15. Motor Asíncrono

2.7.3. Equipos de alimentación mixta

Con el objeto de permitir la operación de trenes en redes de diversos voltajes de alimentación, se fabrica sistemas y automotores multicorrientes, aptos para ser alimentados, por ejemplo, ya sea mediante catenarias de corriente alterna o de corriente continua. Estos equipos llevan a bordo dispositivos que permiten detectar la corriente de alimentación y adaptar sus sistemas internos a éstas, pasando los trenes de unas líneas a otras sin necesidad de cambiar trenes.

2.8. La Electrificación de Trenes

La electrificación de trenes es el conjunto de instalaciones necesarias para suministrar a los trenes la energía eléctrica necesaria para su correcto funcionamiento. Dichas instalaciones son:

- **Líneas de alta tensión:** Unen la red trifásica, generalmente de transporte o de reparto, a las subestaciones de tracción.
- **Subestaciones de tracción:** Transforman las tensiones de la red de transporte a tensiones de la catenaria.
- **Catenarias:** Instaladas a lo largo de toda la línea de trenes.

2.8.1. Estructura

Desde un punto de vista eléctrico, la línea del tren se haya dividida en tramos eléctricamente separados unos de otros por tramos cortos sin alimentación que reciben el nombre de zonas neutras.

Cada uno de estos tramos es alimentado desde la red trifásica de alta tensión a través de una subestación de tracción. Generalmente, una misma subestación de tracción suele alimentar a dos de estos tramos, tal y como se puede ver en la figura 16. A lo largo de la línea, se rotan las fases entre las que se conectan los subsectores de forma que se reduzcan los desequilibrios introducidos en la red eléctrica.

En la figura 16 se muestra la estructura de la electrificación de trenes de alta velocidad.

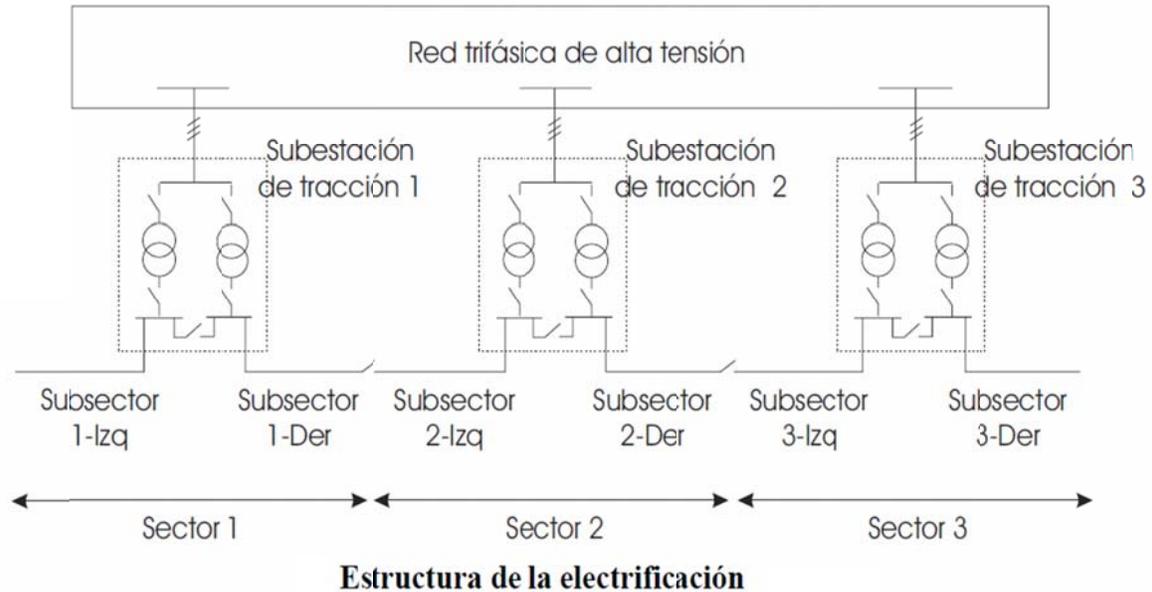


Figura 16.

Por razones de fiabilidad, las subestaciones de tracción están diseñadas para permitir la alimentación simultánea a dos subsectores desde cada transformador, de forma que cada subsector funciona como respaldo de los subsectores adyacentes. En situación de falla, desde el centro de control es posible realizar las maniobras oportunas para modificar la topología de la electrificación y aislar así la falla.

Dada la magnitud de los consumos de las líneas de alta velocidad, la electrificación se conecta a la red de transporte o de reparto, consiguiendo de esta forma reducir el impacto que las cargas ferroviarias tienen en la red. Sin embargo, en líneas de consumos menores esto podría no ser necesario.

2.8.2. Sistemas de Alimentación

El circuito eléctrico es una trayectoria eléctrica completa que no solo consiste en el conductor por el cual la corriente fluye desde la carga negativa hasta la positiva, sino también una trayectoria o camino por dentro de la fuente de tensión o voltaje, desde la carga positiva de nuevo a la carga negativa.

Su campo de aplicación comprende, por consiguiente: la producción de energía, su transporte desde el lugar de origen al de consumo y, por último, la transformación de esta energía en otras

formas de utilización. Esas diversas funciones las desempeñan equipos apropiados, unidos electrónicamente entre sí, que forman el circuito de la red o circuito eléctrico.

Una lámpara conectada con una pila seca, por ejemplo, forma un circuito simple. La corriente va desde la terminal negativa (-) de la pila hasta la terminal positiva (+) pasando por la lámpara y continua su recorrido por dentro de la pila desde la terminal positiva (+) hasta la terminal negativa (-). Mientras este camino no este interrumpido, se trata de un circuito cerrado y la corriente fluye; si se interrumpe el camino en cualquier punto, se trata de un circuito abierto y no hay paso de corriente.

No siempre, un conductor unido por sus extremos forma un circuito. Para que haya circuito eléctrico es necesario que una fuente forme parte del conductor.

En todo circuito eléctrico donde se desplacen electrones por un conductor cerrado, hay corriente, voltaje y resistencia. El camino del flujo de corriente es, en realidad, el circuito, cuya resistencia determina la intensidad del flujo de la corriente a lo largo de ese circuito.

De una manera general, por tanto, se puede definir una red o circuito eléctrico, como el conjunto de equipos unidos eléctricamente que sirven para controlar la circulación de la energía.

Los órganos de los circuitos se pueden clasificar, agrupar, por ejemplo, en grupos de órganos que desempeñan una misma función.

Se distinguen en primer lugar los elementos "activos" de la red y se denominan "fuentes de energía".

Por otra parte están los elementos "pasivos" que no participan en la alimentación de la red y cuya propiedad característica es sustraer energía de ella.

Por último, ciertos órganos tienen la propiedad de acumular energía, bien en forma electromagnética o en forma electrostática.

Se atribuye resistencia a los elementos disipadores de energía e inductancia y capacidad a los susceptibles de almacenar energía en forma electromagnética y electrostática respectivamente. Estos tres grupos constituyen los elementos de la red o de un circuito eléctrico en general.

Cada uno de los subsectores mencionados puede emplear uno de los siguientes sistemas de alimentación:

- El sistema simple
- El sistema dual

2.8.2.1. Sistema Simple

El sistema simple se emplea un conjunto de conductores directamente a la tensión de alimentación al material rodante y un segundo conjunto de conductores puestos a tierra para el circuito de retorno. A este sistema se le denomina también con el nombre de sistema mono tensión.

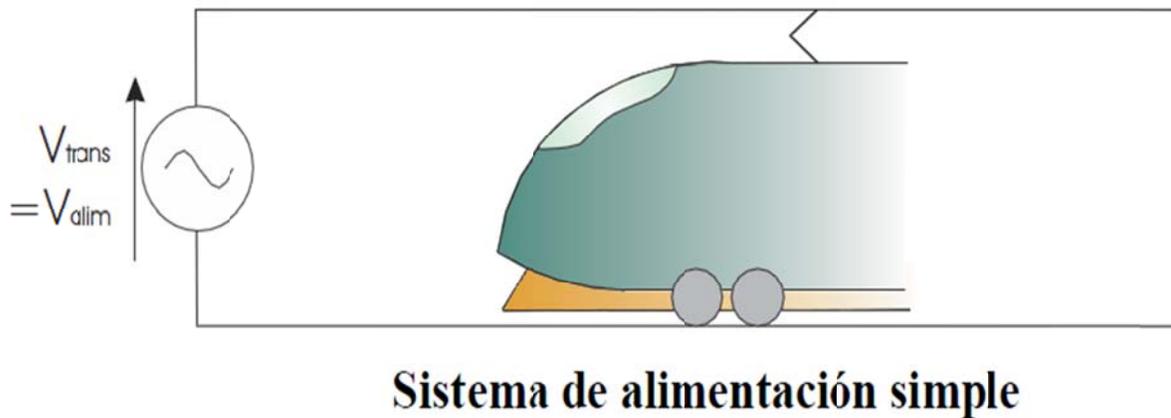
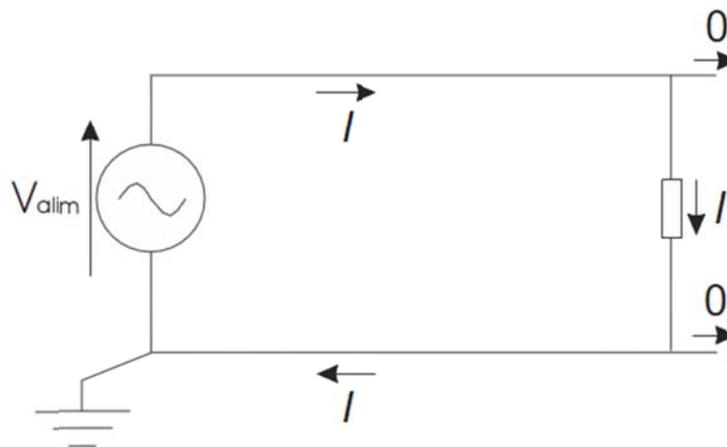


Figura 17.

En este sistema, toda la corriente I que consume un determinado tren recorre el tramo entre la subestación y el tren.



Circulación de corrientes en sistema simple

Figura 18.

La figura muestra 19 los perfiles de corrientes y tensiones a lo largo de la catenaria con este sistema:

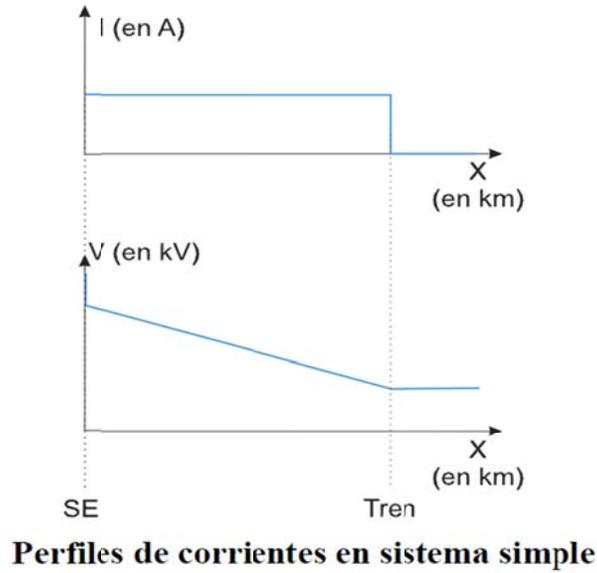


Figura 19.

2.8.2.2. Sistema Dual

En el sistema dual se emplea una tensión de transporte superior a la tensión de alimentación al material rodante, que se reduce mediante el uso de auto transformadores repartidos a lo largo de la catenaria. A este sistema se le conoce también con el nombre de sistema bitensión.

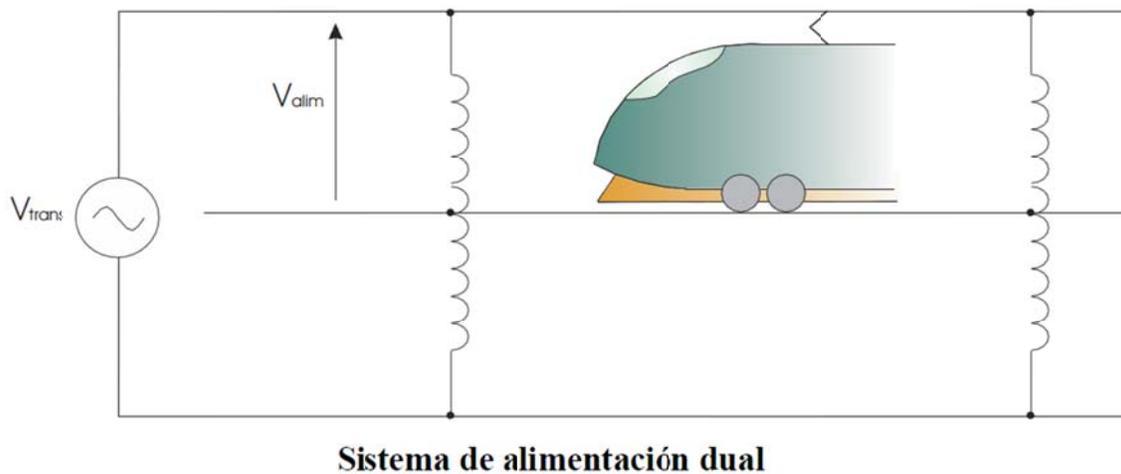


Figura 20.

El uso de dos niveles distintos de tensión en la catenaria obliga a llevar un tercer grupo de conductores. Sin embargo, este sistema permite reducir la corriente necesaria para suministrar la potencia al material rodante. De este modo, se reducen las caídas de tensión en la catenaria, por lo que es posible aumentar la longitud de los sectores, con la consiguiente reducción del número de subestaciones.

Como los conductores intermedios conectan a tierra, se fija su potencial a cero, lo que da lugar a que se pueda hablar de tensiones negativas.

En el sistema dual, sólo una parte de la corriente I que consume un tren tiene que recorrer todo el camino entre la subestación y el propio tren, tal y como muestra en la siguiente figura:

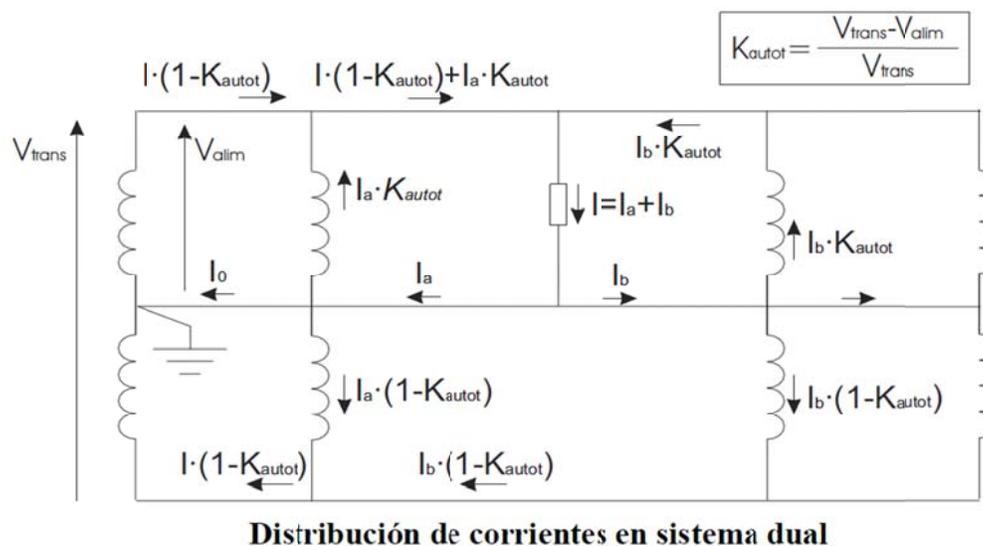


Figura 21.

La figura 20 muestra los perfiles de corrientes y tensiones a lo largo de la catenaria con el sistema dual. Tal y como se puede ver en la figura, la parte de la corriente que circula desde la subestación hasta el tren es proporcional a $(1 - K_{\text{autot}})$. Ya que, cuanto mayor sea K_{autot} (y por lo tanto la tensión negativa), menor será dicha corriente.

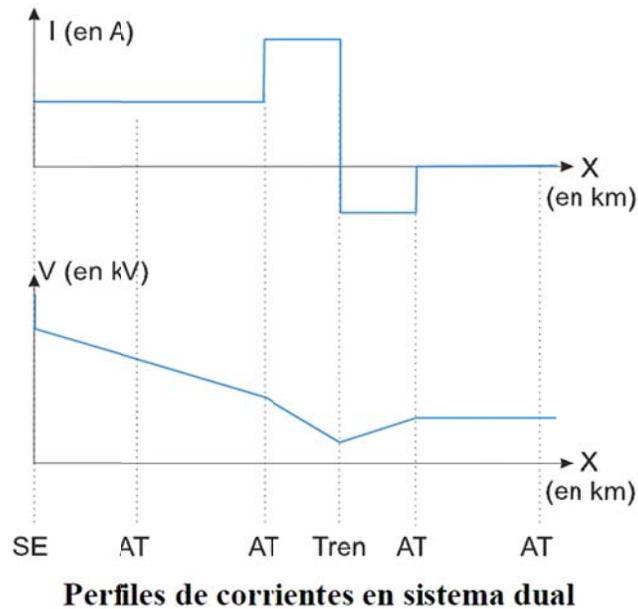


Figura 22.

La corriente I_0 que circula por los conductores del neutro entre la subestación y la celda en la que se encuentra el tren, es la necesaria para cancelar el efecto de los acoplamientos magnéticos con los conductores positivos y negativos.

2.8.2.3. Los Autotransformadores

En el sistema dual de alimentación, los autotransformadores reducen la tensión de transporte al rango de valores admisibles por parte del material rodante. Asimismo, fuerzan el retomo de corriente por los feederes negativos.

La siguiente figura se muestra el esquema de conexión de un autotransformador a la catenaria, incluyendo en el mismo los elementos de corte necesarios para aislar el autotransformador del resto de la electrificación, en caso necesario.

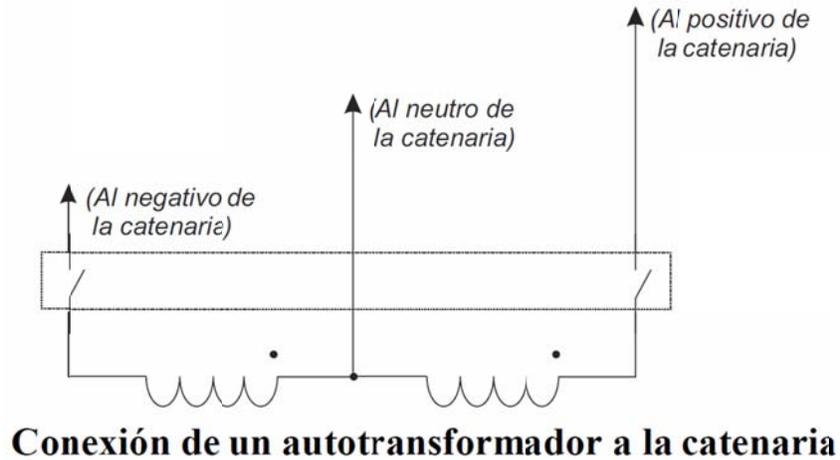


Figura 23.

El control de un puesto de auto transformación se puede realizar de forma remota mediante el sistema de telemando de energía.

2.9. Catenaria

La línea aérea de contacto, denominada también indistintamente "catenaria" es por la cual la corriente proveniente de la Subestación alimenta al tren y retorna a la subestación a través del riel (vía).

Se denomina catenaria al conjunto de conductores que es necesario instalar a lo largo de la línea para realizar el transporte de la energía eléctrica.

La catenaria o línea aérea de contacto puede ser de dos tipos fundamentales:

- Inclinada
- Poligonal atirantada

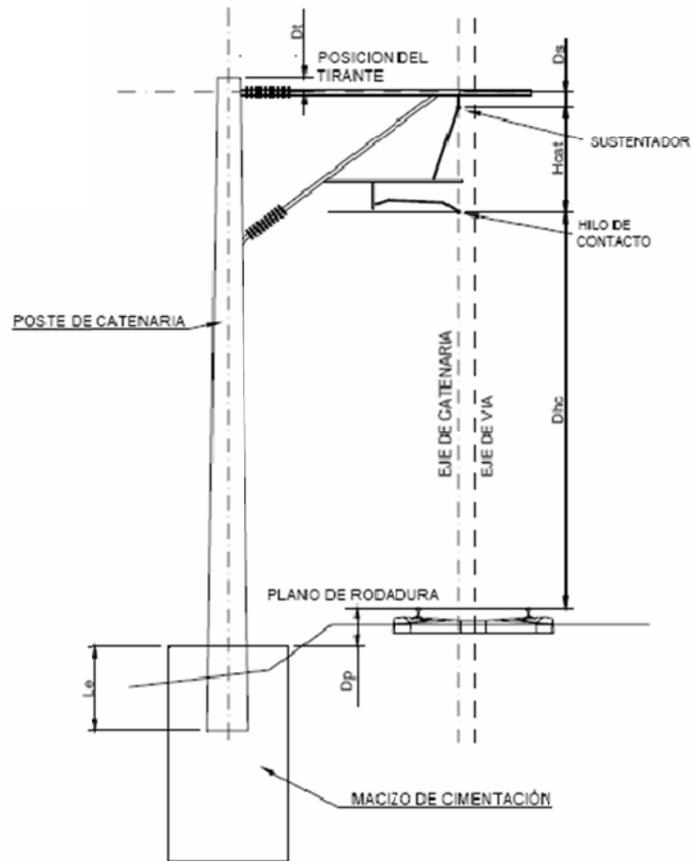


Figura 24. Diagrama de Catenaria Atirantada

Las suspensiones del hilo de contacto se realizan de forma independiente, en su mayoría a través de equipos de ménsula tubular de acero.

En aquellos puntos donde las características del trazado por las condiciones propias de la geografía del terreno, no se puedan instalar los equipos de ménsula referenciados, se opta por la suspensión de la línea a través de pórticos flexibles o funiculares. Tanto estos como toda clase de diversidad de amarre a través de prolongaciones de amarre o “riostras”, se pueden realizar mediante cable sintético dieléctrico.

Asimismo, en sistemas tranviarios, existe la posibilidad de anclar, mediante cables, los sistemas de suspensión a las fachadas de los edificios a lo largo del trazado.

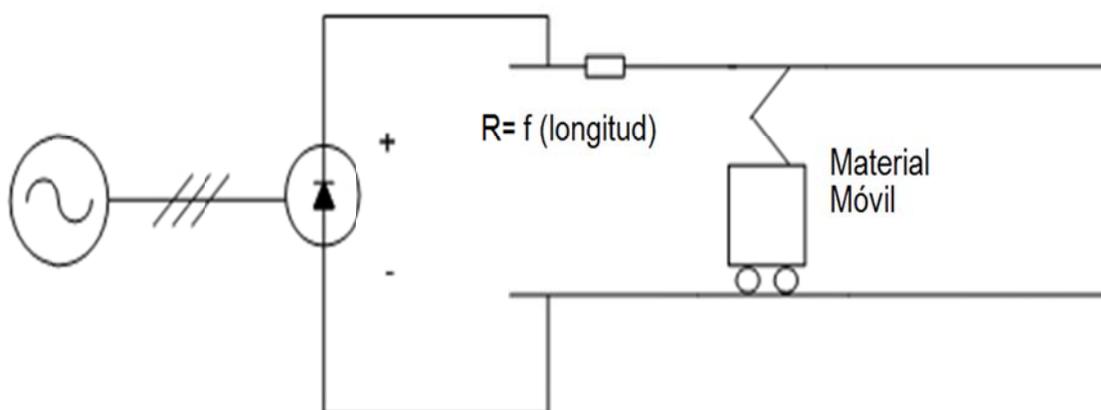


Figura 25. Representación Sistemática de la Catenaria

2.9.1. Catenaria. Su función

La Línea aérea de contacto o catenaria, es el tendido aéreo que, montado y aislado sobre las vías, permite al material motor la toma de la energía procedente de las subestaciones.

Este tendido aéreo constituye el polo positivo de un circuito de C.C. que se cierra a través de los propios carriles o rieles de rodadura, que constituyen el polo negativo del sistema.

Para que esta distribución de energía se realice en buenas condiciones, las líneas de contacto deberán cumplir dos condiciones fundamentales:

- a. Reducir al máximo las caídas de tensión en línea.
- b. Asegurar la toma de corriente por los pantógrafos, aun en las peores condiciones locales (paso por equipos de vía, curvas cerradas, túneles) y en las circunstancias más adversas (fuertes vientos, temperaturas ambientales extremas, calor, nevadas).

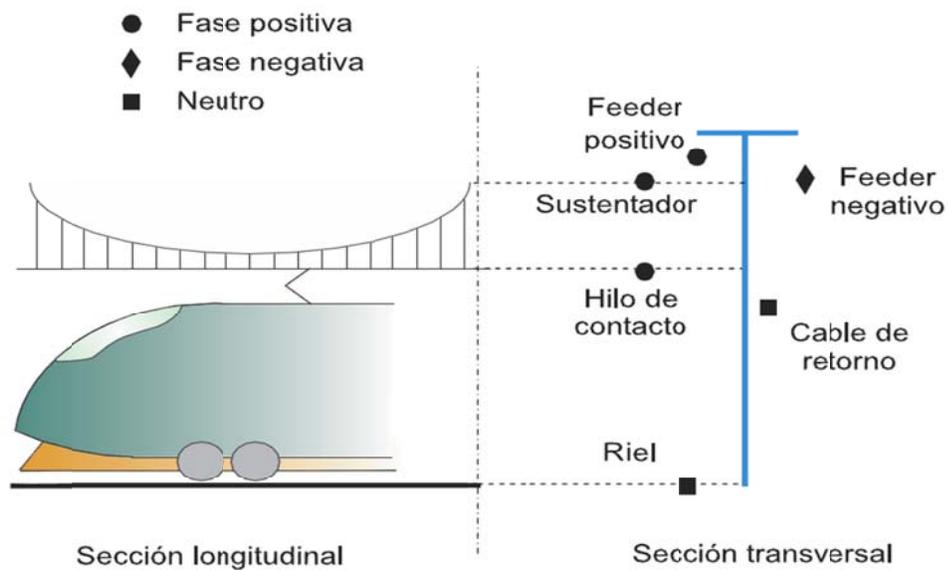
Para que la primera condición pueda ser llevada a cabo es necesario dotar a la catenaria de una sección de cobre apropiada a la intensidad de régimen.

La segunda condición se logra mediante el montaje de dispositivos especiales: seccionamientos de lámina de aire, aisladores de sección, descentralizadores de línea respecto al eje de la vía, triangulación de agujas aéreas y en la actualidad, con la compensación mecánica del tendido.

2.9.2. Catenaria como Sistema de Transmisión de Potencial Eléctrico

Los conductores habituales en una catenaria son los siguientes:

- **Hilo de contacto:** Es el conductor en el que el pantógrafo hace contacto. Este conductor debe estar en una superficie paralela a la vía para facilitar la toma de la corriente. Se suelen emplear conductores de cobre o de aleaciones de cobre.
- **Sustentador:** Es el conductor que se diseña para soportar el peso del hilo de contacto a través de las péndolas. Se suelen emplear conductores de cobre o de bronce.
- **Feeder:** Se añade como conductor de refuerzo sólo en los casos en los que es necesario. Su uso permite reducir la impedancia, y aumentar el límite de corriente admisible de la catenaria.



Configuración transversal típica de la catenaria

Figura 26.

Como conductores de neutro, se encuentran:

- **Rieles:** Sirven de punto de apoyo del tren, además que también son captadores de las corrientes que salen de los trenes. Dichos conductores son de acero.

- **Cables de retomo:** Se usan como refuerzo de los rieles. Debido a su menor impedancia, recogen la mayor parte de las corrientes de retomo, alejándolas de los rieles. De este modo es posible reducir las perturbaciones que dichas corrientes de retomo de tracción pueden producir en algunos sistemas de señalización que también emplean los rieles. Se suelen emplear conductores de aluminio con alma de acero.

Como conductor negativo (en sistemas duales) se tiene un feeder negativo, que se usa para configurar el circuito de retorno de las corrientes en el sistema de bitensión. Su uso es necesario para cualquier configuración que use el sistema de bitensión. Debido a que gran parte del retorno de corriente se realiza por el feeder negativo, permite reducir las perturbaciones electromagnéticas.

Si bien este tipo de catenarias son las más comunes, no son las únicas. Por ejemplo en túneles, a veces se recurre al uso de perfiles rígidos de aluminio con una pletina de cobre instalada a modo de hilo de contacto. No obstante el modelado eléctrico de dichas líneas es similar al planteado.

2.9.3. Feeder de Alimentación

Independiente de la línea aérea de contacto propiamente dicha, en algunos tramos, y para aumentar la sección, existe otro cable denominado genéricamente "feeder" y va conectado en paralelo en la línea aérea de contacto.

Técnicamente, el "FEEDER" o alimentador es el cable que, partiendo de la subestación, va a alimentar en un punto a la línea de trabajo. Por extensión, denominamos también "feeder" a aquellos otros cables que, sin función mecánica alguna, y solamente como refuerzo de sección, se instalan tendidos conjuntamente con la línea aérea de contacto.

Generalmente son de cobre y cada uno de los feeder que sale de una subestación, está integrado por uno o más cables conectados en paralelo, hasta conseguir una sección total conveniente en función de la intensidad demandada en la línea aérea de contacto. En casos excepcionales, los feeders son de cable de aluminio con alma de acero.

En algunos tramos, para reforzar la sección del circuito de retorno, integrada por los carriles de la propia vía, y con el fin de reducir la caída de tensión, se tiende a lo largo de la vía y apoyado en sus postes, un cable, también de cobre, conectado en paralelo con los carriles. Este cable recibe el nombre de Feeder Negativo.

La línea aérea de contacto está integrada, generalmente por dos hilos de contacto. Estos dos hilos de contacto están suspendidos, alternativamente por hilos de cobre denominados "péndolas", del

sustentador, que es de cobre. Pero cuando la sección total del feeder de cobre resultante no es suficiente (generalmente en fuertes rampas), además del sustentador, se tiende otro cable sobre las mismas suspensiones que aquel, sin función mecánica alguna, y que, conectado en paralelo con el sustentador, permite aumentar la sección total de la línea y, consecuentemente, reducir pérdidas por caída de tensión. Este cable de "refuerzo de sección de línea" es también denominado feeder.

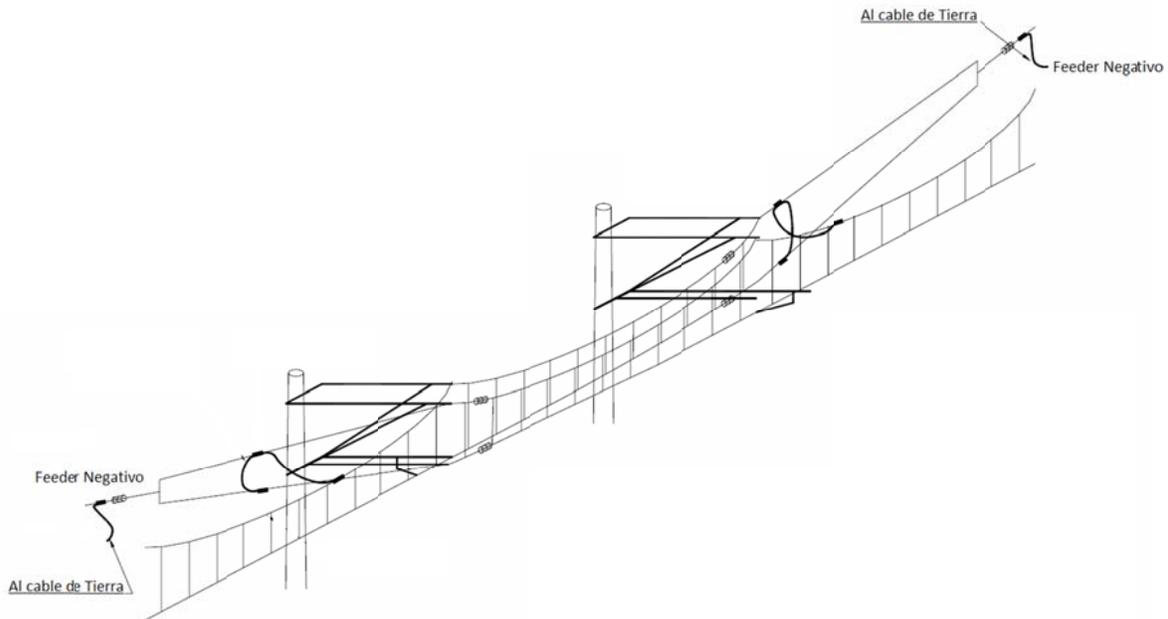


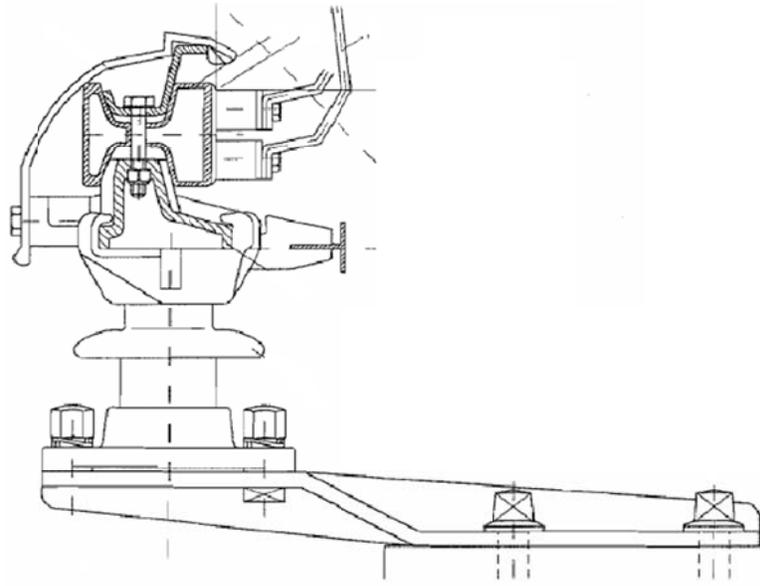
Figura 27. Feeder

2.9.4. El "Tercer" Riel

Los rieles conductores (3er riel) son los más viejos en líneas de suministro de corriente para tracción eléctrica. Han sido usados principalmente para transmitir energía a los vehículos de tracción eléctrica en sistemas ferroviarios subterráneos y urbanos.

Los rieles conductores virtualmente son conductores rígidos y están instalados de forma aislada a los lados de la vía. La colección de corriente se puede tomar de la parte de arriba de los lados o de bajo del riel conductor.

En la figura 28 se muestra la sección transversal de un sistema de riel donde se colecta la energía por la parte superior del riel conductor.



Sección transversal de un sistema de riel típico.

Figura 28.

Con el objeto de incrementar la potencia de alimentación de los sistemas de D.C., los rieles de aluminio - acero compuesto han empezado a ser utilizados con más frecuencia en las nuevas líneas dejando atrás los rieles constituidos completamente de acero.

2.9.5. Diversos tipos de catenaria

Atendiendo a su constitución, las catenarias pueden ser divididas en tres grandes grupos:

1. Hilo de frotación, sin sustentador auxiliar "tranviario"
2. Hilo (o hilos) de contacto con un sustentador auxiliar
3. El caso anterior, cuyo sustentador va a su vez suspendido de otro sustentador. Este tipo se denomina "Compound"

A su vez los grupos 1 y 3 pueden subdividirse en:

- Atirantada Poligonal: Cuando los hilos de contacto están atirantados en las suspensiones.

- Inclinada: Cuando, no estando atirantados los hilos de contacto éstos, soportados por las péndolas, forman una línea continua que sigue la proyección del eje de la vía.

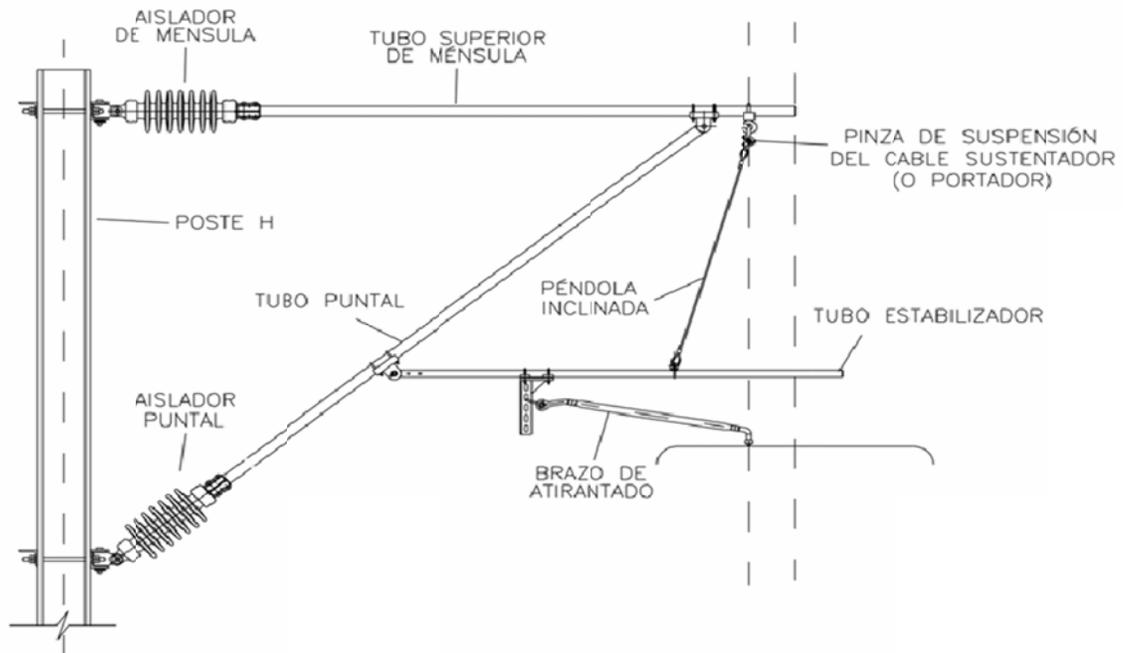


Figura 29. Catenaria Atirantada por Dentro

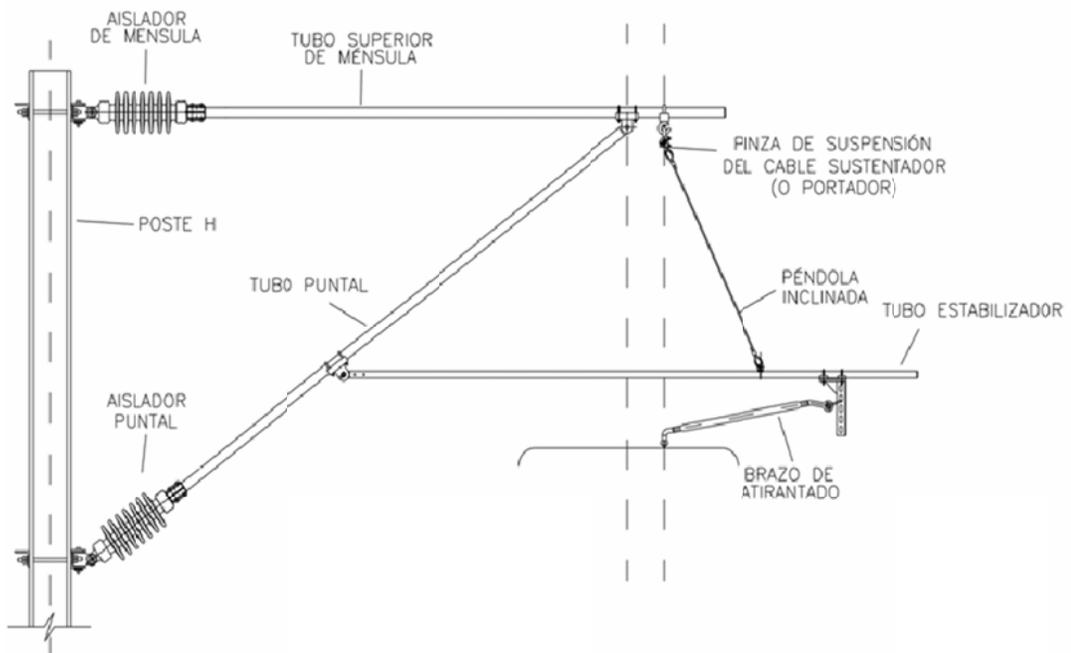


Figura 30. Catenaria Atirantada por Fuera

2.9.6. Catenaria Compensada

Normalmente, la catenaria es "anclada" en puntos fijos, denominados "anclaje de línea". Teniendo en cuenta que la temperatura ambiente no es constante, los cambios de temperatura de los cables e hilos de la catenaria modifican sensiblemente la longitud de los mismos y, como consecuencia, se alteran las condiciones ideales de sus flechas. En estas condiciones, tenemos que, a bajas temperaturas, los hilos de contacto forman "contra flecha" en el centro del vano (distancia entre dos postes) y a temperaturas superiores a la media (15°C) forman "flechas" en el centro del vano. En ambos casos, al abandonar los hilos de contacto el plano ideal de paralelismo del plano de rodadura, la captación de energía por pantógrafos resulta perjudicada.

Estas imperfecciones en los cambios de temperatura ambiente provocan en la catenaria, respecto a su situación en el espacio, no suelen afectar seriamente a las circulaciones a velocidades no superiores a 100 km/h, pero si a las que superan esta velocidad y, en gran manera, a las velocidades que se pretenden actualmente, del orden de los 140 Km/h y aun superiores.

Por otra parte, al alcanzarse determinada velocidad, variable con las características de la línea aérea de contacto, aparece un fenómeno no previsto y que no se tiene en cuenta hasta ahora: la línea entra en vibración, degradando la toma de la corriente y comprometiendo la integridad de la instalación (Fenómeno de resonancia).

Para obviar estos inconvenientes provocados por los cambios de temperatura, se proyectó la catenaria con "regulación automática de la tensión mecánica". Consiste en esencia en sustituir los puntos fijos de anclajes de línea por otros anclajes no fijos, en los cuales la tensión de tendido permanece constante a todas las temperaturas, en función de unas poleas sobre las que penden unos pesos.

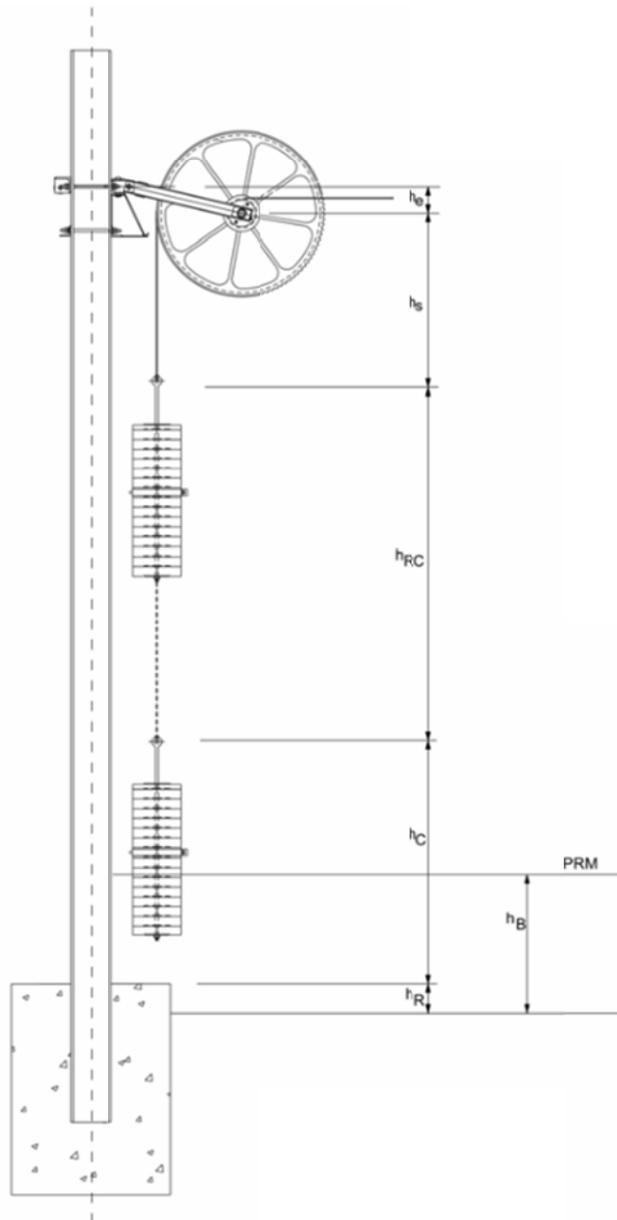


Figura 31. Catenaria Compensada

Los valores nominales de las características de funcionamiento y dimensiones son:

- Longitud de la sección de tendido de la catenaria de la regulación de la tensión mecánica.
- Rango de temperaturas.
- Temperatura mínima.

- Separación vertical entre el eje de giro del conjunto horquilla-poleas y la acometida de la cola a la polea pequeña.
- Margen de seguridad entre la polea grande y la posición de la cabeza del vástago para la temperatura mínima de funcionamiento.
- Recorrido del conjunto vástago-columna de contrapeso, para el rango de temperatura de funcionamiento y la longitud de la sección de tendido de la catenaria.
- Longitud del conjunto contrapeso-vástago.
- Altura de banqueta o distancia desde el terreno al punto de rodamiento (PRM).
- Resalte del macizo de cimentación sobre el terreno.

Los valores nominales de los parámetros geométricos de montaje son:

- Altura, sobre el PRM, del eje de giro del conjunto horquilla-poleas.
- Distancia entre el extremo inferior del vástago y la posición del zuncho de la columna de contrapeso, con un montaje tal y como se representa en la figura siguiente:

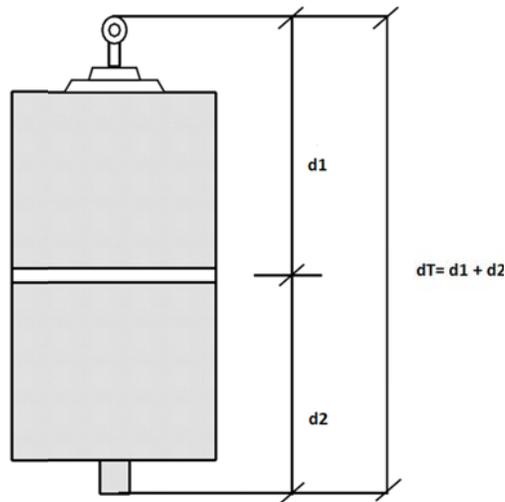


Figura 32. Contrapeso

2.9.7. Las zonas neutras

Siendo la catenaria el sistema de conducción y distribución, esta se tiene que seccionar en puntos especiales a través de tramos neutros

Es así que el aislamiento entre sectores de la catenaria se hace mediante tramos cortos sin alimentación, denominados zonas neutras.

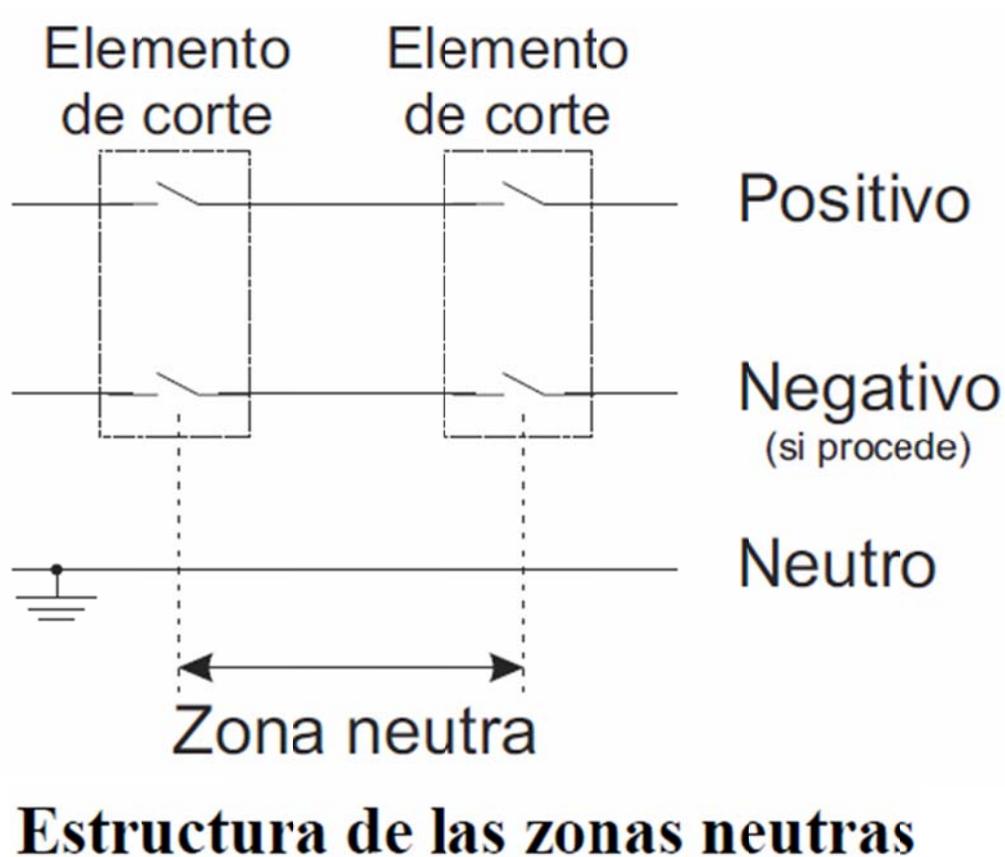


Figura 33.

Los seccionadores tienen un doble objetivo: por un lado, permitir la conexión de sectores cuando sea necesario (por ejemplo, en caso de indisponibilidad de alguna subestación), y por otro lado, permitir la alimentación en la propia zona neutra si llega a ser necesario.

2.9.7.1. Modos de funcionamiento

El diseño de la electrificación debe ser tolerante a fallas de forma que en caso de falla en un punto de la línea, el suministro de energía eléctrica no se vea comprometido en toda la infraestructura.

Por ello, el diseño ha de contemplar el comportamiento de la electrificación ante dos tipos de situaciones:

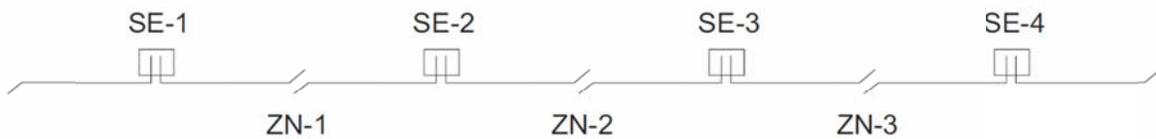
- Funcionamiento normal
- Funcionamiento en caso falla.

Uno de los criterios de seguridad más empleados en sistemas eléctricos es el denominado criterio N-1, que consiste en asegurar el funcionamiento del sistema ante la falla de cualquier elemento (por ejemplo, un transformador o una línea). En determinadas ocasiones, también se utiliza el criterio N-2, que consiste en asegurar el funcionamiento ante la falla simultánea de dos elementos. Estos criterios son independientes de la posibilidad de establecer escenarios adversos distintos.

En primer lugar, se describe la topología de la electrificación en caso de funcionamiento normal. A continuación se exponen las posibles fallas que podrían producirse y la forma en que se podría dar respuesta a ese problema.

2.9.7.1.1. Funcionamiento Normal

En funcionamiento normal, cada subestación de tracción alimenta de forma separada a dos subsectores.



Topología de la electrificación en funcionamiento normal

Figura 34.

En este modo de funcionamiento, los seccionadores de by-pass de las subestaciones de tracción se encuentran abiertos de manera que los dos transformadores trabajan de forma separada. Por otro lado, los seccionadores de las zonas neutras se encuentran abiertos, de forma que los subsectores se encuentran aislados unos de otros.

En este modo, las distancias de cada tramo eléctrico son pequeñas, por lo que el número de trenes a los que alimentar es reducido, y en consecuencia la potencia a suministrar por cada transformador. Al ser las potencias reducidas, también lo son las caídas de tensión y las corrientes en la catenaria, así como los desequilibrios producidos en la red trifásica.

Por todo ello, si el resto de elementos ferroviarios (señalización, trazado, disponibilidad de material rodante) lo permite, es posible realizar una explotación más intensiva sin por ello exceder los límites eléctricos de funcionamiento.

2.9.7.1.2. Falla en un Transformador de las Subestación de Tracción

En caso de indisponibilidad de uno de los dos transformadores de la subestación, el transformador restante se encarga de alimentar a los dos subsectores. Para ello, se abren los seccionadores que permiten aislar el transformador dañado, y se cierra el seccionador de by-pass de las salidas de los dos transformadores. En la figura se muestra el circuito resultante (entre paréntesis la subestación en la que se realizan maniobras). Como puede verse, este modo de explotación conlleva cambios de topología que afectan a una única subestación de tracción (y dos subsectores).

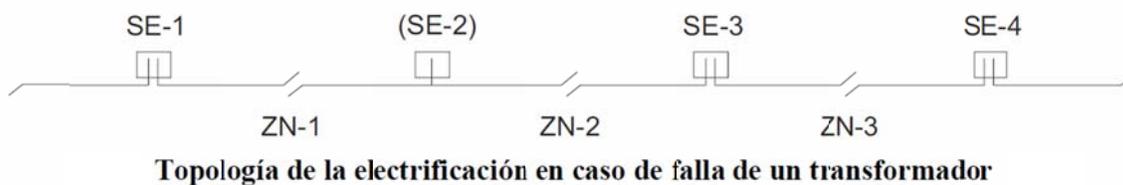


Figura 35.

En este modo de funcionamiento, toda la potencia demandada en el sector afectado la suministra un único transformador. Consecuentemente, las corrientes por el transformador serán mayores de lo que serían en el caso sin falla, y por lo tanto también las caídas de tensión en el

transformador. Los desequilibrios producidos en la red trifásica serán mayores, ya que una de las fases no suministra nada de potencia. Por otro lado, las corrientes que circulan por la catenaria sólo experimentarán un pequeño aumento, debido a la disminución de las tensiones en catenaria.

2.9.7.1.3. Falla de una Subestación de Tracción

En caso de una falla en una subestación, cada subsector es alimentado desde las subestaciones de tracción adyacentes, tal y como se puede ver en la figura (entre paréntesis la subestación dañada y las zonas neutras en la que se realizan maniobras). Como puede verse, este modo de explotación conlleva cambios de topología que afectan a dos subestaciones de tracción y dos zonas neutras.

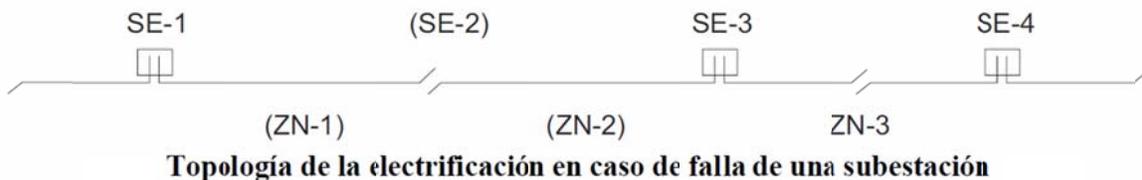


Figura 36.

En este modo de funcionamiento, los seccionadores que conectan la subestación afectada a la catenaria se encuentran abiertos. Por otro lado los seccionadores de las zonas neutras afectadas, se cierran para poder alimentar cada uno de los subsectores desde las subestaciones adyacentes.

En esta configuración, las distancias entre las subestaciones y los punto de consumo son mayores que en el modo de funcionamiento normal, siendo por lo tanto mayor el número de trenes alimentados por un mismo transformador. En consecuencia también son mayores las caídas de tensión, las potencias, las corrientes que circulan por los conductores y los desequilibrios producidos en la red trifásica.

2.9.7.1.4. Fallo en la catenaria

En caso de una falla en la zona de la catenaria, puede resultar imposible continuar el suministro. En estas condiciones, es importante aislar el tramo afectado de manera que el problema no afecte al resto de la instalación, tal y como se muestra en la figura.

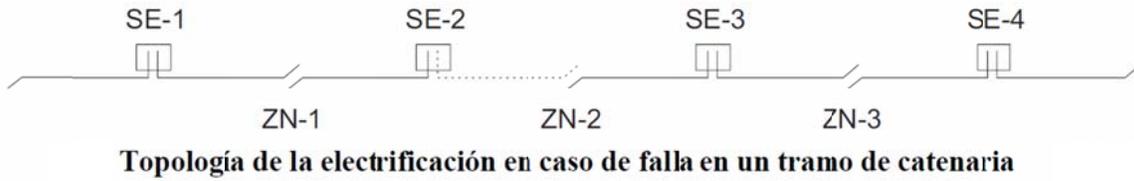


Figura 37.

Esta situación es la más grave de las planteadas, ya que implica la interrupción del servicio en el subsector afectado.

Capítulo 3. Telemando de Control (SCADA)

Introducción

La automatización y control de sistemas eléctricos tiene su origen en la protección de equipos de alta o media tensión en caso de daños provocados por una falla del sistema de energía. Entre estos equipos están los equipos de conmutación de potencia, los interruptores y líneas de transporte de energía, así como los motores y generadores.

Los primeros dispositivos de protección se desarrollaron hace más de 130 años, cuando se iniciaron los primeros proyectos de electrificación. Por aquel entonces, los dispositivos de protección se basaban en principios electromecánicos y actuaban de forma completamente mecánica.

Mientras que, en el pasado, la única finalidad de un dispositivo de protección era proteger un equipo de alta y media tensión, el entorno actual de la transmisión y distribución de la energía eléctrica impone nuevos requisitos que exigen nuevas soluciones, como es el monitoreo y control. Los aspectos técnicos van acompañados de un gran número de nuevos retos.

La automatización de sistemas eléctricos es un caso muy claro, este tipo de soluciones de automatización de los sistemas eléctricos tienen que satisfacer requisitos más rigurosos. Los aspectos principales a considerar son la señalización de tensiones más altas, la detección de corriente y tensión altas, la detección de sucesos con una mayor precisión, el corto tiempo de respuesta (del orden de milisegundos) y los requisitos más estrictos. El número de componentes de sistemas integrados está creciendo rápidamente. Los componentes, con sus diversas tareas, cubren todo el proceso de suministro de energía eléctrica, desde la producción al consumo. Un criterio básico para la caracterización de un sistema integrado, o de un componente del sistema, es su capacidad para reaccionar ante sucesos o condiciones del proceso en una franja determinada de tiempo. Estas aplicaciones en tiempo real tienen una ejecución típicamente cíclica.

El tiempo de ciclo determina la mayor rapidez de la respuesta y, por consiguiente, ha de ser diseñado específicamente para la aplicación. En general, las aplicaciones más cercanas al proceso de suministro de energía requieren tiempos de ciclo más cortos que las aplicaciones situadas en lugares remotos, como son los centros de control de energía. En general, la funcionalidad básica de la automatización de sistemas eléctricos incluye la protección del equipo del sistema eléctrico, el control del flujo de potencia, el monitoreo del proceso de suministro energético y la supervisión del estado del equipo.

Un elemento fundamental en los ferrocarriles electrificados es el sistema eléctrico que garantiza la alimentación del tren y de los sistemas auxiliares situados a lo largo de la vía. Este sistema está formado por las subestaciones eléctricas, los seccionadores de catenaria y la propia catenaria. Las subestaciones eléctricas o de tracción son las encargadas de transformar la energía suministrada por la compañía distribuidora de electricidad a los niveles de tensión que demanda la

electrificación del tren. Entre subestaciones y catenaria se sitúan los seccionadores de catenaria que permiten dividir la catenaria en zonas libres de tensión y alimentarla desde diferentes salidas desde las subestaciones. Los seccionadores de catenaria se suelen agrupar por zonas en las denominadas zonas neutras. Las subestaciones y zonas neutras se sitúan a lo largo de la vía para dar continuidad a la alimentación del tren.

Desde el punto de vista del control, el sistema eléctrico descrito es visto como un conjunto de elementos de corte (seccionadores, disyuntores en subestaciones, interruptores) agrupados en subestaciones y zonas neutras, cuya operación adecuada permite la correcta alimentación del tren. Por supuesto, el control de dicho sistema, se realiza a partir de la información recogida en los elementos que forman el sistema, como los mencionados elementos de corte, los transformadores, los detectores de tensión y catenarias entre otros.

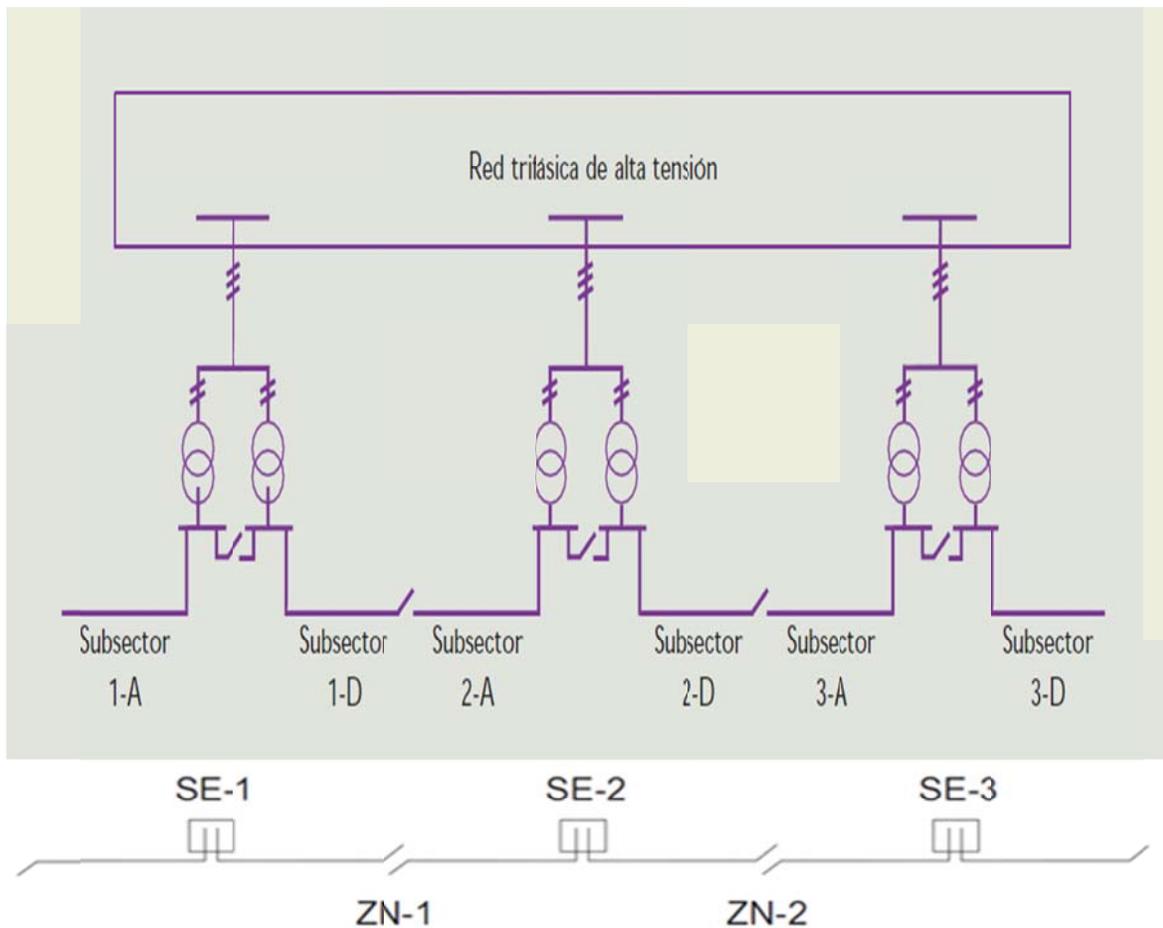


Figura 38. Esquema Unifilar

En función del grado de implementación del ferrocarril en un área, el sistema eléctrico puede llegar a ser muy complejo. La función del telemando de energía (también llamado telemando de electrificación SCADA) es permitir el control y la supervisión remota de este sistema eléctrico

desde un puesto central de operación. Para ello, el operador situado en dicho puesto central es informado en tiempo real del estado de los elementos que forman el sistema eléctrico, a través de los medios informáticos adecuados. Y además, mediante esos mismos medios informáticos el operador puede enviar órdenes a dichos elementos, como, por ejemplo, la orden de apertura de un determinado seccionador. A estas dos funciones básicas del telemando de energía, hay que añadir la de registrar en una base de datos todos los cambios que ocurren en el sistema eléctrico y sistemas asociados. Estas funciones deben estar operando en el puesto central con un grado de disponibilidad, fiabilidad, mantenimiento y seguridad muy alto.

Siguiendo con la evolución de la tecnología y de las computadoras fue posible agregar la capacidad de programar funciones de monitoreo y control más complejas. Los primeros sistemas de automatización SCADA fueron modificados con programas de aplicación específicos para asistir a requisitos de mayor demanda.

Los sistemas SCADA continúan dando funcionamiento como centros de control centralizado, pero también se desempeñan como suministradores de datos a los sistemas y usuarios fuera del ambiente del centro de control que depende de la información oportuna en la cual basan sus decisiones.

En general la funcionalidad básica de la automatización de sistemas eléctricos incluye la protección del equipo y del sistema eléctrico, el monitoreo y el control del suministro eléctrico y la supervisión del estado del equipo.

3.1. Sistema de Distribución Eléctrica del Ferrocarril Suburbano del Valle de México

Las Subestaciones Vallejo y Tultitlan, y los Centros de Transformación en las Estaciones Buenavista, Fortuna, Tlalnepantla, San Rafael, Lechería, Tultitlan y Cuautitlán; así como en los Talleres Pantaco Sur y Pantaco Norte, constituyen las instalaciones eléctricas del trayecto Buenavista-Cuautitlán. Estas instalaciones permiten alimentar a los diferentes sistemas eléctricos implicados en el movimiento de los trenes. La energía necesaria se toma de las redes de AT-220 kV y MT-23 kV de la compañía eléctrica distribuidora.

Las instalaciones se van a dividir para su descripción en:

- Subestación Vallejo
- Subestación Tultitlan
- Centros de Transformación en estaciones y talleres del trayecto Buenavista -Cuautitlán

Las Subestaciones Vallejo y Tultitlan se alimentan de la red con una línea de 220 kV cada una. Cada subestación tienen un parque intemperie con un campo de línea 220 kV, y dos campos de Transformador con máquinas de 230/27,5 kV - 20 MVA. Desde el secundario de los Transformadores, la energía se lleva mediante cable aislado hasta el Edificio Eléctrico de la Subestación. En este edificio se distribuye la energía a:

- El Sistema de Potencia para tracción (catenaria) de las unidades móviles.

- Los Servicios Auxiliares de la propia SE.

3.2. Objetivo del Telemando de Energía del Ferrocarril Suburbano

3.2.1. Objetivo

El objetivo del Telemando de Energía (SCADA) es el centralizar mediante software y hardware las acciones y requisitos, funciones y operaciones, para la realización de los trabajos relacionados con las instalaciones de las Subestaciones de Energía de la Línea Buenavista-Cuautitlán de la Red de Trenes Suburbano y Regionales del Valle de México donde se encuentran integrados todos los elementos de operaciones y de comunicaciones que permiten realizar a distancia el control, el monitoreo, la supervisión y la gestión de todos los sistemas relacionados con el suministro de energía a la catenaria para la tracción ferroviaria en todo el tramo de vías y el suministro de energía a las estaciones, talleres y servicios auxiliares ajenos a la tracción ferroviaria.

El alcance del Telemando de energía son las instalaciones para:

- El suministro de energía a la catenaria para tracción con dos Subestaciones Eléctricas: S/E de Tultitlán y S/E de Vallejo.
- El suministro de energía a las estaciones, talleres y servicios auxiliares ajenos a la tracción ferroviaria con un Centro de Transformación en Cuautitlán, Tultitlán, Lechería, San Rafael, Tlalnepantla, Fortuna y Buenavista. Y un octavo Centro de Transformación en Talleres. Por tanto un total de ocho.

3.2.2. Descripción del General del Telemando de Energía

El Sistema de Telemando de Energía garantiza el correcto funcionamiento vía remota de las instalaciones mejorando así los niveles de calidad en el servicio conseguidos con un control local de las instalaciones de campo, basado en un sistema de control centralizado.

La ventaja principal del sistema de un control centralizado reside en la disponibilidad de una visión de conjunto de las instalaciones que facilita su uso con menores requerimientos de personal. Por otra parte, el disponer de la información centralizada en un único punto abre las puertas a un procesamiento de dicha información con el fin de obtener nuevos servicios.

El sistema está diseñado para ofrecer niveles de seguridad acordes a las normativas internacionales, que garantizan un alto grado de fiabilidad, disponibilidad, seguridad (RAMS) y expansibilidad, en conjunto con la facilidad para el manejo y la explotación. Está basado en una estructura jerárquica de Centros de Control que permite además de una operación Centralizada desde el Centro de Control, establecer diversos puestos de control a lo largo de la vía, a través de puestos Locales de Operación, y divide la línea en diversos tramos operados de manera independiente por centros de control que se comunican entre sí, si la operación así lo requiere.

El sistema está basado tanto en equipos, como en comunicaciones redundantes con una electrónica adecuada y cuenta con una estructura modular de cara a facilitar tanto la futura

expansión según los requerimientos del sistema como la rápida sustitución de elementos averiados para reducir al mínimo los tiempos de inactividad del sistema.

3.3. Arquitectura Funcional del Telemando de Energía

El telemando de energía está formado por todos los elementos hardware, software y de comunicaciones necesarios para realizar de forma remota el control y la supervisión de las subestaciones eléctricas y centros de transformación con todos sus elementos asociados: interruptores, seccionadores, grupos rectificadores y servicios auxiliares.

Para realizar las funciones anteriores el telemando está constituido por tres tipos de elementos:

- Unidad Terminal Remota (UTR)
- El puesto central.
- El sistema de comunicaciones.

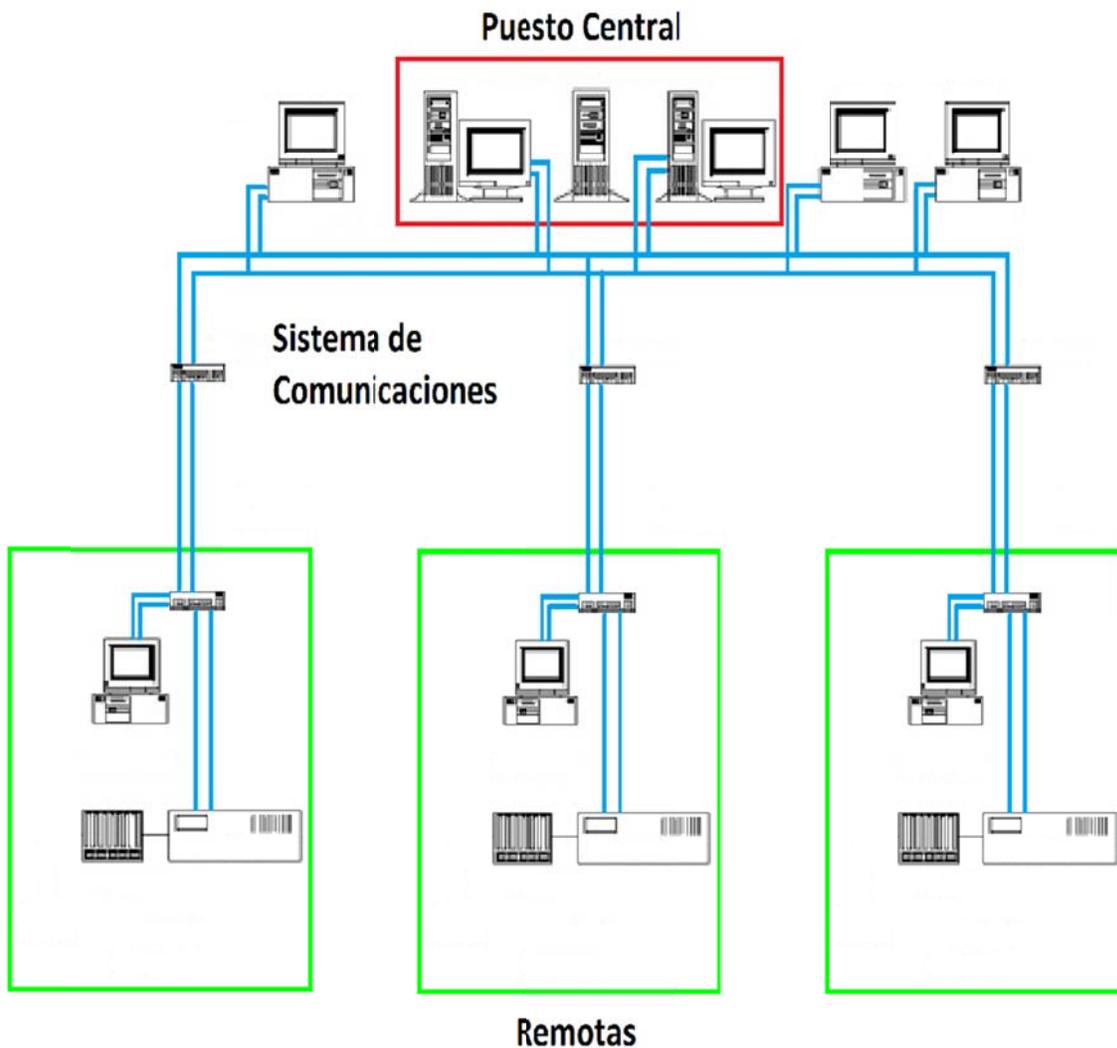


Figura 39. Arquitectura Funcional del Telemando de Energía

En cada instalación eléctrica existe una unidad remota (UTR) que recoge los eventos que ocurren en la instalación y los envía al puesto central. También es la encargada de recibir las órdenes que envía el puesto central y enviarlas a los elementos de control del equipo correspondiente. En una arquitectura clásica, las remotas se conectan al puesto central a través de ramales de comunicaciones. Las remotas que dan servicio a las instalaciones de un mismo tipo se suele agrupar en un mismo ramal. Si el número de remotas es alto, las remotas se agrupan en varios ramales siguiendo la disposición geográfica de las vías del tren.

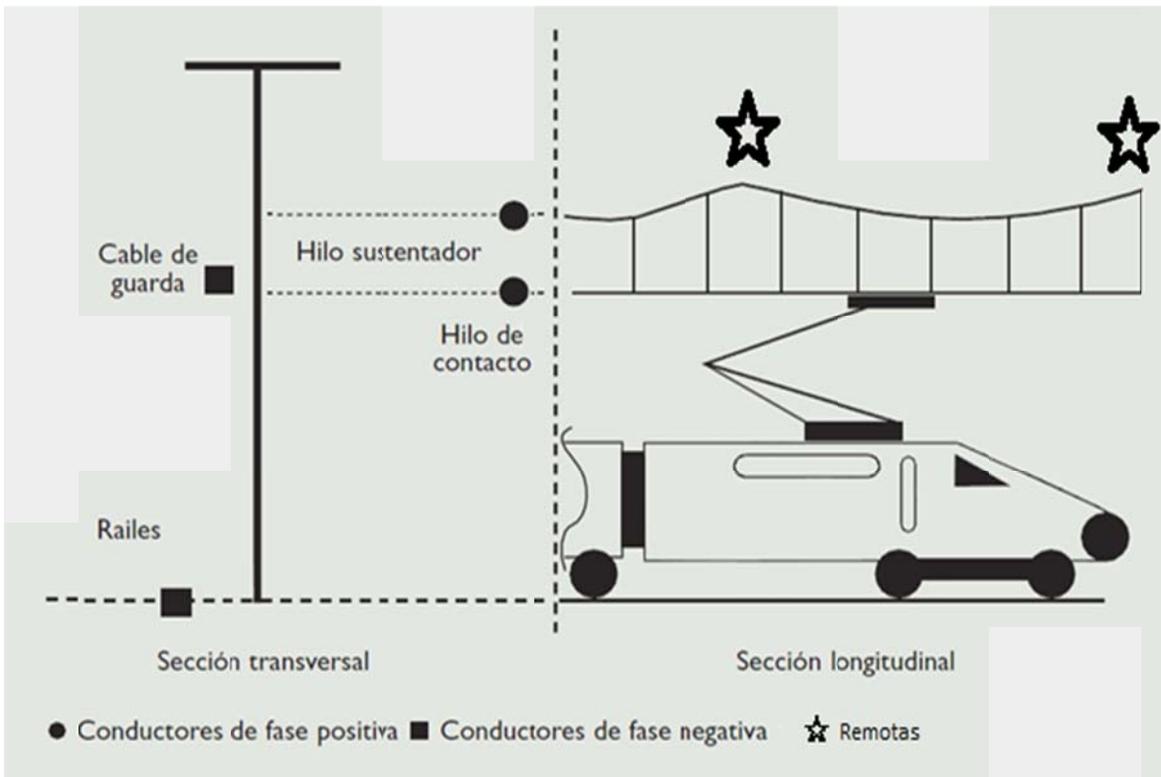


Figura 40. Configuración de Conexión de Remotas

3.3.1. Centro de Control de Operaciones (CCO)

El Centro de Control y Operaciones ejerce el mando sobre todo el sistema de energía de la línea, además tiene la capacidad para una futura conexión a las nuevas ampliaciones de la línea que se puedan construir, por lo que se tiene un diseño adecuado de todos los sistemas para permitir la operación en nuevas circunstancias.

Se deben contemplar los siguientes puntos:

- Contener Servidores en redundancia "hot-standby" con capacidad suficiente para realizar toda la operación relacionada con el telemando de energía.
- Tener suficiente capacidad en unidades de acceso directo que permita el almacenamiento de toda la información de Tiempo Real del Sistema, así como el almacenamiento de datos históricos que permiten su posterior consulta y la realización de estudios estadísticos. Esta capacidad de almacenamiento permite, el funcionamiento autónomo del Telemando de Energía. Todos estos se almacena en las bases de datos de Tiempo Real y de Históricos.
- Ser capaz de distribuir funcionalidades sobre una red heterogénea tanto de comunicaciones como de equipos, utilizando redes para la comunicación cliente/servidor entre procesos distribuidos. Así de modo remoto, telecargar las bases de datos locales de dichos nodos, monitorear las líneas de comunicaciones, configurar y gestionar dichas líneas y mantener el enlace con los servidores de operación.
- Tener la capacidad de proceso y almacenamiento de datos (Bases de Datos propia del Telemando de Energía) son suficientes para permitir el funcionamiento del sistema por sí solo. De este modo, basta una conexión directa de red entre el "front-end" de comunicaciones, este servidor y el sistema de operación y visualización propio, para permitir el funcionamiento del Telemando de Energía.
- Contar con un reloj general de sincronización, para que todos los elementos de campo se sincronicen con el mismo. Esto permite marcar con una etiqueta temporal todos los eventos o actuaciones de interés, con precisión de un milisegundo.
- Disponer de un sistema de Telemedida de energía. Integra los datos de medida de energía suministrada a las subestaciones y los consumos de las unidades que disponen de sistema de medida a bordo. Esta aplicación tiene, en el servidor donde se ejecuta, un acceso vía modem telefónico a los datos suministrados por los contadores en las acometidas de las subestaciones.

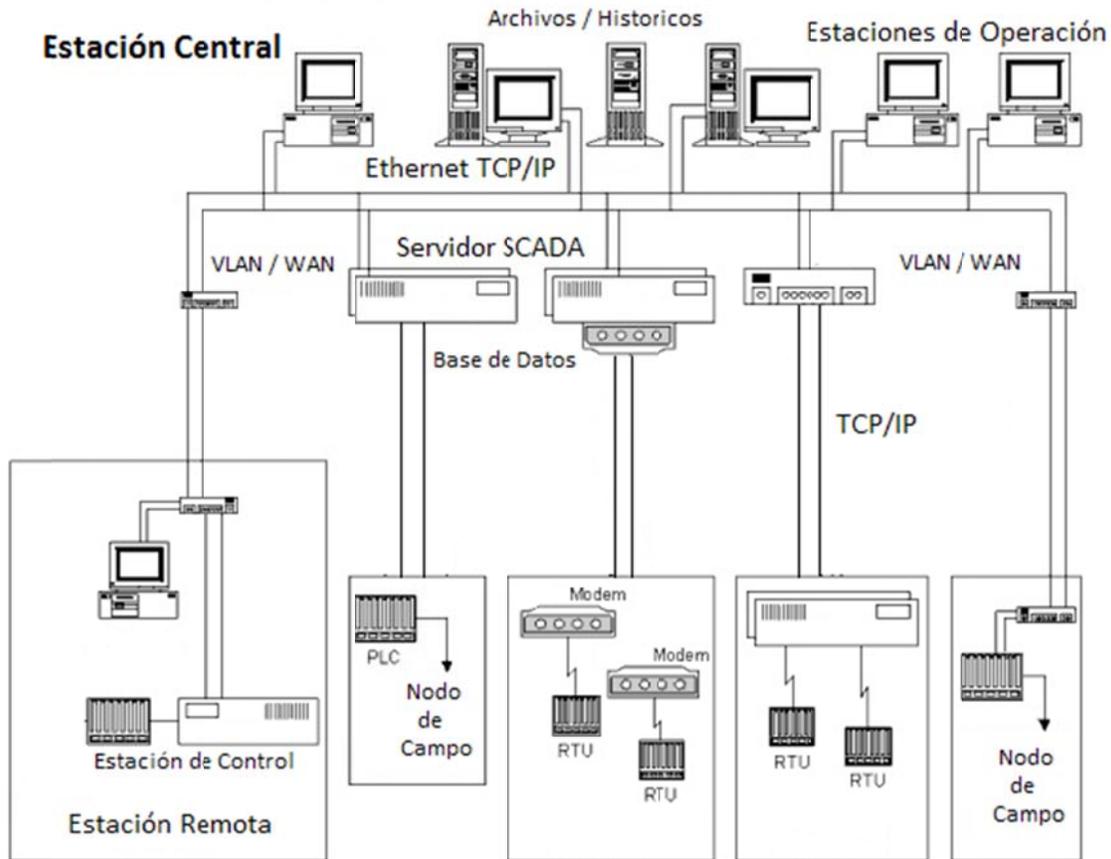


Figura 41. Configuración General de un Centro de Control de Operaciones

3.3.2. Redes de Áreas

Las Redes de Áreas, están constituidas por dos fibras ópticas para servicios generales a lo largo de la trayectoria de las vías, una por un lado de la vía y la otra por el otro, asociadas al ámbito geográfico de las subestaciones eléctricas, cubriendo aproximadamente 12 Km en el entorno de la Subestación Eléctrica. Dichas fibras se encuentran seccionadas, pero sin equipo adicional alguno, en los puntos de conexión o enlace con los Nodos de Campo.

Las Redes de Áreas para Subestaciones Eléctricas, están constituidas por el enlace punto a punto, con protocolo de comunicación **IEC-870-5-101**, con el servidor del Sistema Integrado de Control Distribuido de la Subestación.

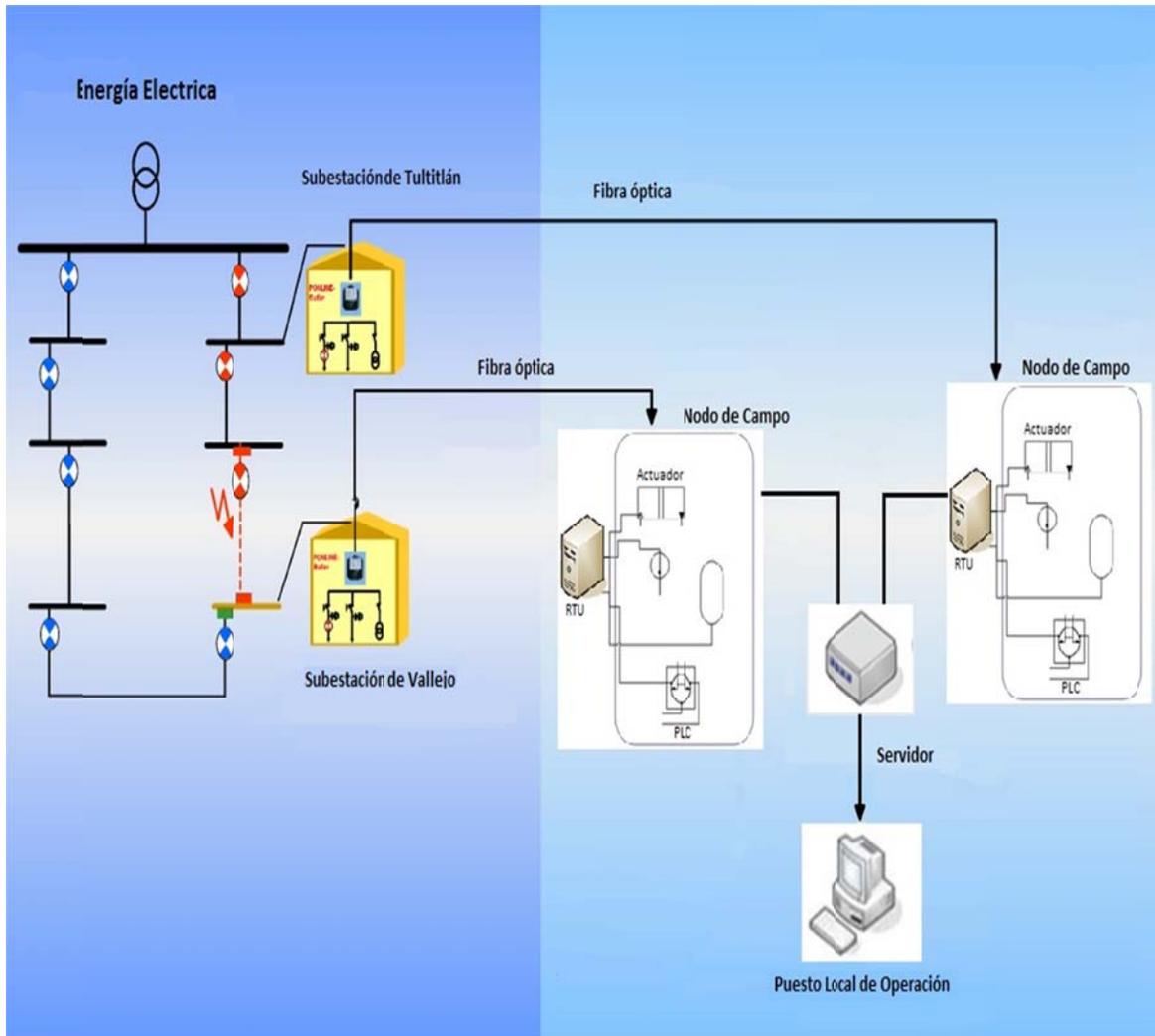


Figura 42. Distribución General de Subestaciones de Transformación

Los Nodos de Campo se integran en estas Redes de Área, por lo que se tiene dos Redes de Área:

- Una para cada Subestación Eléctrica, Subestación de Vallejo y Subestación de Tultitlán.
- La Red de Área de Seccionadores de Catenaria y Centros de Transformación denominada RA-CA que integran todos los Nodos de Campo que contienen seccionadores de catenaria (Zonas Neutras de Subestaciones Eléctricas, Puestas en Paralelo de Catenaria en la zona neutra de Cambio de Fases, Estaciones, Vías Secundarias) y Centros de Transformación en Estaciones o Vías Secundarias.

En las Redes de Área, el protocolo de comunicaciones es **IEC-870-5-104** soportado por la red de fibra óptica mono modo.

Las Redes de Áreas homólogas de RA-CA están interconectadas entre sí y permiten el flujo de datos en condiciones degradadas de las comunicaciones cuando por algún motivo se rompa la comunicación de un lado de la fibra óptica o se encuentre saturada, desde las Subestaciones al CCO.

De este modo las Redes de Áreas, tienen una estructura en anillo, con las siguientes características funcionales:

- Tolerancia a un corte del anillo de F.O. Que evita fallas de comunicaciones por interrupción del anillo de una Red se incorporan los elementos necesarios que garanticen la comunicación por los caminos establecidos a ambos lados del corte.
- Posibilidad de comunicación directa entre Redes de Área colaterales.
- Se tiene garantizada la conexión entre los anillos asociados a cada RA-CA haciendo uso de routers.
- En caso de falla del acceso a TR-1 (RED-1) o TR-2 (RED-2) y de la F.O. dedicada de una de las Redes de Área, la arquitectura del sistema tiene garantizada que las funcionalidades de la Red de Área afectada sean asumidas por las Redes de Área adyacentes. En este caso el CCO es el encargado de direccionar cualquier Red Local asociada a la red de Área afectada, a través de las Redes de Área colateral.

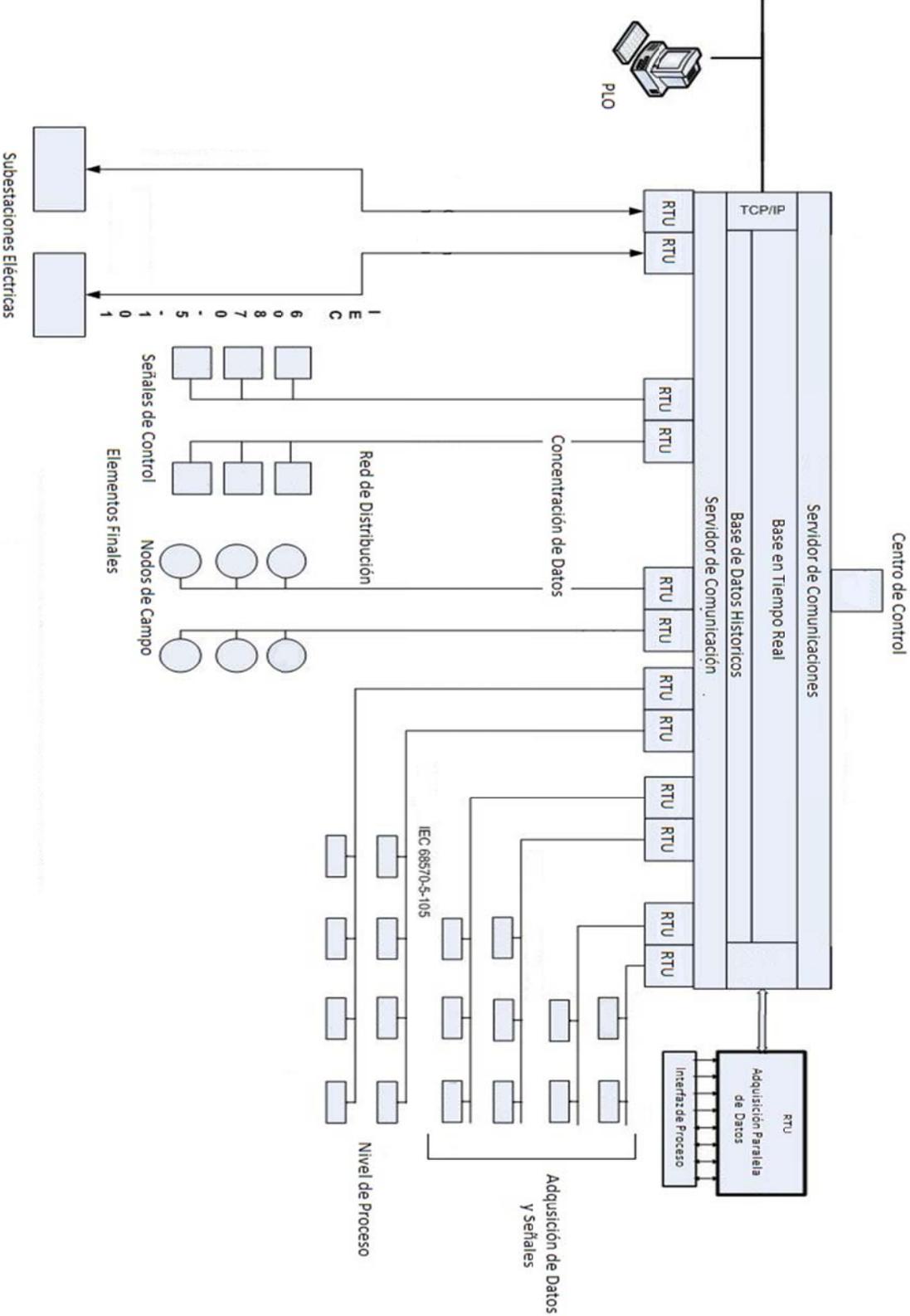


Figura 43. Configuración General de Redes de Área

3.3.3. Nodos de Campo

Se entiende por Nodo de Campo a todo el equipo (electrónico y de comunicaciones) ligado a un entorno determinado, que por su funcionalidad y ubicación en la línea se unifica para su control mediante un Puesto Local de Operación. Pasan por ser puntos frontera, a nivel de comunicaciones, entre Redes de Área y Redes Locales. Los Nodos de Campo que se localizan asociados al control de seccionadores de catenaria ligados a estaciones y zonas neutras de Subestaciones Eléctricas y a los Centros de Transformación de Estaciones.

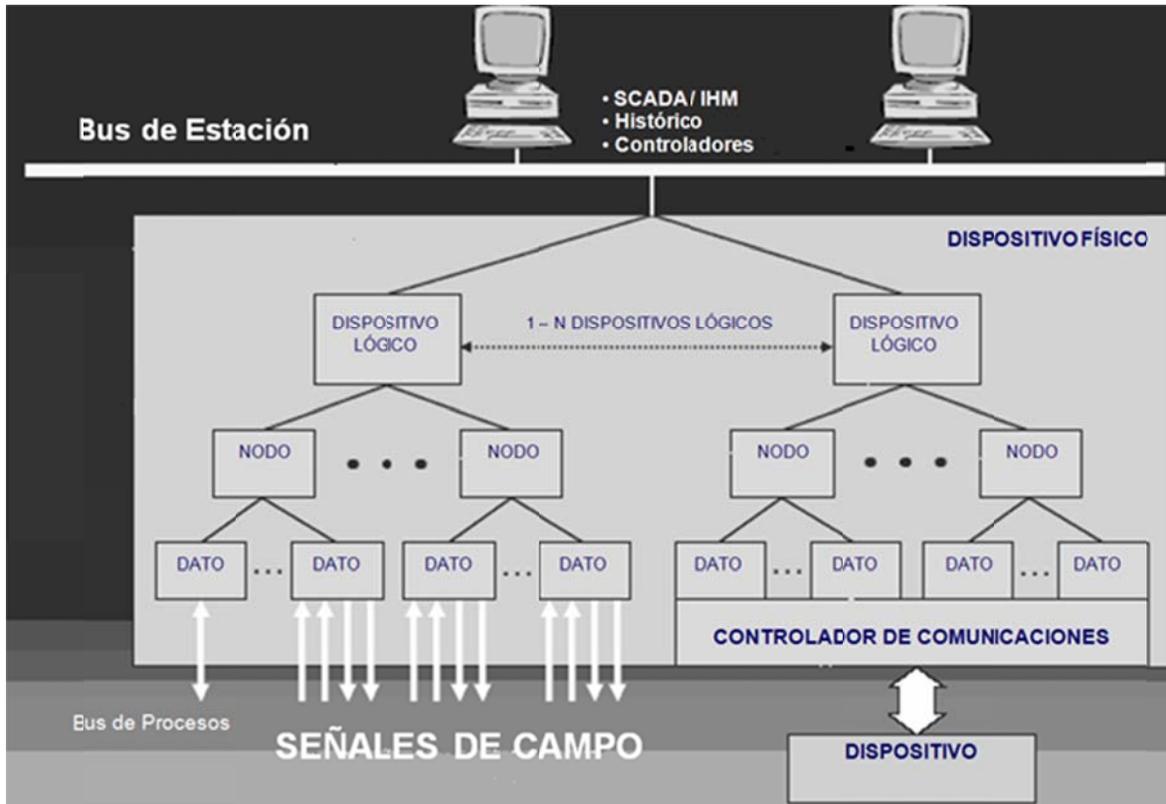


Figura 44. Nodos de Campo

Los Nodos de Campo que se localizan asociados a Subestaciones Eléctricas, está constituida por el enlace punto a punto del servidor, con protocolo de comunicación **IEC-870-5-101**, con el servidor del Sistema Integrado de Control Distribuido de la Subestación.

Los Nodos de Campo de seccionadores a controlar, ligados a Estaciones y Zonas Neutras de Subestaciones Eléctricas, se pueden encontrar a distancias elevadas de los mismos. Es por ello que se tiene una Red Local, anillo o bus de campo, para acceder hasta cada uno de los elementos finales a controlar, soportado sobre fibra óptica. En cualquier caso funciona en dualidad.

Otros Nodos de Campo se localizan asociados al control de alimentación en Media y Baja Tensión de Centros de Transformación de Estaciones, se integra en esta misma Red Local. En cualquier

caso, se garantiza las condiciones exigidas de redundancia y de compatibilidad electromagnética o de cualquier otro tipo.

Todos los Nodos de Campo se integran en Redes de Área que convergen en las Subestaciones Eléctricas, donde a su vez, se enlazan con otras redes que comunican con el CCO. En las Redes Locales el protocolo de comunicaciones es **IEC-870-5-101** soportado por la red de fibra óptica multimodo.

3.3.4. Elementos Finales. Redes Locales

Los Elementos Finales del Telemando de Energía están constituidos por los seccionadores de catenaria, detectores de tensión, equipos de suministro de baja tensión a edificios.

Dado que los seccionadores de catenaria están agrupados en Estaciones, Zonas Neutras de Subestaciones Eléctricas, para estos grupos se tiene una red llamada Red Local de Seccionadores de Catenaria. En este mismo sentido, y dado que los consumidores se agrupan en los Centros de Transformación asociados a los diferentes Edificios, cada uno de estos grupos están integrados en la misma Red Local de seccionadores de catenaria.

En las propias subestaciones se tienen una misma Red Local con Red de Área de Subestación de enlace punto a punto con el servidor del Sistema Integrado de Control Distribuido de la Subestación.

Los Elementos Finales asociados a catenaria están constituidos básicamente por:

- Controlador del Accionamiento de Seccionador de Catenaria. Cada seccionador de catenaria incorpora un controlador de accionamiento, al que está asociado, que conecta a la Red Local, RL-CA, para realizar las tareas de monitoreo y control de la posición del accionamiento.
- Detectores de nivel de tensión. Para medir el valor eficaz de la tensión presente en la catenaria o la ausencia de la misma.

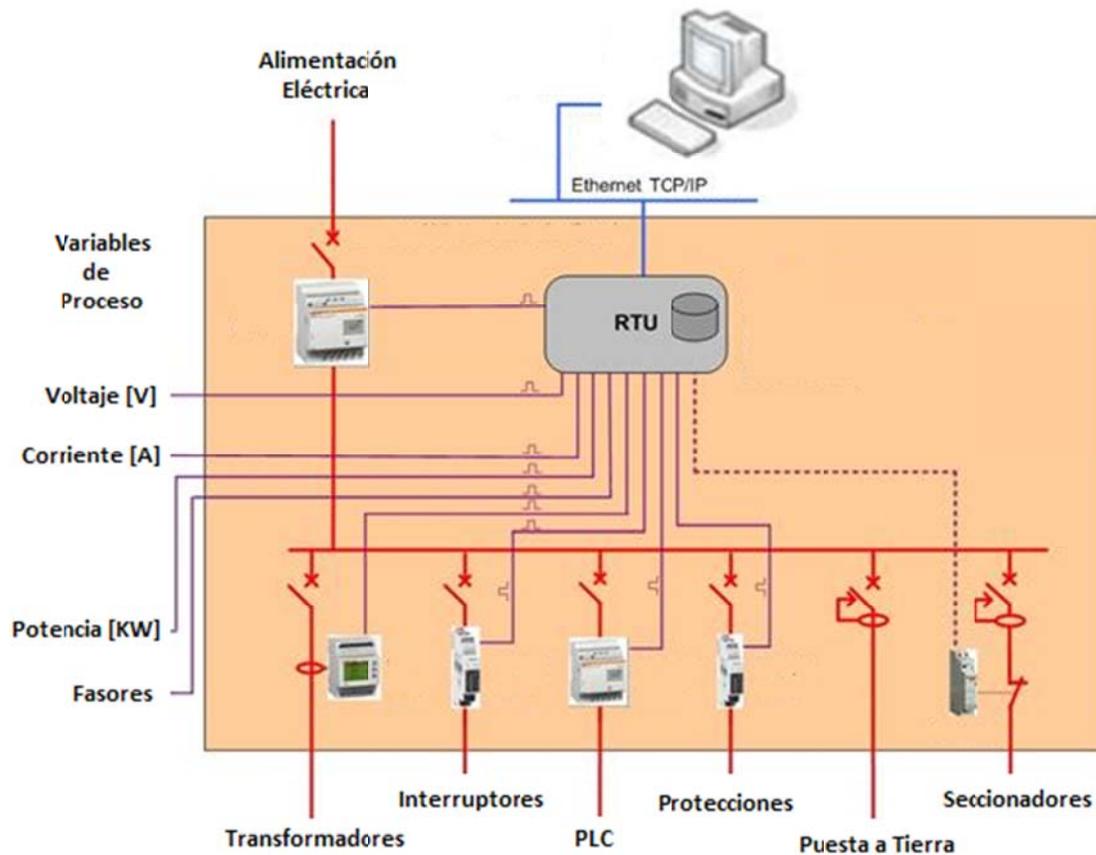


Figura 45. Elemento Finales de Subestación

Los Elementos Finales asociados a las Subestaciones, están “tele controlados” por el Sistema Integrado de Control Distribuido y por tanto los enclavamientos y emisión de alarmas, eventos, estados, están predeterminados en el propio sistema y es el objetivo del telemando solo la emisión de ordenes (aperturas, cierres, bloqueos, desbloqueos rearmes, desconexiones generales, arranque - paro) previamente mapeadas sobre los equipos constituidos básicamente por:

- En el lado de Alta Tensión:
 - Seccionador de Entrada de Línea. Provisto de Puesta a Tierra.
 - Interruptor de Protección General.
 - Los dos Seccionadores de Transformadores. Provisto de Puesta a Tierra.
 - Los dos Interruptores de Protección de Transformadores.
 - Transformadores de Potencia.
 - Transformadores de Medida y Protección: tensión e intensidad.

- En el lado de Media Tensión, lado secundario del Transformador:
 - Seccionador de Salida de Línea a Barras de 27.5 kV. Provisto de Puesta a Tierra.
 - Interruptor de Protección General a Barras de 27.5 kV.
 - Transformadores de Medida y Protección: tensión e intensidad.

- En el lado de Media Tensión, Salida a Catenaria:
 - Seccionador de Salida de Barras a Catenaria en 27.5 kV. Provisto de Puesta a Tierra
 - Interruptor de Protección de Barras a Catenaria en 27.5 kV.
 - Transformadores de Medida y Protección: tensión e intensidad.

- En el lado de Media Tensión, Acoplamiento de Barras:
 - Seccionadores de Acoplamiento de Barras en 27.5 kV. Provisto de Puesta a Tierra.
 - Interruptor de Acoplamiento de Barras en 27.5 kV.

- En el lado de Media - Baja Tensión:
 - Los dos Seccionadores Protección de los Transformadores de SS/AA
 - Los dos Interruptores de Protección de los Transformadores de SS/AA.

- Los propios Servicios Auxiliares de la subestación.
 - Finales asociados a las Centros de Transformación, están tele-controlados el Sistema Integrado de Control Distribuido propio de cada centro.

- En el lado de Media Tensión
 - Seccionador de Entrada de Línea. Provisto de Puesta a Tierra.
 - Interruptor de Protección General.
 - Transformadores de Potencia.

- Transformadores de Medida y Protección: tensión e intensidad
- En el lado de Baja Tensión
 - Interruptor de Protección General.
 - Transformadores de Medida y Protección: tensión e intensidad
 - Los propios Servicios Auxiliares de la subestación.
- Los propios Servicios Auxiliares de la Subestación.

3.4. Arquitectura de las Comunicaciones y Modos de Operación

En el nivel de comunicaciones aparecen dos aspectos importantes a resaltar: el medio físico y el protocolo de comunicaciones utilizado.

Actualmente los medios físicos, dependiendo del uso que se está haciendo de ellos, se clasifican en:

- Dedicados basados en cobre: Son los medios físicos tradicionales que utilizan una tecnología similar a la telefonía fija. Como máximo se pueden alcanzar velocidades de 9600 bit/s. Este medio físico, que se traza paralelo a la vía, ha sido una de las diferencias con los telemandos de energía de las redes de transporte (comunicación en alta tensión mediante portadora o a través del cable de tierra mediante fibra óptica), además de la gestión de la catenaria.
- Dedicados basados en fibra óptica: Frente al cobre ofrecen un ancho de banda casi ilimitado. En contra tienen el costo de mantenimiento.
- Compartidos: La capacidad casi ilimitada de la fibra óptica, y la necesidad de abaratar su costo de explotación, ha hecho que en algunas administraciones el uso de la fibra óptica sea compartida entre el telemando de energía y la red corporativa. En este caso las redes se diseñan con suficientes mecanismos de seguridad y redundancia, que a la larga aseguran una disponibilidad y una fiabilidad mayores que en las redes dedicadas. Además se aprovecha que la red de los telemandos de energía con tecnología TCP/IP tiene un grado de utilización muy bajo. Los medios de encaminamiento en las redes actuales permiten compartir el ancho de banda y a la vez dar prioridad a quien lo necesite, como en el caso de los canales virtuales de comunicación de los telemandos.

3.4.1. Arquitectura y Jerarquía de las Comunicaciones

3.4.1.1. Generalidades sobre el Diseño de la Red de Comunicaciones

El sistema de comunicaciones permite enlazar el Centro de Control con el equipo de campo. Está basado en una red IP de transporte de información soportada por una arquitectura de hardware donde la alta fiabilidad es la característica más resaltante ante la complejidad de este sistema. Su arquitectura de interconexión, está diseñada con la más alta redundancia. Para ello en cada intersección se utilizan uno o más routers que ejecutan el protocolo de Internet.

El sistema de comunicaciones presenta dos niveles de conexión entre los diferentes puntos que integran la red de comunicaciones de la línea:

- Dos Redes Corporativas.
- Una Red de Fibra Óptica Dedicada (oscura).

El diseño de red se completa en las subestaciones, donde están para los Nodos de Campo los anillos de RA-CA, RA-SE y RASE para el enlace con el Centro de Control y Operaciones.

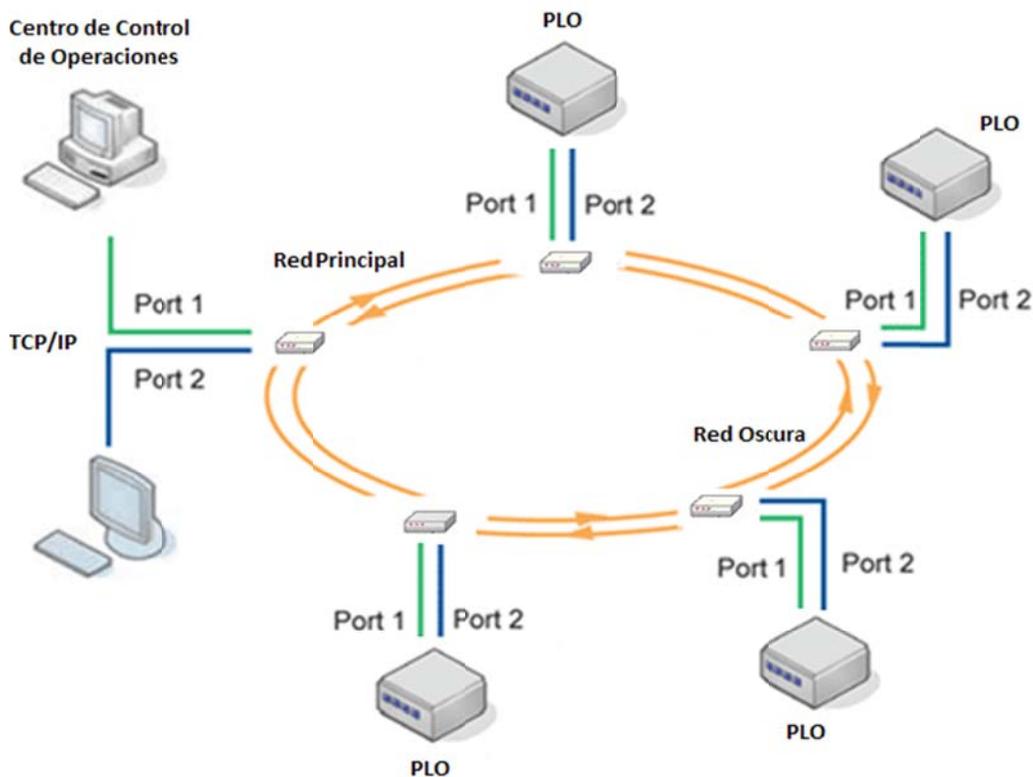


Figura 46. Configuración de Red de Centro de Control y Puestos Locales de Operación

3.4.1.2. Acceso a la Red de Fibra Óptica Dedicada

Acceso a la Red de Fibra Óptica Dedicada

La red de Fibra Óptica dedicada permite enlazar las diferentes instalaciones empleando un único segmento de red de datos generado como una red adicional VLAN, diferenciada en los routers de acceso a la red corporativa.

El soporte físico para este servicio es un bus redundante de dos fibras ópticas oscuras que van desde Cuautitlán-Buenavista con puntos de conexión en las instalaciones afectadas:

- Una en el Centro de Control y Operaciones
- En cada una de las dos subestaciones de Vallejo y Tultitlan.

Se cuenta para ello de dos switch de Fibra Óptica uno de dirección Tultitlan y otra dirección Buenavista. Se tienen switches de Fibra Óptica con el correspondiente hardware de acceso a la red de Fibra Óptica dedicada, que permite conectar un par de puertos de cobre y extender redes a través de enlaces de fibra óptica.

3.4.1.3. Acceso a las Redes de Áreas de Subestaciones

El enlace entre las redes TR-1 y TR-2 y la Subestaciones se establece a través de dos routers IP en la Subestación de Vallejo y Tultitlán, uno de ellos para dar conectividad al primer anillo TR-1 de Tiempo Real y el otro para dar conectividad al segundo anillo TR-2 también en Tiempo Real.

La conexión con las Redes de Área se llevan a cabo, para cada una de las dos Subestaciones, a través de uno de los dos switches que permiten la creación de segmentos Ethernet dando conectividad a la red local a todos los equipos situados en las instalaciones.

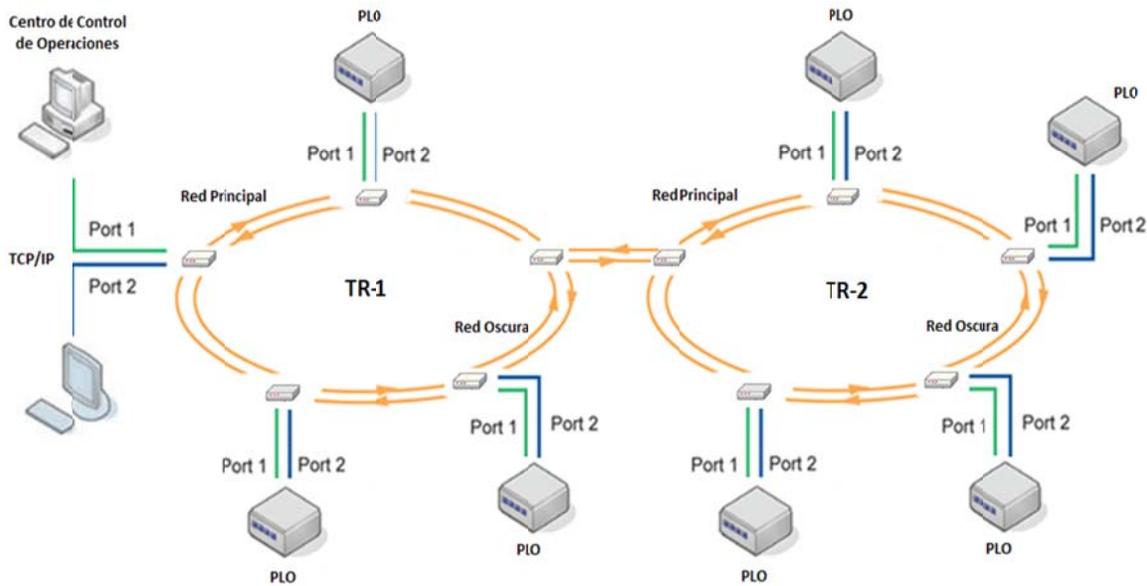


Figura 47. Configuración de Acceso a las Redes de Áreas de Subestaciones

El acceso a las redes TR-1 y TR-2, para la comunicación con el CCO se realiza a través del soporte de fibra óptica, aprovechando las fibras disponibles para servicios a ambos lados de las vías, estableciéndose un doble enlace E1 a los dos anillos segregados en la correspondiente subestación, enrutado en el ancho de banda requerido en relación con el existente.

Este subsistema de comunicaciones está constituido por los equipos que permiten establecer un enlace de comunicaciones dedicado entre Subestaciones Eléctricas y el CCO, obteniéndose con ello:

- Las comunicaciones redundantes entre el Sistema de Control de la Subestación Eléctrica (a través de los dispositivos redundantes previstos a la salida de éste) y el CCO.
- Facilita igualmente, las comunicaciones entre el CCO y los anillos de campo de F.O. y que son las dos Redes de Área para el Control de Seccionadores de Catenaria y para el control de los Seccionadores de Consumidores.

Se tiene un segundo enlace dedicado, no es redundante, previsto para el caso del funcionamiento en condiciones de falla de las comunicaciones fijas. Este enlace se denomina "fibra oscura" y consta de dos fibras independientes a las establecidas para las redes TR-1 y TR-2.

El equipo de acceso a la red de Fibra Óptica dedicada permite enlazar las diferentes instalaciones empleando un único segmento de red de datos diferenciado en los routers de acceso a las diferentes redes. El soporte físico para este servicio es un bus redundante de dos fibras ópticas oscuras que van desde el Centro de Control de Operaciones con conexión en las instalaciones: el CCO y en las dos Subestaciones. Se usan dos switch de Fibra Óptica uno de ellos dirección Vallejo y

otro dirección al CCO para la Subestación de Tultitlán y otros dos switch de Fibra Óptica uno de ellos dirección S/E de Tultitlan y otro dirección al CCO para la Subestación de Vallejo, que permiten conectar un par de puertos de cobre y extender redes a través de enlaces de fibra óptica.

3.4.2. Jerarquía y Modo Funcional

El control y supervisión de cada Elemento Final de Campo se realiza, indistintamente, mediante alguno de los siguientes modos o niveles de operación:

- **Modo Telemando Centralizado.** Cuando el control y supervisión de los Elementos de Campo se realiza desde el CCO, ubicado en los Talleres de Pantaco. En este modo debe contemplarse para la totalidad del tramo la Línea del FF.CC Suburbano del Valle de México. Se tiene una instalación a nivel de hardware y software del CCO del Telemando de Energía para el tramo Buenavista-Cuautitlán. Así como la integración de las nuevas instalaciones en el sistema de control y supervisión del CCO en los Talleres de Pantaco.
- **Modo de Operación Local.** Se realiza desde los Puestos Locales de Operación de cada Nodo de Campo: Subestaciones, Centros de Transformación, Puesta en Paralelo, Estaciones. Se tiene acceso al mando de todos los Elementos Finales contemplados en el Nodo de Campo, según la operación establecida. Y dada la flexibilidad exigida a las Redes de Área de cada Subestación Eléctrica, se tiene la posibilidad de que desde el PLO de un Nodo de Campo se puede operar (si se dispone de los permisos pertinentes) otro Nodo de Campo asociado a la Red de Área de la misma Subestación Eléctrica o de su colateral.

Las jerarquías de nivel superior entre el CCO y las locales del PLO se conectan entre sí en las Subestaciones Eléctricas a través de una doble red de Fibra Óptica Mono modo, como red principal o por un tercer anillo de Fibra Óptica Mono modo denominada red oscura (en soporte si cae la principal) con protocolo de comunicaciones **IEC-870-5-104**.

Una vez que se está a nivel de campo la información procedente de los niveles superiores, CCO, se concentran en las Subestaciones de Tracción. El hardware encargado de direccionar la información u órdenes hasta los Nodos de Campo a través de las Redes de Área de Seccionadores de Catenaria (RA-CA1 y RA-CA2), completamente independientes entre sí, pero con la salvedad de poder acoplarse RA-CA's adyacente mediante routers. De este modo en caso de caer una de las unidades remotas poder tener comunicación a través de la próxima red disponible.

3.5. Procesos Fundamentales del centro de control y operaciones CCO

3.5.1. Generalidades

El conjunto de procesos integrante de la funcionalidad del sistema de tiempo real se soporta en una estructura distribuida de ordenadores para la supervisión y control de datos de tiempo real y el almacenamiento de datos históricos.

Se distinguen cuatro subsistemas o núcleos independientes

- **Núcleo de Tiempo Real (CMX).** Realiza el control, manejo y carga de operaciones sobre la base de datos de tiempo real y la gestión de las comunicaciones con todos los elementos del sistema.

Tiene diversas funciones, tales como, procesamiento de alarmas, tendencias, cálculos, control de la configuración, monitoreo de los dispositivos.

Su funcionalidad sirve como base para la toma de decisiones sobre la operación y gestión del sistema y además, es el encargado de llevar a cabo las tareas de adquisición, gestión y control.

Dichos servicios residen en los Servidores de Operación y Gestión de las Comunicaciones

- **Núcleo Histórico (XIS).** Consiste en una base de datos que almacena la información histórica de la evolución del sistema y una serie de procesos para la gestión de la misma. Reside en los Servidores de Gestión de Registro de Históricos
- **Núcleo de Representación (XOS).** Contiene el Interfaz Hombre-Máquina para la presentación de datos y el control de dispositivos: Interfaz de operación e Interfaz de edición. Reside en los Puesto de Operación y Visualización.
- **Control de Configuración (CMX).** Es el encargado de verificar en cada instante la integridad de todos los núcleos anteriores.

3.5.2. Núcleo de tiempo real

El Núcleo de Tiempo Real está constituido por:

- Un conjunto de procesos que recopilan los datos de campo, verifican las condiciones de alarma, convierten valores, manejan los dispositivos hardware y suministran la información al resto de subsistemas.
- Una Base de Datos de Tiempo Real con sus herramientas de mantenimiento e integridad de la misma.

Todos los procesos comparten los datos contenidos en la Base de Datos de Tiempo Real, los cuales

representan todos los puntos de información gestionados por el sistema, así como los puntos calculados que generara el mismo.

3.5.2.1. Funciones de adquisición y Telemando

Como parte fundamental del núcleo de tiempo real están las funciones de adquisición de datos (monitoreo de los elementos de campo) y telemando (telecontrol sobre elementos de campo). Toda esta información se adquiere mediante el uso de protocolos de comunicaciones.

El sistema proporciona comunicación con múltiples equipos remotos, dispositivos de campos, donde el interfaz físico soportado para la conexión con estos es una red **Ethernet IEEE802.3**, siendo el protocolo para comunicar con los concentradores de comunicaciones de campo **IEC-870-5-104** y el protocolo de transporte de datos empleado, TCP/IP.

Las comunicaciones con los equipos de campo están orientadas a la conexión. Para ello se dispone de un sistema de gestión de comunicaciones que además de permitir la comunicación con diferentes tipos de equipos simultánea, que es capaz de gestionar cuatro puertos de comunicaciones con cada equipo remoto. El empleo de un puerto u otro se define de forma automática en función de su disponibilidad o de forma manual por el administrador del sistema. El gestor de comunicaciones soporta múltiples rangos de velocidad de comunicación, siendo la velocidad de adquisición sólo limitada por el ancho de banda del canal de comunicaciones y el equipo utilizado. Manteniendo un completo archivo histórico de las actividades de comunicaciones en el sistema.

La causa de los fallos de existir se almacena para poder ser analizados convenientemente. El gestor de comunicaciones permite que el administrador del sistema pueda habilitar / deshabilitar las comunicaciones con una unidad remota.

En modo normal de funcionamiento el servidor de gestión de las comunicaciones activo del CCO establece los enlaces de comunicación con el servidor de comunicación.

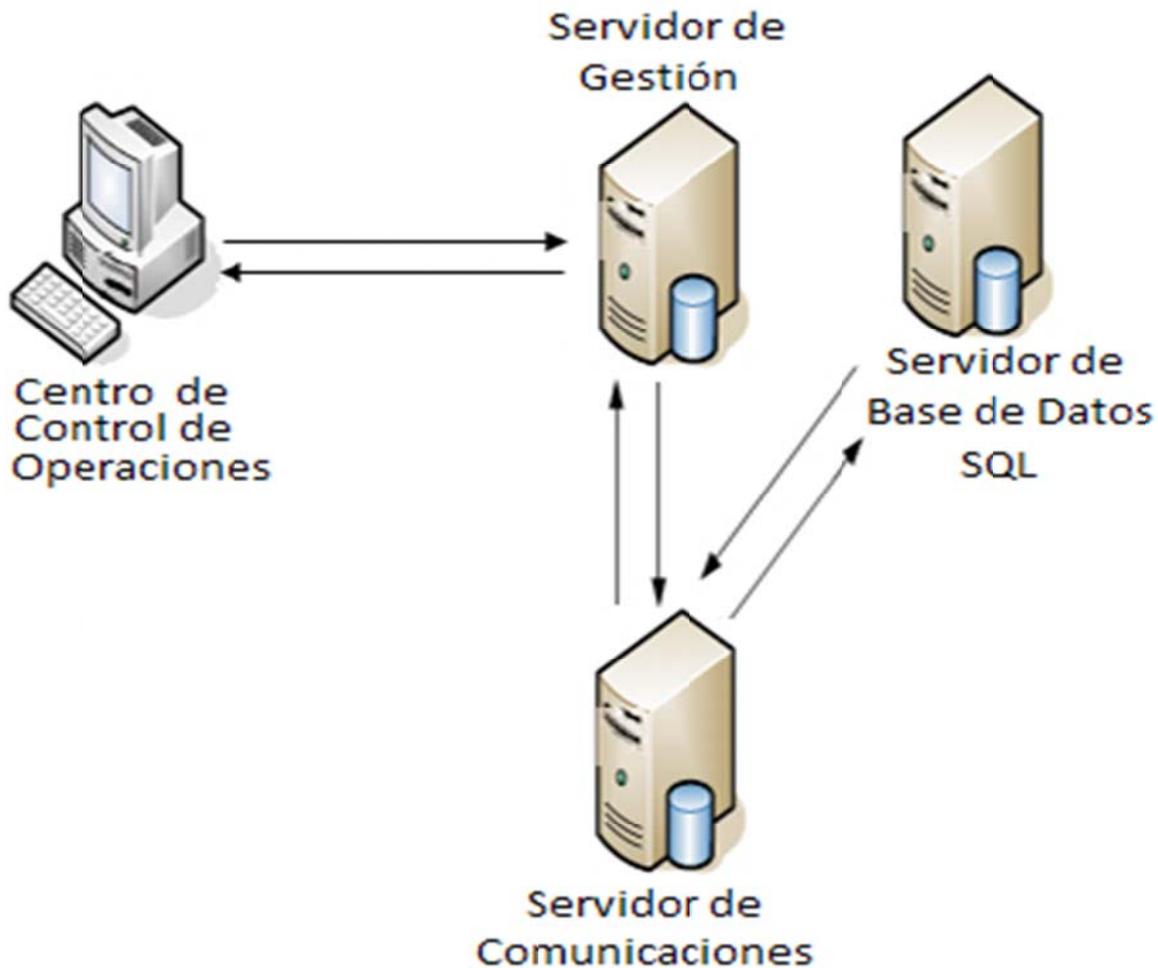


Figura 48. Comunicación del CCO con Bases de Datos

3.5.2.2. Base de datos de tiempo real

La misión del sistema de gestión de base de datos de tiempo real consiste en el almacenamiento centralizado de los datos cronológicamente, de forma que se asegure un acceso rápido, manteniendo la integridad y coherencia de los mismos.

El diseño de la Base de Datos de Tiempo Real está basado en el Sistema de Administración de Base de Datos Relacional. Su composición se fundamenta en tablas modulares de estructura similar, que simplifica el modelado por separado de las distintas aplicaciones.

El conjunto de tablas que conforman la BDTR permite el almacenamiento de todos los objetos que forman parte del núcleo de tiempo real de manera que se almacenen con sus correspondientes características, atributos y datos, tanto estáticos como dinámicos. Existe un proceso que almacena periódicamente en disco los datos de tiempo real, evitando así la pérdida de información ante una falla de la máquina.

Cuando el sistema realice un arranque en frío, se parte de estas bases de datos almacenadas en disco para llevar a memoria los datos de tiempo real incluyendo los valores y estado de los puntos existentes en base de datos antes de parar el sistema, a partir de aquí se obtienen los datos actuales de las remotas, ya que durante el tiempo que se ha permanecido fuera de servicio las condiciones de campo pueden haber sufrido cambios, es decir se parte de la imagen previa almacenada en la base de datos (información estática) y se interroga a las (UTR) remotas para obtener los datos reales de campo (información dinámica).

Las aplicaciones de tiempo real acceden a los datos mediante un conjunto de funciones compatibles con la estructura relacional de la BDTR. Dicho conjunto de funciones asegura un acceso rápido a los datos, manteniendo la integridad y coherencia de los mismos, resolviendo los accesos concurrentes mediante niveles de bloqueo. Esta librería de rutinas de acceso a BDTR se encuentra disponible para la realización de programas de aplicación que accedan a los datos y depositen resultados sobre la propia base de datos de tiempo real. La carga masiva de la base de datos se realiza mediante una herramienta de generación, dicha generación no puede realizarse en caliente ya que está orientada a grandes cargas de la base de datos.

El acceso a la base de datos para modificar, crear o borrar registros se realiza a través de cualquier Puesto de Administración con los privilegios adecuados. Para ello se dispone de un interfaz gráfico que permite acceder a las distintas tablas de la base datos y realizar el mantenimiento de las mismas.

La creación de equipos, analógicas y contadores puede ser realizada en caliente mediante un editor de base de datos. Todo el mantenimiento se realiza mediante distintos formularios personalizados para cada una de las tablas con ayudas a la edición.

La modificación de cualquier registro a través del interfaz gráfico queda almacenada en la base de datos histórica como evento de administración, indicando quién realizó las modificaciones y en qué consistieron éstas.

3.5.3. Núcleo de históricos y Base de datos

El Núcleo histórico es una plataforma de diseño avanzado y basada en estándares, que almacena datos de tiempo real mediante un paquete de Base de Datos Relacional.

Existe un proceso que gestiona la transferencia de datos al Núcleo Histórico y el almacenamiento intermedio de datos en caso de que el sistema histórico no esté disponible provisionalmente con el fin de salvaguardar los eventos producidos mientras dure ese estado.

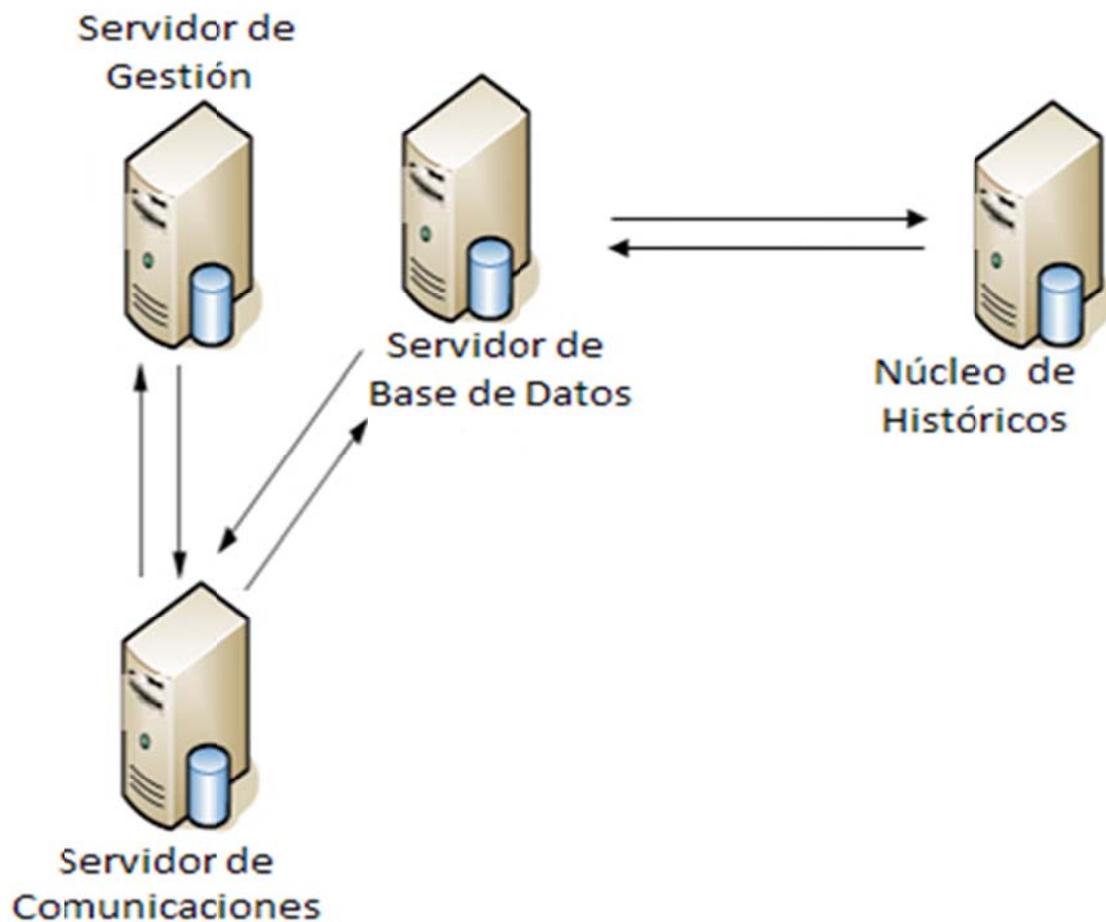


Figura 49. Configuración de Servidores y Núcleo de Históricos

Los datos históricos son esenciales en una aplicación de control, porque nos permiten analizar la evolución del sistema. De esta manera podemos:

- Detectar funcionamientos anómalos y analizar sus causas.
- Disponer de un registro de todas las operaciones y eventos sucedidos.
- Poder prever acciones o comportamientos futuros.

Por ello:

El software se sustenta en una Base de Datos Relacional, que dispone de múltiples herramientas de acceso y manipulación de la información. Se estructura en bases de datos y tablas, permitiendo la creación de procedimientos almacenados.

Para disminuir los tiempos de respuesta en las consultas de información histórica y facilitar la

inserción de nuevos datos, sólo están almacenados los más recientes. Los datos más antiguos son eliminados de forma automática. Se almacenan como mínimo tres meses de información. El administrador del sistema puede acceder a la información contenida en la BDH a través de utilidades de la Base de Datos Relacional en que se sustenta.

El Interfaz Hombre Máquina tiene las herramientas que nos permiten visualizar mediante listas y curvas los distintos tipos de datos históricos. Además dispone de la posibilidad de editar la información histórica. La generación de informes y su gestión son desarrolladas por el propio usuario.

Bases de Datos Histórica

Se almacenan en la base de datos histórica la siguiente información:

- Datos analógicos, medidas de tensión, intensidad, potencia que pueden ser editadas y visualizadas. El sistema, en base a esta definición de base de datos, recopila los datos históricos a intervalos periódicos o por excepción.

Estos datos son enviados directamente al servidor para que los registre en la tabla de valores instantáneos. Adicionalmente, en intervalos de una hora, se ejecuta una tarea que calcula según intervalos de horas, días, meses y años los valores mínimos, máximos y medios de los datos instantáneos.

- Datos de contadores asociados a las medidas de consumos de energía son adquiridos y procesados dentro del subsistema histórico y al igual que los analógicos se almacenan según intervalos de horas, días, meses y años con el valor acumulado y el incremento en dicho intervalo para las medidas de los consumidores.
- Para los tarificadores de energía presentes en las subestaciones se almacenan además según intervalos cuarto-horarios.
- Eventos del sistema o todo suceso que ocurra en el sistema (alarmas, maniobras de control del operador, acontecimientos de administración y acontecimientos de campo) genera mensajes que se almacenan en la base de datos históricos.

3.5.4. Núcleo de Representación

El objetivo del núcleo de representación es facilitar a todos los usuarios, operadores, responsables del sistema o usuarios ocasionales, un conjunto de herramientas gráficas interactivo que permita el manejo del sistema sin necesidad de asistencia especializada.

El núcleo de representación lo componen:

- **Interfaz de operación.**

El Interfaz Hombre Máquina proporciona una estructura de operación mediante ventanas, de fácil manejo, intuitiva y cómoda para el usuario.

La distribución de la pantalla y los niveles de acceso a los datos dependen de la categoría del usuario, su asignación geográfica de mando y de la estación funcional de trabajo que se utilice y es determinada a través de su identificación de acceso, previo al uso de este Interfaz.

Todas las acciones del operador quedan registradas de forma automática en el histórico de eventos, marcando claramente la cronología (hora y fecha), la identificación del operador, la consola, la identificación del equipo sobre el que se ha actuado, su descripción y la acción realizada sobre el mismo.

- **Interfaz de edición.**

Se utiliza un Editor Gráfico de Formatos como principal herramienta de diseño de representaciones. El editor contiene las utilidades necesarias no sólo para generar y editar formatos, sino además para distribuirlos entre los distintos puestos de operación.

El Editor Gráfico es capaz de leer dibujos de AutoCAD y de utilizar estos dibujos como base para los formatos, por lo que el Editor dispone de una herramienta de dibujo de formato fijo con todas las capacidades y funciones de un CAD.

3.5.5. Control de la configuración

El sistema de control de la configuración se encarga de verificar en todo momento el correcto funcionamiento tanto del núcleo histórico, como del núcleo de tiempo real y como del núcleo de representación.

El control de la configuración realiza, dentro del núcleo de tiempo real e histórico de un Centro de Control, las tareas necesarias para la inicialización del sistema, el seguimiento y control de los componentes de la configuración, así como la comunicación al operador de fallas en dichos componentes y las posibles respuestas y acciones ante estas fallas.

El control de la configuración asegura una recuperación coherente tras la falla de componentes críticos de un centro de control.

A continuación se detallan las funciones que realiza el control de la configuración:

Inicialización y arranque del sistema. Esta función inicializa el hardware y software del sistema, permitiendo al usuario arrancar desde el inicio o recuperar automáticamente las funciones del

sistema tras una falla.

Redundancia de equipos. La detección del falla crítico de un dispositivo provoca el arranque automático del elemento redundante que se encuentre en estado de reserva.

Los equipos redundantes que existen son:

- Servidores de operación y comunicaciones.
- Servidores de datos históricos.

Los discos de almacenamiento histórico actúan en una configuración Master/Mirror.

Conexiones en la Red de Área Local en el CCO.

- Conexiones con Servidores de campo.

Chequeo y control de funciones.

La detección de la falla en el sistema, así se tiene:

- Detectar el estado de todos los equipos de red.
- Detectar fallas y problemas de llenado en los discos que poseen el sistema operativo.
- Vigilar el estado de los discos históricos, para detectar tanto fallas como exceso de datos en alguna de las tablas.
- Generar alarmas ante cambios de estado de las diversas funciones.
- Mantener la información sobre el estado de las diversas funciones.

Control del sistema por parte del Administrador. Permite al Administrador del Sistema tener privilegios y mecanismos de seguridad, que mediante la utilizando las ventanas proporcionadas por el interfaz hombre-máquina, pueda actuar y alterar la configuración la configuración. Así de este modo tener capacidad de:

- Controlar y chequear el estado de los equipos.
- Poner / quitar de servicio una remota.
- Arrancar manualmente los ordenadores de la configuración.
- Provocar conmutaciones de los servidores de operación y comunicaciones y de los servidores de histórico.

3.6. Descripción Funcional del Telemando de Energía

El objetivo principal del sistema de Telemando de energía es garantizar el control vía remota de una instalación mejorando los niveles de calidad en el servicio conseguidos con una explotación local de las instalaciones de campo.

A continuación se describen en detalle todas las aplicaciones que el sistema pone a disposición de los usuarios para supervisar, monitorear y controlar todas las instalaciones de la línea en "tiempo real" y realizar un análisis posterior con detalle de la información recibida.

3.6.1. Control de acceso

Para permitir el acceso al sistema cada usuario tiene asociado la siguiente información:

- **Nombre y Password.-** Mediante el nombre (usuario) y la clave (password) el sistema garantiza que solo el personal autorizado acceda al mismo mediante un mecanismo de validación implementado en el puesto de operación que permite la introducción de un identificador de usuario y una clave de acceso facilitados a través del subsistema gráfico (ventana de log-in) .

Esta clave de acceso es contrastada con la almacenada en la base de datos local de usuarios. En caso de que se produzca una coincidencia el acceso es autorizado y los recursos de monitoreo y envío de mandos se ponen a disposición del nuevo usuario dependiendo de su área de responsabilidad. Si la validación de la clave no es satisfactoria le impide el acceso al sistema.

Las entradas y salidas de un usuario en los puestos del sistema, tanto local como remoto, quedan reflejados en el registro de eventos del sistema. Dan lugar a un evento de color blanco y muestran la siguiente información:

- Fecha y hora de la operación de entrada o salida.
- Mensaje indicando la operación de entrada o salida realizada (desconexión -reconexión), el nombre del usuario y el puesto local o remoto en el que se realiza.
- **Área de responsabilidad.-** El área de responsabilidad define el ámbito geográfico de actuación de cada uno de los usuarios (operadores) y se emplea para restringir las posibilidades de control a los diferentes dispositivos de campo (mandos a campo y tratamiento de señales) y visualización de la información mostrada en las diferentes listas del sistema: alarmas, eventos, bloqueos y señales.

Cada usuario tiene definida un área de responsabilidad compuesta por una serie de grupos. Un área de responsabilidad está formada por grupos que definen las entidades básicas de responsabilidad del sistema (Subestaciones, Centro de transformación, Servidores, Remotas, Sistemas de Control). Y todo punto del sistema tiene asociado un grupo de responsabilidad. Solo los usuarios que tengan el área que contenga dicho grupo

tienen privilegios sobre el mismo de control y visualización de la información mostrada en las listas del sistema.

- **Tipo de usuario e Identificador de Usuario.**- Existen cinco tipos de Usuario en el Telemando de Energía con nivel jerárquico claramente diferenciados que define las opciones dentro del sistema del interfaz gráfico que están disponibles para él:
 - a) **Administrador**
 - b) **Operador de telemando**
 - c) **Visualizador**
 - d) **Generador**
 - e) **Operador Local**

La administración de usuarios se realiza en los puestos de administración y se centraliza en el CCO, que es el encargado de replicar las modificaciones al resto de puestos locales de operación. La telecarga de datos de usuarios es realizada por el responsable, Administrador de usuarios, de forma manual a todos los puestos locales del sistema que se encuentren en servicio.

Además, el administrador del sistema puede determinar el perfil del operador permitiéndole el acceso sólo a un conjunto determinado de operaciones del Telemando de Energía, según los casos, por lo que el Telemando de Energía tiene la posibilidad de ejecución. La invocación remota de la aplicación del Telemando de Energía se puede realizar sólo para las operaciones permitidas, representando la información que corresponda, dependiendo del perfil del usuario.

3.6.2. Control y Monitoreo de Instalaciones

El sistema de telemando tiene dos responsabilidades principales:

- Control de los elementos susceptibles de ser maniobrados de forma remota.
- Monitoreo de los estados de estos elementos de modo que queden reflejados en el Centro de Control la visualización del estado remoto de los mismos.

3.6.2.1. Control de las Instalaciones

Telecontrol

La función de telecontrol de los nodos de campo es realizar un mecanismo de envío de los mandos de control de que dispongan los mencionados nodos.

El sistema se encarga de realizar una supervisión del procedimiento de envío de mandos, verificando si procede que transcurrido un tiempo máximo configurable el nodo de campo telemandado alcanza el estado esperado tras la ejecución del mando. En caso de que no se verifique el estado esperado se informa mediante la aparición de una alarma.

Los mandos que se ejecutan son:

- Apertura / Cierre de elementos de corte.
- Activación / Desactivación de dispositivos.
- Bloqueo / Desbloqueo de equipos.

La capacidad de mando de un operador sobre un nodo de campo viene dada por los permisos del operador y el mando del centro desde el que está operando. Sólo es posible el envío de un mando por el operador cuya área geográfica de responsabilidad contenga el nodo a telemandar.

El sistema cuenta con dos tipos de bloqueos sobre dispositivos:

Bloqueos de Centro, que denominamos Tags, son los bloqueos a nivel de software realizados desde el SCADA. Genera una inhabilitación de tipo operacional del equipo.

Estos bloqueos solo se realizan sobre elementos de Subestaciones y seccionadores de catenaria. No sobre elementos en Centros de Transformación.

Bloqueos de Campo, son los bloqueos realizados por los Puestos Locales de Operaciones.

Estos bloqueos solo se realizan sobre seccionadores de catenaria y sobre elementos en Centros de Transformación. No sobre elementos de Subestaciones.

Los bloqueos de campo permiten la realización de una maniobra de apertura sobre el seccionador bloqueado por motivos de seguridad pero nunca una maniobra de cierre y las comprobaciones se realizan localmente en el PLO.

3.6.2.2. Monitoreo de las Instalaciones

Visualización

La función de monitoreo permite verificar de forma remota el estado de funcionamiento de los diferentes equipos de campo:

- Adquisición de datos desde el nodo de campo.
- Representación en el Interfaz Hombre-Máquina.

Las variables que se monitorean son:

- Comprobación de abierto de elemento de corte.
- Comprobación de cerrado de elemento de corte.
- Comprobación de bloqueo del elemento de corte.
- Dispositivo activado.
- Alarmas de equipos.
- Medidas analógicas.
- Detectores de tensión.
- Medidores de calidad de la energía.
- Comunicaciones con los dispositivos de campo.
- Estados de los servidores de comunicaciones.
- Estado de sistemas informáticos y redes de comunicaciones.
- Estado de mando de los PLO (local-telemando-bloqueado).
- Estado de usuarios en los puestos locales de operación.

La función de tele indicación es implementada a través de diferentes representaciones gráficas del Interfaz Hombre-Máquina.

3.6.3. Tratamiento de señales

Se entiende por señal a toda la información (eventos, alarmas, mandos de operación) debidamente marcados con una etiqueta, que se generan en el sistema por el solo hecho del telecontrol y monitoreo y que permiten la representación o simulación de situaciones diversas del Telemando de Energía, de los acontecimientos derivados de una situación real del sistema ante la sucesión de una determinada secuencia de eventos. Y si se desea realizar un análisis posterior con detalle de lo acontecido. El mecanismo de envío de mandos, se implementa a través del sistema de tratamiento de señales.

Los tipos de señales que modelan los elementos de campo disponen de una serie de funciones de control que permiten variar el comportamiento de dichas señales en función de las condiciones de explotación. Estos tratamientos son dependientes del tipo de señal

3.6.3.1. Señales analógicas

Una señal analógica, representa un dispositivo de campo que suministra una señal de tipo numérico. Los tratamientos asociados a dicho tipo de señal son:

Simulación

Los datos analógicos son enviados desde las unidades remotas al sistema en tiempo real. Cuando por motivos de operación dicho valor sea erróneo o quiera ser variado respecto al enviado por las unidades remotas, este proceso puede ser interrumpido introduciendo manualmente el valor deseado. Dicho valor es considerado a todos los efectos de la misma forma que el obtenido desde campo.

Una vez desaparecida la condición que estableció la simulación de la señal, el valor de ésta puede ser de nuevo adquirido por la unidad remota correspondiente anulándose la simulación de la misma.

Tanto el establecimiento de una señal analógica en simulación como su restablecimiento son almacenados en el registro de eventos para su posterior análisis.

Límites de alarmas

Permite la visualización y/o modificación de los límites de alarma asociados a una señal analógica y la banda muerta (franja sin origen a alarma), así como su activación. Se puede establecer:

- **Pre-alarmas por límite alto-bajo.** Permite la activación de dicha pre-alarma y el establecimiento de los valores de comparación.

- **Alarmas por límite alto-bajo.** Permite la activación de dicha alarma y el establecimiento de los valores de comparación.

Una vez habilitados los límites de las alarmas, si la señal analógica adquiere un valor superior al valor fijado como de pre alarma alta, se activa la alarma correspondiente a dicho límite y se visualiza en el interfaz hombre-máquina. Si el valor alcanzado supera el límite de alarma alta, tendremos la alarma correspondiente. Lo mismo sucede para las alarmas y pre-alarmas inferiores.

Tanto el establecimiento de límites de alarma como la habilitación o deshabilitación de los mismos queda almacenado en el registro de eventos para su posterior análisis.

- **Habilitar o deshabilitar alarmas.** En caso de que la operación de la instalación lo requiera, se puede desactivar todas las alarmas asociadas a una señal analógica (alarmas y pre alarmas). Cuando la situación que motivó la deshabilitación desaparezca, estas pueden ser de nuevo habilitadas.

Tanto la habilitación como deshabilitación de las alarmas queda almacenada en el registro de eventos para su posterior análisis.

3.6.3.2. Dispositivos de campo

Equipos

Los equipos modelan dispositivos de campo con hasta dos entradas digitales y dos salidas digitales. Los tratamientos asociados a dicho tipo de señal son:

- Órdenes de campo

Permite el envío de las órdenes de campo que posee el equipo (si procede) e implementa las funciones de telecontrol ya comentadas. En la ejecución de un mando intervienen varias etapas:

- Ejecución del mando sobre las pantallas de operación.
- Envío de dicha orden a través de las líneas de comunicaciones hasta las remotas.
- Activación de la señal de salida correspondiente dentro de la remota.
- Ejecución de la orden por el dispositivo de campo.
- Recepción de las comprobaciones de campo que verifican la correcta ejecución del mando (no siempre disponibles).

Todos los mandos enviados por un operador son almacenados en el registro de eventos del sistema para su posterior análisis.

Simulación

El estado de un equipo es enviado desde las unidades remotas a nuestro sistema en tiempo real.

Cuando por motivos de operación dicho valor sea erróneo o quiera ser variado respecto al enviado por las unidades remotas, este proceso puede ser interrumpido introduciendo manualmente el valor deseado. Dicho valor es considerado a todos los efectos de la misma forma que el obtenido desde campo. Una vez desaparecida la condición que estableció la simulación de la señal, el valor de la señal puede ser de nuevo adquirido por la unidad remota correspondiente anulándose la simulación de la misma.

Habilitar o deshabilitar alarmas

En caso de que la operación de la instalación lo requiera, se puede desactivar todas las alarmas asociadas a un equipo.

Cuando la situación que motivó la deshabilitación desaparezca, estas pueden ser de nuevo habilitadas.

Tanto la habilitación como deshabilitación de las alarmas queda almacenada en el registro de eventos para su posterior análisis.

- **Tags**

Un tag consiste en una inhibición del envío de órdenes establecida contra un equipo, que por motivos de seguridad se quiera evitar que cambie de estado. De esta manera los equipos que se encuentren bloqueados no son susceptibles de ser telemandados hasta que éstos sean desbloqueados.

Los tipos de tag soportados por un equipo son los siguientes:

- **Bloqueo de aviso:** al intentar enviar un mando sobre el equipo el operador recibe un mensaje de alarma y la oportunidad de cancelar la misma.
- **Bloqueo a todas las órdenes:** se imposibilita el envío de cualquier orden al equipo.

Se puede añadir, editar o eliminar un bloqueo existente en un equipo, quedando almacenado en el registro de eventos para su posterior análisis.

Bloqueos de Campo.

Un bloqueo de campo consiste en una inhibición de la capacidad para realizar órdenes de cierre sobre un equipo por razones de seguridad. De esta forma los equipos que se encuentren así bloqueados no sean susceptibles de ser maniobrados localmente al cierre, excepto por actuación

manual sobre el mismo. Es necesario realizar una maniobra de desbloqueo para que el equipo quede totalmente operativo de nuevo. Los equipos susceptibles de ser bloqueados de esta forma son los seccionadores de catenaria.

3.6.3.3. Unidad Terminal Remota (UTR)

Las remotas se emplean para modelar los equipos de adquisición de datos de campo de las redes de áreas de catenaria y subestación. Los tratamientos asociados a dicho tipo de señal son:

- Sincronizar la hora de la remota con la del sistema de control.

Permite forzar una sincronización manual de la hora del equipo con la hora del sistema de control. Esta acción se realiza de forma periódica y automática.

- Integridad.

Permite realizar manualmente una petición de integridad realizando una actualización de los estados de campo de la remota.

- Habilitar o deshabilitar alarmas.

En caso de que la operación de la instalación lo requiera, se puede desactivar todas las alarmas asociadas a una remota. Cuando la situación que motivó la deshabilitación desaparezca, estas pueden ser de nuevo habilitadas.

Tanto la habilitación o deshabilitación de las alarmas queda almacenada en el registro de eventos para su posterior análisis.

3.6.4. Alarmas y Eventos

3.6.4.1. Alarmas

Cuando una señal alcanza un estado que se ha declarado como anormal, el sistema genera una alarma. El subsistema de alarmas permite la gestión de todas las alarmas que se produzcan en el sistema.

El sistema de visualización de alarmas muestra la lista de alarmas del sistema e informa de:

- Fecha y hora a la que se produjo.

- Descripción de la alarma.
- Mensaje asociado a la alarma.
- Identificador de la señal que genera la alarma.
- Instalación.

Se define básicamente dos tipos de alarma:

- **Alarmas del sistema de control:**
 - Espacio de disco escaso.
 - Conmutación de servicio de tiempo real.
 - Conmutación de servicio de base de datos históricos.
 - Alarmas asociadas a conexiones.
 - Error en envío de mando.
- **Alarmas de dispositivos de campo:**
 - Alarmas asociadas a valores de señales analógicas.
 - Alarmas asociadas a equipos.
 - Alarmas asociadas a contadores.
 - Alarmas asociadas a remotas.

Para un operador en concreto solo se muestran las alarmas asociadas a su área de operación.

Las alarmas pueden estar reconocidas o sin reconocer por parte del operador. Las alarmas reconocidas permanecen en la página de alarmas sólo si se mantiene tal estado de alarma. Una alarma sin acusar lleva asociada una indicación gráfica (parpadeo) y una indicación sonora (beeper) que se mantiene hasta que no existan alarmas de ese tipo. Dicha indicación sonora puede ser silenciada por el operador.

Adicionalmente las alarmas tienen asociada una gravedad que le imprime un color determinado:

Prioridad	Tipo	Descripción	Color (*)	Comentarios
1(**)	a1	Movimientos Espontáneos	Amarillo	Apertura de Interruptores
1	a2	Alarmas Muy Grave	Rojo	Ejep: Diferencial de Trafo
2	a3	Alarmas Grave	Naranja	Ejep: Temperatura Trafo 2ºNivel
3	a4	Alarmas menos Grave	Marrón	Ejep: Temperatura Trafo 1ºNivel
4	a5	Alarmas Leves	Magenta	Ejep: Disparo Sobreintensidad
5	a6	Otros Sistemas 1	Azul	
6	a7	Otros Sistemas 2	Azul	
7	a8	Otros Sistemas 3	Azul	Mantenimiento
		Alarma Normalizada	Verde	Desaparecida o reconocidas

(*) Corresponde a la posición de “video inverso”

(**) No aparecerán en maniobras en “ mando local”

Figura 50. Alarmas: Configuración de Colores en Pantalla

El orden de las alarmas dentro de la lista es:

- **Severidad:** (gravedad) fecha-hora de aparición. La lista de alarmas puede ser filtrada dependiendo de:
 - Estado de reconocimiento: reconocidas y no reconocidas.
 - Estado de alarma: activa o no activa.
 - Instalación.
- **Por sistema:** mantenimiento, explotación, operadores, seguridad, otros sistemas 1 y otros sistemas.
- **Por gravedad.**

El filtro por instalación permite selección múltiple o individualizada, es decir, permite filtrar las alarmas de varios tipos de instalaciones (por ejemplo, todas las alarmas de catenaria y subestaciones) o bien elegir un elemento concreto de un tipo de instalación (por ejemplo, todas las alarmas de un Edificio Técnico concreto). La aplicación de un filtro individualizado (por un elemento concreto de una instalación) elimina la selección múltiple original.

Además del subsistema de alarmas y de su visualización mediante la página de alarmas, existen en el sistema otras indicaciones de alarma calculadas que se describen a continuación:

- **Alarmas de instrumento.**

Un instrumento está constituido por una agrupación de señales que caracterizan un determinado equipo o equipo en las distintas instalaciones de subestaciones o catenaria. Así, si cualquiera de las señales asociadas a un instrumento estuviera en estado anómalo se activa la alarma de dicho instrumento, independientemente de que dicha señal tuviera inhibida la generación de la alarma o que dicha alarma estuviera reconocida. Es una indicación de alarmas activas por instrumento.

- **Alarmas de instalaciones.**

Las distintas instalaciones tipo que se encuentran a lo largo de la línea están representadas esquemáticamente en los gráficos de representación de Redes de Área.

La información que se muestra en dichas instalaciones es:

- Estado de comunicaciones de la instalación, que se representa con el siguiente código de colores:
 - Negro: si la instalación comunica.
 - Blanco: si la instalación no comunica.
- Estado local / telemando de la instalación, cuya correspondencia de colores es la siguiente:
 - Negro: si la instalación se encuentra en telemando.
 - Azul: si la instalación se encuentra en local.
- Estado de alarma, que se muestra con el siguiente código de colores:
 - Negro: si ninguna señal de la propia instalación o de su campo de actuación está en alarma.
 - Rojo fijo: si la instalación tiene alguna alarma activa pero reconocida.
 - Rojo parpadeante: si la instalación posee alguna alarma activa pendiente de reconocimiento.

3.6.4.2. Eventos

El sistema de gestión de eventos permite visualizar los acontecimientos ocurridos en el sistema y enviados al sistema histórico. La información contenida es la siguiente:

- Alarmas, ya sea apariciones o normalizaciones.
- Telecontroles, mandos enviados a dispositivos de campo.
- Movimientos espontáneos en instalaciones en estado remoto o telemando.
- Estado de usuarios en los puestos de operación del Centro de Control.
- Acontecimientos, el resto de sucesos ocurridos en el sistema:

Eventos de administración:

- Operaciones de usuarios: Altas, Bajas, Modificaciones del Personal, Asignación de Áreas de control a un determinado usuario, Configuración del Entorno de Trabajo y Cambio del Perfil del Usuario.
- Operaciones sobre nodos: Asignación / Supresión de nodos a una área determinada.
- Operaciones de Centro: Arranque / Parada del sistema, Caída / Recuperación del sistema, Conmutación de Servicio de Tiempo Real o de Datos Históricos, Tareas Programadas, toma o cesión de mando entre centros de control.

Eventos de campo:

- Cambios de estado de dispositivos de campo.
- Maniobras locales sobre los dispositivos de campo.
- Estado de usuarios en los puestos locales.

En funcionamiento normal de los eventos de campo generan en tiempo real, según vayan sucediendo en el tiempo. En el caso de pérdidas ocasionales de comunicaciones con los puestos locales de operación, son estos los responsables del almacenamiento temporal de la información (estado de usuarios, maniobras y cambios de estado de los distintos dispositivos) para informar al centro de control en el momento de la reconexión.

3.6.5. Análisis de Tensión en Línea

El sistema de colores topológico permite diferenciar de forma activa y representar de forma gráfica de la presencia o ausencia de tensión en todos los nodos del sistema eléctrico. Partiendo de la presencia o ausencia de tensión en algunas barras obtenida a través de las señales recibidas desde las estaciones remotas y de las condiciones de transferencia de la energía de una barra en función de la posición de los elementos de corte, el sistema es capaz de asignar la presencia o ausencia de tensión en todas las barras.

Está compuesto de un motor de cálculo que emplea la información topológica contenida en la base de datos de vectores y vértices así como el estado actual de los elementos del sistema para calcular el estado de energización de todos los nodos, teniendo en cuenta de que un tren pueda pasar sobre un seccionamiento, provocando el paso de la corriente de un tramo de vía con tensión a otra que no tenía.

Se representa gráficamente si un nodo eléctrico está energizado así como las discrepancias encontradas entre los valores calculados por métodos topológicos y la información recibida de los detectores de tensión instalados en campo.

Se provoca una alarma cuando:

- Se informe de la presencia de tensión en un nodo donde el análisis topológico indique lo contrario. La alarma es de tipo grave.
- Se informe de ausencia de tensión en un nodo donde el análisis topológico indique lo contrario. La alarma es de tipo leve.

La información suministrada depende de la veracidad de la presencia o ausencia de tensión de las barras que se obtengan de campo así como de la posición de los diferentes equipos por lo que no se puede considerar una información de seguridad.

Se considera que la indeterminación en la posición de un equipo implica una indeterminación en el nodo inmediatamente siguiente y posterior hasta la siguiente discontinuidad en la línea. Estos nodos indeterminados son contrastados con el valor del detector o medidor de tensión y se toma el valor del mismo para evitar la indeterminación si su valor es válido. El proceso de cálculo no recalcula un nodo si su estado ya ha sido calculado a tensión. Un nodo en cualquier otro estado es recalculado si las condiciones lo precisan (contacto).

Finalmente se comprueba el estado calculado por centro con el valor del campo (detectores de tensión y medidores analógicos) para determinar si existen discrepancias en el cálculo. La discrepancia es un valor puntual asociado a un nodo eléctrico concreto. En ningún caso es un estado que se transmita por la línea.

Según esto un nodo eléctrico puede estar en los siguientes estados:

- Ausencia de Tensión: Blanco
- Presencia de Tensión: Color definido por fase y Nivel de tensión
- Indeterminado: Gris
- Discrepante: Morado

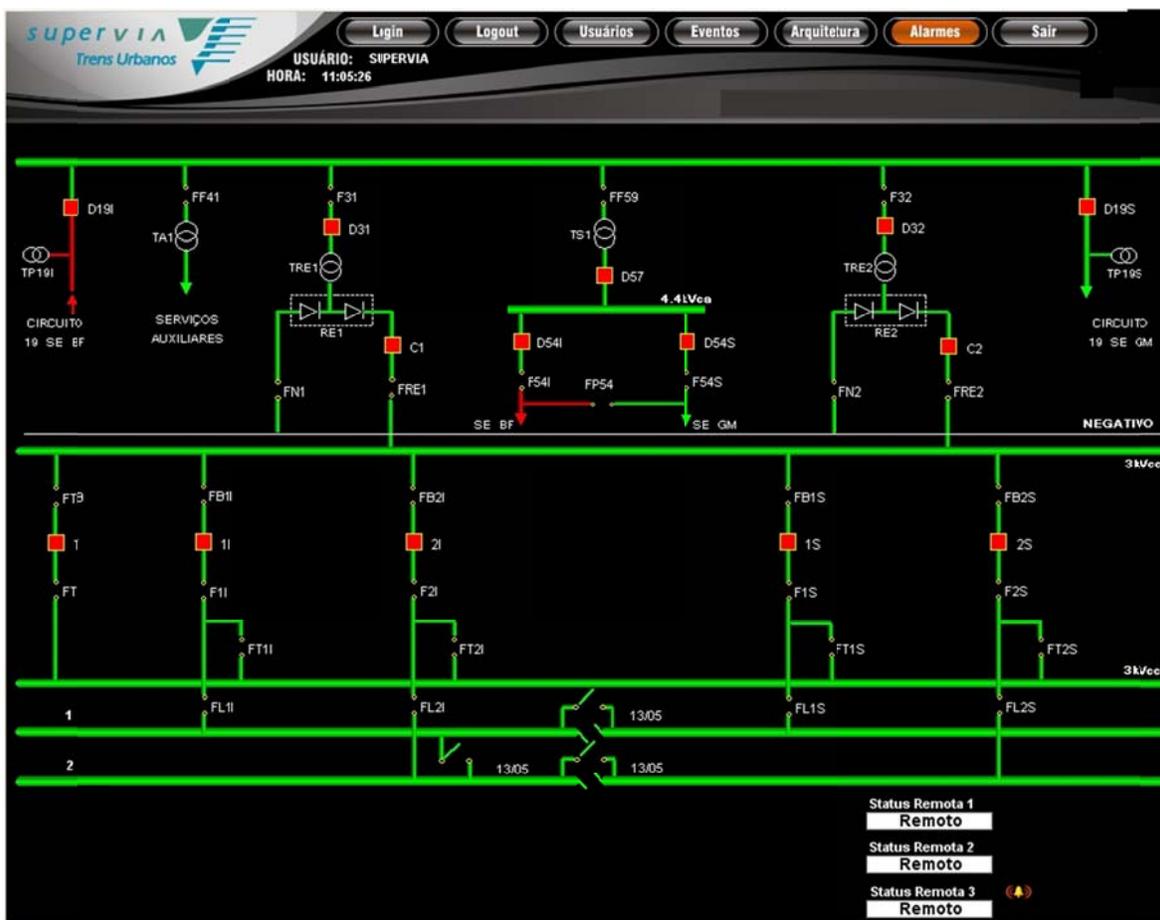


Figura 51. Pantalla General del Sistema SCADA de las Subestaciones de Transformación

3.7. Sistema Gráfico. Interfaz Hombre Máquina

3.7.1. Interfaz Hombre Máquina

El interfaz hombre-máquina implementa el mecanismo de comunicación principal entre el sistema de control y los operadores. A través de él se muestra el estado del sistema de una forma más intuitiva y adaptada a las características de los destinatarios finales de la información. A su vez debe implementar un mecanismo sencillo de enviar mandos a los elementos de campo.

El dispositivo de salida es un monitor en los puestos de administración y en los puestos de operación, en donde se visualizan distintas representaciones gráficas que muestran el estado del sistema. La resolución de representación es de 1280 x 1024 pixeles en los puestos de administración y de 512x1024 pixeles en los puestos de operación. El dispositivo de entrada de datos son el ratón y el teclado.

Al desplegarse un gráfico, el HIM recaba la información existente de las señales que sean necesarias para representarlo adecuadamente. Para ello establece una conexión con el servidor de base datos del sistema de tiempo real y obtiene el estado de dichas señales que definen la apariencia de los objetos gráficos. Periódicamente o por cambio de estado de las señales implicadas, el HIM recupera nuevamente dicha información.

De manera inversa, el procesador de mandos del HIM gestiona las acciones que el operador ejecute y las envía a los procesos de comunicación para que los reenvíen a las estaciones remotas donde finalmente se ejecutan.

La consulta de los datos almacenados en sistema histórico son totalmente semejante: el HIM establece una conexión con el servidor de la base de datos históricos y obtiene los datos solicitados.

El interfaz cuenta con los siguientes criterios principales de diseño:

- **Intuitivo.** Las representaciones simbólicas escogidas para expresar el estado del sistema deben ser fácilmente asociadas a los correspondientes equipos de campo.
- **De fácil aprendizaje.** Adecuada cantidad de información presentada al operador. La cantidad de información presentada en cada pantalla no debe ser ni demasiado escasa, lo que motiva tener que utilizar gran número de representaciones, o demasiado numerosa ya que provoca una saturación visual.
- **Operación sencilla.** Las acciones para realizar cualquier operación deben ser extremadamente simples.

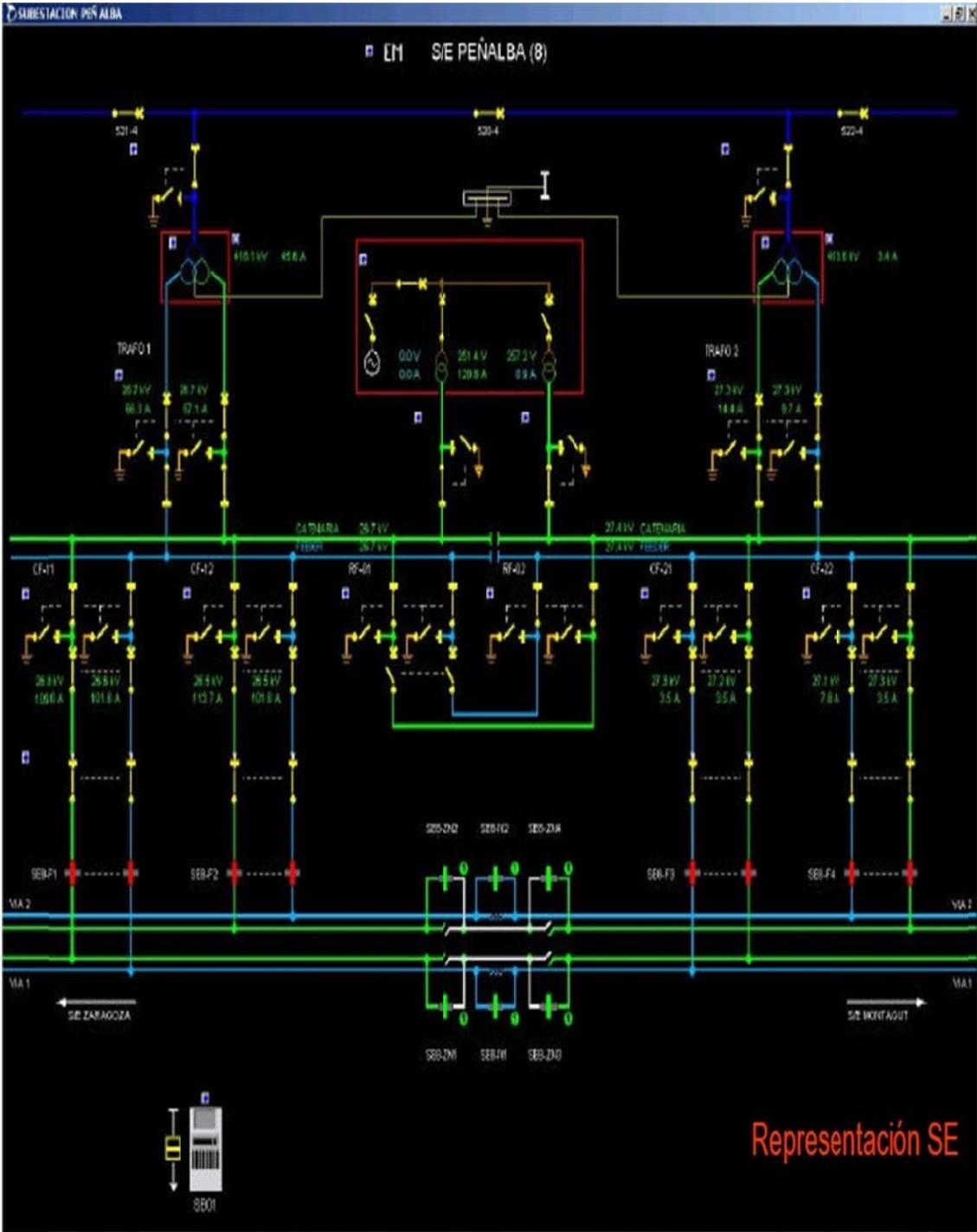


Figura 52. Sistema Gráfico. Interfaz Hombre-Maquina

3.7.2. Administración del Sistema

Todas las labores de administración se centralizan en el CCO y es el responsable de replicar al resto de los sistemas las posibles modificaciones realizadas desde los puestos de administración, ya que estas se ven reflejadas en el HIM.

La administración de usuarios se hace de forma centralizada a través de dicho CCO desde cualquier puesto de administración, siendo este CCO el encargado de replicar las modificaciones en la base de datos de usuarios al resto de centros.

El administrador da de alta operadores de telemando, además define la relación entre nodos de control y áreas. Puede asignar nodos de control de su área a los operadores de telemando, además puede dar de alta operadores locales, asignando nodos de control a los operadores locales.

La administración de usuarios de los puestos locales también la realiza el administrador del sistema, que es además responsable de realizar la telecarga de datos de usuarios de forma manual a todas las remotas del sistema HIM que se encuentren en servicio. Las remotas que se encuentren fuera de servicio deben ser actualizadas de forma individual al entrar en servicio.

Se suministra una herramienta de gestión para la telecarga de datos a los puestos locales de operación que permita seleccionar los puestos HIM que se quieran actualizar: de forma individual, por servidor (front-end) o todas. Esta herramienta ven informa de los puestos cuya actualización no se haya realizado.

Impresión de Pantallas

Se pueden realizar impresiones de las distintas representaciones gráficas del sistema. Se puede seleccionar si se desea que estas sean en blanco y negro o en color. Es posible realizar la impresión de una única representación gráfica o de todas las que aparezcan en ese momento en el monitor de la HIM.

Análisis de Datos Históricos

Los análisis de datos se realizan desde el puesto de administración por el usuario administrador.

Tendencias de datos analógicos.

Permite realizar la representación gráfica del valor de cuatro señales analógicas simultáneas a lo largo del tiempo. Una vez seleccionado los valores analógicos a representar y el intervalo de tiempo se visualiza un gráfico bidimensional mostrando en el eje horizontal el intervalo de tiempo seleccionado y en el eje vertical el valor de la señal a lo largo de éste.

Generación de reportes.

El sistema de informes permite obtener reportes basados en los datos históricos almacenados por el sistema de tiempo real para el procesado de dicha información. Los informes pueden ser visualizados en pantalla y obtenidos en formato impreso a través de la impresora correspondiente. Se puede realizar los siguientes informes:

- **Informe de alarmas.**
- **Informe de cambio de estados y telecontroles.**
- **Informe de eventos de administración.**

Con el fin de posibilitar el acceso a los datos almacenados en el sistema histórico por parte de aplicaciones externas se cuenta adicionalmente con un interfaz ODBC a la base de datos histórica. A través de la misma cualquier aplicación que soporte conexiones de este tipo puede acceder a los datos.

Términos y abreviaturas

BDH: Base de Datos Histórica.

BDTR: Base de Datos de Tiempo Real

CCO: Centro de Control de Operaciones

F.O. Fibra Óptica

"front-end": Es la parte del software que interactúa con el o los usuarios.

HIM: Interfaz Hombre Maquina

"hot-standby": Estado en Espera

NC: Nodo de Campo

PLO: Puesto Local de Operación

RA-CA: Red de Área de Seccionadores de Catenaria y Centros de Transformación

RA-SE: Redes de Áreas para Subestaciones Eléctricas

RA-SE1: Red de Área para la Subestación Eléctrica de Buenavista

RA-SE2: Red de Área para la Subestación Eléctrica de Tultitlán

RDBMS: Sistema de Administración de Base de Datos Relacional

RL-CA: Red Local de Seccionadores de Catenaria

RTU: siglas en ingles UTR - Unidad Terminal Remota, define a un dispositivo basados en microprocesadores, el cual permite obtener señales independientes de los procesos y enviar la información a un sitio remoto donde se procese

SICD: Sistema Integrado de Control Distribuido

S/E: Subestación Eléctrica

TCP/IP protocolo de comunicación

TR-1: RED-1

TR-2: RED-2

Capítulo 4. SCADA de Integración

Introducción

Los sistemas eléctricos buscan actualmente aumentar la calidad en el suministro de la energía en los sistemas ferroviarios, los requisitos de funcionalidad y confiabilidad en los sistemas de protección. Considerando que ahora las redes eléctricas son más grandes debido al aumento de usuarios, existe también una constante presión para reducir los costos de mantenimiento, de operación así como los de personal.

La propuesta para la reducción de dichos costos es invertir en la renovación de las subestaciones que siempre ira enfocada a la automatización. Para llevar a cabo esta renovación o actualización es necesario realizar una evaluación de los sistemas de control y protección, seguida del desarrollo de una estrategia para un programa de reemplazo.

Enfocándose en los siguientes puntos:

- Integrar las funciones de protección y de control para desarrollar y distribuir información que ayude en todos los aspectos de los negocios y operaciones de la empresa. Tanto de los flujos de datos para operación, como los que no lo son.
- Utilizar las características de los nuevos dispositivos como los microprocesadores y sistemas para reducir la cantidad de equipo, de espacios y de fallas de hardware, obteniendo el mejoramiento del comportamiento de la protección.
- Reducir y finalmente eliminar el mantenimiento basado en tiempo, (por el basado en la condición) a la vez que se mejora la disponibilidad, la seguridad y la dependencia del mismo.
- Prever y definir puntos sobre la administración de las características de los nuevos relevadores, sistemas y extracción de los datos.
- Desarrollar un análisis beneficio-costos para justificar la inversión en un programa completo de modernización.

La estrategia a la que se ha recurrido, es combinar funciones y elementos probados, de manera que no se corran riesgos generando parches y que estos a su vez conlleven a más problemas de los

que se tenían en un principio. Al recurrir a dicha estrategia se pretende lograr los siguientes objetivos:

- Mayor seguridad en la red.
- Reducción en los costos de instalación, operación y mantenimiento.
- Eliminación de dispositivos innecesarios.
- Obtención de reportes sobre el estado y comportamiento de los equipos de forma rápida y confiable.
- Proporcionar funciones avanzadas donde antes no estaban justificadas.
- Vigilancia del sistema, del equipo y registro de datos.
- Obtención de datos sobre la condición del equipo para programar mantenimiento y asignar prioridades en la inversión de capital

El renovar o actualizar y el combinar funciones y elementos, no son los únicos requisitos para contar con un sistema automatizado. Si no que es necesario, establecer un protocolo estándar que permita cumplir los objetivos anteriormente descritos.

La justificación del por qué hacer uso de un protocolo estándar:

- Considera el modelado de los diferentes datos requeridos en un sistema.
- Define los servicios básicos requeridos para transferir datos, así que permite el mapeo principal del protocolo de comunicación.
- Promoción de la interoperabilidad entre sistemas de diferentes proveedores.
- Un método común y formato para el almacenamiento de datos completos.

El tener un sistema automatizada es sinónimo de trabajar con una arquitectura integrada, la cual tiene las características de contar con una red de área local (LAN) que permita tener una integración operacional y sea el medio de comunicación de los dispositivos electrónicos inteligentes (DEI's). Por medio de esta red operaran el sistema SCADA y la interfaz hombre-máquina, de igual forma los relevadores, DEI's y las bases de datos se integraran en una red de área ancha (WAN) corporativa, para que toda la empresa tenga acceso a la información que no es

para la operación en el sistema. Los DEI's utilizados para el monitoreo del equipo evalúan y comunican los datos de operación de los equipos.

Para obtener el máximo beneficio de los DEI's introducidos a los nuevos sistemas y a las subestaciones que se han ido modernizando, es necesario que entre estos dispositivos existan tres niveles de compatibilidad, los cuales son: interconectividad, interoperabilidad e intercambiabilidad. Esto aún no se ha logrado completamente debido a los diferentes rangos de funciones y capacidades de los DEI's, como por ejemplo: los protocolos de comunicación utilizados, ya que la diversidad de estos hace muy difícil la integración de los equipos.

Por lo cual uno de los problemas actuales es a la búsqueda de una estandarización de protocolos para lograr la sistematización de los procesos desde diferentes niveles, incluyendo Internet.

4.1. Sistema de integración

El sistema SCADA es una aplicación o conjunto de aplicaciones de software especialmente diseñada para funcionar sobre ordenadores de control de producción, con acceso a la planta mediante la comunicación digital con los instrumentos y actuadores, e interfaz gráfica de alto nivel con el usuario (pantallas táctiles, ratones o cursores, lápices ópticos). Aunque inicialmente solo era un programa que permitía la supervisión y adquisición de datos en procesos de control, en los últimos tiempos han ido surgiendo una serie de productos hardware y buses especialmente diseñados o adaptados para éste tipo de sistemas. La interconexión de los sistemas SCADA también es propia, se realiza una interfaz del PC a la planta centralizada, cerrando el lazo sobre el ordenador principal de supervisión.

El sistema permite comunicarse con los dispositivos de campo (controladores autónomos, autómatas programables, sistemas de control) para controlar el proceso en forma automática desde la pantalla del ordenador, que es configurada por el usuario y puede ser modificada con facilidad. Además, provee de toda la información que se genera en el proceso productivo a diversos usuarios.

El SCADA es un Sistema que permite integrar en el Puesto de Mando y mediante un Puesto de Operación Integrado, los subsistemas que componen el Sistema de Control del Ferrocarril Suburbano de México en el tramo Buenavista-Cuautitlán. Los subsistemas que integran son:

- Control de Tráfico Centralizado
- Telemando de Energía.

- Boletaje.
- Comunicaciones Fijas y Móviles.
- Instalaciones de las Estaciones.

Para esto, se cuenta con funcionalidades bien diferenciadas en esta plataforma de Integración:

- **Acceso al Sistema**

El mecanismo de control de acceso al sistema de integración procede a la validación de una combinación de usuario y clave. En caso de que la combinación coincida con una pareja previamente almacenada se procede a dar acceso al usuario al resto de herramientas de integración.

- **Integración de Aplicaciones del Sistema.**

Desde el Puesto de Operación Integrado y un segundo Puesto mixto que puede hacer las funciones del POI y de Administración del sistema se puede ejecutar las aplicaciones del sistema con el fin de permitir la monitorización y control de los sistemas técnicos asociados.

- **Representación gráfica integrada.**

Esta aplicación muestra el estado de los principales dispositivos de los cinco sistemas técnicos a través de una representación gráfica sinóptica de la información permitiendo realizar una correlación de estados de equipos de los diversos subsistemas que componen el sistema.

- **Gestor Integrado de Alarmas.**

Esta aplicación se visualiza en el Puesto de Operación Integrado y en el Puesto de Operación/Administración y permite realizar una gestión global y unificada de los eventos que se caractericen como alarma en los cuatro sistemas técnicos.

- **Representación de Diagramas espacio-tiempo.**

Aplicación que permite llevar a cabo una representación espacio-tiempo de los distintos trenes que estén circulando en el sistema.

- **Red de Tiempo Real y Patrón Horario.**

El sistema de integración incluye un patrón de referencia horario al que se suscriben los distintos sistemas técnicos y sirve para que todos ellos tengan una referencia horaria en común.

4.2. Arquitectura del Sistema

El sistema SCADA, como aplicación de software industrial específica, necesita ciertos componentes inherentes de hardware en su sistema, para poder tratar y gestionar la información captada.

El SCADA de Integración de Sistemas del Ferrocarril Suburbano, está basada en la plataforma de integración SCADA OASyS 6.3 UX de la firma TELVENT y dispone de una funcionalidad que cumple con las especificaciones técnicas suficientes para soportar una operación en tiempo real. Este software esta tanto en servidores de datos de propósito dedicado, como en el Puesto de Operación Integrado y Puesto de Operación/Administración cuyas configuraciones se describen a continuación.

La arquitectura del Centro de Control, se basa en una red LAN Ethernet IEEE 802.3 100BaseT redundante denominada RTNet, constituida por dos Switches, a los cuales se conectan los siguientes equipos:

- Un Sistema dual de Servidores en Tiempo Real, en los cuales se encuentra la plataforma de integración SCADA OASyS 6.3 UX
- Un Puesto de Operación Integrado.
- Un Puesto de Operación/Administración
- Un reloj patrón basado en comunicación vía GPS para sincronización del resto de los sistemas informáticos.

El esquema de la Plataforma de Integración es el siguiente:

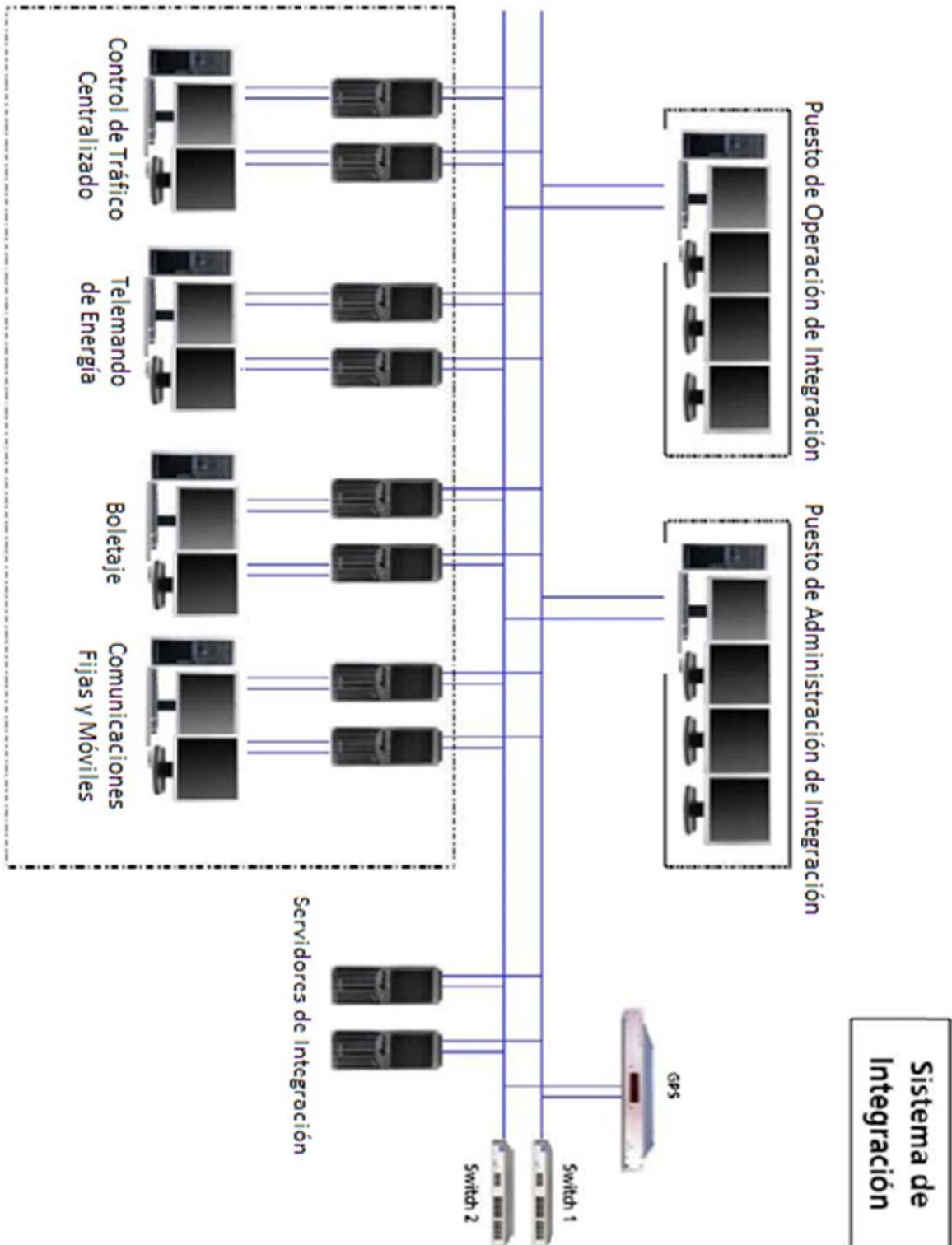


Figura 53. Plataforma de Integración

4.3. Equipamiento

4.3.1. Servidores

El equipamiento de integración de sistemas está compuesto por un sistema dual de servidores con capacidad suficiente para llevar a cabo toda la operativa de integración para toda la operación del sistema.

En los servidores residen todos los datos de tiempo real necesarios para implementar la funcionalidad de integración. En ellos se implementan también los procesos de comunicación con los distintos sistemas técnicos así como la conexión con las aplicaciones de integración situadas en el Puesto de Operación Integrado y en el Puesto de Operación/Administración.

Se cuenta con dos servidores de integración en configuración redundante. Los servidores tienen las siguientes características:

- Procesador con 1.6 GHz 1 procesador.
- Memoria Quad 1Gb DDR
- Capacidad para 2 procesadores.
- 146GB 10K HotPlug Ultra320 LP disk drive.
- 2 adaptadores de red PCI Ethernet 802.3 100BaseT integrados en placa base para enlace con la RTNet.
- Sistema Operativo HP-UX v12

Los dos servidores están operando en configuración "hot-standby", de tal forma que uno de ellos estará "activo" e implementando los servicios de integración, mientras que el otro está en "espera", preparado para realizar dicha tarea y actualizándose en tiempo real con los mismos datos de que dispone el activo con el fin de que en caso de ser necesario cambie su estado de paso a activo y así comenzar la ejecución de las aplicaciones en el mismo estado lógico que su pareja.

4.3.2. Puesto de Operación Integrado

Se cuenta con una estación de trabajo como puesto de operación integrado para las tareas de operación. Lleva a cabo las funciones de procesamiento de la información necesaria para el interface hombre - máquina, representación de datos, operación y control del sistema de acuerdo a la operativa y funcionalidad.

El puesto de operación tiene las siguientes características:

- Procesador Pentium IV a 3,4 GHz
- Disco duro 160 GB
- 2 GB memoria RAM
- Combo DVD/CD-WR 16x
- Doble conexión de red Ethernet IEEE 802.3 100BaseT para enlace con la RTNet.
- Tarjeta de video Matrox G450 MMS Quad PCI con soporte de 4 monitores.

- 4 monitores TFT HP L2035 20".
- Teclado y ratón.



Figura 54. Equipo de Computo SCADA

De forma adicional, y para soportar las aplicaciones que se deban ejecutar bajo entorno X11, se tiene en el Puesto Operación Integrado una licencia de la aplicación Hummingbird Exceed 2006 que incluye un servidor para atender a dichos clientes.

4.3.3. Puesto de Operación/Administración

Se cuenta con una estación de trabajo como puesto de administración. Lleva a cabo las funciones de mantenimiento, configuración y administración del sistema. En caso de emergencia y por fallo del Puesto de Operación Integrado puede también realizar las tareas de operación asignadas a este.

El puesto de administración tiene las siguientes características:

- Procesador Pentium IV a 3,4 GHz
- Disco duro 160 GB
- 2 GB memoria RAM
- Combo DVD/CD-WR 16x
- Doble conexión de red Ethernet IEEE 802.3 100BaseT para enlace con la RTNet.
- Tarjeta de video Matrox G450 MMS Quad PCI con soporte de 4 monitores.
- 4 monitores TFT HP L2035 20".
- Teclado y ratón.
- Sistema operativo Windows XP Professional SP2.

La estación de trabajo tiene una licencia de mantenimiento, configuración y administración del sistema de integración (denominada OMS) que sirve como plataforma gráfica básica de supervisión de los cuatro subsistemas técnicos así como de los programas de aplicación necesarios

para cumplir con los requisitos funcionales del sistema.

De forma adicional, y para soportar las aplicaciones clientes que se deban ejecutar bajo entorno X11, se cuenta en el Puesto de Operación/Administración con una licencia de la aplicación Hummingbird Exceed 2006 que incluye un servidor para atender a dichos clientes.

4.3.4. Patrón horario

Incluye los siguientes equipos:

- Un servidor maestro NTP/SNTP LEDI NETWORK ENHANCED de Gorgy
- Timing con dos salidas NTP para conectar a la red LAN redundante.
- Una antena GPS IP65 Bullet active 35 dB y el cable de 25 m correspondiente.



Figura 55. Patrón Horario

Este servidor NTP/SNTP toma la hora vía satélite a través de la antena que está colocada en un lugar con visión del cielo.

4.4. Plataforma de integración SCADA OASyS

El Sistema de Integración de los Subsistemas de Control se basa en la plataforma SCADA OASyS y está estructurado de tal forma que su funcionamiento es configurado por usuarios no expertos, sin causar perjuicio al sistema.

Las funciones fundamentales a cubrir por el SCADA OASyS son:

- Vigilancia del sistema y dualidad.
- Gestión de comunicaciones y actualización de las bases de datos de tiempo real.
- Tratamiento de avisos y alarmas.
- Presentación de la información al operador: gráficos, tablas, diagramas, alarmas.
- Diálogos con el operador.
- Gestión de bases de datos.

El conjunto de procesos de tiempo real soporta una estructura de ordenadores para la supervisión y control de datos de tiempo real. El sistema está basado en el producto OASyS. Este software de control está adaptado e implantado en el sistema de control de energía y tráfico del ambiente ferroviario de manera automática y controlada.

La plataforma software OASyS permite ser soportado por una estructura distribuida de ordenadores para la supervisión y control de datos de tiempo real y el almacenamiento de datos históricos. La apertura del sistema se logra mediante la utilización de un sistema operativo ampliamente aceptado, una base de datos histórica compatible con SQL y comunicaciones basadas en el estándar TCP/IP.

El sistema OASyS se basa fundamentalmente en una filosofía de transacciones cliente/servidor, la cual se aplica a todas las interacciones entre los distintos bloques del sistema. El concepto cliente/servidor permite la interrelación de numerosas fuentes de datos, entre las cuales se encuentra OASyS. Distinguimos dos subsistemas independientes:

Núcleo de tiempo real (CMX). Realiza el control, manejo y carga de transacciones sobre la base de datos de tiempo real y gestión las comunicaciones con todos los elementos del sistema. Tiene diversas funciones, tales como procesamiento de alarmas, tendencias, cálculos, control de la configuración. Su funcionalidad sirve como base para la toma de decisiones sobre la operación y gestión del sistema. Además es el encargado de llevar a cabo las tareas de gestión y control. Dichos servicios residen en los servidores de integración.

Núcleo de representación (XOS). Contiene la Interface Hombre-Máquina para la presentación de datos y el control de dispositivos. Reside en el Puesto de Operación Integrado y en el Puesto de Administración.

4.4.1. Núcleo de Tiempo Real

El núcleo de tiempo real está constituido por:

- Una Base de Datos de Tiempo Real con sus herramientas de mantenimiento e integridad de la misma.
- Un conjunto de procesos que recogen los datos de otros sistemas, verifican las condiciones de alarma, convierten valores, manejan los dispositivos hardware y suministran la información al resto de subsistemas.
- Todos los procesos del Núcleo de tiempo real comparten los datos contenidos en la BDTR, los cuales representan todos los puntos de información gestionados por el sistema, así como los puntos calculados que genera el mismo.

4.4.1.1. Base de datos de tiempo real

La misión del sistema de gestión de base de datos de tiempo real consiste en el almacenamiento centralizado de los datos, de forma que se asegure un acceso rápido, manteniendo la integridad y coherencia de los mismos.

El diseño de la Base de Datos de Tiempo Real está basado en el principio RDBMS. Su composición se fundamenta en tablas modulares de estructura similar, que simplifican el modelado por separado de las distintas aplicaciones. La definición de las estructuras de las tablas, así como de los tipos de datos se hace mediante sintaxis SQL.

En el corazón de la BDTR se encuentra en las tablas que definen cada uno de los elementos funcionales del sistema. El conjunto de tablas que conforman la BDTR permite el almacenamiento de todos los objetos que forman parte del núcleo de tiempo real de manera que se almacenen con sus correspondientes características, atributos y datos, tanto estáticos como dinámicos.

La base de datos de tiempo real reside en memoria. Existe un proceso que almacena periódicamente en disco los datos de tiempo real, evitando así la pérdida de información ante un fallo de la máquina. Cuando el sistema realice un arranque en frío, se parte de estas bases de datos almacenadas en disco para llevar a memoria los datos de tiempo real incluyendo los valores y estado de los puntos existentes en base de datos antes de parar el sistema, a partir de aquí se obtienen los datos actuales de los diversos sistemas técnicos, ya que durante el tiempo que se ha permanecido fuera de servicio las condiciones de campo pueden haber sufrido cambios.

Las aplicaciones de tiempo real acceden a los datos mediante un conjunto de funciones compatibles con la estructura relacional de la BDTR. Dicho conjunto de funciones asegura un acceso rápido a los datos, manteniendo la integridad y coherencia de los mismos, resolviendo los accesos concurrentes mediante niveles de bloqueo. Esta librería de rutinas de acceso a BDTR se encuentra disponible para la realización de programas de aplicación que accedan a los datos y depositen resultados sobre la propia base de datos de tiempo real.

Para el acceso a los datos desde las consolas de operación se utiliza un acceso vía red contra un proceso servidor de la base de datos que interpretará las sentencias SQL. El acceso a la BDTR por parte de aplicaciones externas al núcleo de tiempo real se puede realizar vía ODBC.

Tablas de BDTR	Contenido
Alarmas	Contiene la información de las alarmas existentes en ese instante en el sistema.
Analógicas	Contiene las entradas/salidas analógicas, ya sean procedente de un dispositivo de campo o calculadas.
Aparatos	Esta tabla representa la información asociada de dispositivos digitales de entrada/salida.
Aplicaciones	Tabla de parámetros auxiliares del Sistema.
Áreas	Define las áreas de responsabilidad de los usuarios para el control/su provisorio.
Cálculos	La tabla es utilizada para almacenar el código compilado del paquete de cálculos que dispone el Sistema.

Conexiones	Tabla con las características que deben tener los enlaces de comunicaciones.
Contadores	En esta tabla se representa los dispositivos de campo que envían contadores de pulso representando cantidad de: acumuladas.
Dispositivos	La tabla de dispositivos almacena informador acerca de los dispositivos de red, tales como servidores, puestos o routers.
Grupos	Unidad básica de control del sistema. Los dispositivos de campo se asocian a un grupo.
Mensajes	La tabla mensajes contiene el texto, color y severidad que es asociada al estado de los puntos del núcleo de tiempo real
Planificador	Tabla para la planificación de tareas
Puestos	Tabla de definición de los puestos de operación, administración y supervisión.
Sistemas Técnicos	Tabla de configuración de Sistemas Técnicos a integrar.
Servicios	Tabla de definición de los servicios presentes en el sistema.

Tabla 1.

4.4.1.2. Mantenimiento de la Base de Datos de Tiempo Real

El sistema de mantenimiento de la BDTR permite la inclusión, borrado o modificación de registros mientras el núcleo de tiempo real se encuentre totalmente operacional. La modificación estructural de tablas esenciales en el sistema (aparatos, analógicas, digitales) no se realiza con el sistema actuando en servicio. Para estos casos es necesario llevar el sistema a fuera de servicio, generar la base de datos completa y arrancar en frío el sistema desde esta base de datos generada. Durante el periodo de generación se puede emplear el ordenador standby como ordenador activo aunque una vez terminada, se debe parar ambos momentáneamente para poder arrancar con la nueva configuración.

Este procedimiento posee un carácter extraordinario en sí mismo puesto que el mantenimiento normal del núcleo de tiempo real no precisa normalmente de la modificación de la estructura de los registros de una base de datos, sino más bien de las modificaciones particulares del contenido de algunos campos en algunos puntos, las cuales se puede hacer con el sistema en estado de funcionamiento.

El acceso a la base de datos para modificar, crear o borrar registros se realiza a través del Puesto de Administración. Para ello se dispone de una interface gráfica que permite acceder a las distintas tablas de la base datos y realizar el mantenimiento de las mismas. La adición de aparatos, analógicas y contadores es realizada en caliente mediante un editor de base de datos. Todo el

mantenimiento se realiza mediante distintos formularios personalizados para cada una de las tablas con ayudas a la edición.

La carga masiva de la base de datos se puede realizar adicionalmente desde una fuente ASCII, e inversamente transferir el contenido de una tabla o parte de ella a un fichero ASCII. De esta forma es leída o escrita por programas externos como Excel, Lotus, dBase.

Existe en el núcleo de tiempo real una interface interactiva para el acceso a la base de datos mediante lenguaje SQL. De esta manera también se puede utilizar como herramienta para la modificación, borrado o creación de registros. Esta herramienta está orientada al mantenimiento de la base de datos a bajo nivel y no se realizan validaciones por lo que su uso está indicado solo para el administrador del sistema.

4.4.1.3. Funciones de comunicaciones con otros sistemas técnicos

El subsistema de comunicaciones se ocupa de implementar los mecanismos de intercambio de información con los otros sistemas técnicos para transferir dicha información a la base de datos de tiempo real del SCADA, quedando de esta manera separada el proceso de adquisición del tratamiento de datos.

Esta separación entre comunicaciones y procesamiento de la información es muy ventajosa, puesto que permite a los proceso de adquisición mantener un ritmo constante, sin variaciones debidas a diferencias de procesamiento.

Con el fin de poder intercambiar información con los sistemas técnicos de Control de Tráfico Centralizado, Telemando de Energía, Boletaje y Telecomunicaciones fijas y móviles el sistema dispone de los siguientes mecanismos de comunicación:

- **Control de Tráfico Centralizado.** Para comunicar con el Sistema de Control del Tráfico Centralizado, se cuenta con dos canales que comunican con los dos servidores de datos implementados en configuración redundante las Máquinas de Interfaces Externos de que dispone el sistema de CTC. Dicho proceso servidor debe proporcionar información relativa tanto a la posición de trenes, empleado por la aplicación del Diagrama Espacio-Tiempo, como de alarmas, para realizar la Gestión Integrada de Alarmas y la Representación Gráfica Integrada.
- **Telemando de Energía.** Para comunicar con el sistema de telemando de energía, el sistema de integración dispone de dos canales de comunicación bajo protocolo ICCP. Este protocolo se emplea para que el sistema técnico comunique al sistema de integración la información de estados que se considere relevante para la explotación y que se utiliza en la Representación Gráfica Integrada y en la Gestión Integrada de Alarmas. Dentro del telemando de energía se implementan la supervisión de las instalaciones de estación.
- **Boletaje.** Para comunicar el sistema de boletaje, el sistema de integración dispone de dos canales de comunicación bajo protocolo ICCP. Este protocolo se emplea para que el sistema técnico comunique al sistema de integración la información de estados que se

considere relevante para la explotación y que se utiliza en la Representación Gráfica Integrada y en la Gestión Integrada de Alarmas.

- **Telecomunicaciones fijas y móviles.** Para comunicar con el sistema de Telecomunicaciones fijas y móviles, el sistema de integración dispone de dos canales de comunicación bajo protocolo ICCP. Este protocolo se emplea para que el sistema técnico comunique al sistema de integración la información de estados que se considere relevante para la explotación y que se utiliza en la Representación Gráfica Integrada y en la Gestión Integrada de Alarmas.

El interface físico soportado para la conexión con los distintos sistemas técnicos es la doble red Ethernet IEEE 802.3 RTNet. El protocolo de transporte de datos empleado es TCP/IP. Es posible la inclusión de protocolos adicionales como Modbus TCP/IP.

El gestor de comunicaciones permite que el administrador del sistema pueda habilitar o inhabilitar las comunicaciones con un sistema técnico particular así como monitorizar el estado de las mismas:

- **En Servicio:** Hay intercambio de información entre el sistema de integración y el sistema técnico asociado y de forma adicional la información presentada por el sistema de integración está totalmente actualizada.
- **Inicializando:** Hay intercambio de información entre el sistema de integración y el sistema técnico asociado pero la información presentada actualmente por el primero no es totalmente correcta al no haberse realizado totalmente el mecanismo de integridad inicial.
- **Fuera de Servicio:** No hay intercambio de información entre el sistema de integración y el sistema técnico asociado.

4.4.1.4. Control de Redundancia

El sistema funciona como un sistema dual, funcionando en modo "hot/standby". El cambio de estado genera las correspondientes alarmas internas y se puede observar en el sinóptico de arquitectura del sistema. El tiempo de conmutación de servicio es inferior a 20 segundos.

4.4.2. Núcleo de Representación

El objetivo del núcleo de representación es implementar gráficamente las aplicaciones de integración de Representación gráfica integrada, Gestor Integrado de Alarmas, y Diagrama Espacio-Tiempo.

La arquitectura del entorno gráfico es cliente/servidor, permitiendo a los usuarios el manejo de datos procedentes de diversas bases de datos y aplicaciones de la red, usando gráficos interactivos

sin la necesidad de un reprogramado cada vez que se realice alguna modificación sobre los mismos.

El Interface Hombre Máquina de las aplicaciones de integración proporciona una estructura de operación mediante ventanas, de fácil manejo, intuitiva y cómoda para el usuario.

Los monitores, teclados, son los medios físicos a través de los cuales el sistema es supervisado y controlado.

La actualización de la información en pantalla se realiza en menos de un segundo desde la petición de despliegue del gráfico asociado.

4.5. Funcionalidad Específica del Sistema de Integración

4.5.1. Descripción General

El objetivo del Sistema de Integración, es el de integrar los subsistemas existentes en el Ferrocarril Suburbano de México en el Tramo Buenavista-Cuautitlán, en el Puesto de Operación Integrado (POI) y en un Puesto de Administración. En concreto los subsistemas a integrar son:

- Control de Tráfico Centralizado.
- Telemando de Energía.
- Boletaje.
- Comunicaciones Fijas y Móviles.
- Supervisión de las instalaciones de estación.

El Puesto de Operación Integrado, ofrece una gran flexibilidad, ya que desde cada uno de ellos se permite el acceso a las aplicaciones de los diferentes subsistemas. Con esto se consigue una gran condensación de información en dos puestos, desde los cuales se puede tener una visión global del sistema completo.

Para acceder a la aplicación integrada se dispone de un mecanismo de acceso, que mediante el uso de un identificador de usuario y de un password que garantiza que solo los usuarios autorizados tengan acceso a dicha aplicación. Dichos usuarios han sido previamente definidos por el administrador del sistema. Solo dicho administrador tiene acceso a las funciones de configuración de la herramienta de integración.

Se tiene también la posibilidad de visualizar representaciones sinópticas integradas que incluyan estados de equipos de los distintos sistemas técnicos con el fin de poder tener una visión general del estado interno de las instalaciones.

Así mismo existe en el Puesto de Operación Integrado y en el Puesto de Administración, una aplicación de gestión de alarmas en el que se registran las alarmas de los cuatro subsistemas de forma integrada pudiendo correlacionarse por ello los eventos que ocurran en un sistema técnico con los que acontezcan en otro.

Por último se incluye una aplicación en la cual se lleva a cabo una representación espacio-tiempo del estado en tiempo real de los trenes en la propia línea.

El enlace entre los servidores de integración, Puesto de Operación Integrado y Puesto de Administración está garantizado mediante una doble red de tiempo real. En dicha red se conecta también un patrón horario con el fin de que todos los sistemas estén correctamente sincronizados.

- **Acceso al sistema**

El acceso al sistema de integración está protegido por una combinación de usuario-password con el fin de garantizar que solo el personal autorizado tiene acceso a dichas aplicaciones. Dicho mecanismo es independiente al que el propio sistema operativo implementa. Una vez superado dicho trámite se le presenta al usuario un entorno inicial que le permite acceder al resto de funciones del sistema. Se pueden crear hasta 5 perfiles de usuario con el fin de configurar para cada uno de ellos que aplicaciones estén accesibles. Dicha configuración es realizada por el administrador del sistema en el Puesto de Administración.

- **Integración de Aplicaciones del Sistema**

El sistema de integración permite el arranque y parada de las cuatro aplicaciones originarias correspondientes a los cuatro sistemas técnicos. Una vez que se produzca el arranque de la misma se deben superar los controles de acceso que dicha aplicación tenga implementados ya que dicho control es totalmente independiente del implantado por la herramienta de integración.

Los clientes de visualización de cada uno de los sistemas técnicos mencionados se integran en el Puesto de Operación Integrado y en el Puesto de Administración del CIC desde donde son invocados. Esta necesidad hace que el cliente de visualización de las aplicaciones del sistema tenga que cumplir con una serie de requisitos o condicionantes técnicos que aseguren que el comportamiento de la aplicación en el Puesto de Operación Integrado y en el Puesto de Administración sea el mismo que en los puestos de operación de cada sistema.

Los clientes que se ejecuten directamente bajo plataforma Intel PC son instalados directamente en el Puesto de Operación Integrado y en el Puesto de Administración. Por ello deben reunir los siguientes requisitos:

- La configuración hardware propuesta como Puesto de Operación Integrado y Puesto de Administración debe ser suficiente para soportar la ejecución de la aplicación.
- El sistema operativo bajo el que se ejecuten debe ser Microsoft Windows XP SP2.
- Deben tratarse de aplicaciones que permitan el uso no exclusivo de los recursos del sistema informático (tarjeta gráfica, tarjeta de sonido, librerías).

- Deben soportar el funcionamiento en una configuración lógica de escritorio virtual de 512x1024 pixeles y 16 bits de profundidad de color y física de cuatro monitores ya que la gestión de la posición de ventanas es realizada por ellas. El funcionamiento operativo de las aplicaciones del sistema es idéntico al presentado en los puestos principales de los sistemas técnicos.
- La arquitectura de aplicación debe ser cliente/servidor comunicando el cliente de visualización con el servidor de datos a través de la red de tiempo real RTNet. El soporte de redundancia de red y servidor de datos debe ser resuelto por la aplicación.

De forma adicional, y para soportar las aplicaciones clientes que se deban ejecutar bajo entorno X11, se instala en el Puesto de Operación Integrado y en el Puesto de Supervisión una licencia de la aplicación Hummingbird Exceed 2006 que incluye un servidor para atender a dichos clientes. Los clientes de visualización que se ejecuten bajo plataforma.

UNIX debe reunir los siguientes requisitos:

- Ejecución de la aplicación de visualización contra software servidor X asegurando cumplimiento de la especificación X11R6.4.
 - El funcionamiento bajo el servidor no local no debe significar una pérdida funcional del existente en el puesto de mando local, en especial en cuanto al uso de periféricos: teclado, ratón, sonería, recursos de representación.
 - La conmutación de la aplicación en los servidores de datos del sistema técnico y/o red de datos debe ser manejada por las aplicaciones clientes del sistema y procurar que las afecciones en el Puesto de Operación Integrado y Puesto de Administración sean mínimas o nulas provocando si es necesario un re-arranque de las aplicaciones de visualización de forma automática y transparente.
 - En ambos casos el arranque y parada de la aplicación del sistema debe poder realizarse vía la invocación de un script que es ejecutado por la aplicación de integración.
 - Se tiene conectividad IP entre el Puesto de Operación Integrado y Puestos de Supervisión y los dos puertos de red de cada uno de los servidores de los sistemas técnicos.
- **Representación gráfica integrada.**

Con el fin de poder disponer de una representación gráfica del estado de la instalación se dispone de una serie de representaciones sinópticas en donde se hace constar la información procedente de los distintos sistemas técnicos de una forma integrada y con el fin de facilitar la explotación de la misma. Dicha representación es invocada una vez superado el mecanismo de entrada al sistema ya descrito.

Se realiza una representación sinóptica del trazado de la vía indicando en ella la información que se considere relevante de los cuatro sistemas técnicos. El número máximo de objetos de información (enlaces a registros de la base de datos de integración) previstos para representar es de 500, número más que suficiente para cumplir con el objetivo de esta herramienta.

- **Gestor Integrado de Alarmas.**

La aplicación de alarmas consiste en un gestor integrado que recibe los estados desde los distintos sistemas técnicos y muestra un listado unificado de alarmas. El gestor de alarmas es invocado una vez superado el mecanismo de entrada al sistema ya descrito. Los datos de la señalización es establecida por el propio sistema técnico. En caso que dicha datación no esté disponible es establecida por el sistema de integración. Por cada alarma se mostrará la siguiente información:

- Fecha de aparición.
 - Identificador de la señal.
 - Descripción de la alarma.
 - Sistema técnico que lo ha provocado.
- **Unidad geográfica a la que pertenece la alarma.** Usualmente define el ámbito geográfico al que está adscrita la alarma (RTU, nombre de estación).
 - **Unidad funcional a la que pertenece la alarma.** Usualmente define el equipo al que está adscrita la alarma (seccionador, aguja).

Cada una de las alarmas se clasificada en función de 3 gravedades distintas (leve, grave y muy grave). La gravedad es indicada en la lista mediante el color en el que aparece la alarma.

El ciclo de vida de una alarma recibida por el gesto es el siguiente:

- Recepción de la alarma. Indicación en la lista de alarmas y mostrando la hora de aparición enviada por el sistema técnico.
- Normalización de la alarma. La alarma en cuestión desaparece de la lista.

No se ha previsto ningún mecanismo de reconocimiento de apariciones o desapariciones de alarmas ya que se delega en las aplicaciones del sistema dicha responsabilidad.

Es posible filtrar la lista de alarmas mediante los siguientes criterios:

- Sistema Técnico.
- Unidad geográfica.
- Unidad funcional.

- Gravedad.

Los filtrados pueden establecerse de forma simultánea.

Con el fin de poder recibir la información cada uno de los sistemas técnicos es responsable de la configuración de los objetos de información que se quieren enviar al sistema integrado. Se debe enviar tanto el evento de aparición de la alarma como el evento de desaparición mediante los mecanismos de comunicación anteriormente descritos.

- **Aplicación de Representación espacio-tiempo**

La aplicación de representación espacio-tiempo implementa un sistema gráfico de representación de la posición de los trenes en función del intervalo temporal. Dicho sistema permite realizar una regulación de tráfico y monitorización de los tiempos de parada y tránsito entre estaciones así como una comparación con los trazados inicialmente previstos.

En la pantalla se muestra la malla teórica de los trenes presentes en el intervalo horario representado en la pantalla.

Dicha malla muestra las relaciones teóricas posición-tiempo de los trenes que tienen previsto el tránsito por la línea.

Dichas circulaciones teóricas se muestran en pantalla de forma claramente distinguible de las circulaciones reales realizadas por los mencionados trenes.

El intervalo temporal abarcado por la representación es dinámico mostrando siempre un periodo por delante del instante actual y un periodo igual por detrás del mismo. La situación del "instante actual" es marcada en pantalla por medio de una línea vertical.

Se indica por cada uno de los diagramas que aparezcan en pantalla a que tren pertenecen indicando el identificador del mismo.

Los ejes horizontal y vertical muestran respectivamente los distintos instantes temporales (hh:mm) y posiciones geográficas que representan (Km), así como la situación de las respectivas estaciones.

Los eventos de tránsito de trenes necesarios para implementar el diagrama son enviados por el control de tráfico centralizado C.T.C. empleando el mecanismo ya descrito.

- **Red de Tiempo Real y Patrón Horario.**

La conexión de todos los subsistemas que constituyen el Sistema de Integración, se lleva a cabo mediante la Red de Tiempo Real.

Esta Red de Tiempo Real se genera mediante los dos switches ya descritos y que forman la

red LAN redundante a la que se conectan los servidores de los 4 subsistemas técnicos, así como los servidores de integración, Puesto de Operación Integrado y Puesto de Administración.

Las comunicaciones entre los servidores de los distintos subsistemas y los servidores de integración se realizan empleando los mecanismos ya descritos.

En la red se incluye también un Patrón Horario que se conecta a la red. Dicha central recibe los datos temporales vía GPS y publica los mismos mediante protocolo NTP en la red mencionada. Tanto los servidores de integración como los servidores de los diferentes sistemas técnicos deben suscribirse a dicha información con el fin de que la toma de datos dentro del sistema tenga un patrón común.

4.6. Seguridad

Analizando el carácter histórico de la seguridad, se puede decir que el hombre realiza un juicio de valor, analiza el riesgo que le supone una acción y justifica lo que le costará protegerse. Las actividades humanas sólo pueden desarrollarse si su entorno le ofrecen un mínimo de seguridad. La acción consciente más importante para el hombre es la de su seguridad, y al considerarla como primordial, este es un instinto que no le abandonara nunca y reacciona contra los actos que puedan comprometerla, incluso de forma inconsciente, mediante reflejos prácticos.

La ciencia ha tomado parte gradualmente en la civilización humana, le ha aportado bienestar y seguridad en la mayoría de sus actividades cotidianas. Toda invención llega inseparablemente unida a una prevención (explosiones, degradación ambiental). No hay progreso sin peligro.

El concepto de la seguridad total no existe, ya que puede caer en el campo de la utopía. Esto nos conduce a los conceptos de posibilidad y probabilidad en relación con la presencia de un suceso o actividad, pero además el riesgo está ligado a otra variable, el tiempo, todo lo cual complica todavía más el problema. Por otra parte, la probabilidad no tiene un carácter independiente, sino que está relacionada con innumerables factores que intervienen en cada acción.

El transporte es una de las actividades humanas más usadas. El hombre precisa moverse. Los bienes tienen valor tanto en cuanto entreguen un beneficio, y la actividad del transporte en general, la realiza el vehículo. Su movimiento lleva un riesgo implícito y en el accidente puede protagonizar tanto un papel activo, como pasivo.

Tomando así los primeros conceptos, en el ámbito del ferrocarril, para recordar que la seguridad en este modo reside fundamentalmente en el invento de la pestaña de la rueda, que facilita el guiado del vehículo sobre el carril. Sin embargo, el hecho de ser un transporte guiado impone por su parte una característica de seguridad, al obligar a una programación precisa de los movimientos de los trenes, para evitar incompatibilidades espaciales entre ellos, situación que hace la aparición de los conceptos y sistemas de control de la circulación, que proporcionan seguridad a los aspectos como la estabilidad, frenado, tracción, enrutamiento.

Los componentes principales de los sistemas de transporte son los siguientes:

- Seguridad
- Velocidad
- Capacidad
- Regularidad
- Comodidad
- Precio

La seguridad en la circulación ferroviaria tiene como función conseguir que los medios materiales que constituyen el activo, integrados en la circunstancia del entorno y explotados por el hombre mediarle la realización de procesos convenidos, ofrezcan la mínima peligrosidad para las personas y bienes.

4.6.1. Concepto Básico

Se debe entender que un sistema, que produce, en función de los diferentes estados de la entrada general E_t , la salida general S_t en el que existe entrada y salida las funciones de transferencia Z , correspondientes, estando incluidas en estas funciones la memoria precisa, ya que la salida general S_t depende, en cierta forma, de los anteriores estados de entrada o salida.

A fin de aclarar este concepto, un sistema ideal para aplicación ferroviaria, en que se pudiera conocer en cada momento todos los valores de las entradas (características y estado de conservación de la vía, instalaciones y material rodante, posición de las agujas, tráfico, horario y preferencia de circulación y situación de los trenes, condiciones meteorológicas) y las funciones de transferencia, con lo que se podrían calcular las salidas (velocidad en cada momento de cada tren, carga, longitud máxima de los mismos) que permitan la realización de la circulación, sin que se pueda producir, ningún accidente ferroviario, pues las salidas, al modificarse alguno o algunos de los valores de las entradas en forma que pudiese poner en peligro la circulación, llevando las acciones al lado seguro, es decir, a unas condiciones de circulación más restrictivas, disminuyendo la velocidad, carga de los trenes, número de circulaciones en los trayectos e incluso, en casos extremos, llegar a la paralización total de los mismos.

4.6.1.1. Sistemas ideales

Cuando se parte de la hipótesis de que son totalmente conocidos y definidos los valores de todos y cada uno de los diferentes estados de entrada y las funciones de transferencia, la certidumbre de que los valores de salida sean intrínsecamente ciertos, es absoluta.

El establecimiento de estos sistemas hipotéticos lleva a formular, primeramente, los sistemas lógicos ideales y a partir de los mismos, planificar los sistemas físicos ideales que los satisfagan.

4.6.1.2. Sistemas lógicos

Considerados y cuantificados los valores que hayan podido anteriormente adquirir las entradas y salidas, y los que presentan las entradas en los diferentes estados posibles, es necesario establecer, de acuerdo con criterios lógicos, las funciones de transferencia, algoritmos lógico-matemáticos, que determinen y definan en función de aquéllos los valores de los estados de salida.

El conjunto de funciones de transferencia establecidas constituirá un sistema lógico ideal.

En el estado actual del desarrollo de la seguridad ferroviaria, sólo son conocidas y consideradas para el diseño y establecimiento de las instalaciones de seguridad, las funciones de transferencia que relacionan la ocupación de vías, posición de agujas, no ocupación de pasos a nivel, posición, sentido de marcha, velocidad y distancia de frenado de los trenes en los diferentes regímenes de frenado, siendo sólo parcialmente conocidas las influencias que el estado de desgaste o utilización de ciertos elementos ejercen sobre la circulación y, por tanto, no se han podido establecer totalmente las funciones de transferencia correspondientes.

Teóricamente, una vez que se establece totalmente un sistema lógico ideal, el mismo podría permitir, a partir de ciertos estados predeterminados de salidas, obtener las entradas que los producirían, es decir, establecer criterios de seguridad de cálculo, para la formulación de proyectos y desarrollos.

4.6.1.3. Sistemas físicos

Los sistemas lógicos ideales, podrían llevarse a cabo en sistemas físicos ideales completos, si existieran equipos y dispositivos que detectaran y cuantificaran todas las condiciones de entrada y fuese posible agruparlos en un sistema que satisfaga sin errores las funciones de transferencia establecidas.

En la actualidad, ni aún para los ferrocarriles, existen dispositivos que permitan detectar y cuantificar automáticamente todos los estados y desgastes de las instalaciones y material, aunque el desarrollo de la técnica ofrece ya ciertos dispositivos, que permiten prever, lo que permitirá una supervisión automática total.

El conocimiento de estas deficiencias y su cuantificación es un reto que impulsa dichas investigaciones y estudios aún pendientes de realizar, y señala la importancia de las mismas.

En los sistemas ideales, significa el término seguridad igual a certeza. Si al sistema se le encomienda, además, la ejecución de las salidas, imponiendo a éstas automáticamente las restricciones precisas para que en ningún momento pudiese producirse ninguna situación peligrosa, significaría el término seguridad como ausencia de situaciones peligrosas.

Tal característica implica, por tanto, un grado de seguridad infinito que, desde luego, solamente es concebible con los sistemas ideales.

4.6.1.4. Sistemas Reales

Con los conocimientos actuales, no es posible establecer sistemas lógicos, ni físicos ideales completos, que permitan obtener los valores exactos de las salidas, lo mejor es indicar que es imposible obtener sistemas reales perfectos y, por tanto, las salidas de los sistemas reales, aún de los más sofisticados, tendrán ciertos defectos materiales, entre otras causas, por:

- Desconocimiento o no consideración de la influencia de las diversas entradas que actúan sobre el sistema real, ya sea en forma permanente o eventual.
- No consideración de las alteraciones de las características en función del tiempo o de la intensidad de la aplicación de dichas entradas.
- Conocimiento incompleto o simplificación de los cálculos.
- Desatención o no planteamiento de las características de memoria, en las funciones de transferencia.
- Limitaciones o carencia de dispositivos o equipos.
- Errores que se pueden producir en la transmisión de los estados de las entradas.
- Errores en los dispositivos a los que se encomiende la resolución de las funciones de transferencia (lógica relés, ordenadores).
- Errores en la transmisión de los estados de salida a los dispositivos encargados de ejecutarlos.
- Errores que se pudiesen producir en los dispositivos de ejecución.

Todas estas deficiencias o limitaciones, originan fallas importantes, entre las salidas del sistema hipotético ideal y del sistema real.

Si a los sistemas sólo se les encomienda parte de la obtención de los estados de entrada, tratamiento de datos y transmisión y aplicación de los estados de salida, el resto de las funciones de seguridad habrán de ser realizadas por el hombre. En parte materiales (hardware) y programación (software), se complementan con la acción humana directa, en el caso de insuficiencia o inutilización de dicho hardware.

Al proceder al análisis de las tareas en un trayecto ferroviario se encuentran entre sus parámetros, además de los básicos referentes a estructura, material móvil y motor, otra serie de ellos relativos a su realización en tiempo real. En dichas tareas están comprendidos entre otros: velocidad, posición y sentido de la marcha de los trenes, disposición de equipos y rutas. Dicho trayecto puede equipararse con un puesto central, que telemanda los enclavamientos, bloqueos y velocidad de los trenes, de acuerdo con los requerimientos de la circulación, a partir de un

procesamiento de datos realizado electrónicamente, por medio de un ordenador.

En este supuesto, el hardware del sistema permitiría la realización normal de la línea, sin intervención humana, si el software del mismo hubiese sido establecido con la suficiente amplitud y garantías, para permitir la circulación sin riesgos, cuando las vías y material se encuentran convenientemente conservados.

En este caso, la seguridad de circulación exigirá la intervención humana que habría de realizar directamente, o por medio de los dispositivos adecuados, la supervisión del estado de conservación, estructuras, vías y material, e imponer, en los casos en los que pueda proceder, las correspondientes restricciones de carga, velocidad, frenado.

El hombre, también puede sustituir, en su caso, las partes o dispositivos de las instalaciones de seguridad, que por averías quedaran fuera de servicio, lo que llevaría, sin duda, a un posible retardo de la circulación y disminución de la seguridad.

Los conceptos básicos sobre los sistemas de seguridad eran directos hasta hace que la electrónica y las matemáticas les han conferido un carácter abstracto. Generalmente, el sistema ya no se comprende, simplemente se acepta y se opera con él.

4.7. Estudio RAMS

RAMS es un acrónimo de Reliability, Availability, Maintainability and Safety que se refiere al estudio que se le realiza a un sistema o equipo enfocado a optimizar la Confiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad y Seguridad del mismo. Aunque como definición RAMS es una técnica que puede ser aplicada en la actualidad en el área del transporte de pasajeros, específicamente para tecnologías ferroviarias.

Las características del estudio RAMS de un sistema determinan los parámetros esenciales del sistema tales como la satisfacción del usuario, la utilidad y la aceptación, los costos de operación y mantenimiento, y por último y aunque no en importancia los riesgos de seguridad y de integridad de los usuarios al estar en operación el sistema.

RAMS se puede definir como un estudio que se le realiza al sistema para poder encontrar fallas, ya que esta técnica permite determinar, medir y controlar las características propias del sistema.

En términos generales:

- **Realibility (Confiabilidad):** Es la frecuencia con la que puede ocurrir una falla
- **Availability (Disponibilidad):** En el sistema cuantos equipos están en condiciones de operar.
- **Maintainibility (Mantenibilidad):** Es el tiempo que demora la reparación de la falla.
- **Safety (Seguridad):** Los riesgos relacionados con esa falla.

A pesar de que la tecnología básica de los RAMS ya fue establecida hace casi una generación, la tentativa de alcanzar confiabilidad, disponibilidad, capacidad de mantenimiento y seguridad de alto nivel era en el pasado a menudo limitado. Hoy la competitividad, el aumento de la complejidad de los sistemas, los altos costos de inversión y operación, y los recortes de presupuestos para el desarrollo promueven la distribución más amplia de las tecnologías del estudio RAMS y de su uso por los nuevos sistemas de monitoreo y control ferroviarios.

4.7.1. Reliability. Confiabilidad

En la actualidad los sistemas controlados y en tiempo real forman parte de nuestra vida cotidiana. La confiabilidad del funcionamiento de estos sistemas es un asunto de suma importancia ya que posiblemente millones de usuarios dependan de estos sistemas cada día. Desafortunadamente la mayoría de los sistemas considerados como controlados fallan a las expectativas esperadas por los clientes.

Según normas internacionales, la confiabilidad es la probabilidad de que un elemento pueda realizar una función requerida bajo las condiciones establecidas durante un intervalo de tiempo determinado.

Otra definición para confiabilidad sería la probabilidad de que un componente o equipo no fallara estando en servicio durante un periodo determinado, cuando es operado o en condiciones uniformes de presión, temperatura, velocidad, vibración, o también, la probabilidad de que un componente lleve a cabo su función adecuadamente durante un período bajo condiciones operacionales dadas.

Se dice que un equipo es confiable cuando funciona cada vez que se necesita y hace bien el trabajo para el cual fue diseñado, de otra manera, se dice que es desconfiable.

La definición de algunos parámetros básicos utilizados en el estudio de la confiabilidad de un sistema o equipo son:

Probabilidad de supervivencia $P_s(t)$: Es el término sinónimo de confiabilidad.

Desconfiabilidad: Es la definición opuesta a la confiabilidad, es decir, la probabilidad de que un sistema o equipo fallara en operación durante un período dado de tiempo o bajo un tiempo específico de interés (t).

Probabilidad de Falla $P_f(t)$: Es el término que representa la desconfiabilidad.

Tiempo promedio ente fallas (TPEF o MTBF): El tiempo promedio entre fallas indica en intervalo de tiempo más probable entre un arranque y la aparición de una falla. Mientras mayor sea el valor, mayor es la confiabilidad del componente o equipo. El valor de este parámetro, sin embargo, es limitado mientras no se conozca cómo están distribuidos los tiempos entre falla con respecto a la media.

Probabilidad de supervivencia: La probabilidad de supervivencia teóricamente es el complemento de la probabilidad de que ocurra una falla. Por otro lado, técnicamente es la probabilidad de que el equipo funcione sin fallas aparentes, definiendo:

$$P_s(t) = 1 - P_f(t)$$

La expresión anterior ayuda a determinar el periodo de vida de un sistema o equipo en operación durante un período dado de tiempo o bajo condiciones de operación dadas en un tiempo específico de interés.

Periodo de vida de un equipo: La vida útil de un equipo está dividida en tres períodos separados, los cuales se definen en función del comportamiento del sistema, los índices de fallas en cada uno de estos períodos obedecen a leyes particulares.

- **Período de arranque.**

Las fallas en el período de arranque, generalmente son causadas por defectos en el diseño inherentes del sistema. El aporte de este tipo de fallas en un sistema bien diseñado debería ser una contribución muy pequeña al número total de fallas. También existen las fallas relacionadas a deficiencias en la fabricación del equipo, más que a un defecto de diseño. Estos tipos de fallas no se deberían presentar si los equipos son sometidos a pruebas en fábrica. En este período el índice de fallas es decreciente, es decir, conforme aumenta el tiempo la falla decrece.

- **Período de operación normal.**

Existen por otro lado, las fallas al azar las cuales pueden ocurrir durante la vida entera de un equipo. Estas fallas pueden conducir a una parada del equipo o del sistema, es por eso que muchos fabricantes de equipos y personas que instalan sistemas procuran hacer uso de la redundancia en equipos y procesos, con el objetivo de tener una recuperación más rápida ante fallas.

- **Período de desgaste (obsolescencia).**

Una vez que el conjunto de equipos de un sistema hayan alcanzado el final de su vida útil es cuando entra en un período de desgaste, donde la degradación de los componentes característicos haría que los mismos fallen. En este aspecto, las causas de fallas más comunes durante este periodo se deben a la fatiga de los materiales, desgaste mecánico de piezas, corrosión, erosión, entre otras. Este tipo de averías se puede evitar por medio de la realización de un mantenimiento preventivo.

Para sistemas considerados que fallan aleatoriamente, la Confiabilidad (R) está dada por:

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

Dónde:

- λ se conoce como la razón de falla para un objeto en específico o bloque del sistema
- t es el periodo de tiempo para el cual se requiere R.
- λ esta especificada como un número de fallas por millones de horas para los elementos eléctricos o electrónicos.

Para sistemas cuyos elementos tienen una tasa de falla constante

$$MTBF = 1 / \lambda$$

MTBF es el tiempo medio entre fallas (Mean Time Between Failure)

4.7.2. Availability. Disponibilidad

En normas internacionales se define que la Disponibilidad se refiere a la capacidad que posee un equipo o sistema de estar en un estado apto para realizar una función requerida bajo las condiciones que prevalecen en un momento determinado o durante un intervalo de tiempo determinado, asumiendo que se suministren los insumos requeridos. Se puede definir también como el grado en el cual un sistema, subsistema o equipo es apto para operar, para simplificar el concepto se dice que la disponibilidad es la proporción de tiempo en el cual un sistema está en condiciones de operación.

La representación más simple para disponibilidad es la proporción que existe entre el valor previsto de tiempo en el cual se encuentra en funcionamiento un sistema y la suma del tiempo que se encuentra tanto en funcionamiento como fuera de servicio del mismo. La siguiente relación explica lo anteriormente dicho:

$$A = \frac{\text{en servicio}}{\text{en servicio} + \text{fuera de servicio}} = \frac{MTBF}{MTBF + MDT}$$

Dónde:

- **MDT** es el tiempo medio fuera de servicio.

Tomando en cuenta que la disponibilidad es primordialmente una función que demuestra que tan a menudo las fallas ocurren o se requiere mantenimiento preventivo/correctivo (confiabilidad) y entonces que tan rápido las fallas indicadas o registradas se pueden confirmar y reparar o prevenir mediante mantenimiento (mantenibilidad) se definen tres tipos de disponibilidad:

Disponibilidad Inherente: La probabilidad de que un equipo funcione satisfactoriamente en un punto dado bajo condiciones específicas soportado en un entorno ideal. Excluye tiempo de logística, tiempo de espera o tiempo muerto administrativo, y tiempo muerto de mantenimiento preventivo.

Incluye tiempo muerto del mantenimiento correctivo. La disponibilidad inherente se deriva del análisis de un diseño de ingeniería y se calcula generalmente como el tiempo medio entre fallas (MTBF) dividido entre el tiempo medio entre fallas más el tiempo medio de reparación (MTTR). Se basa en cantidades bajo el control del diseñador.

$$D_i = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}}$$

Disponibilidad Alcanzada: La probabilidad de que un equipo funcione satisfactoriamente en un punto dado bajo condiciones específicas soportado en un entorno ideal, suponiendo que se tienen a disposición inmediata el personal, las herramientas, los repuestos. Esta excluye el tiempo de la logística y el de espera o tiempo muerto administrativo. Incluye tiempo muerto activo del mantenimiento preventivo y correctivo.

Disponibilidad Operacional: La probabilidad de que un equipo funcione satisfactoriamente en un punto dado bajo condiciones específicas soportado en un entorno real de operaciones. Incluye el tiempo de logística, tiempo de alistamiento, el tiempo de espera o tiempo muerto administrativo, y el tiempo muerto del mantenimiento preventivo y correctivo. Este valor es igual al tiempo medio entre fallas (MTBF) dividido por el tiempo medio entre fallas más el tiempo en desperfecto del equipo (MDT). Esta medida amplía la definición de la disponibilidad a los elementos controlados por los logísticos y los planificadores de la misión los cuales garantizan la proximidad de los repuestos al equipo dañado.

$$D_o = \frac{MTBF}{MTBF + MTD}$$

4.7.3. Maintainability. Mantenibilidad

La Mantenibilidad es la probabilidad de que una acción de mantenimiento activo determinado, para un equipo o sistema bajo condiciones determinadas de uso, pueda llevarse a cabo dentro de un intervalo de tiempo establecido cuando se realice el mantenimiento bajo las condiciones establecidas y utilizando los procedimientos e insumos establecidos.

Otra definición de mantenibilidad es: la probabilidad de que un componente o equipo pueda ser restaurado a una condición operacional satisfactoria dentro de un período de tiempo dado, cuando su mantenimiento es realizado de acuerdo a procedimientos preestablecidos.

La mantenibilidad es entonces, la función de eficiencia que mide la capacidad de un componente o equipo de cambiar de un estado inoperante a un estado de operación satisfactorio.

Existen varios factores a considerar en la mantenibilidad de un sistema o un equipo, uno de ellos es el factor operacional, el cual generalmente se relaciona con el factor humano encargado del equipo y de mantenerlo, así también los factores medio-ambientales. A estos factores pertenecen equipos de levantamiento y manejo, políticas y normas de mantenimiento preventivo, disponibilidad de repuestos, entorno de trabajo, destreza o habilidad del personal, sistemas de control de trabajo, calidad de la supervisión, comunicaciones y soporte logístico.

Hay consideraciones del diseño que se deben tener en cuenta, estas se relacionan con la distribución física y accesibilidad del equipo, intercambio y reemplazo, normalización y modulación de los niveles iniciales de repuestos.

- **La accesibilidad:** Significa que el diseñador debe hacer serios esfuerzos para que las partes y componentes de equipos sean realmente accesibles sin necesidad de remover partes adyacentes. La visibilidad es un factor que debe acompañar a la accesibilidad dada que algunas partes pueden ser accesibles pero no visibles, lo que dificultaría el ensamblaje o montaje de dicha pieza.
- **Intercambio y reemplazo:** El diseñador debe evitar que los equipos tengan componentes que ocupen mucho espacio en el almacén y que a pesar de ser intercambiables, no puedan ser reemplazados por partes de otros equipos. Esto sucede generalmente con partes

eléctricas donde dos componentes pueden tener la misma especificación pero arrojar resultados diferentes.

- **Normalización y modulación:** Este aspecto es básicamente tocado en la parte de diseño donde se deben hacer esfuerzos para unificar los equipos y componentes de un sistema y normalizar sus partes de tal forma que puedan ser intercambiables o modulares, es decir, que sean fáciles de remover y reemplazar con poco trabajo en caso de falla. Este factor es importante ya que al hacer las partes modulares los tiempos de reemplazo y reparación de los equipos se reduce considerablemente.

Parámetros básicos

El tiempo promedio fuera de servicio, o comúnmente llamado media del tiempo fuera de servicio (MTFS) es el parámetro básico de la mantenibilidad, el cual puede ser obtenido analíticamente o gráficamente, basándose en el número total de horas fuera de servicio por causa de una falla, y el número de acciones de mantenimiento llevado a cabo por conceptos de fallas.

El tiempo fuera de servicio es el tiempo transcurrido desde que el equipo es desconectado hasta que es entregado de nuevo al grupo de operaciones, listo para cumplir su función.

Como lo que físicamente existen son copias del elemento en consideración, la tarea de mantenimiento existe solo mediante la ejecución física de las actividades que la componen. Por ello, la respuesta dependería del tiempo empleado en cada ensayo para la recuperación. A pesar del hecho de que cada tarea de mantenimiento se compone de las actividades especificadas, que se realizan en una secuencia especificada, el tiempo empleado en la ejecución de todos ellos puede diferir de un ensayo a otro.

La naturaleza del parámetro T para la tarea de mantenimiento depende de la variación de los parámetros. Por tanto, la relación entre los factores influyentes y el parámetro T podría expresarse por la siguiente ecuación:

$$T = f(\text{factores personales, condicionales y ambientales})$$

Las características de mantenibilidad más frecuentemente usadas son:

- Función de mantenibilidad.
- Tiempo porcentual de recuperación.
- Tiempo medio de recuperación.

La función de distribución de cualquier variable aleatoria representa la probabilidad de que tenga un valor igual o menor que algún valor particular, por ejemplo, $F(a) = P(X < a)$. En el concepto de mantenibilidad, la función de distribución de la variable aleatoria TTR se llamaría Función de Mantenibilidad y se representaría por $M(t)$. Indica la probabilidad de que la funcionabilidad del sistema sea recuperada en el momento especificado de mantenimiento, o antes (tiempo empleado t).

$$\begin{aligned} M(t) &= P(\text{funcionabilidad sea recuperada en el tiempo } t \text{ o antes}) \\ &= P(TTR < t) \\ &= \int m(t)dt \end{aligned}$$

donde $m(t)$ es la función de densidad de TTR.

Por otra parte, el tiempo TTR_p , es el tiempo empleado en mantenimiento para el que se recuperaría la funcionabilidad de un porcentaje dado de una población. Este factor corresponde a un porcentaje dado de recuperación. Matemáticamente, el tiempo TTR_p puede representarse como:

$$TTR_p = t \rightarrow \text{para el que } M(t) = P(TTR < t) = \int m(t)dt = p$$

El más usado es el tiempo TTR_{90} , que representa el tiempo de recuperación en él se completarán el 90 por ciento de los ensayos de mantenimiento.

$$TTR_{90} = t \rightarrow \text{para el que } M(t) = P(TTR < t) = \int m(t)dt = 0,9$$

El tiempo esperado de recuperación es una de los parámetros de mayor importancia en la mantenibilidad de un equipo ya que esta representa el Tiempo Medio de Recuperación (Mean Time To Restore, MTTR). Este valor viene siendo la esperanza de la variable aleatoria TTR, el cual se calcula de la siguiente manera:

$$E(TTR) = MTTR = \int 1 - M(t)dt$$

que representa el área bajo la función complementaria de la de mantenibilidad.

4.7.4. Safety. Seguridad

Seguridad: Ausencia de riesgos de daños inaceptables. Estar libre de aquellas condiciones que puedan causar la muerte, una herida, una enfermedad ocupacional, daños o pérdida de los equipos o propiedades.

Al igual que en mantenibilidad, la aplicación de la seguridad como concepto integral de un sistema debe estar presente durante todo su desarrollo, desde el diseño mismo, el cual se deberá realizar pensando en reducir los riesgos inherentes del modelo, pasando por su operación y finalmente su muerte operacional.

Cuando se evalúa la seguridad en la etapa de diseño, la persona encargada debe centrar todo su esfuerzo en diseñar un sistema seguro para su montaje o ensamblaje y principalmente para su operación. Varias de las pautas a seguir en esta etapa se relacionan generalmente con:

- Cumplir con normativas regionales o estatales de diseño y fabricación.
- Cumplir con normativas internacionales de diseño y fabricación.
- Que el diseño cumpla con normativas regionales, estatales y/o internacionales de operación.

Una vez que el diseño cumple con las normativas y reglamentaciones impuestas, se debe realizar un análisis de riesgos suponiendo el sistema en operación, para esto se cuenta con diversas técnicas.

Técnicas de Análisis de Riesgos

En la actualidad se cuentan con una gran diversidad de técnicas para el análisis de riesgos en sistemas, la causa de esto es que para cada sistema se desarrolla una metodología particular, adaptada al sistema propio.

Métodos Cualitativos

Estos métodos se caracterizan esencialmente por no recurrir a cálculos numéricos.

Suelen estar basados en técnicas de análisis crítico en las que intervienen expertos en diferentes áreas, los cuales conforman un equipo de trabajo. Depende su eficacia de la calidad de la información disponible, su exhaustividad.

Entre estos métodos destacan los siguientes:

- Análisis histórico. Consiste en un estudio lo más amplio posible sobre accidentes ocurridos en el pasado en instalaciones y/o con productos similares a los estudiados.

- HAZOP (o AFO, Análisis Funcional de Operabilidad). Análisis de operabilidad. Técnica inductiva de análisis crítico realizada por un equipo multidisciplinario para identificar desviaciones de proceso que pueden conducir a accidentes.
- Análisis del modo, efecto y criticidad de las fallas (FMEAC). Método inductivo de reflexión sobre las causas/consecuencias de fallas de componentes en un sistema.
- Análisis preliminar de riesgos. Método inductivo en el que se analiza de forma sistemática las causas, efectos principales y medidas preventivas/correctivas asociadas.
- Check list. Constituyen listas exhaustivas de posibles iniciadores/accidentes a contemplar en la identificación de riesgos.

4.8. Arquitecturas de control

La arquitectura de un sistema se define como la organización fundamental de equipos necesarios para realizar sus funciones primordiales, que incluye sus componentes, las relaciones entre sí y el ambiente, y los principios que gobiernan su diseño y evolución. Desde un punto de vista más práctico, una arquitectura se puede entender como un concepto abstracto que permite describir un sistema, lo que se hace desde un punto de vista estático, y su funcionamiento, lo que se lleva a cabo desde un punto de vista dinámico.

La evolución de componentes que forman la arquitectura va aumentando a medida que ésta cierra más su ámbito de actuación desde los sistemas más sencillos hasta los sistemas más complejos como el monitoreo y control de una subestación. Los componentes más comunes, aunque dependientes del tipo de control que se desee realizar, suelen ser los componentes responsables de la adquisición de la información, procesamiento de la misma, la toma de decisiones acerca de las acciones de control que el sistema debe realizar y la gestión de las tareas requeridas por las acciones.

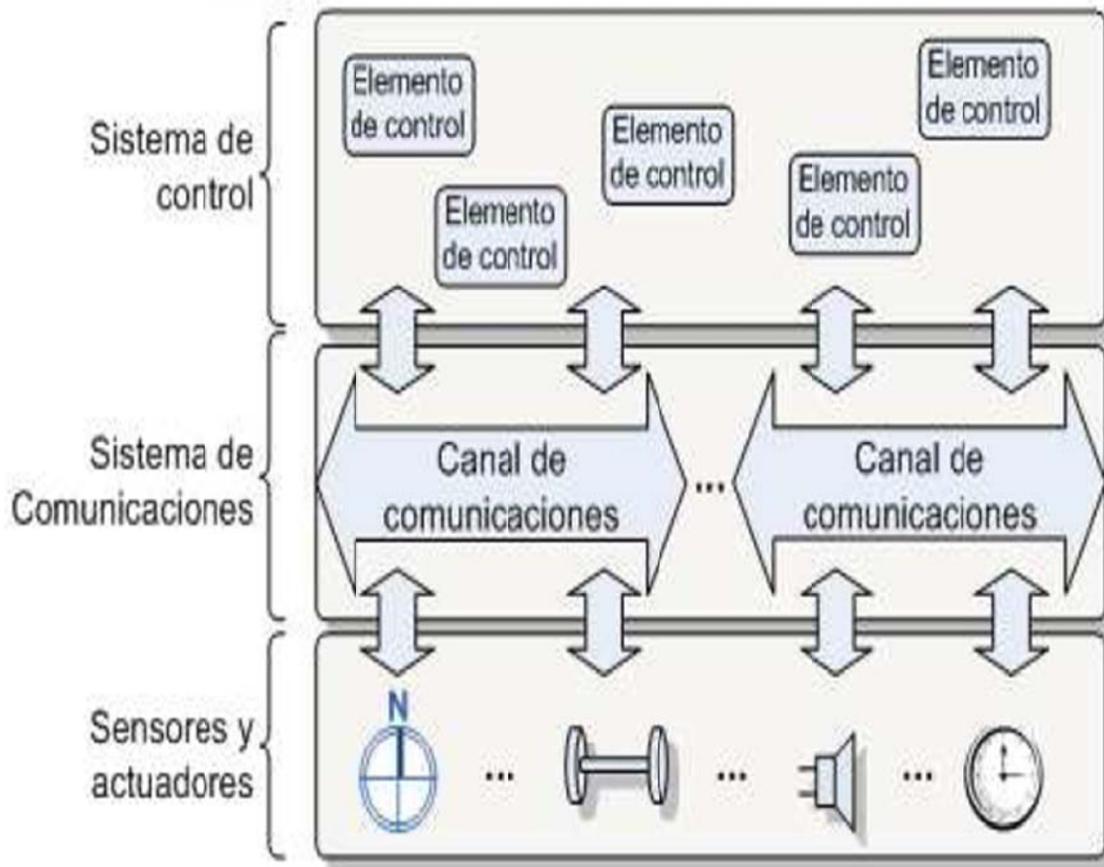


Figura 53. Arquitectura de Control

A medida que se desea un control autónomo, los componentes de las arquitecturas de control pueden coincidir con componentes de arquitecturas dedicadas a otros ámbitos, este es el motivo de la gran relación entre las arquitecturas de control y las arquitecturas de sistemas de comunicaciones. Esta relación tan estrecha, hace que las implementaciones de las arquitecturas también sean muy similares, por ello es normal encontrar implementaciones de sistemas de control centralizado o sistemas de control distribuido.

Existen muchas definiciones del concepto de control de sistema, básicamente se habla del proceso por el que se guía un sistema para lograr los objetivos para los cuales fue diseñado, expresados como resultados dentro de los parámetros definidos previamente.

4.8.1. Concepto de Control Centralizado y Control Distribuido

Los complejos requerimientos que tiene una subestación eléctrica como enclavamientos y secuencias de control, a través de la historia han tenido la necesidad de ser solucionados de una

manera eficiente y confiable. Esta necesidad puede ser satisfecha mediante distintos algoritmos matemáticos como lógica combinatorial, tablas de verdad, álgebra booleana, que finalmente hace que se utilice y aplique los sistemas de computación y software asociados, tendencia que ha tenido un mayor auge y desarrollo a partir del desarrollo de los microprocesadores.

La topología del sistema de control de una subestación puede verse como la arquitectura o la distribución que conforma tanto la parte de hardware como de software de un sistema o planta determinado que permite que realizar funciones de suma importancia para este como lo son recopilar, almacenar y distribuir la información necesaria para el adecuado funcionamiento del mismo.

Todo sistema de control utiliza cualquiera de las dos topologías básicas siguientes:

- Centralizada
- Distribuida

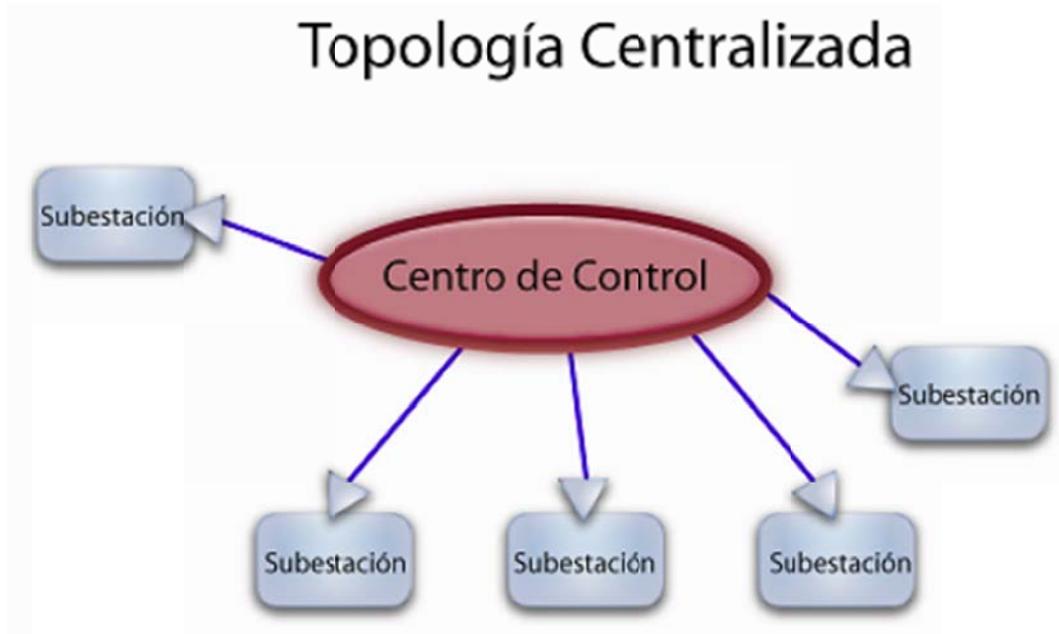


Figura 54.

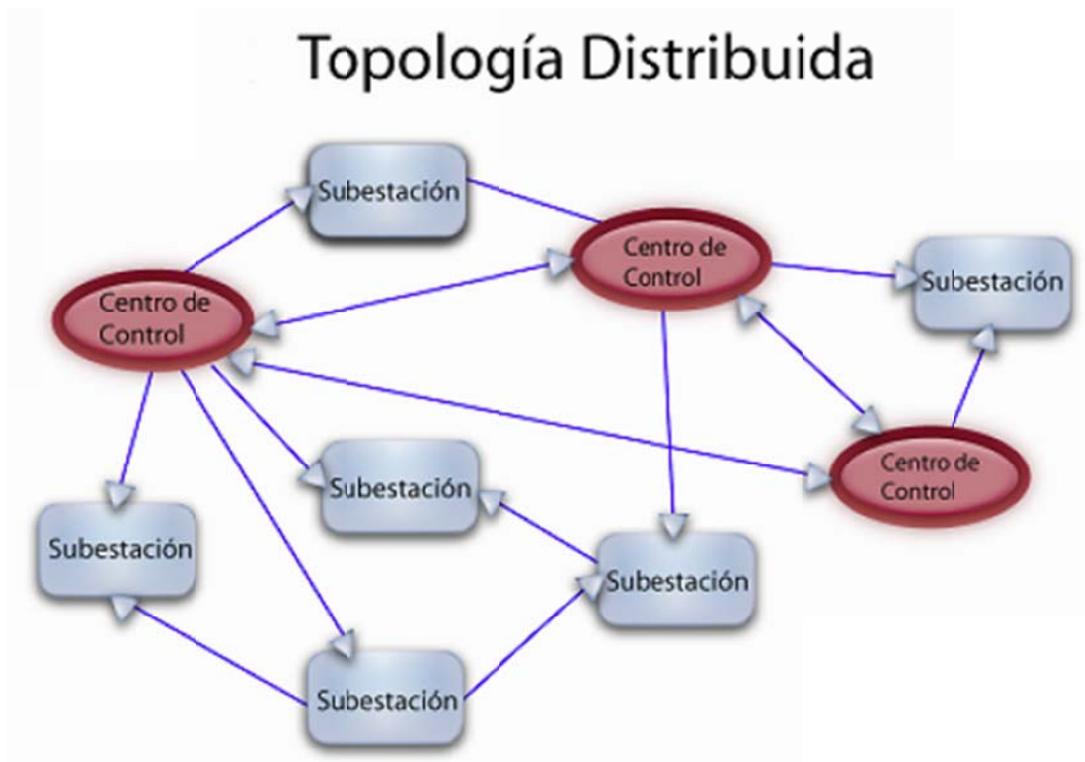


Figura 55.

En los inicios de la automatización de subestaciones se empleó de gran manera la topología centralizada debido a las limitantes tecnológicas que estaban presentes como la capacidad de los procesadores y las técnicas de comunicación.

Posteriormente se comenzó a usar más la arquitectura distribuida en la cual se puede contar con mayor cantidad de unidades de control de elementos finales y surge el concepto de dispositivos electrónicos inteligentes, los cuales pueden estar enlazados a través de un puerto serial a un procesador o a una red local. En este esquema el procesador local puede controlar tantos elementos como sea necesario, se conecta a través de una red que puede ser estrella, bus de datos o anillada también llamada lazo a la interface hombre máquina y generalmente a un sistema remoto de adquisición de datos para el control y monitoreo de toda la red eléctrica.

Capítulo 5. Mejoras y Aplicaciones

Evolución y Tendencias del Sistema SCADA

Sistemas de control hay muchos y muy variados y todos, bien aplicados, ofrecen soluciones óptimas en entornos eléctricos. Lo que hace de los sistemas SCADA una herramienta mejorada es la característica de control supervisado. De hecho, la parte de control viene definida, por el proceso a controlar, y en última instancia, por el hardware e instrumentos de control (PLC's, controladores lógicos, armarios de control) o los algoritmos lógicos de control aplicados sobre el sistema de los cuales pueden existir previamente a la implantación del sistema SCADA, el cual se instalará sobre y en función de estos sistemas de control. Otros sistemas SCADA pueden requerir o aprovechar el hecho que implantamos un nuevo sistema de automatización en el sistema eléctrico para cambiar u optimizar los sistemas de control previos.

En consecuencia, supervisamos el control del sistema eléctrico y no solamente monitoreamos las variables que en un momento determinado están actuando sobre el sistema. Esto es, podemos actuar y variar las variables de control en tiempo real, algo que pocos sistemas permiten con la facilidad intuitiva que dan los sistemas SCADA.

Se puede definir la palabra supervisar como ejercer la inspección superior en determinados casos, ver con atención o cuidado y someter la aplicación a un nuevo régimen para corregirla o repararla permitiendo una acción sobre cada acción a supervisar. La labor del supervisar representa una tarea delicada y esencial desde el punto de vista normativo y operativo, de ésta acción depende en gran medida garantizar la calidad y eficiencia del proceso de control. Por lo tanto tenemos una toma de decisiones sobre las acciones de control por parte del sistema, que en el caso de los sistemas SCADA, estas recaen sobre el operario.

Esto diferencia notablemente los sistemas SCADA de los sistemas clásicos de automatización donde las variables de control están distribuidas sobre los controladores electrónicos de la planta y dificulta mucho una variación en el proceso de control, ya que estos sistemas una vez implementados no permiten un control a tiempo real óptimo. La función de monitoreo de estos sistemas se realiza sobre un PC ofreciendo una visión de los parámetros de control sobre la pantalla del ordenador (HMI) como en los sistemas SCADA, pero sólo ofrecen una función complementaria de monitoreo, observar mediante equipos especiales el curso de uno o varios parámetros fisiológicos o de otra naturaleza para detectar posibles anomalías.

Es decir, los sistemas de automatización de interfaz gráfica tipo HMI básicos, ofrecen una gestión de alarmas en formato rudimentarias mediante las cuales la única opción que le queda al operario

es realizar una parada de emergencia, reparar o compensar la anomalía y realizar un reset. En los sistemas SCADA, se utiliza un HMI interactivo el cual permite detectar alarmas y a través de la pantalla solucionar el problema mediante las acciones adecuadas en tiempo real. Esto otorga una gran flexibilidad a los sistemas SCADA. En definitiva, el modo supervisor del HMI de un sistema SCADA no solamente señala los problemas, sino lo más importante, orienta en los procedimientos para solucionarlos.

Es cierto que todos los sistemas SCADA ofrecen una interfaz gráfica PC-Operario tipo HMI, pero no todos los sistemas de automatización que tienen HMI son SCADA. La diferencia radica en la función de supervisión que pueden realizar estos últimos a través del HMI.

Como ya se había mencionado anteriormente el sistema actual de monitoreo y control SCADA comprende los subsistemas:

- Control de Tráfico Centralizado
- Telemando de Energía
- Boletaje
- Comunicaciones Fijas y Móviles
- Instalaciones de las Estaciones

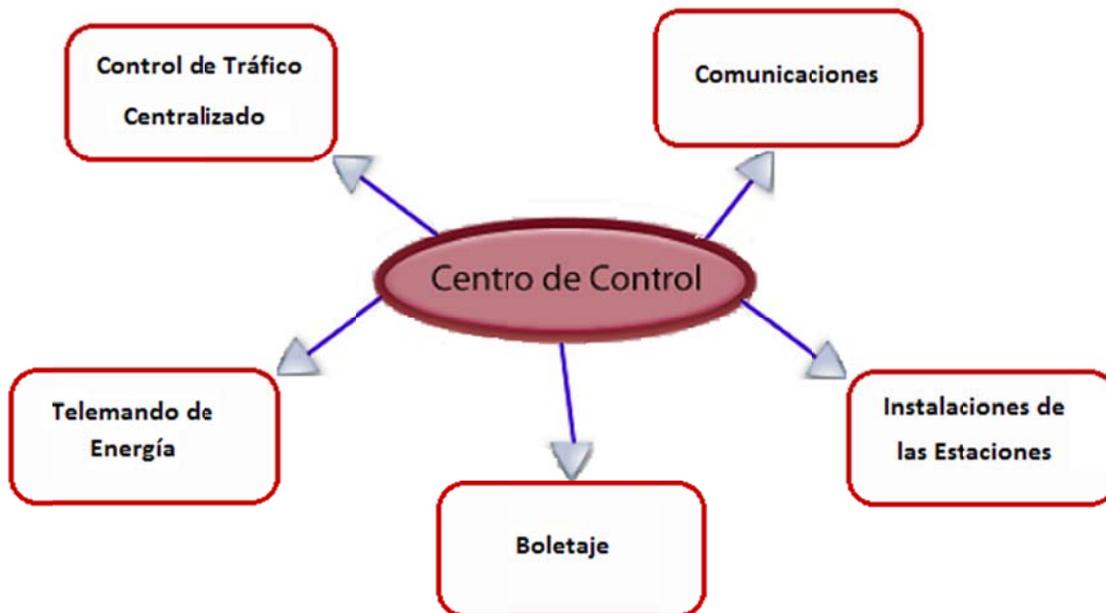


Figura 56. Arquitectura de Control del Sistema SCADA

Esta configuración es del tipo centralizada, lo que quiere decir que dentro de un solo sistema SCADA comprende todos los subsistemas existentes, lo que puede provocar de cierto modo que el sistema sea vulnerable a fallas o posibles problemas debidos a su arquitectura.

Evolución.

En lo últimos años ha existido una evolución de los productos software de supervisión y control para PC (SCADA) orientada a ampliar su campo de aplicación. De una supervisión y control iniciales a nivel de máquina o de proceso se ha pasado a una supervisión y control a nivel de campo. De una adquisición y registro de datos orientada a un control de proceso o de sistema se ha ampliado su utilidad a proveer información en tiempo real del estado del sistema o campo.

El software orientado inicialmente a supervisión y control del sistema eléctrico fue aprovechado para ampliar su utilidad a la supervisión y control en campo. La adopción de forma generalizada de los estándares COM/DCOM, Active X, OPC y ODBC, entre otros, por parte de la gran mayoría de proveedores facilita que los datos adquiridos mediante la aplicación SCADA estuvieran disponibles para otras aplicaciones como gestión de señales.

Una de las demandas más generalizadas y, al mismo tiempo, una de las más críticas, es la capacidad de efectuar consultas trabajando con datos procedentes de diferentes fuentes: de diferentes aplicaciones o de bases de datos distintas y ubicadas en diferentes puntos del sistema.

Disponer del conjunto de drivers necesario para intercomunicar los diversos componentes de la solución completa, configurarlos y activarlos de forma transparente, es un elemento esencial para disponer de una integración efectiva.

Actualmente, se han diseñado módulos específicos orientados al almacenamiento de grandes cantidades de datos, así como servidores de datos capaces de atender consultas de grandes cantidades de datos y que implican tanto a datos recogidos de proceso como a datos almacenados en otras bases de datos, y aptos para servir a múltiples usuarios, conectados a una red para la gestión y el control de las señales.

Una de las necesidades del resultado de esta ampliación del entorno de aplicación ha sido la necesidad de disponer de herramientas cómodas, simples y potentes para la generación de interfaces de usuario que les permita acceder a la información que es de su interés. Dado que el entorno físico donde se ubican estos usuarios también se amplía, el medio generalizado de comunicación es Internet y la aplicación más común es cualquiera de los navegadores más difundidos.

Por otra parte, es conveniente disponer de herramientas que ofrezcan a cualquier usuario la posibilidad de diseñar y configurar una web específica que les permita comunicarse con el sistema de información y obtener los datos necesarios. Un ejemplo de este tipo de aplicación es el infoAgent de GE Fanuc- Intellution, un software de edición, configuración y activación de portales de Internet que proporciona un servidor y admite múltiples clientes.

Tendencias.

La evolución de los productos y software para la adquisición y registro de datos en tiempo real y la supervisión y control de procesos ofrecen ventajas en los siguientes ámbitos:

- Su integración en entornos completos para la gestión del sistema eléctrico completo disponiendo de información de campo en tiempo real, control y tratamiento de datos, y supervisión y gestión global del sistema. La existencia de aplicaciones cliente-servidor, los servidores de datos y los servidores de web son una prueba de ello.
- En el tratamiento de los datos adquiridos en campo por parte de sistemas expertos que ofrecen funcionalidades de detección y diagnóstico de fallos. Son evidentes las ventajas que supone disponer de un sistema experto que, a partir de los datos adquiridos en campo, tanto en proceso continuo como discontinuo, pueda aplicar un conjunto de reglas que ayude al personal de operación a detectar los fallos o situaciones delicadas y a tener un diagnóstico de las causas que lo provocan, así como conocer cuál es la correcta actuación a seguir.
- La mejora de las interfaces con el usuario con el empleo de entornos gráficos de alta calidad, la incorporación de elementos multimedia de audio y vídeo, la mejora de los sistemas operativos para incrementar las velocidades de respuesta, el empleo de software orientado a objeto, con diálogos conversacionales con programador y usuario, todo ello soportado por un hardware cada vez más compacto, fiable, potente, de mayor ancho de bus y más rápido.

5.1.1. Sistema de Control Centralizado

La principal ventaja es que su arquitectura facilita el flujo de información y se hace posible que los objetivos de optimización global del proceso puedan ser alcanzados, pero tiene la desventaja que depende de la fiabilidad del centro de control y del sistema de redes de comunicaciones. Para solucionar esto se aplica redundancia de servicios críticos.

5.1.1.1. Sistema de Control Centralizado Multicapa

A partir de esta arquitectura de control aparece la arquitectura del SCADA. Se trata de una aplicación software especialmente diseñada para funcionar sobre ordenadores en el control del proceso, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo (controladores autónomos, autómatas programables) y controlando el proceso de forma automática desde la pantalla del ordenador. Además, provee de toda la información que se genera en el proceso de monitoreo y control a diversos usuarios, tanto del mismo nivel como de otros supervisores dentro del sistema.

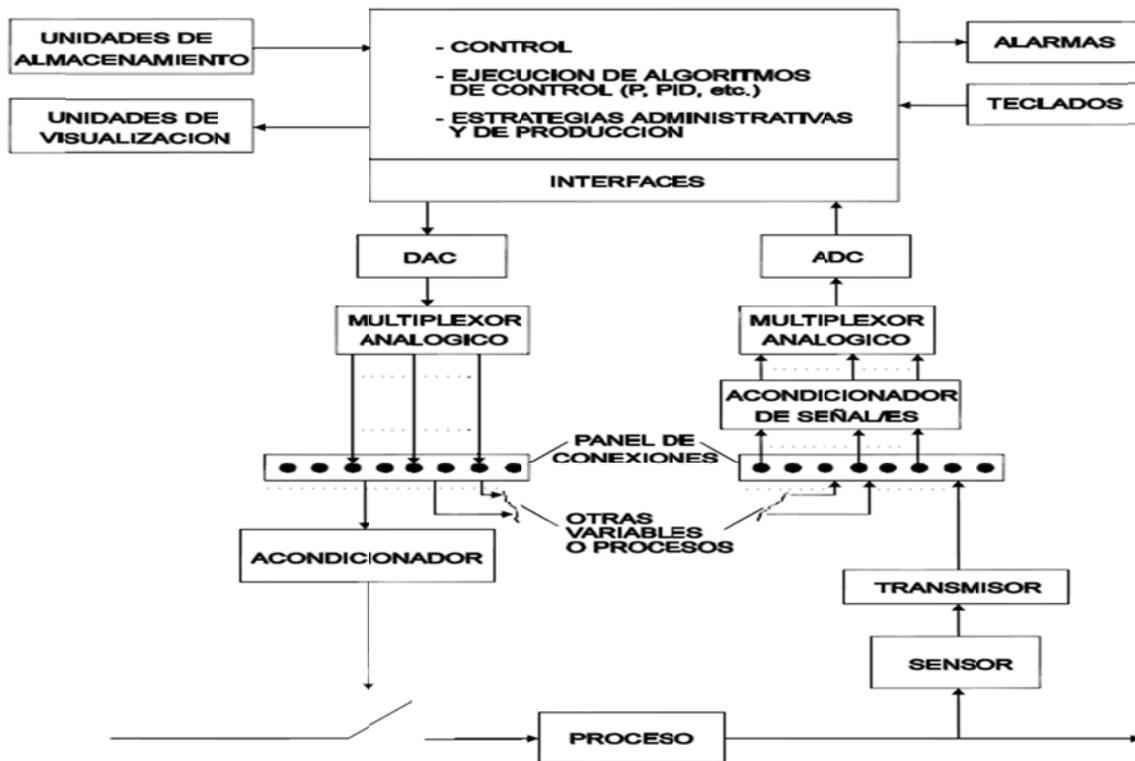


Figura 57. Control Centralizado Multicapa

En este tipo de sistemas usualmente existe un ordenador, que efectúa tareas de supervisión y gestión de alarmas, así como tratamiento de datos y control de procesos. La comunicación se realiza mediante buses especiales o redes LAN.

Todo esto se ejecuta normalmente en tiempo real, y están diseñados para dar al operador de planta la posibilidad de supervisar y controlar dichos procesos. Los elementos de proceso del sistema de control pueden utilizar una implementación estándar en tiempo real para la comunicación entre objetos a través de redes. Además, la especificación de interfaces es muy

importante para el mantenimiento y conservación de las instalaciones teniendo en cuenta los rápidos cambios tecnológicos. Por ello son usados estándares de comunicación universales.

Los programas necesarios, y en su caso el hardware adicional que se necesite, se denomina en general sistema SCADA.

Prestaciones

Un paquete SCADA para la arquitectura centralizada debe estar en disposición de ofrecer las siguientes prestaciones:

- Posibilidad de crear paneles de alarma, que exigen la presencia del operador para reconocer una parada o situación de alarma, con registro de incidencias.
- Generación de históricos de serial de planta, que pueden ser utilizados para su proceso sobre una hoja de cálculo.
- Ejecución de programas, que modifican la ley de control, o incluso anular o modificar las tareas asociadas al sistema, bajo ciertas condiciones.
- Posibilidad de programación numérica, que permita realizar cálculos aritméticos de elevada resolución sobre la CPU del ordenador.

Con ellas, se pueden desarrollar aplicaciones para ordenadores (tipo PC), con captura de datos, análisis de señales, presentaciones en pantalla, envío de resultados a disco e impresora.

Además, todas estas acciones se llevan a cabo mediante un paquete de funciones que incluye zonas de programación en un lenguaje de uso general, lo cual confiere una potencia muy elevada y una gran versatilidad. Algunos SCADA ofrecen librerías de funciones para lenguajes de uso general que permiten personalizar de manera muy amplia la aplicación que desee realizarse con dicho SCADA.

Requisitos

Un SCADA de este tipo de arquitectura debe cumplir varios objetivos para que su instalación sea perfectamente aprovechada:

- Deben ser sistemas de arquitectura abierta, capaces de crecer o adaptarse según las necesidades cambiantes de las instalaciones.

- Deben comunicarse con total facilidad y de forma transparente al usuario con el equipo de monitoreo-control y con el resto de los sistemas (redes locales y de gestión).
- Deben ser programas sencillos de instalar, sin excesivas exigencias de hardware, y fáciles de utilizar, con interfaces amigables con el usuario.

Módulos de un SCADA.

Los módulos o bloques software que permiten las actividades de adquisición, supervisión y control son los siguientes:

- Configuración: permite al usuario definir el entorno de trabajo de su SCADA, adaptándolo a la aplicación particular que se desea desarrollar.
- Interfaz gráfico del operador: proporciona al operador las funciones de control y supervisión de la planta. El proceso se representa mediante sinópticos gráficos almacenados en el ordenador de proceso y generados desde el editor incorporado en el SCADA o importados desde otra aplicación durante la configuración del paquete.
- Módulo de proceso: ejecuta las acciones de mando pre programado a partir de los valores actuales de variables leídas.
- Gestión y archivo de datos: se encarga del almacenamiento y procesamiento ordenado de los datos, de forma que otra aplicación o dispositivo pueda tener acceso a ellos.
- Comunicaciones: se encarga de la transferencia de información entre la planta y la arquitectura hardware que soporta el SCADA, y entre esta y el resto de elementos informáticos de gestión.

5.1.2. Sistema de Control Distribuido. Propuesta de Mejora

El control distribuido es el paso siguiente en la evolución de los sistemas de control, es la tendencia a la que se está llevando las arquitecturas de control. Así, en los sistemas centralizados, ya clásicos, su potencia de tratamiento se concentra en un único elemento (el ordenador central), mientras que en el control distribuido la potencia de tratamiento de la información se encuentra repartida en el espacio. Podríamos decir que los sistemas de control distribuido fueron desarrollados para proporcionar las ventajas del control por ordenador pero con más seguridad y flexibilidad.

Las innovaciones dentro de la ciencia ha hecho que los esfuerzos de investigación dedicados a la resolución del problema del control electrónico de sistemas con gran número de lazos (variables), y teniendo en cuenta el estado de la técnica de los microprocesadores por un lado y la constante demanda de la industria a los cambios por otro, se llegó a las siguientes conclusiones generales:

- Descartar el empleo de un único ordenador o centro de control por el serio inconveniente de la seguridad y sustituirlo por varios controladores digitales capaces de controlar individualmente un cierto número de variables, para así distribuir el riesgo del control único.
- Cada controlador digital debe ser universal, es decir, disponer de algoritmos de control seleccionables por software, que permitieran resolver todas las situaciones de control y dan así versatilidad al sistema.
- La velocidad en la adquisición de los datos y su salida hacia los actuadores debe ser en tiempo real, lo que obliga a utilizar la tecnología más avanzada en microprocesadores.
- Para comunicar entre si los transmisores electrónicos de campo, los controladores y las interfaces para la comunicación con el operador, se adopta el empleo de una vía de comunicaciones, en forma de cable coaxial instalado en la planta, con un recorrido paralelo a los edificios y a la sala de control.
- El panel clásico requerido por el control tradicional, se sustituye por uno o varios monitores, en los cuales, el operador con la ayuda del teclado/mouse debe examinar las variables de proceso, las características de control, las alarmas, sin perturbar el control del sistema y con la opción de cambiar cualquiera de las características de control de las variables de proceso.

En esencia, la diferencia entre el control distribuido y el control centralizado puede compararse entre que en un sistema centralizado tiene un solo sistema SCADA, que es el que realiza todas las tareas de monitoreo y control, mientras que en el sistema de control distribuido se tienen dos o más sistemas SCADA dedicados a los diferentes procesos del sistema, teniendo el beneficio de que cada SCADA es independiente y que solo se comunican para intercambiar información.

Por otra parte el sistema distribuido de control cuenta con las siguientes ventajas:

- Uso compartido de redes de comunicación, en caso de producirse una falla, la red de comunicaciones puede ser usada por todos los sistemas SCADA que estén dentro de la red.

- Todos los sistemas SCADA dentro del control distribuido pueden tomar el control del monitoreo y control en caso de falla de algún sistema alterno.
- La velocidad de monitoreo y control del sistema completo se ve mejorado ya que al distribuir las tareas hace que la red no se sature y los subsistemas de control sean más eficientes, seguros y confiables.

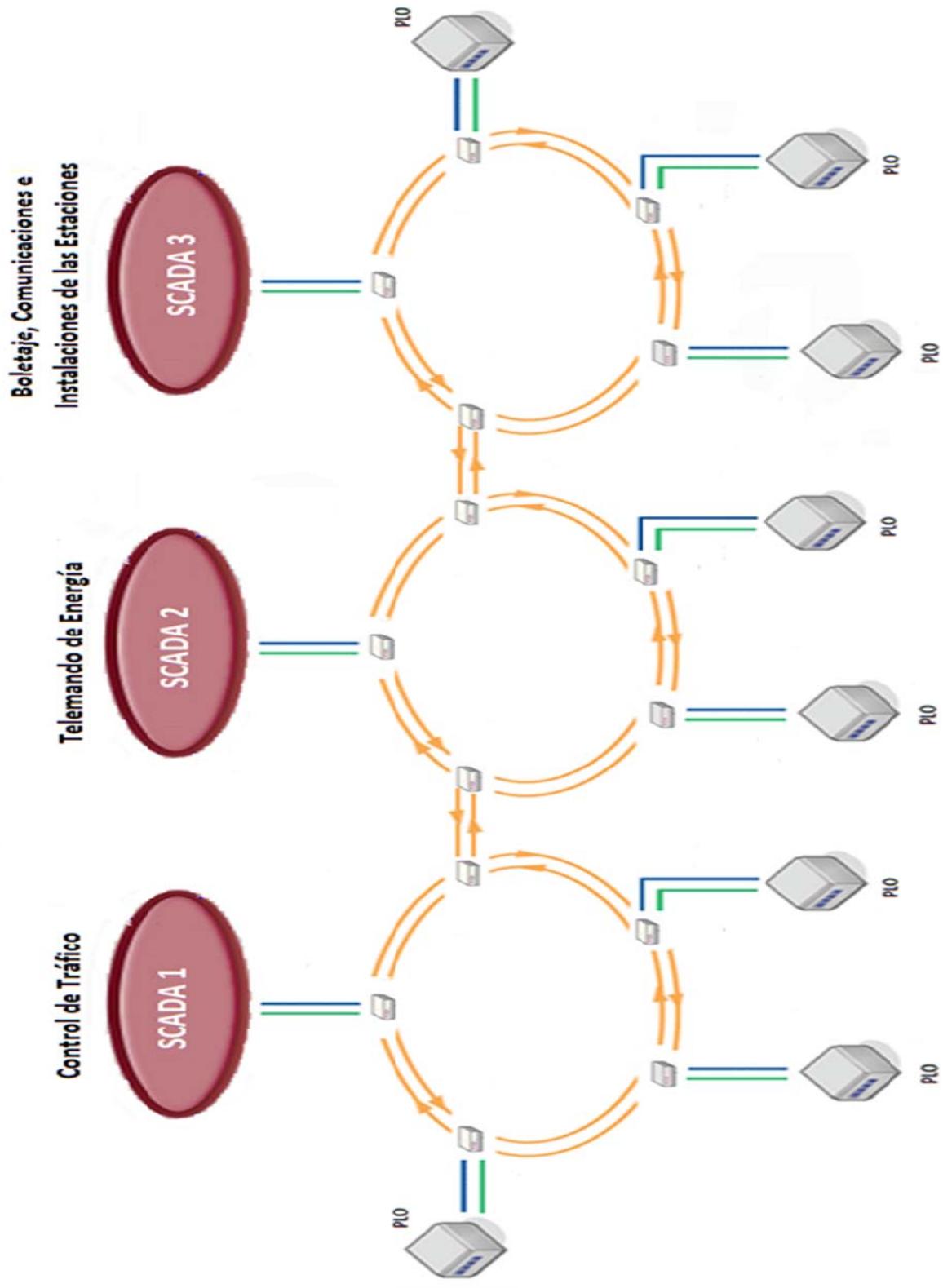


Figura 58. Arquitectura de Control Distribuido. Propuesta de Mejora

5.2. Sistema GPS. Aplicaciones y Tendencias

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) es un sistema de localización, diseñado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos con fines militares para proporcionar estimaciones precisas de posición, velocidad y tiempo; utiliza conjuntamente una red de ordenadores y una constelación de satélites para determinar por triangulación, la altitud, longitud y latitud de cualquier objeto en la superficie terrestre.

En el ámbito civil y alegando razones de seguridad sólo se permite el uso de un subconjunto degradado de señales GPS. Sin embargo la comunidad civil ha encontrado alternativas para obtener una excelente precisión en la localización mediante las denominadas técnicas diferenciales. Gracias a ellas las aplicaciones civiles han experimentado un gran crecimiento y actualmente existen fabricantes de receptores GPS [1].

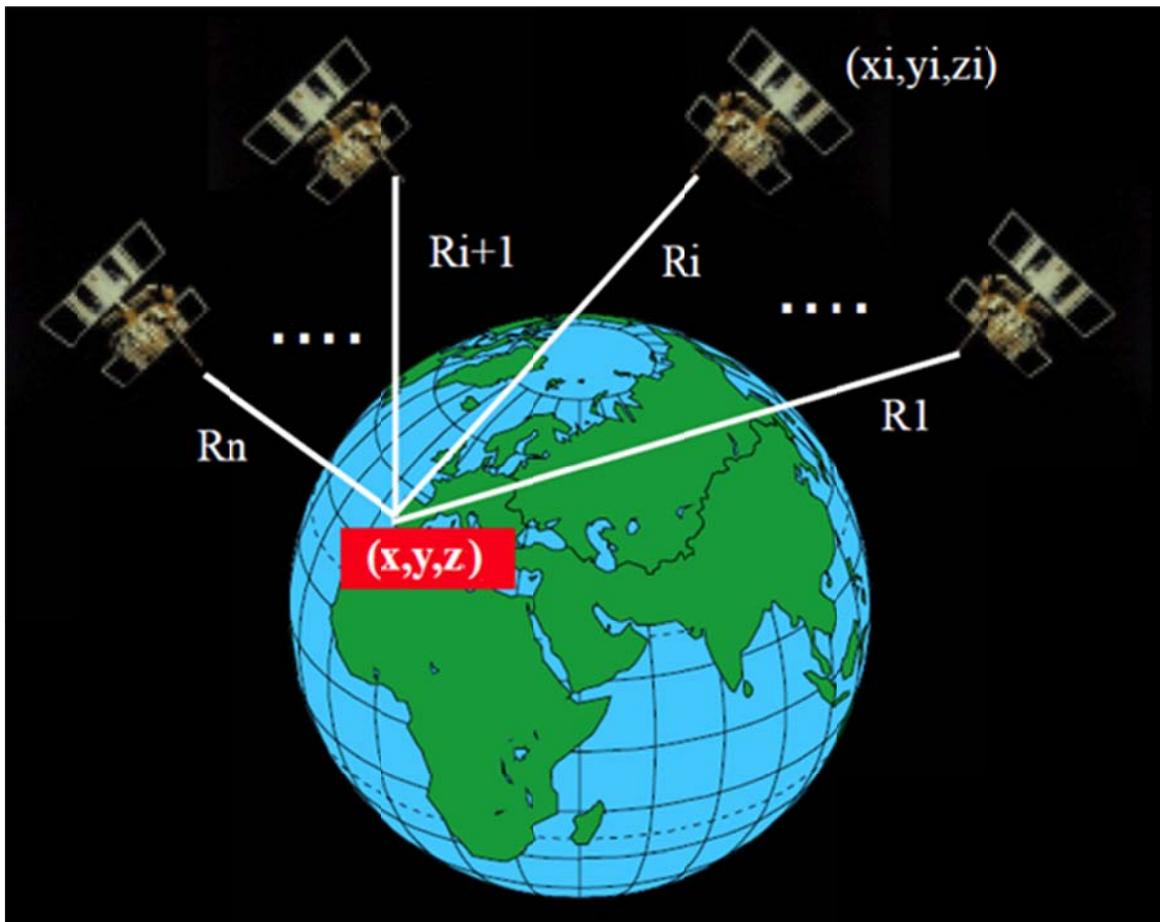


Figura 59. Sistema GPS

Por otra parte, entre los campos donde se utilizan en la actualidad sistemas GPS, se destacan la Navegación y control de flotas de vehículos; donde el GPS se emplea en planificación de trayectorias y control de rutas

Hoy en día, los receptores GPS más sencillos están preparados para determinar con un margen mínimo de error la latitud, longitud y altura desde cualquier punto de la tierra, mientras que otros más completos muestran también el punto donde se ha estado e incluso trazan de forma visual sobre un mapa la trayectoria pasada o la que se sigue en tiempo real. Esta es una capacidad que no poseían los dispositivos de posicionamiento anteriores a la existencia de los receptores GPS.

En este sentido, es importante destacar que el tráfico urbano es uno de los problemas que más influyen en la calidad de vida de los residentes en las ciudades y áreas metropolitanas de los países desarrollados [2].

5.2.2. Aplicaciones de los GPS

Son múltiples los campos de aplicación de los sistemas de posicionamiento tanto como en sistemas de ayuda a la navegación, como en modelización espacio atmosférico y terrestre o aplicaciones con requerimientos de alta precisión en la medida del tiempo. A continuación se detallan algunos de los campos civiles donde se utilizan en la actualidad sistemas GPS:

- Estudio de fenómenos atmosféricos. Cuando la señal GPS atraviesa la troposfera el vapor de agua, propicia la causa de los distintos fenómenos meteorológicos, modifica su velocidad de propagación. El posterior análisis de la señal GPS es de gran utilidad en la elaboración de modelos de predicción meteorológica [3].
- Localización y navegación en regiones inhóspitas. El sistema GPS se utiliza como ayuda en expediciones de investigación en regiones de difícil acceso y en escenarios caracterizados por la ausencia de marcas u obstáculos. Un ejemplo son los sistemas guiados por GPS para profundizar en el conocimiento de las regiones polares o desérticas [3].
- Modelos geológicos y topográficos. Los geólogos comenzaron a aplicar el sistema GPS en los 80's para estudiar el movimiento lento y constante de las placas tectónicas, para la predicción de terremotos en regiones geológicamente activas. En topografía, el sistema GPS constituye una herramienta básica y fundamental para realizar el levantamiento de terrenos y los inventarios forestales y agrarios [3].

- Ingeniería civil. En este campo se utiliza la alta precisión del sistema GPS para monitorear en tiempo real las deformaciones de grandes estructuras metálicas o de cemento sometidas a cargas [3].
- Sistemas de alarma automática. Existen sistemas de alarma conectados a sensores dotados de un receptor GPS para supervisión del transporte de mercancías tanto contaminantes de alto riesgo como perecederos (productos alimentarios frescos y congelados). En este caso la generación de una alarma permite una rápida asistencia al vehículo [3].
- Sincronización de señales. La industria eléctrica utiliza el GPS para sincronizar los relojes de sus estaciones monitoras a fin de localizar posibles fallos en el servicio eléctrico. La localización del origen del fallo se realiza por triangulación, conociendo el tiempo de ocurrencia desde tres estaciones con relojes sincronizados [3].
- Guiado de personas con capacidades diferentes. Se están desarrollando sistemas GPS para ayuda en la navegación de invidentes por la ciudad. En esta misma línea, la industria turística estudia la incorporación del sistema de localización en guiado de visitas turísticas a fin de optimizar los recorridos entre los distintos lugares de una ruta [3].
- Navegación desasistida de vehículos. Se están incorporando sistemas GPS como ayuda en barcos para maniobrar de forma precisa en zonas de intenso tráfico, en vehículos autónomos terrestres, como los trenes, que realizan su actividad en entornos abiertos en tareas repetitivas y en todos aquellos vehículos móviles que realizan transporte de carga, tanto en agricultura como en minería o construcción. La alta precisión de las medidas ha permitido importantes avances en el espacio en órbitas bajas y así tareas de alto riesgo de inspección, mantenimiento y ensamblaje de satélites artificiales pueden ahora realizarse mediante robots autónomos [3].
- Navegación y control de flotas de vehículos. El sistema GPS se emplea en planificación de trayectorias y control de flotas de vehículos. La policía, los servicios de socorro (bomberos, ambulancias), las centrales de taxis, los servicios de mensajería, empresas de reparto, organizan sus tareas optimizando los recorridos de las flotas desde una estación central. Algunas compañías ferroviarias utilizan ya el sistema GPS para localizar sus trenes, máquinas locomotoras o vagones, supervisando el cumplimiento de las señalizaciones [3].

5.2.3. Sistemas de Tráfico Inteligente (ITS)

Surgimiento y Desarrollo.

El tráfico urbano es hoy complicado en la mayoría de las áreas metropolitanas de los países desarrollados en las que la congestión se ha convertido en un problema cotidiano de difícil solución. Un problema que produce efectos indeseados en la movilidad de los conductores y peatones. El incumplimiento de los horarios en los transportes públicos, el incremento del tiempo de los viajes en transporte público y privado, la contaminación del aire y niveles sonoros intolerables que llegan a afectar seriamente la salud son algunos de esos efectos. Todo esto redundando en una evidente pérdida del bienestar de la población, pero además, tiene su afectación en importantes pérdidas económicas.

Así mismo, una de las respuestas más eficientes al problema de la congestión radica en el uso intensivo de sistemas informáticos y de las telecomunicaciones aplicadas a la gestión del tráfico. En efecto, los denominados Sistemas Inteligentes de Transporte (SIT) están siendo un eficiente apoyo para el ciudadano y para las instituciones públicas en el intento de solucionar los problemas de tráfico de los transportes urbanos e interurbanos, no solamente ayudando a mejorar su movilidad sino haciéndola más sostenible [4].

En la actualidad, el tráfico urbano se ha convertido en hábito cotidiano de los habitantes, debido al aumento de flujo vehicular que se ha generado en los últimos años, lo cual ocasiona accidentes por imprudencias al manejar, complica el traslado de automóviles de un lugar a otro, bien sea público o privado.

Los Sistemas de Tráfico inteligentes, surgen en la década de los años 90 como alternativa sostenible al problema generado por la creciente demanda de movilidad, especialmente en el ámbito urbano e interurbano. De esta manera, frente a las estrategias tradicionales que pasan por un incremento de infraestructuras viales y vehículos que pudieran conducir a niveles de insostenibilidad económica, espacial y medioambiental, los ITS's suponen una propuesta por la movilidad sostenible, eficiente, eficaz y segura del transporte.

Con ese triple objetivo, eficacia, eficiencia y seguridad, surgen los ITS como una combinación de información, comunicaciones y tecnologías del transporte en vehículos e infraestructuras. Una combinación que, en los últimos años, adquiere una enorme trascendencia puesto que las tecnologías de la comunicación permiten ya emitir información móvil en cualquier lugar y en tiempo real.

Por otro lado existen diversas tecnologías para hacer posible que el sistema de tráfico inteligente sea eficiente, y una de esas viene a ser el sistema de posicionamiento global, permiten localizar los vehículos y su movimiento en tiempo real, lo cual genera un gran aporte para estudio puesto que la transmisión de la información al usuario en tiempo real es fundamental para la toma

de decisiones y constituye una de las aplicaciones que convierte los vehículos y las vías en "inteligentes".

Sin duda alguna las telecomunicaciones y sus avances han dado miles de beneficios a la sociedad y se han ido involucrando cada vez más en las vivencias diarias de los seres humanos, una muestra de ello son los sistemas de tráfico inteligentes, quienes poseen una variada gama de aplicaciones que sin duda ayudan a mejorar el tránsito de vehículos operados y no operados por personas.

Los ITS's abordan ese objetivo mediante el control de vías y de intersecciones de forma automática. En el ámbito interurbano la aplicación de las TIC's al transporte de trenes permite hablar de "vías inteligentes", es decir aquellas vías con sistemas de información en tiempo real que van a permitir: la regulación y control en los accesos, la captura de datos para medir intensidad, velocidad y la detección automática de incidentes, el control lineal de la vía, el control de entradas a la vía y la información de itinerarios.

Los efectos que proporciona los sistemas de tráfico inteligentes sin duda alguna pueden llegar a ser positivos, puesto que sin duda alguna brindan una mejor calidad de vida a los usuarios, disminuyendo el tiempo que tardarían en trasladarse de un lugar a otro, y reduciendo el grado de incertidumbre antes y durante el viaje de una determinada ruta, puesto que se recibe información de las condiciones de las vías y las estaciones en tiempo real [5].

5.2.4. El Futuro de los Sistemas de Posicionamiento Global

Como herramienta para la optimización del tráfico urbano, en el caso del desplazamiento de trenes en el sistema suburbano, el GPS es una herramienta que puede ser aplicada al control y gestión del tráfico en las vías y estaciones, con esto se lograría tener una reducción en tiempos en los trayectos y tener una mayor seguridad en todos los tramos de vía, ya que esta herramienta da la ventaja de funcionar en tiempo real, haciendo al sistema más eficiente, seguro y económico.

Para una solución eficiente a la problemática, se debe de contar con un sistema de tráfico inteligente que tome el control de los tramos de vía desde un centro de datos, decidiendo en cuanto al tiempo de conmutación de vías, mejorando el flujo de trenes en ruta y talleres. No obstante el sistema también debe poder recomendar los trayectos inseguros de salida y entrada de trenes así como la salida de los trenes que fueron reparados en el taller por caminos más cortos [4]-[5].

La arquitectura de un sistema de red que soporte el tráfico inteligente para organismos de gestión de trenes debe contener los siguientes elementos:

- Receptor GPS: Equipo instalado en cada uno de los trenes, así como un dispositivo de radio paquetes de datos.
- Sala de Control de Organismos: Centro de datos con base de datos y procesador frontal del sistema. Este debe tener integración con los sistemas de información y el sistema de control centralizado. Así mismo hay comunicación con un sistema de monitoreo y control de tránsito de vía.
- Sistema de Monitoreo y Control de Transito: Es un sistema que puede tomar control sobre la secuencia de conmutación de las vías de ruta y las vías en talleres.

El Sistemas de Tráfico Inteligente cubre el protocolo de intercambio de datos entre el centro de datos y los trenes. Para ello, el receptor de GPS debe estar localizado en las unidades móviles, permitiendo ser ubicadas por la sala de control por medio de un movimiento constante (programado) o por gestión del centro control (cada vez que sea requerido) [3]-[5].

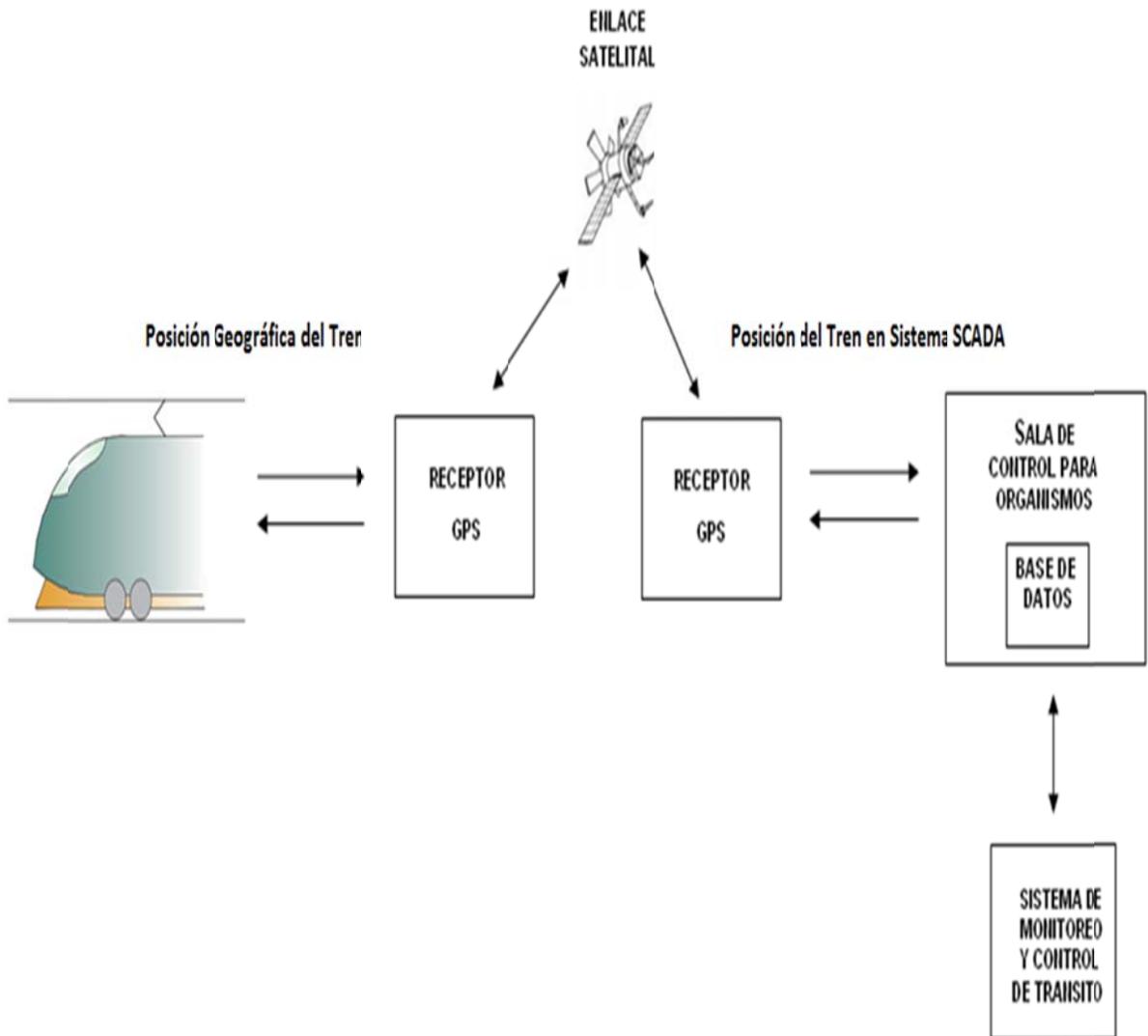


Figura 60. Arquitectura del Sistema de Tráfico Inteligente

Referencias

- [1] Neri, R. "Comunicaciones por Satélite". Editorial Thomson. México, 2003.
- [2] Rosado, C. "Comunicación por Satélite". Editorial Limusa. México, 2001.
- [3] Ribeiro, A. "Sistema de Posicionamiento Global (GPS): Descripción, análisis de errores, aplicaciones y futuro". 2003.
- [4] Control y Seguimiento de Activos Remotos MODBUS mediante Servicios Especiales MSAT. Revista Telos. Año 2003. Volumen 8, No. 2-A. Maracaibo Venezuela.
- [5] Martínez, M (2004). "Los Sistemas Inteligentes de Transporte y sus Efectos en la Movilidad Urbana e Interurbana". Revista Scripta Nova. Año 2004. Vol. VI, núm. 170. Barcelona España.

Conclusiones y Trabajo a Futuro

La Tecnología de nuestro presente nos proporciona una gama de herramientas poderosas que sabiéndolas aplicar correctamente pueden llegar a hacer de gran utilidad para el hombre, tal es el caso de los sistemas SCADA que han servido en diversos campos de la ingeniería, dando paso al surgimiento de nuevas herramientas, que a través del tiempo se han aplicado en conjunto con esta y otras tecnologías han mejorado y evolucionado para el beneficio y bienestar de todas y cada una de las aplicaciones para las que se les han diseñado.

Los sistemas SCADA son un claro ejemplo de la evolución que se ha tenido gracias a la aplicación de herramientas de computación y los sistemas de comunicación con los que ahora se cuenta, teniendo como resultado un sistema de cara al futuro de la tecnología que cuenta con todo lo necesario para poder seguir una reinención sistemática que proporcione todas las ventajas tecnológicas que en conjunto nos dé como resultado un sistema más confiable, seguro y de bajo costo.

Teniendo en cuenta que ahora en el Sistema Suburbano no se cuenta con una arquitectura de control que ayude a ramificar la información y que el sistema de comunicaciones es limitado y sabiendo aplicar una configuración de Control Distribuida que mejore el proceso de comunicación, monitoreo y control se puede llevar al siguiente nivel del sistema SCADA actual, para así tener un control mejorado de todos y cada uno de los subsistemas con lo que se cuenta actualmente en el Sistema de Trenes Suburbano.

Por otra parte se puede llevar a una segunda etapa de evolución del sistema SCADA con la aplicación de los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), esto llevaría a un sistema que integra comunicaciones fijas con comunicaciones inalámbricas utilizando para esto últimos satélites que proporcionarían la ubicación exacta y en tiempo real de todos y cada uno de los trenes que sean parte del sistema suburbano, mejorando así, el proceso de monitoreo y control de los trayectos de vía de los recorridos de los trenes, ya sea por vía principal o por vía en talleres, teniendo como resultado una gestión de trenes más eficiente y segura, disminuyendo la posibilidad de alcances entre trenes y una mayor eficiencia de tiempos en los trayectos.

ANÁLISIS, OPTIMIZACIÓN Y PROPUESTA DE MEJORA DEL SISTEMA DE TELEMANDO Y CONTROL (SCADA) PARA EL SUMINISTRO DE ENERGÍA DEL FERROCARRIL SUBURBANO DEL VALLE DE MÉXICO

Ahora bien tomando las dos aplicaciones anteriores, una arquitectura de Control Distribuido y un Sistema de Posicionamiento Global (GPS), se puede hablar que se tiene Sistema de Tráfico Inteligente aplicando a un Sistema de Trenes Suburbano con todas y cada una de las ventajas y herramientas que proporcionan estas dos aplicaciones, mejorando la Confiabilidad, Disponibilidad, Mantenibilidad y Seguridad (RAMS) del mismo, llevando a los Sistemas de Transporte por tren a la punta de la vanguardia y la evolución requerida para cada uno de los retos de los tiempos actuales, tomando en cuenta siempre las demandas y necesidades de una sociedad en constante movimiento.

ANEXOS

PROTOCOLO IEC 870-5-101

Descripción del Protocolo IEC 870-5-101

Es el protocolo recomendado por la IEEE para la comunicación entre la estación maestra, UTR's (Unidad Terminal Remota) e DEI's (Dispositivos Electrónicos Inteligentes). Es un protocolo abierto al igual que el DNP3; utiliza el formato de trama FT 1.2, definido en el documento IEC 60870-5-1, cumpliendo con los requerimientos de integridad de datos clase I2, que especifica una distancia hamming $d=4$. El formato trama puede ser variable entre 0 y 255 caracteres.

Haming: Se define como el número de bits que tienen que cambiarse para transformar una palabra de código válida en otra palabra de código válida.

Sus características más importantes son:

- Es un protocolo influenciado por países de la comunidad europea
- Comunicación estación maestra, RTU e IED
- Modo cliente/servidor
- Usa interfaz V24/V28 (RS-232)
- Hay comités de regulación para asegurar interoperabilidad
- Secuencia de estampa de tiempo de reporte de eventos
- Sincronización de tiempo
- Respuestas no solicitadas
- Prioridad de información
- Transporte de mensajes con protocolo TCP/IP
- Colección datos analógicos y digitales
- Emplea modelo OSI de tres capas

Este protocolo IEC 60870 considera las capas del modelo OSI.

Aplicación (usuario)	Funciones de aplicación IEC 60870-5-5
	Elementos de información IEC 60870-5-4
	Unidad de datos IEC 60870-5-3
Enlace	Enlace de transmisión IEC 60870-5-2
	Formato de transmisión IEC 60870 - 5-1
Física	Recomendaciones CCIT

Capas para el protocolo IEC 60870

Tabla 1.

Capa Física

La capa física es la encargada de transmitir los bits de información a través del medio utilizado para la transmisión. Se ocupa de las propiedades físicas y características eléctricas de los diversos componentes; de la velocidad de transmisión, si ésta es unidireccional o bidireccional (simplex, dúplex o full-duplex). También de aspectos mecánicos de las conexiones y terminales, incluyendo la interpretación de las señales eléctricas/electromagnéticas.

El tipo de transmisión que utiliza el protocolo IEC 870-5-101 entre ambas estaciones puede ser no balanceada o pseudo balanceada.

El tipo de transmisión no balanceado, es aquel en el cual existe una estación maestra, y la otra estación será esclava.

El tipo de transmisión pseudo balanceado, es aquel en el cual existe una estación maestra, y la otra estación será esclava, pero además, la estación esclava tiene un mecanismo de informar a la estación maestra, de que tiene cambios a enviar (Datos en la Cola con una prioridad más elevada, Datos de Clase 1), y que desea ser interrogada por ellos.

Capa de Enlace de Datos

La capa de enlace de datos se ocupa del direccionamiento físico, de la topología de la red, del acceso a la red, de la notificación de errores, de la distribución ordenada y estructuración de las tramas y del control del flujo.

Formato de la Trama

El formato de la trama, puede ser variable, entre 0 y 255 caracteres (octetos de información de usuario), o fijo. En las tablas 2 y 3, se muestran formatos de trama con longitud de bloque variable y fija, respectivamente.

START (68 H)
LONGITUD
LONGITUD (repetida)
START (68 H)
CAMPO CONTROL / CONTROL FIELD
CAMPO DIRECCION / ADDRESS FIELD
DATOS de APLICACION
APPLICATION
SERVICE
DATA
UNIT
CHECKSUM
END (16 H)

✓ 1 Octeto
 ✓ 2 Octetos

Formato de trama con longitud de bloque variable

Tabla 2.

START (10 H)
CAMPO CONTROL / CONTROL FIELD
CAMPO DIRECCION / ADDRESS FIELD
CHECKSUM
END (16 H)

✓ 1 Octeto
 ✓ 2 Octetos

START (A2 H) NACK

START (E5 H) ACK

Formato de trama con longitud de bloque fija

Tabla 3.

Cada carácter, está compuesto por: 1 bit “0” de inicio (start), 1 bit “1” de finalización (stop), 8 bit de datos y 1 bit “P” de paridad par. Cada trama tiene un “check sum” (suma de verificación) de 8 bit, módulo 256.

Dirección De Control.

La dirección de control es la que se utiliza para comunicar físicamente de la Estación Maestra a la Estación Esclava. El formato de la trama se muestra en la tabla 4.

START	68 H					
LONGITUD	1 - 255 (1 + N0 BYTES CAMPO DIRECCION + N0 BYTES ASDU)					
LONGITUD (repetida)	1 - 255 (1 + N0 BYTES CAMPO DIRECCION + N0 BYTES ASDU)					
START	68 H					
CAMPO CONTROL	RES=0	PRM=1	FCB	FCV	FUNCION	
CAMPO DIRECCION	1-255					✓ 1
	1-65.535					✓ 2
APPLICATION SERVICE DATA UNIT	DATOS APLICACION					
CHECKSUM	1-255					
END	16 H					

Dirección de Control

Tabla 4.

Dirección Monitor.

La dirección monitor es la que se utiliza para el envío de mensaje de la Estación Esclava a la Estación Maestra. El formato de la trama se indica en la tabla 5.

START	68 H					
LONGITUD	1 - 255 (1 + N0 BYTES CAMPO DIRECCION + N0 BYTES ASDU)					
LONGITUD	1 - 255 (1 + N0 BYTES CAMPO DIRECCION + N0 BYTES ASDU)					
START	68 H					
CAMPO CONTROL	RES=0	PRM=0	ACD	DFC	FUNCION	
CAMPO DIRECCION	1-255					✓ 1
	1-65.535					✓ 2
APPLICATION SERVICE DATA UNIT	DATOS APLICACION					
CHECKSUM	1-255					
END	16 H					

Dirección Monitor

Tabla 5.

Formato de los Campos.

Cada trama está constituida por diferentes campos, cada uno de estos presenta un formato diferente dependiendo de la función que desempeña.

Campo de Longitud

El campo de longitud tiene 8 bits y soporta datos de 1 a 255 estructurado de la siguiente manera:

$$\text{LONGITUD} = 1 (\text{CAMPO CONTROL}) + \text{N0 BYTES CAMPO DIRECCION} + \text{N0 BYTES ASDU}$$

Campo De Control (Control Field)

El campo de longitud está constituido por 8 bits y dependiendo del tipo de mensaje que se desea enviar tiene dos variantes, puede ser desde un primario a secundario o viceversa, para lo cual se distribuye de la siguiente manera:

De Primario a Secundario (PRM = 1)

	8	7	6	5	4	3	2	1
CAMPO CONTROL	RES	PRM 1	FCB	FCV	FUNCION			

Envío de mensajes de Primario a Secundario

Tabla 6.

RES	Reserva (Siempre igual a 0)	<0>	No hay cuenta
		<1>	Cuenta
PRM	Dirección Control		
<1>	Primario	FCV	Validez de la Cuenta de trama
<0>	Secundario		
FCB	Cuenta de Trama	<1>	Válido
		<0>	No Válido

FUNCIÓN Código de la Función (depende del tipo de Transmisión).

Los valores que puede tomar para cada tipo de transmisión son:

Transmisión No Balanceada

FUNCIÓN	TIPO TRAMA	SERVICIO de la FUNCIÓN	FCV	TIPO PETICION
0	SEND / CONFIRM	Reset del Enlace Remoto Reset of Remote Link	0	
1	SEND / CONFIRM	Reset de Aplicación Reset of User Proccess	0	
3	SEND / CONFIRM	Datos Usuario User Data	1	Ordenes y Acciones
9	REQUEST / RESPOND	Petición del Estado del Enlace Request Status of Link	0	
10	REQUEST / RESPOND	Petición Datos Usuario Clase 1 Request User Data Class 1	1	Petición Cambios
11	REQUEST / RESPOND	Petición Datos Usuario Clase 2 Request User Data Class 2	1	Petición Datos

Transmisión No Balanceada

Tabla 7.

Transmisión Pseudo Balanceada

FUNCIÓN	TIPO TRAMA	SERVICIO de la FUNCIÓN	FCV	TIPO PETICION
0	SEND / CONFIRM	Reset del Enlace Remoto Reset of Remote Link	0	
1	SEND / CONFIRM	Reset de Aplicación Reset of User Proccess	0	
3	SEND / CONFIRM	Datos Usuario User Data	1	Ordenes y Acciones
9	REQUEST / RESPOND	Petición del Estado del Enlace Request Status of Link	0	
10	REQUEST / RESPOND	Petición Datos Usuario Clase 1 Request User Data Class 1	1	Petición Cambios
11	REQUEST / RESPOND	Petición Datos Usuario Clase 2 Request User Data Class 2	1	Petición Datos

Transmisión Pseudo Balanceada

Tabla 8.

De Secundario a Primario (PRM = 0)

	8	7	6	5	4	3	2	1
CAMPO CONTROL	RES	PRM 0	ACD	DFC	FUNCION			

Envío de mensajes de Secundario a Primario**Tabla 9.**

RES	Reserva (Siempre a 0)	ACD	Demanda de Acceso
PRM	Dirección Control	<1>	Hay datos de Clase 1 pendientes.
<1>	Primario	<0>	No hay datos de Clase 1 pendientes.
<0>	Secundario	DFC	Control de flujo de datos
		<1>	El buffer de recepción está lleno.
		<0>	El buffer de recepción no está lleno.

Ya que el tipo de transmisión es no balanceado, el bit DFC siempre deberá venir a 0.

FUNCIÓN Código de la Función (depende del tipo de Transmisión).

En el siguiente esquema se observa los valores que puede tomar para cada tipo de transmisión.

Transmisión No Balanceada

FUNCION	TIPO TRAMA	SERVICIO de la FUNCION	TIPO PETICION
0	CONFIRM	ACK ACK: positive acknowledgement	Mensaje Aceptado
1	CONFIRM	NACK NACK: message not accepted, link busy	Mensaje No Aceptado
8	RESPOND	Datos Usuario User Data	
9	RESPOND	NACK: Datos Usuario no disponibles NACK: requested data not available	
11	RESPOND	Estado del Enlace Status of Link or access demand	

Transmisión No Balanceada**Tabla 10.****Transmisión Pseudo Balanceada**

FUNCION	TIPO TRAMA	SERVICIO de la FUNCION	TIPO PETICION
0	CONFIRM	ACK ACK: positive acknowledgement	Mensaje Aceptado
1	CONFIRM	NACK NACK: message not accepted, link busy	Mensaje No Aceptado
6	SEND / NO REPLY	Petición Espontaneo del Enlace	
8	RESPOND	Datos Usuario User Data	
9	RESPOND	NACK: Datos Usuario no disponibles NACK: requested data not available	
11	RESPOND	Estado del Enlace Status of Link or access demand	

Transmisión Pseudo Balanceada**Tabla 11.**

Campo de Dirección (Address Field)

Este campo no es más que la dirección de la estación remota o la estación esclava, el campo de dirección está constituido por ocho bits, y puede tomar valores de 1 a 255 por cada canal de comunicaciones.

Capa de Aplicación

Esta capa ofrece a las aplicaciones la posibilidad de acceder a los servicios de las demás capas y define los protocolos que utilizan las aplicaciones para intercambiar datos, en este caso el IEC 870-5-101.

Estructura del ASDU (Datos De Aplicación)

La estructura de los datos de aplicación es la siguiente:

ASDU APLICACION SERVICE DATA UNIT DATOS de APLICACIÓN			
DATA UNIT IDENTIFIER IDENTIFICACION DATOS UNITARIOS	DATA UNIT TYPE TIPO DATOS UNITARIOS	TYPE IDENTIFICATION IDENTIFICACION TIPO	
		VARIABLE STRUCTURE QUALIFIER CALIFICADOR de la ESTRUCTURA VARIABLE	
		CAUSE OF TRANSMISION CAUSA de la TRANSMISION	✓ 1 Octeto
		-----	✓ 2 Octetos
		COMMON ADDRES DIRECCION COMUN	✓ 1 Octeto
		-----	✓ 2 Octetos
		INFORMATION OBJECT ADDRES DIRECCION OBJETO de INFORMACION	✓ 1 Octeto
		-----	✓ 2 Octetos
INFORMATION OBJECT OBJETO de INFORMACION		-----	✓ 3 Octetos
		SET OF INFORMATION ELEMENTS SET de INFORMACION de ELEMENTOS	
		TIME TAG OF INFORMATION OBJECT TIEMPO del OBJETO de INFORMACION	

Tabla 12.

Definición General ASDU (Datos de Aplicación)

El ASDU (Unidad de Datos de los Servicios de Aplicación), o datos de aplicación es un bloque de datos que son enviados desde las UTR's hacia la estación principal, con datos específicos de la aplicación.

Identificación Tipo / Type Identification.

La siguiente lista especifica los posibles valores:

Información de Proceso Dirección Monitor

<1> Contacto Simple sin Hora	<15> Contador sin Hora
<2> Contacto Simple con Hora (CP24Time2a)	<16> Contador con Hora (CP24Time2a)
<3> Contacto Doble sin Hora	<30> Contacto Simple con Hora (CP56Time2a)
<4> Contacto Doble con Hora (CP24Time2a)	<31> Contacto Doble con Hora (CP56Time2a)
<7> Cadena de 32 bit sin Hora	<33> Cadena de 32 bit con Hora (CP56Time2a)
<8> Cadena de 32 bit con Hora (CP24Time2a)	<35> Medida Escalar con Hora (CP56Time2a)
<11> Medida Escalar sin Hora	<36> Medida en Coma Flotante con Hora (CP56Time2a)
<12> Medida Escalar con Hora (CP24Time2a)	<37> Contador con Hora (CP56Time2a)
<13> Medida en Coma Flotante sin Hora	
<14> Medida en Coma Flotante con Hora (CP24Time2a)	

Información de Proceso Dirección Control

<45> Mando Simple	<50> Consigna en Coma Flotante
<46> Mando Doble	<51> Cadena de 32 bit
<49> Consigna Escalar	

Información de Sistema Dirección Monitor

<70> Fin Inicialización

Información de Sistema Dirección Control

<100> Interrogación General

<103> Sincronización

<101> Interrogación Contadores

<104> Testeo

<102> Lectura

<105> Proceso de reinicio

Información de Parámetros Dirección Control

<111> Parámetros Medida Escalar

<112> Parámetros Medida en Coma Flotante

Transferencia de Ficheros

<120> Fichero Disponible

<123> Última Sección, Segmento

<121> Sección Disponible

<124> Reconocimiento Fichero, Sección

<122> Demanda Directorio, Fichero, Sección
y Selección Fichero

<125> Segmento

<126> Directorio

Protocolos

Son conjuntos de normas para el intercambio de información consensuadas por las partes comunicantes. En términos informáticos un protocolo es una normativa necesaria de actuación para que los datos enviados se reciban de forma adecuada, hay protocolos de muy diversos tipos.

Protocolo de control de transmisión/protocolo de inter-red (TCP/IP)

Es el protocolo estándar de comunicaciones de Internet, desarrollado por la DARP (Defense Advance Research Project Agency), que es el primer ambiente de red funcional de sistemas abiertos, formado por un conjunto de redes independientes interconectadas. Internet es una entidad cooperativa, ninguna organización controla a su operación.

La capa de transporte o transmisión control protocol (TCP) es un protocolo confiable orientado a la conexión que permite que una corriente de bytes originada en una máquina se entregue sin errores en otra máquina de la inter-red, este fragmenta la corriente de bytes en mensajes discretos y pasa cada uno a la capa de inter-red.

TCP/IP es un conjunto de protocolos que actúan de forma similar al de las cuatro primeras capas independientes del modelo OSI: la capa de acceso de red, la capa de Internet, la capa anfitrión -a-anfitrión y la capa de proceso. Cada capa consiste de un conjunto de tareas manejables e interrelacionadas y proveen servicio a las capas adyacentes.

La capa de acceso a red está relacionada con las tareas que posibilitan el intercambio de datos entre el anfitrión y la red a la cual se conecta y entre dos dispositivos de la misma red.

La capa Internet ejecuta las tareas que permiten que los datos se muevan de una red a otra, aun si las redes soportan medios de transmisión y tecnologías diferentes. Esta capa usa el protocolo IP y el protocolo de mensajes de control de Internet (ICMP).

La capa anfitrión -a- anfitrión hace las tareas que compensan la confiabilidad no tomadas en consideración por los servicios de la capa de Internet, usando el protocolo de control de transmisión (TCP) y el protocolo de datagrama de usuario (UDP).

La capa de proceso posibilita que los datos útiles sean intercambiados entre varias aplicaciones. Provee servicios de transferencia de archivos a través del protocolo de transferencia de archivos (FTP), de correo electrónico usando el protocolo de transferencia de correo (SMTP) y de entrada al sistema remota.

En el destino el proceso de TCP receptor re-ensambla los mensajes recibidos para formar la corriente de salida y se encarga del control de flujo para asegurar que un emisor rápido no pueda abrumar a un receptor lento con más mensajes de los que pueda manejar.

Las interfaces IP aseguran la gestión de los protocolos específicos a cada tipo de red física. Uno de los papeles que les incumbe es la fragmentación de los mensajes que se van a emitir, se

trata de dividir los mensajes para enviarlos mediante una trama física. El protocolo IP se utiliza para el intercambio de paquetes de información en modo no conectado, por tanto no garantiza la llegada correcta de los mensajes.

Esta funcionalidad se introduce mediante el protocolo TCP que es un protocolo orientado a conexión que ofrece un servicio seguro de transporte de información con octetos, que se emiten desde un lado de la conexión y se liberan en el mismo orden del otro lado de la conexión.

La ventana del servidor TCP/IP muestra el puerto por el cual se comunica con los clientes, el número de conexiones de clientes que se encuentran actualmente conectados (dos para cada cliente, lectura y escritura), el estado actual del servidor y una información adicional donde se muestra el VI y las señales de este que se están transfiriendo.

Esta última información ha sido utilizada sobre todo en tiempo de desarrollo del servidor, pero en tiempo de ejecución esta información no es muy útil, ya que es imposible ver cuándo se están transmitiendo datos debido a su velocidad, de todas maneras queda disponible en la ventana para que el usuario pueda ver en que consiste el servidor TCP/IP.

Estándar ISO/OSI

La Organización Internacional de Estándares (ISO), integrada por industrias representativas del medio, creó un subcomité para desarrollar estándares de comunicación de datos que promovieran la accesibilidad universal y una interoperabilidad entre productos de diferentes fabricantes.

El resultado de estos esfuerzos es el Modelo de Referencia Interconexión de Sistemas Abiertos (OSI). El Modelo OSI es un lineamiento funcional para tareas de comunicaciones. OSI nace de la necesidad de uniformizar los elementos que participan en la solución del problema de comunicación entre equipos de cómputo de diferentes fabricantes. Estos equipos presentan diferencias en:

- Procesador Central
- Velocidad
- Memoria
- Dispositivos de Almacenamiento
- Interfaces para Comunicaciones
- Códigos de Caracteres
- Sistemas Operativos

Estas diferencias propician que el problema de comunicación entre computadoras no tenga una solución simple. Dividiendo el problema general de la comunicación, en problemas específicos, facilitamos la obtención de una solución a dicho problema. Esta estrategia establece

importantes beneficios: mayor comprensión del problema. La solución de cada problema específico puede ser optimizada individualmente. Este modelo persigue un objetivo claro y bien definido: formalizar los diferentes niveles de interacción para la conexión de computadoras habilitando así la comunicación del sistema de cómputo independientemente del:

- Fabricante
- Arquitectura
- Localización
- Sistema Operativo

Este objetivo tiene las siguientes aplicaciones: obtener un modelo de referencia estructurado en varios niveles en los que se contemple desde el concepto bit hasta el concepto aplicación. Desarrollar un modelo en el cual cada nivel define un protocolo que realiza funciones específicas diseñadas para atender el protocolo de la capa superior. No especificar detalles de cada protocolo. Especificar la forma de diseñar familias de protocolos, esto es, definir las funciones que debe realizar cada capa.

Estructura del Modelo OSI de ISO

El objetivo perseguido por OSI establece una estructura que presenta las siguientes particularidades:

- **Estructura multinivel:** Se diseñó una estructura multinivel con la idea de que cada nivel se dedique a resolver una parte del problema de comunicación. Esto es, cada nivel ejecuta funciones específicas.
- **El nivel superior utiliza los servicios de los niveles inferiores:** Cada nivel se comunica con su similar en otras computadoras, pero debe hacerlo enviando un mensaje a través de los niveles inferiores en la misma computadora. La comunicación entre los diferentes niveles está bien definida. El nivel N utiliza los servicios del nivel N-1 y proporciona servicios al nivel N+1.
- **Puntos de acceso:** Entre los diferentes niveles existen interfaces llamadas "puntos de acceso" a los servicios.
- **Dependencias de Niveles:** Cada nivel es dependiente del nivel inferior y también del superior.
- **Encabezados:** En cada nivel, se incorpora al mensaje un formato de control. Este elemento de control permite que un nivel en la computadora receptora se entere de

que su similar en la computadora emisora está enviándole información. Cualquier nivel dado, puede incorporar un encabezado al mensaje. Por esta razón, se considera que un mensaje está constituido de dos partes: Encabezado e Información. Entonces, la incorporación de encabezados es necesaria aunque representa un lote extra de información, lo que implica que un mensaje corto pueda ser voluminoso. Sin embargo, como la computadora destino retira los encabezados en orden inverso a como fueron incorporados en la computadora origen, finalmente el usuario sólo recibe el mensaje original.

- **Unidades de información:** En cada nivel, la unidad de información tiene diferente nombre y estructura.

Niveles del Modelo OSI

Son 7 los niveles OSI que a continuación se detallan:

- **Nivel Físico:** Define el medio de comunicación utilizado para la transferencia de información, dispone del control de este medio y especifica bits de control, mediante:
 - Definir conexiones físicas entre computadoras.
 - Describir el aspecto mecánico de la interface física.
 - Describir el aspecto eléctrico de la interface física.
 - Describir el aspecto funcional de la interface física.
 - Definir la Técnica de Transmisión.
 - Definir el Tipo de Transmisión.
 - Definir la Codificación de Línea.
 - Definir la Velocidad de Transmisión.
 - Definir el Modo de Operación de la Línea de Datos.
- **Nivel Enlace de Datos:** Este nivel proporciona facilidades para la transmisión de bloques de datos entre dos estaciones de red. Esto es, organiza los 1's y los 0's del Nivel Físico en formatos o grupos lógicos de información. Para:
 - Detectar errores en el nivel físico.
 - Establecer esquema de detección de errores para las retransmisiones o reconfiguraciones de la red.
 - Establecer el método de acceso que la computadora debe seguir para transmitir y recibir mensajes. Realizar la transferencia de datos a través del enlace físico.

- Enviar bloques de datos con el control necesario para la sincronía. ○ En general controla el nivel y es la interfaces con el nivel de red, al comunicarle a este una transmisión libre de errores.
- **Nivel de Red:** Este nivel define el enrutamiento y el envío de paquetes entre redes.
 - Es responsabilidad de este nivel establecer, mantener y terminar las conexiones.
 - Este nivel proporciona el enrutamiento de mensajes, determinando si un mensaje en particular deberá enviarse al nivel 4 (Nivel de Transporte) o bien al nivel 2 (Enlace de datos).
 - Este nivel conmuta, enruta y controla la congestión de los paquetes de información en una sub-red.
 - Define el estado de los mensajes que se envían a nodos de la red.
- **Nivel de Transporte:** Este nivel actúa como un puente entre los tres niveles inferiores totalmente orientados a las comunicaciones y los tres niveles superiores totalmente orientados al procesamiento. Además, garantiza una entrega confiable de la información.
 - Asegura que la llegada de datos del nivel de red encuentra las características de transmisión y calidad de servicio requerido por el nivel 5 (Sesión).
 - Este nivel define como direccionar la localidad física de los dispositivos de la red.
 - Asigna una dirección única de transporte a cada usuario.
 - Define una posible multicanalización. Esto es, puede soportar múltiples conexiones.
 - Define la manera de habilitar y deshabilitar las conexiones entre los nodos.
 - Determina el protocolo que garantiza el envío del mensaje.
 - Establece la transparencia de datos así como la confiabilidad en la transferencia de información entre dos sistemas.
- **Nivel Sesión:** Proveer los servicios utilizados para la organización y sincronización del diálogo entre usuarios y el manejo e intercambio de datos.
 - Establece el inicio y termino de la sesión.
 - Recuperación de la sesión.
 - Control del diálogo; establece el orden en que los mensajes deben fluir entre usuarios finales.
 - Referencia a los dispositivos por nombre y no por dirección.
 - Permite escribir programas que correrán en cualquier instalación de red.

- **Nivel Presentación:** Traduce el formato y asignan una sintaxis a los datos para su transmisión en la red.
 - Determina la forma de presentación de los datos sin preocuparse de su significado o semántica.
 - Establece independencia a los procesos de aplicación considerando las diferencias en la representación de datos.
 - Proporciona servicios para el nivel de aplicaciones al interpretar el significado de los datos intercambiados.
 - Opera el intercambio.
 - Opera la visualización.

- **Nivel Aplicación:** Proporciona servicios al usuario del Modelo OSI.
 - Proporciona comunicación entre dos procesos de aplicación, tales como: programas de aplicación, aplicaciones de red.
 - Proporciona aspectos de comunicaciones para aplicaciones específicas entre usuarios de redes: manejo de la red, protocolos de transferencias de archivos (ftp).

Estándar IEEE 802.X

Los dos niveles inferiores del modelo OSI están relacionados con el hardware: la tarjeta de red y el cableado de la red.

Para avanzar más en el refinamiento de los requerimientos de hardware que operan dentro de estos niveles, el IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) ha desarrollado mejoras específicas para diferentes tarjetas de red y cableado. De forma colectiva, estos refinamientos se conocen como proyecto 802.

El modelo del proyecto 802

Cuando comenzaron a aparecer las primeras redes de área local (LAN, Local Area Networks) como herramientas potenciales de empresa a finales de los setenta, el IEEE observó que era necesario definir ciertos estándares para redes de área local. Para conseguir esta tarea, el IEEE emprendió que se conoce como proyecto 802, debido al año al mes de comienzo (febrero de 1980).

Aunque los estándares IEEE 802 publicados realmente son anteriores a los estándares ISO, ambos estaban en desarrollo aproximadamente al mismo tiempo y compartiendo información lo que concluyó con la creación de dos modelos compatibles. El proyecto 802 define estándares de redes para las componentes físicas de una red (la tarjeta de red y el cableado) que se corresponden con los niveles físicos y de enlace de datos del modelo OSI.

Las especificaciones 802 definen estándares para: • Tarjetas de red (NIC).

- Componentes de redes de área global (WAN, Wide Área Networks).
- Componentes utilizadas para crear redes de cable coaxial y de par trenzado.

Las especificaciones 802 definen la forma en que las tarjetas de red acceden y transfieren datos sobre el medio físico. Estas incluyen conexión, mantenimiento y desconexión de dispositivos de red.

La selección del protocolo a ejecutar en el nivel de enlace de datos es la decisión más importante que se debe tomar cuando se diseña una red de área local (LAN). Este protocolo define la velocidad de la red, el modo utilizado para acceder a la red física, los tipos de cables que se pueden utilizar y las tarjetas de red y dispositivos que se instalan.

Categorías de IEEE 802

Los estándares de redes de área local definidos por los comités 802 se clasifican en 16 categorías que se pueden identificar en la Tabla siguiente:

ESPECIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN
802.1	Establece los estándares de interconexión relacionados con la gestión de redes.
802.2	Define el estándar general para el nivel de enlace de datos. El IEEE divide este nivel en dos subniveles: los niveles LLC y MAC. El nivel MAC varía en función de los diferentes tipos de red y está definido por el estándar IEEE 802.3.
802.3	Define el nivel MAC para redes de bus que utilizan Acceso múltiple por detección de portadora con detección de colisiones (CSMA/CD, Carrier-Sense Multiple Access with Collision Detection). Actualmente es el estándar de Ethernet.
802.4	Define el nivel MAC para redes de bus que utilizan un mecanismo de paso de testigo (red de área local Token Bus).
802.5	Define el nivel MAC para redes Token Ring (red de área local Token Ring).
802.6	Establece estándares para redes de área metropolitana (MAN, Metropolitan Area Networks), que son redes de datos diseñadas para poblaciones o ciudades. En términos de extensión geográfica, las redes de área metropolitana (MAN) son más grandes que las redes de área local (LAN), pero más pequeñas que las redes de área global (WAN). Las redes de área metropolitana (MAN) se caracterizan, normalmente, por conexiones de muy alta velocidad utilizando cables de fibra óptica u otro medio digital.
802.7	Utilizada por el grupo asesor técnico de banda ancha (Broadband Technical Advisory Group).
802.8	Utilizada por el grupo asesor técnico de fibra óptica (Fiber-Optic Technical Advisory Group).
802.9	Define las redes integradas de voz y datos.

802.10	Define la seguridad de las redes.
802.11	Define los estándares de redes sin cable.
802.11b	Ratificado el 16 de Septiembre de 1.999, proporciona el espaldarazo definitivo a la normativa estándar inicial, ya que permite operar a velocidades de 11 Mbps y resuelve carencias técnicas relativas a la falta de itinerancia, seguridad, escalabilidad, y gestión, existentes hasta ahora.
802.12	Define el acceso con prioridad por demanda (Demand Priority Access) a una LAN, 100BaseVG-AnyLAN.
802.13	No utilizada.
802.14	Define los estándares por cable.
802.15	Define las redes de área personal sin cable (WPAN, Wireless Personal Area Networks).
802.16	Define los estándares sin cable de banda ancha.

Tabla 13.

Los dos niveles inferiores del modelo OSI, el nivel físico y el nivel de enlace de datos, definen la forma en que múltiples equipos pueden utilizar la red simultáneamente sin que exista interferencia entre ellas. El proyecto IEEE 802 incorpora sus especificaciones a esos dos niveles para crear estándares que tengan definidos los entornos LAN dominantes.

Mientras que en las redes de conmutación dos estaciones podían acceder en un momento dado al medio físico, lo que era fácilmente controlable por los protocolos de control de enlace, en las redes de área local (como lo son las redes de difusión son varias las estaciones que en un momento dado pueden acceder al medio físico en un mismo momento, complicando considerablemente los procedimientos de control de ese procesos. Tras la decisión de que se necesitaban más detalles en el nivel de enlace de datos, el comité de estándares 802 dividió el nivel de enlace de datos en dos subniveles:

- Control de enlace lógico (LLC, Logical Link Control). Establece y finaliza los enlaces, controla el tráfico de tramas, secuencia las tramas y confirma la recepción de las mismas. La categoría 802.2 define estos estándares.
- Control de acceso al medio (MAC, Media Access Control). Gestiona el acceso al medio, delimita las tramas, comprueba los errores de las tramas y reconoce las direcciones de las tramas. Las categorías 802.3, 802.4, 802.5 y 802.12 definen estándares tanto para este subnivel como para el nivel 1 del modelo OSI, el nivel físico.

Bibliografía

GOMEZ EXPOSITO, A., ABUR A., ALVARADO F.L. (2002): Análisis y operación de sistemas de energía eléctrica, Mc Graw Hill.

JOHN J. GRAINGER, WILLIAM D. STEVENSON (1996): Análisis de sistemas de potencia. McGraw Hill/Interamericana de México.

GONEN T. (1986): Ingeniería de Sistemas de Distribución Eléctrica. Mc Graw Hill.

HERNÁNDEZ-VELILLA, A. (2000): El desarrollo de una catenaria de alta velocidad. Heliatom.

ORTUÑO J., MONTESINOS Y SUAREZ M., CARMONA (2002): Tecnología de catenaria, Mantenimiento de Infraestructura RENFE.

Especificación técnica: “Para el suministro de hilo de contacto ranurado para línea de contacto”. Abril, 1995.

Industrielle de controle et d’équipement: “Estudio de las protecciones ferroviarias de la línea Cuautitlán-Buenavista”.

PEÑA HERRERA, Marcos F. (2010): Electrificación Ferroviaria, Calidad de la Energía y Mejora Mediante SVC’s Tesis, México.

General Electric – Harris (2000): “Utility Automation Solutions, Energy Control Systems”, Estados Unidos.

Engler, F. ABB (1998): “Mando inteligente de subestaciones, vigilancia y diagnóstico en instalaciones de alta tensión”, ABB 3, Estados Unidos.

TANENBAUM, A. (1996): Sistemas operativos distribuidos. Prentice Hall Hispanoamérica, México.

ENRÍQUEZ, G. (1982): Elementos de diseño de subestaciones eléctricas. Limusa, México.

Secretaria de Comunicaciones y Transporte: “Proyecto ejecutivo energía y catenaria”

SHAHIDEHPOUR, M. y WANG, Y. (2003): Communication and Control in Electric Power Systems. Wiley-IEEE Press-

Lars Nordström Göran Ericsson: “A Broadband Wide Area Network as an Enabler of Improved Power System Maintenance”. IEEE transactions on power delivery, pp 108-112. 2006.

R. H. McClanahan (2003): SCADA and IP: “is network convergence really here?” IEEE Industry Applications Magazine, vol. 9, no. 2, pp. 29-36, March-April 2003.

ANÁLISIS, OPTIMIZACIÓN Y PROPUESTA DE MEJORA DEL SISTEMA DE TELEMANDO Y CONTROL (SCADA) PARA EL SUMINISTRO DE ENERGÍA DEL FERROCARRIL SUBURBANO DEL VALLE DE MÉXICO

IEC 60870-5-101: "Telecontrol Equipment and Systems–Part 5–101: Transmission Protocols-Companion Standard for Basic Telecontrol Tasks". Febrero 2003.

IEC 60870-5-104: "Telecontrol Equipment and Systems–Part 5–104: Transmission Protocols-Network Access for IEC 60870-5-101 Using Standard Transport Profiles". Junio 2006.

JACQUES S., Gansler y HANS, Binnendijk (2004): Information Assurance Trends in Vulnerabilities, Threats, and Technologies. National Defense University Center for Technology and National Security Policy. Washington.

UNE-EN 50126: Aplicaciones Ferroviarias. Especificación y demostración de la fiabilidad, la disponibilidad, la mantenibilidad y la seguridad (RAMS). Parte 1: Requisitos básicos y procesos genéricos. 2005.

UNE-EN 50128: Aplicaciones Ferroviarias. Sistemas de comunicación, señalización y procesamiento. Software para sistemas de control y protección de ferrocarril.