

SISTEMA INTEGRAL PARA LA EXPLOTACIÓN Y LA SEGURIDAD DE TÚNELES EXPERIENCIAS DEL GRUPO ETRA

Vicente Sebastián Alapont
GRUPO ETRA

Introducción

La gestión de la seguridad vial en los túneles tiene implicaciones tanto en las etapas constructivas como en las de explotación y conservación.

El sistema SIVA-TUN, desarrollado por el Grupo ETRA, constituye una herramienta avanzada de ayuda a la explotación y gestión de la seguridad en los túneles, incorporando algoritmos avanzados para la gestión y actuación de los sistemas de seguridad en caso de incidente.

Dada la importancia de detectar y clasificar los incidentes en el menor periodo de tiempo posible, este sistema utiliza la información proveniente de varios de los sistemas de seguridad de forma que se dispone de información redundante y a su vez complementaria que incrementa la fiabilidad del sistema.

Este procedimiento se utiliza por ejemplo en la detección de incendios en el interior del túnel, en el que la información que aporta el sistema de detección lineal se complementa con la información procedente de los sensores de tráfico y del Sistema DAI para determinar con mayor exactitud el lugar donde se ha producido el fuego.

Con estos datos y la información relativa a la velocidad del viento en el túnel, el sistema propone al operador el plan de ventilación/extracción para su ejecución.

La formación del operador en estas situaciones es un factor crítico, ya que debe tomar decisiones de forma rápida que van a tener impacto directo en la resolución y alcance del incidente. Con el fin de preparar a los operadores para enfrentarse a estas situaciones de emergencia, el sistema SIVA_TUN incorpora una herramienta de formación basada en la simulación de escenarios. Con ella, el instructor puede definir escenarios de incidentes que el operador deberá resolver utilizando el mismo interfaz gráfico del sistema de control que utiliza habitualmente, con lo que se consigue un doble objetivo, formar al operador en casos de incidentes y en el uso de la aplicación de gestión en situaciones de emergencia.

2. Descripción general

El sistema SIVA-TUN de ETRA, permite integrar todos los elementos que intervienen en la Seguridad, Señalización y Control de un túnel y establecidos en el REAL DECRETO 635/2006, de 26 de mayo, sobre requisitos mínimos de seguridad en los túneles de carreteras del Estado, facilitando al usuario del sistema la monitorización y operación del mismo, y realizando funciones de apoyo a la explotación mediante la ejecución de planes predefinidos de actuación ante incidencias en base a lo especificado en el Plan de explotación del túnel.

El sistema SIVA-TUN aporta a la explotación y seguridad del túnel los siguientes aspectos básicos:

- Engloba todo el control del túnel en una aplicación única, que facilita al operador la gestión integral de todos los subsistemas que forman parte de la instalación.
- Realiza un control sobre el conjunto de equipos instalados en el túnel y su entorno con el fin primordial de garantizar la seguridad y comodidad de sus usuarios, ya sean éstos los automovilistas que circulan por el mismo o personal de mantenimiento de la instalación.
- Constituye una herramienta de apoyo a la operación, mediante la generación de alarmas automáticas ante incidencias, y la ayuda al establecimiento de estrategias de actuación por parte del operador.
- Permite a los operadores del sistema de control explotar estadísticamente los datos de tráfico, meteorológicos y ambientales recopilados diariamente por el sistema, con el fin de conocer el volumen y composición del tráfico que circula en diferentes puntos de la vía a diferentes horas del día,

así como estudiar la repercusión de las condiciones climatológicas y ambientales sobre el comportamiento del tráfico.

El SIVA-TUN permite realizar desde el control de un túnel pequeño hasta la gestión de varios túneles altamente equipados gracias a la flexibilidad y escalabilidad con la que ha sido concebido.

El diseño de la arquitectura del sistema y su versatilidad en cuanto a los sistemas de comunicaciones soportados, garantizan una capacidad en número de equipos prácticamente ilimitada. El sistema soporta desde arquitecturas de redes simples hasta redes completamente redundantes en todos sus componentes.

3. Funciones principales

Las funciones principales del SIVA_TUN quedan englobadas en los siguientes puntos:

1. Monitorización y el control del equipamiento en túneles y sus accesos.

El SIVA_TUN realiza la monitorización y el control del equipamiento en túneles y sus accesos, integrando en una única aplicación los sistemas de control de tráfico, detección de incidentes, control de la ventilación (algoritmos de ventilación) y detección de incendios para una gestión global del túnel.

2. Control en tiempo real y de manera continua de los parámetros medidos por los equipos de toma de datos del túnel.

El sistema permite controlar en tiempo real y de manera continua los parámetros medidos por los equipos de toma de datos del túnel (de tráfico, ambientales, meteorológicos, etc), proporcionando al operador una visión global del estado actual del túnel, que le permita intervenir sobre los elementos actuadores del mismo en caso necesario.

3. Generación de alarmas

Las medidas proporcionadas por los elementos de los distintos subsistemas del túnel son parametrizadas de manera que generen alarmas en situaciones de emergencia, avisando al operador de una situación anormal.

4. Apoyo al operador en la toma de decisiones y explotación del sistema

El SIVA-TUN, además de ser una herramienta de monitorización y control de un túnel, ha sido concebido para constituir un apoyo fundamental en la toma de decisiones y la explotación del sistema para el operador del mismo.

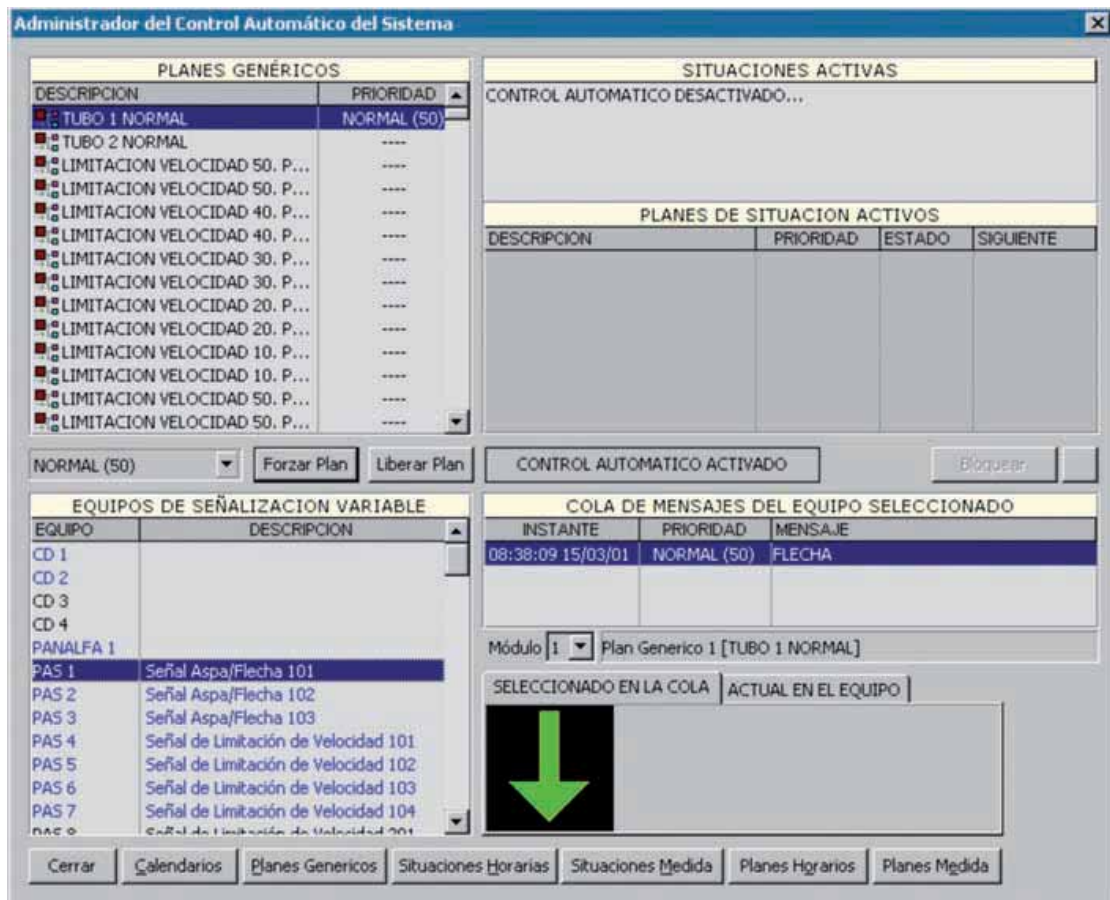


Ilustración 1: Evolución de la legislación de seguridad en túneles

Ante una situación de emergencia, es probable que el estado de tensión al que se enfrenta el operador del sistema, le impida discernir con claridad cuál es la mejor opción a ejecutar en ese momento. La rapidez de actuación, tanto para detectar como para establecer una estrategia de actuación ante una incidencia, es fundamental para la resolución de la misma manteniendo la seguridad de los usuarios del túnel. El SIVA-TUN es una herramienta fundamental para la seguridad en este sentido por dos razones fundamentales:

- La integración de todos los sistemas del túnel en una única aplicación facilita la detección, localización y confirmación de una incidencia en el túnel con mayor rapidez y seguridad.
- La definición de planes de actuación ante incidencias permite al operador ejecutar con celeridad las acciones necesarias encaminadas a mantener la seguridad de los usuarios del túnel y reducir el riesgo en el mismo. El establecimiento de la estrategia de ventilación correcta, el cierre controlado del túnel y la comunicación con el usuario mediante señalización adecuada son ejemplos de acciones a ejecutar por el operador de manera rápida y eficaz que pueden automatizarse con ayuda de esta herramienta.

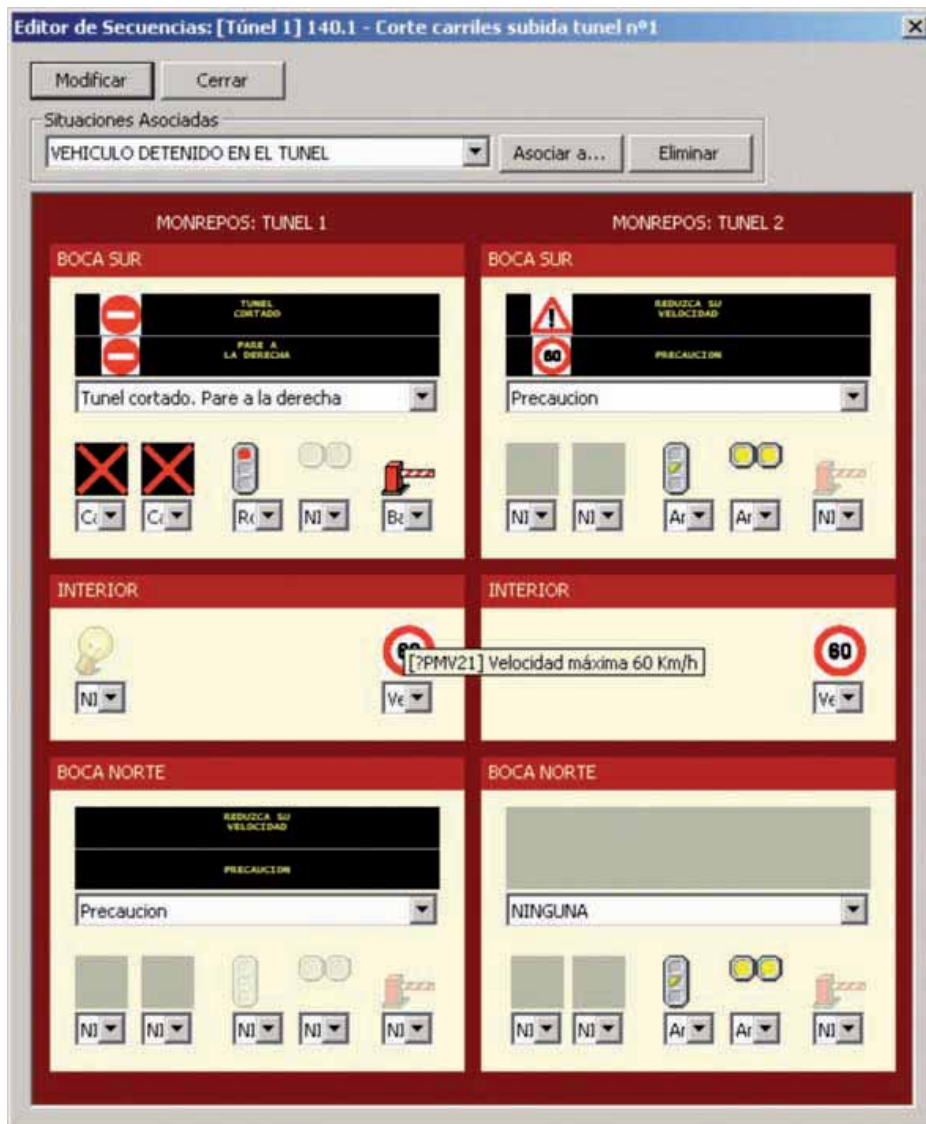


Figura 2. Diálogo del Diseñador Gráfico de Planes

5. Generación de Informes y estadísticas

El SIVA-TUN permite a los operadores del sistema de control explotar estadísticamente los datos de tráfico, meteorológicos y ambientales recopilados diariamente por el sistema, con el fin de conocer el volumen y composición del tráfico que circula en diferentes puntos de la vía a diferentes horas del día, así como estudiar la repercusión de las condiciones climatológicas y ambientales sobre el comportamiento del tráfico.

La aplicación de Generación de Informes permite obtener informes a partir de datos de tráfico, datos de meteorología, datos ambientales y datos de E/S Analógicas. La información se presenta ordenada en tablas y gráficas.

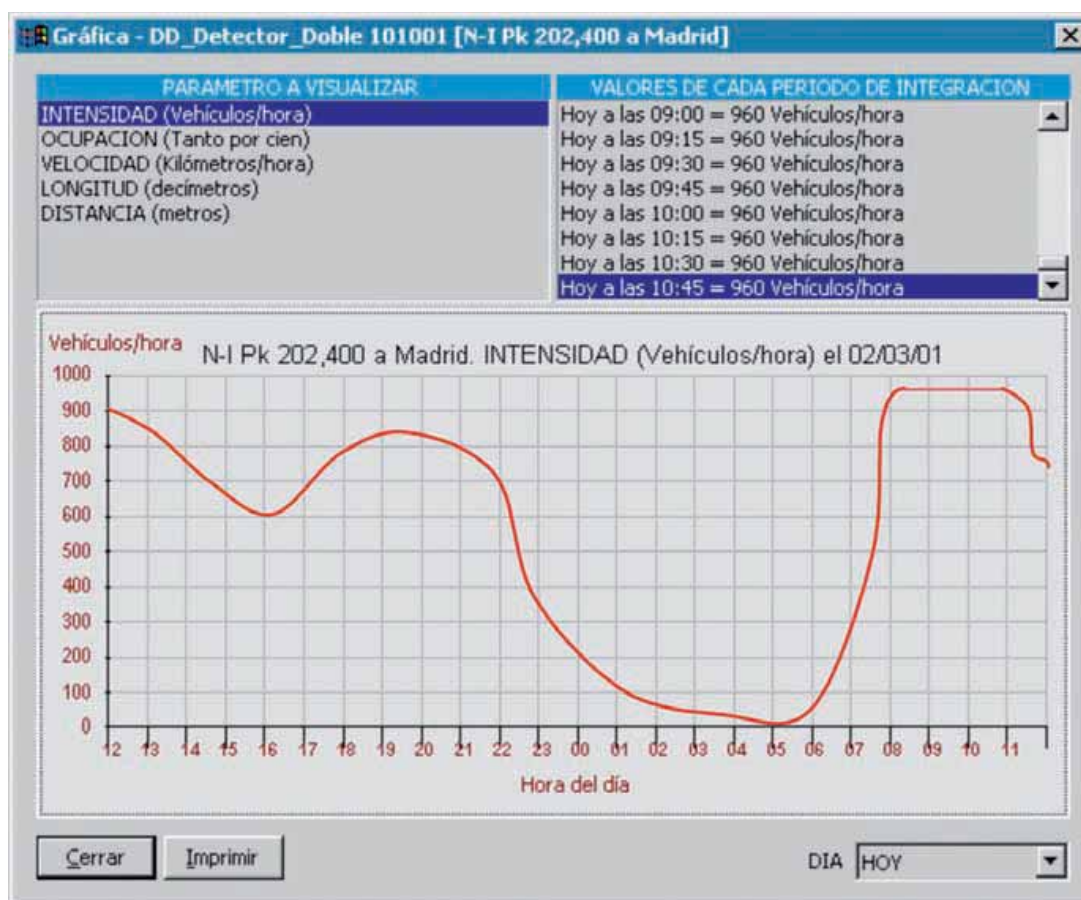


Figura 3. Diálogo Gráfica de 24 horas de Detectores Normalizados

De cara a un mejor control de la explotación del túnel, el SIVA-TUN almacena históricos del sistema con el objetivo de ofrecer al explotador una visión cronológica de las actuaciones e incidencias ocurridas en distintas condiciones, que le permitan analizar situaciones determinadas.

4. Arquitectura

La arquitectura del SIVA_TUN está compuesta físicamente por un conjunto de equipos, parte de ellos en la sala de control y parte en la instalación del túnel.

La arquitectura del sistema se caracteriza por la flexibilidad y escalabilidad de su configuración. El objetivo es establecer un intercambio de información entre el usuario del túnel, los sistemas del mismo y el operador del túnel, de manera que este último disponga de información clara en tiempo real de las condiciones de explotación del túnel, y pueda proporcionar indicaciones precisas al usuario en caso de incidencia.

En la figura siguiente se muestra un esquema básico del flujo de información existente en el túnel.

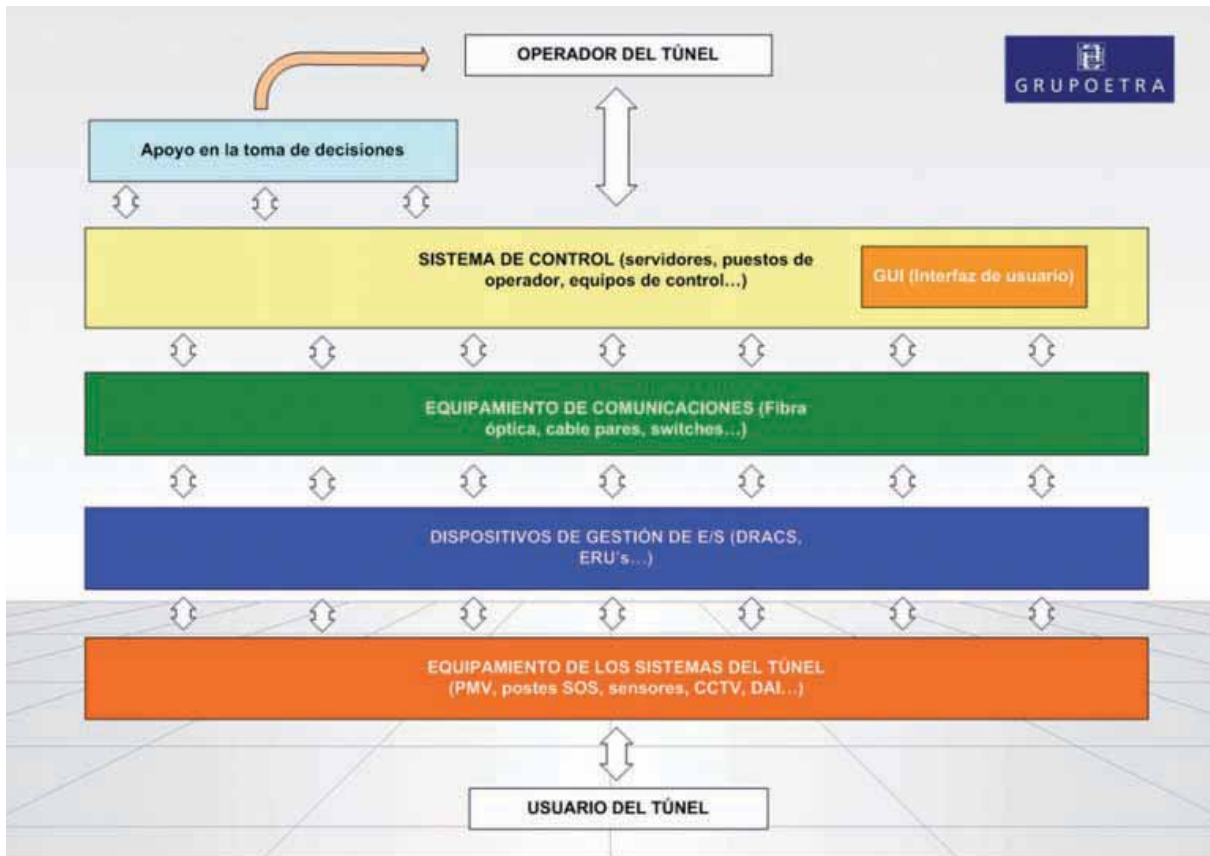


Figura 4. Flujo de información en un túnel

4.1. Modelo del túnel

El SIVA-TUN permite definir un modelo de túnel a partir de los dispositivos y sistemas instalados para su explotación. Para cada equipo se definen los parámetros con los que va a “interactuar” con el sistema, por ejemplo los rangos de valores que pueden alcanzar las señales eléctricas de entrada o salida del dispositivo. El sistema tiene predefinida una extensa lista de dispositivos para los distintos subsistemas a controlar, de manera que el proceso de implantación del sistema en un nuevo túnel es rápido y sencillo utilizando las herramientas de configuración de la aplicación.

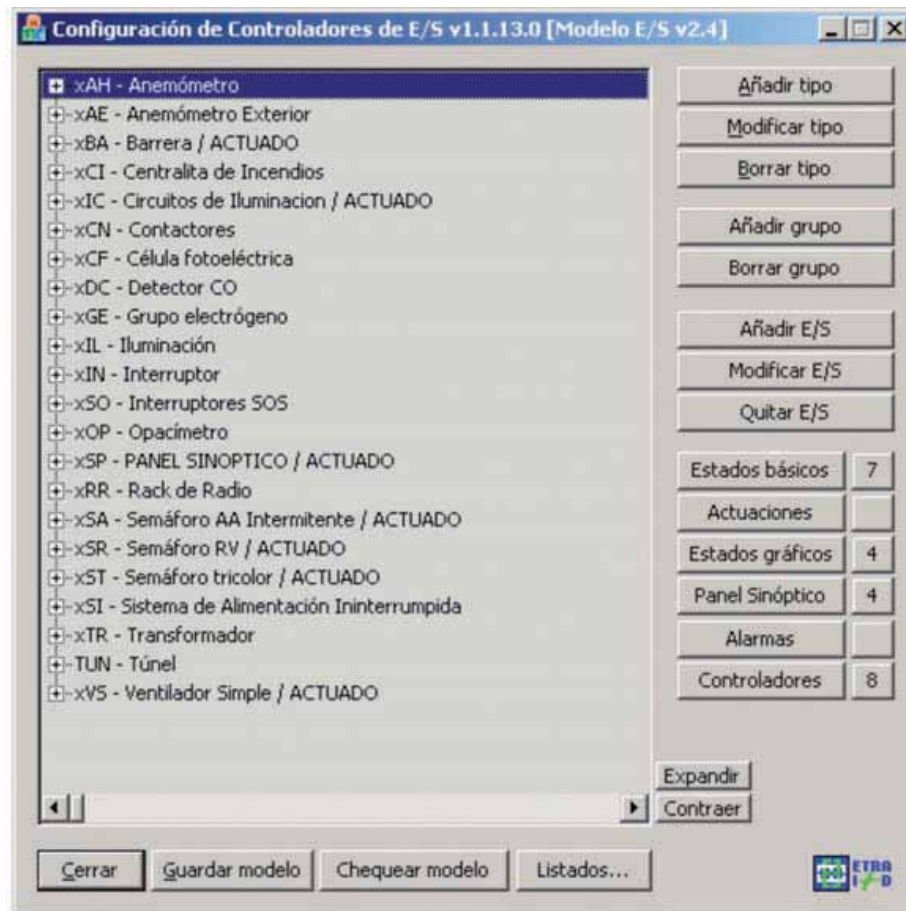


Figura 5. Herramienta de configuración del modelo de túnel.

4.2. Equipamiento distribuido en túnel

El SIVA-TUN puede manejar multitud de equipos en un túnel siendo el principal la ERU (Estación Remota Universal). La ERU es capaz de gestionar una gran cantidad de entradas digitales y analógicas y salidas digitales procedentes directamente de los equipos de campo o incluso de PLC con funcionalidades específicas.

Para optimizar la instalación, pueden conectarse a las ERU otros equipos denominados DRAC (Dispositivo Remoto de Adquisición y Control). Cada DRAC dispone de un conjunto de entradas y salidas y se conecta a un equipo ERU mediante fibra óptica o cable de pares. La ERU consulta la información de entradas y aplica comandos de control a través de las salidas de los equipos DRAC. Esta arquitectura es modular y fácilmente ampliable.

Además de la gestión de entradas y salidas, el equipo ERU maneja equipos de toma de datos, estaciones meteorológicas y paneles de mensaje variable. La comunicación con el centro de control se realiza mediante protocolo TCP/IP.

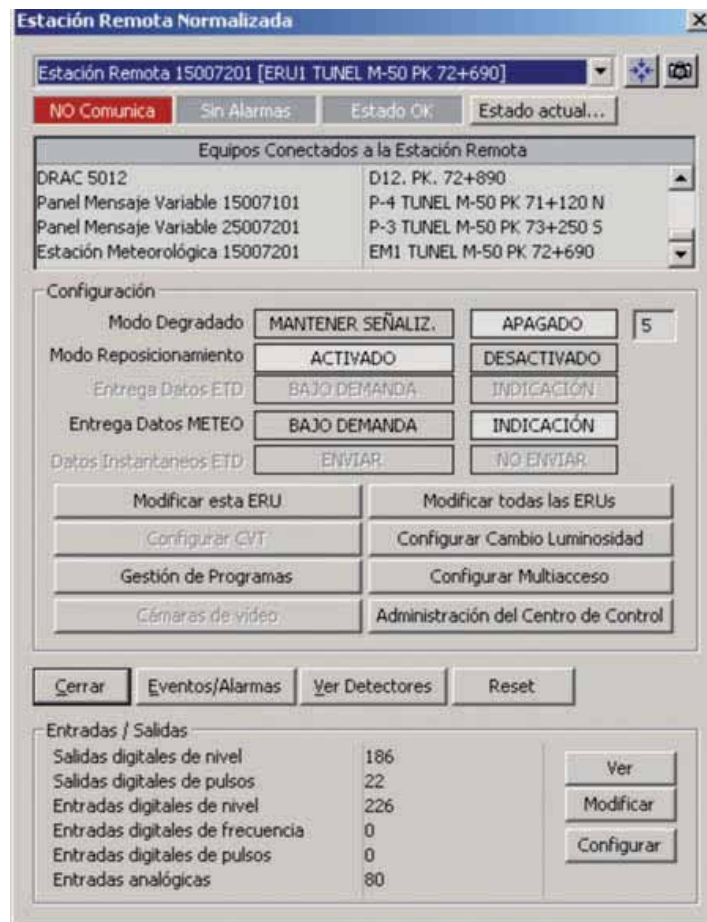


Figura 6. Diálogo de la Estación Remota Normalizada

Es importante resaltar que los equipos ERU son capaces de ejecutar programas locales que se pueden poner en marcha cuando se detecta una pérdida de conexión con el centro de control. Esto permite el control cuando hay dificultades en la comunicación o el centro de control tiene algún problema.

Para una total disponibilidad de los equipos de control se ha desarrollado un equipo ERU dual, el cual está formado por dos equipos ERU conectados entre sí. Desde el centro de control se ven como un único equipo, pero a nivel operativo permiten mantener un nivel de funcionamiento continuado aún en el caso de fallo de alguno de los equipos ERU individuales.

4.3. Comunicaciones

El SIVA-TUN acepta distintas arquitecturas de comunicaciones, pudiendo conectarse los equipos en red RS-422 punto a punto, en red Ethernet/IP, admitiendo cable de pares, fibra óptica y redes GIGABIT. El SIVA_TUN se adapta al sistema empleado seleccionando las velocidades y el soporte de las mismas en función de los

elementos de control e información, de las necesidades y de las funciones que se precisen.

La seguridad en el sistema de comunicaciones está garantizada y permite redes abiertas o en anillo, configuradas para disponer de redundancia.

De idéntica forma se pueden utilizar redes inalámbricas privadas o públicas como WIFI, WIMAX, GPRS y redes cableadas soportadas por operadores públicos: INTERNET, ADSL, VPN, etc.

4.4. Configuraciones del Sistema

Es posible establecer diferentes configuraciones del SIVA-TUN que le proporcionan funcionalidades adicionales. Entre estas configuraciones se pueden destacar:

- Sistemas Redundantes.
- Sistemas Multicentros.

4.4.1. Sistemas Redundantes

Se puede disponer de distintas forma de redundancia en el sistema para aumentar la fiabilidad. Se pueden destacar:

- Servidor del sistema redundante por hardware (Múltiple CPU, Disco compartido, fuente redundante, etc.).
- Sistema de control rearrancable en un servidor de reserva o puesto de operación en sala de control.
- Sistema de control redundante situado en subred local.
- Comunicaciones con las ERU's redundantes (2 tarjetas Ethernet, etc.).
- Comunicaciones de reserva con las ERU's (RDSI, GSM).
- Comunicaciones de reserva con los sistemas de control locales (RDSI, GSM).

4.4.2. Sistemas Multicentros

La arquitectura distribuida del SIVA_TUN permite disponer para un sistema de control de diversos centros de control para toda la instalación o parte de la instalación.

Si se desea se puede establecer una jerarquía de control en la que se dispone de un Sistema de control en el Centro de Control y de un Sistema gestionando distintas subredes de ERU's localmente. Para ello se recurre a la capacidad Multiacceso de la ERU.

5. Gestión de los sistemas del túnel

El SIVA-TUN es capaz de gestionar todos los subsistemas que forman parte del túnel, ofreciendo de esta manera un control global del túnel en una única aplicación de control.

A continuación se realiza una breve descripción de la gestión realizada en cada uno de estos subsistemas:

Control del Sistema de energía

Gracias a la arquitectura distribuida del sistema, el SIVA-TUN es capaz de integrar como entradas del sistema las señales proporcionadas por equipos pertenecientes al sistema de Control de energía, como transformadores, generadores, SAI's e interruptores automáticos, proporcionando así información completa sobre el estado del sistema de energía eléctrica del túnel.

Por otra parte, es posible asimismo telemandar interruptores automáticos que dispongan de esta funcionalidad a través de salidas digitales del sistema.

Control de la iluminación

El sistema integra la gestión del alumbrado de las instalaciones del túnel. Para ello, permite monitorizar la información de los reguladores de alumbrado instalados, así como realizar automáticamente informes de funcionamiento de los equipos.

Integrando la entrada captada por un luminancímetro, el SIVA-TUN es capaz de regular la iluminación en el interior del túnel para condiciones de visibilidad óptimas en cada tramo del túnel.

Control de la ventilación

El SIVA-TUN es capaz de realizar un control automático de la ventilación en túneles, tanto en condiciones de servicio como en condiciones de incendio. En condiciones normales el sistema adoptará un algoritmo de ventilación en servicio, pasando a ejecutarse un algoritmo de ventilación en incendio, en caso de que éste sea detectado, ubicado y validado por el operador del sistema.

Dependiendo del tipo de ventilación seleccionada (que se adapte convenientemente a las características particulares del túnel), es posible establecer una estrategia de ventilación optimizada, accionando individualmente los ventiladores existentes en la instalación, y tomando como referencia las medidas ambientales obtenidas. Estas

medidas proporcionan información sobre las condiciones ambientales en tiempo real del túnel, que deberán ser mantenidas por encima de los niveles de salubridad mínimos exigidos según normativa. Se trata de:

- Concentración de Monóxido de Carbono (CO).
- Concentración de Dióxido de Nitrógeno (NO₂).
- Opacidad.

Asimismo, para el control de la velocidad del aire ejercido por el sistema de ventilación, es importante conocer los valores de la velocidad del aire en el interior y exterior del túnel. Para ello se utilizarán las medidas proporcionadas por anemómetros de hélice en el interior del túnel, y anemómetros de cazoletas y catavientos en el exterior del túnel, ubicados en posiciones adecuadas.

Control de señalización exterior e interior

Semaforización

El SIVA_TUN permite monitorizar y controlar los reguladores de tráfico existentes en el túnel, así como los semáforos interiores y exteriores instalados.

Paneles interiores y exteriores

El sistema de control es capaz de monitorizar y actuar sobre paneles interiores y exteriores del túnel, como señales aspa-flecha, señales de control de velocidad y paneles de mensaje variable alfanuméricos y gráficos.

Es posible establecer planes de actuación en los que se defina un estado de la señal, o un mensaje concreto en el panel, para mostrar una señalización determinada en situaciones predefinidas como por ejemplo la secuencia de cierre del túnel en caso de incendio.

Sistema de Control de accesos

Control de galibo

El SIVA_TUN es capaz de monitorizar un detector y señal de galibo. Estos elementos permiten asegurar que la altura de los vehículos que deben acceder al túnel no excede de un límite prefijado, notificando un mensaje al sistema de control en el caso de que así ocurra.

Barreras

El sistema permite monitorizar y controlar barreras de acceso. Las barreras pueden subirse (se permite el acceso) o bajarse (no se permite el acceso) localmente o en remoto desde la sala de control.

En caso de que se establezca una orden sobre la barrera, y está no se ejecute correctamente, se generará una alarma en el sistema de control indicando que existe discrepancia entre el estado pedido en la barrera y el estado indicado por la demanda del detector asociada.

Por otra parte, es posible definir planes de actuación en los que esté incluido el cierre o apertura de la barrera, como por ejemplo la secuencia de cierre del túnel en caso de incendio.

Sistema de recogida de datos de tráfico

Periódicamente, el sistema consulta la información de tráfico a los detectores de tráfico por espiras y de visión artificial existentes en el túnel.

- Estaciones de Toma de Datos normalizadas. Para cada detector se recibe información de intensidad, ocupación, velocidad, longitud medida de vehículos y distancia media entre vehículos. También se recibe el número de vehículos por periodo según clasificación de longitud y velocidad.
- Equipos de Visión Artificial. Para cada detector de tráfico de visión artificial de cada cámara se recibe información de intensidad, ocupación, velocidad y distancia media entre vehículos.

Posteriormente se calcula el nivel de servicio de cada detector de tráfico teniendo en cuenta la ocupación o la velocidad. Los niveles de servicio definidos son siete: desconocido, libre, sin tráfico, crítico, precongestión, congestión y atasco.

Sistema de recogida de información meteorológica

El SIVA_TUN gestiona la información recibida de los sensores de estaciones meteorológicas relativa a humedad relativa, temperatura, velocidad del viento, dirección del viento, presión, radiación solar, presión, condición de lluvia y hielo (temperatura de la carretera, estado de la carretera y condición).

La información meteorológica proporcionada depende de los sensores meteorológicos que cada estación tenga configurados. La información recibida se guarda para poder realizar una explotación a posteriori de dicha información.

Estaciones Meteorológicas

Estación Meteorológica 1005

N-340 pk 219.800

Fecha de Muestra: 08:22:31 28-FEB-2001

SAI Externo: PARADO

Batería del SAI: CORRECTA

Comunica OK

Sin Alarmas

Sensor Meteorológico	Valor Actual
Hielo	7.70 °C (CON=Húmeda, EST=Leve)
Humedad Relativa	5.50 Por cien
Temperatura	2.00 °C
Velocidad del Viento	2.20 Km/h
Radiación Solar	6.60 w/m2
Presión	1.10 Milibares
Lluvia	LLUEVE
Dirección del Viento	3.30 Grados

Sensores fuera de rango		
Sensor	Meteorológica	Valor
Temperatura	N-340 pk 219.800	2.00 °C
Lluvia	N-340 pk 219.800	Si

☐ APERTURA AUTOMÁTICA DEL DIALOGO ANTE CAMBIOS DE RANGO

Cerrar Eventos/Alarmas Gráfica 24 horas Cotas

Figura 7. Diálogo de la Estación Meteorológica.

Sistema de Detección de Incendios

El SIVA_TUN detecta automáticamente condiciones de incendio asociadas a:

- Alarmas de incendio de equipos de detección lineal.
- Valores anormalmente elevados de CO, NO2 u Opacidad en un punto de medida.

FibroLaser

FLA Fibrolaser 1

Condición de datos: DISPONIBLES

Fecha de Muestra: 16:45:17 05/05/04

Periodo: 60 seg

Comunica OK

Con Alarmas

Estado OK

Fibra 1	Fibra 3	Zona	Media	Máxima	pkInicial	pkFinal
☐	☐	A.3	23.00 °C	SIN DATOS	0.20	0.30
☐	☐	A.4	24.00 °C	SIN DATOS	0.30	0.40
☐	☐	A.5	25.00 °C	SIN DATOS	0.40	0.50
☐	☐	A.6	26.00 °C	SIN DATOS	0.50	0.60
☐	☐	A.7	27.00 °C	SIN DATOS	0.60	0.70
☐	☐	A.8	48.00 °C	SIN DATOS	0.70	0.80
☐	☐	A.9	29.00 °C	SIN DATOS	0.80	0.90
☐	☐	A.10	30.00 °C	SIN DATOS	0.90	1.00
☐	☐	A.11	SIN DATOS	SIN DATOS	1.00	1.10

Configuración

Gráfica 24 horas

Eventos/Alarmas

Cerrar

Figura 8. Diálogo del Sistema de Detección del Calor

Además, la señal de utilización de un Poste SOS, las medidas de tráfico y las alarmas del sistema DAI proporcionan información al sistema que puede servir para confirmar y reforzar esta detección. Las condiciones de incendio son modificables y ampliables.

Cuando el SIVA-TUN detecta una condición de incendio solicita confirmación del incendio al operador. Si el operador no responde en un tiempo preestablecido, el sistema puede actuar automáticamente o no realizar ninguna acción, según se configure.

La actuación en caso de incendio implica la ejecución de una secuencia de cierre del túnel y la puesta en marcha de una estrategia de ventilación en condiciones de incendio dependiente del punto kilométrico donde se localiza el incendio.

Una vez el incendio haya sido controlado, se procederá a la reapertura controlada del túnel, y la ejecución de una estrategia de ventilación en condiciones de servicio.

Sistema de Detección automática de incidentes

El SIVA-TUN integra las alarmas procedentes de sistemas DAI. El DAI proporciona alarmas útiles para la detección de incidencias en el túnel como por ejemplo ‘peatón en calzada’, ‘vehículo lento’, ‘vehículo detenido’, ‘vehículo en sentido contrario’ y ‘mala visibilidad’.

Las alarmas aportadas por el DAI pueden servir para detectar situaciones de incendio o preincendio, reforzando de esta manera al sistema de detección de incendios.

Sistema de Postes SOS

El SIVA_TUN permite integrar en el sistema de control la gestión de los Postes SOS existentes en el túnel. La gestión realizada sobre los postes incluye principalmente los siguientes aspectos:

- Recepción de llamadas.
- Apertura y cierre de fonía.
- Monitorización de alarmas de funcionamiento.
- Edición de partes de incidencia.
- Consulta de históricos.
- Configuración de la red de postes.
- Automatización de las tareas de mantenimiento.

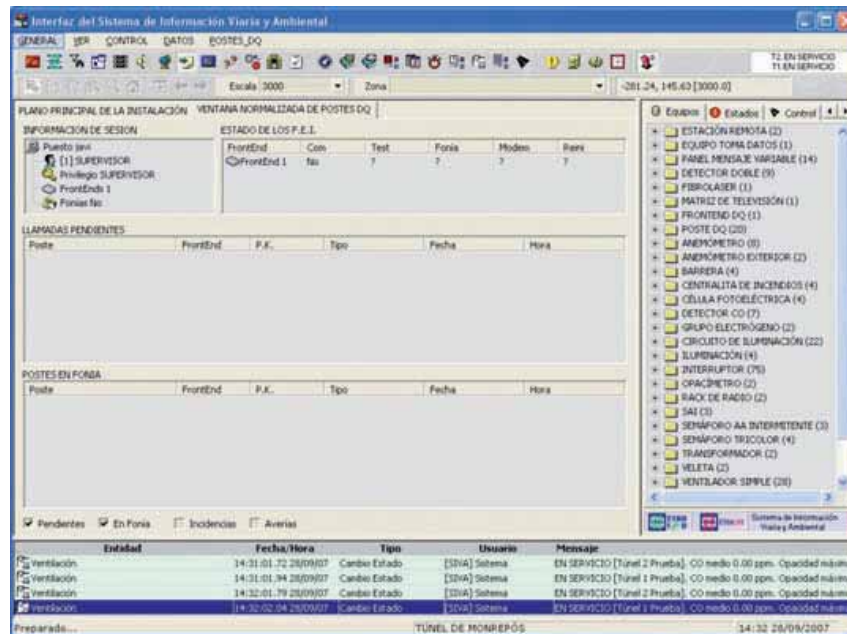


Figura 8. Diálogo del Sistema de Detección del Calor

Sistema de Circuito Cerrado de Televisión

El sistema es capaz de integrar la gestión de un circuito cerrado de televisión, siempre y cuando los elementos que lo componen lo permitan. Esta gestión se realiza a través de la matriz de conmutación de las cámaras y monitores, permitiendo al operador realizar las siguientes acciones:

- Ubicar cámaras en un plano.
- Visionar cámaras.
- Posicionar cámaras.
- Asignar cámaras a monitores.

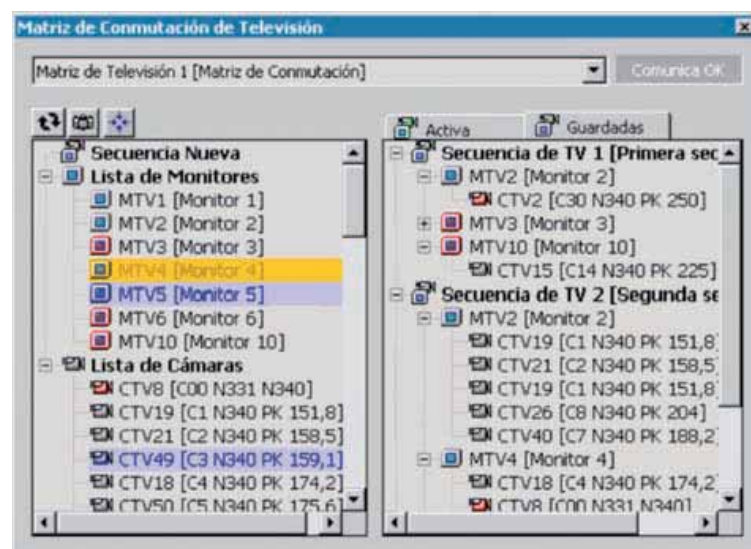


Figura 10. Diálogo de matrices de conmutación



Figura 11. Establecer una Región de Interés

Otros

Detector de Puerta

El sistema permite controlar que las puertas de un túnel permanecen cerradas, dando un mensaje de aviso al operador cuando alguna de ellas se abre.

Bomba hidráulica

El sistema notifica al operador la entrada en funcionamiento de las bombas hidráulicas de un túnel debido a que el nivel del agua ha sobrepasado un determinado límite. Además, se notifica que boyas estaban activas en el momento de la activación de la bomba hidráulica.

Extintor del Poste de Auxilio

El sistema detecta cuando se ha extraído un extintor de un poste de auxilio, notificándolo al operador.

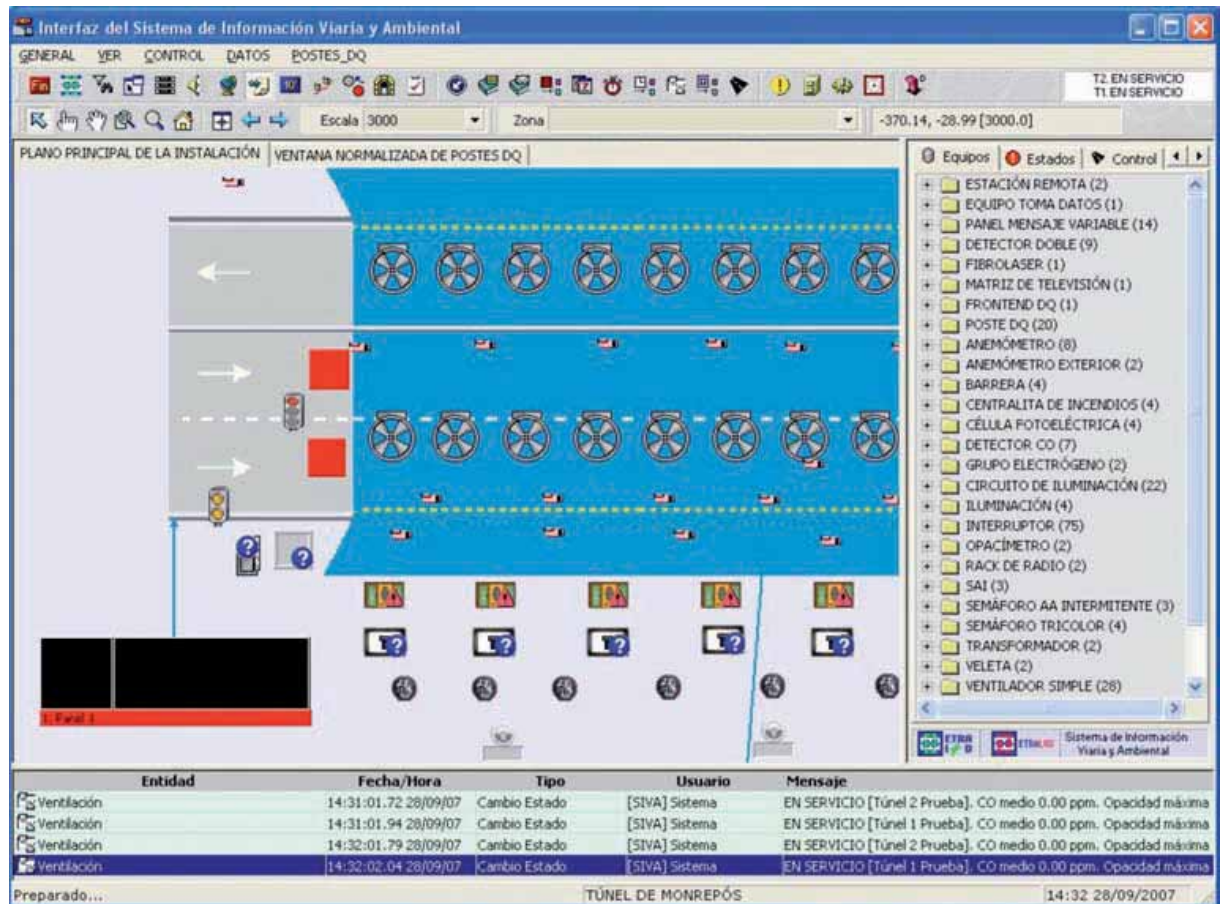


Figura 12. Interfaz gráfica del SIVA-TUN

6. Interfaz de usuario

El sistema posee una avanzada interfaz de usuario, que proporciona al operador de manera clara e intuitiva información sobre los equipos que componen la instalación y su estado en cada momento. Esta información se muestra en la ventana gráfica principal del operador, identificando los elementos del túnel con iconos representativos.

- Barra de Menús y Barra de Herramientas.
- Área de Entidades organizada en árbol. El Área de Entidades organiza jerárquicamente las entidades, atendiendo a distintos criterios (equipos por tipo de equipo, equipos por estado de funcionamiento, entidades de control del sistema, estado meteorológico actual y previsión).
- Área de Mensajes. El Área de Mensajes muestra los eventos importantes que se van produciendo en el sistema. Asociado a esta área se encuentra el Agente de Voz, el cual reproduce por el altavoz del ordenador la descripción de los mensajes que se van mostrando.
- Área de Representación Gráfica. El área gráfica visualiza un plano de

la instalación y la ubicación en él de los equipos. El color de los iconos que representan los equipos cambian según su estado.

7. Conclusiones

El Sistema de Explotación de Túneles SIVA-TUN del Grupo ETRA es fruto del know how y la experiencia de la organización en el desarrollo, implantación, explotación y mantenimiento de sistemas de gestión de la movilidad.

El sistema SIVA-TUN es especialmente relevante por cuanto es configurable y adaptable a las características físicas y de explotación de cada túnel.