

21. El diseño de un plan operativo de mantenimiento

Inés Bebea González¹

El objetivo primordial de un Plan Operativo de Mantenimiento (POM) es que la red de comunicaciones y los sistemas informáticos asociados, así como las aplicaciones diagnósticas y de sistematización de la información, estén operativas con una disponibilidad adecuada, durante unos períodos de tiempo establecidos.

El mantenimiento de estos sistemas y servicios es especialmente complicado en entornos rurales, generalmente debido a [237]:

- El personal de soporte tiene poco conocimiento en administración de redes inalámbricas y ordenadores, generalmente obtenido a través de la capacitación ofrecida por el proyecto.
- La ubicación de los emplazamientos de la red de comunicaciones está muy alejada, de manera que se consume buen tiempo y presupuesto en cualquier desplazamiento.
- La topología de red mono-camino provoca que un fallo en un punto de la red deja inalcanzables destinos más alejados.
- La ausencia de redes eléctricas de calidad contribuye en buena medida a la indisponibilidad de las TIC, fundamentalmente debido a sobretensiones y descargas radioeléctricas que dañan los equipos.
- El suministro de equipos de repuesto se retrasa debido a la falta de previsión presupuestaria o la limitada oferta de equipamiento TIC ofrecida por proveedores locales.

El diseño del POM ha de tener en cuenta estos condicionantes y también los requisitos de disponibilidad de las TIC según las actividades clave de los usuarios, la organización del trabajo del equipo responsable del mantenimiento, y los gastos derivados de las tareas de mantenimiento, entre otros. En este capítulo se han resumido los criterios de diseño e implementación de este plan, cuya comprensión puede ser completada en el contexto del estudio del caso presentado en [238] para la red Napo descrita en la Sección 8.6. A continuación se describen algunos puntos clave para un diseño adecuado.

¹Fundación EHAS y Universidad Rey Juan Carlos, España

21.1. Principios de diseño

21.1.1. La disponibilidad del sistema de comunicaciones y servicios asociados

La disponibilidad de los sistemas informáticos y de comunicaciones se entiende como el porcentaje del tiempo que éstos funcionan normalmente. Aunque cualquier usuario desearía que los sistemas tuvieran siempre una disponibilidad del 100 %, esto no ocurre nunca, ya que los equipos por buenos que sean se malogran, y por muy bien establecido que esté el sistema de reparación, dicha reparación lleva un tiempo. En este sentido, asegurar una disponibilidad excesivamente alta significa la instalación de sistemas redundantes que encarecen los costes de infraestructura y de mantenimiento.

La disponibilidad, en porcentaje, se calcula teniendo en cuenta los tiempos promedio entre fallos MTBF (*Mean Time Between Failure*) y los tiempos de recuperación MTTR (*Mean Time To Recovery*). Estos últimos comprenden los tiempos de detección y respuesta frente a fallos, y los de reparación. La Figura 21.1 ilustra el diagrama de tiempos relacionados con la disponibilidad de los sistemas. Estos parámetros se relacionan mediante la expresión:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100\%$$

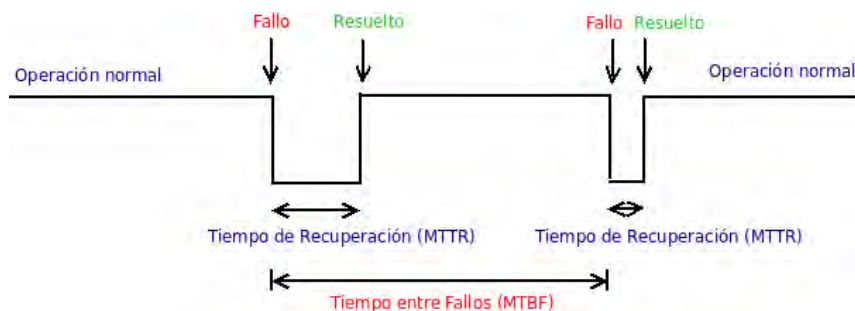


Figura 21.1.: Diagrama de análisis de la disponibilidad en sistemas TIC.

La mayoría de proveedores de comunicaciones ofrece una disponibilidad de sus servicios superior al 99 %, que puede no ser realista en el contexto de zonas rurales aisladas. Imaginemos una red de telemedicina implantada en una zona de selva donde muchos de los establecimientos de salud se encuentran a más de 300 km de su hospital de referencia en la ciudad. Debido a los largos tiempos empleados en el transporte, las reparaciones que requieran la presencia de un técnico pueden demorar varios días. A modo de ejemplo, decir que si un establecimiento de salud sufre una avería del sistema de telefonía cada tres meses y tarda una semana en ser reparada, la disponibilidad de

dicho servicio sería del 92,8%. Esto es más que razonable si en los establecimientos hay radios HF de respaldo para casos urgentes. La disponibilidad de cada servicio ha de ser definida teniendo en cuenta el entorno, las necesidades reales de los usuarios y la repercusión objetiva de la avería en las actividades de los mismos.

Por tanto, para llevar a cabo una eficiente gestión de la disponibilidad es preciso:

- Conocer las actividades clave de los usuarios.
- Cuantificar los intervalos razonables de interrupción de los diferentes servicios dependiendo de sus respectivos impactos.
- Determinar las franjas horarias de disponibilidad de los servicios TIC.
- Establecer protocolos de mantenimiento y revisión de los servicios TIC.

La logística es la parte que aporta mayor complejidad a un Plan Operativo de Mantenimiento, ya que implica una buena gestión tanto en tiempo como en dinero. La identificación logística descrita en el Capítulo 15 ha de servir para aportar los costes permanentes de transporte y adquisición de equipos, así como para integrar los periodos de entrega de los proveedores en el tiempo de recuperación. En redes rurales, es recomendable medir de forma precisa y tener en cuenta los tiempos siguientes:

- Tiempo de aprobación de gasto en la institución huésped.
- Periodo de validez del presupuesto aprobado.
- Tiempo de solicitud de compra, emisión de proforma y realización del pago.
- Tiempo de envío desde el proveedor al almacén principal.
- Tiempo de envío del almacén principal al almacén local o directamente al emplazamiento afectado por una incidencia.

21.1.2. Indicadores relevantes de sostenibilidad tecnológica y financiera

Este Plan Operativo de Mantenimiento afecta fundamentalmente a los factores de Sostenibilidad Tecnológica. Adicionalmente, la elaboración del POM culmina con una estimación del presupuesto anual necesario para su implementación, un dato fundamental para la negociación de la Sostenibilidad Financiera (véase Capítulo 20).

Los siguientes indicadores nos permitirán, por tanto, realizar un seguimiento del POM en relación con su contribución a la sostenibilidad del proyecto:

Calidad de las TIC. Está referido a si las TIC tienen calidad suficiente para cubrir las necesidades de información y comunicación del personal de salud rural. Las variables recomendadas para medir este indicador son tanto objetivas como en relación con la percepción de los usuarios sobre: la calidad de las comunicaciones (e.g. ancho de banda, retardo, *jitter*, pérdida de paquetes, número de

líneas telefónicas), aplicaciones/equipos (e.g. consumo de CPU y memoria), sistema de electrificación (e.g. estabilidad, autonomía) y protección eléctrica (e.g. porcentaje de daños causados por sobrecarga).

Usabilidad de las TIC. Está referido a la facilidad y comodidad en el uso de las TIC: servicios de telefonía, datos, telemedicina y energía.

Grado de uso de las TIC. Está referido a la utilización que los usuarios hacen de las TIC, integrándolas en sus procesos normales de trabajo.

Confiabilidad de las TIC. Se refiere a que las TIC sean robustas, seguras e interoperables. Las variables utilizadas para medir este indicador son la disponibilidad, la seguridad frente a la pérdida de datos, y la interoperabilidad de las soluciones propuestas con otros desarrollos, tanto a nivel de aplicaciones como de equipos.

Facilidad de mantenimiento de las TIC. Está referido a si los procedimientos de mantenimiento de las TIC son los apropiados para garantizar la confiabilidad de los sistemas. Está estrechamente relacionado también con la formación en mantenimiento de usuarios y técnicos locales. Las variables recomendadas para medir este indicador son la calidad y autonomía del mantenimiento realizado por los técnicos locales, así como la optimización de coste y tiempo en el POM.

Accesibilidad. Está referido a la infraestructura existente de transportes, generalmente orientada a carreteras, que facilite los desplazamientos de los usuarios hacia las TIC y los requeridos por el mantenimiento. En el caso de entornos rurales aislados, éste es un problema endémico del contexto. El Plan Operativo de Mantenimiento, a través de la planificación de actividades y coordinación logística, debe adecuar los trabajos de mantenimiento al contexto de transportes existente.

Documentación de las TIC. Está referido a la existencia de manuales de uso, configuración, reparación y actualización de los sistemas (aplicaciones y equipos). En este punto suelen beneficiarse soluciones basadas en código abierto, que disponen de comunidades internacionales de consulta.

Estimación del coste de operación y mantenimiento de las TIC una vez transferidas a los agentes locales. Está referido al cálculo del coste de la operación y mantenimiento de los sistemas TIC, de manera que pueda extraerse un presupuesto anual que deberán cubrir los financiadores del proyecto al inicio y los beneficiarios en el medio plazo.

21.1.3. Proceso de diseño

La definición de los factores clave a los que deberá contribuir el POM sienta las bases para definir las actividades de mantenimiento, considerando la gestión de recursos humanos y materiales específicos. La Figura 21.2 muestra el planteamiento seguido para:

1. La definición del esquema de bloques de mantenimiento,

2. La definición y creación de un equipo escalonado de mantenimiento,
3. La asignación de tareas por bloque y nivel de mantenimiento,
4. La estimación del presupuesto anual de mantenimiento.

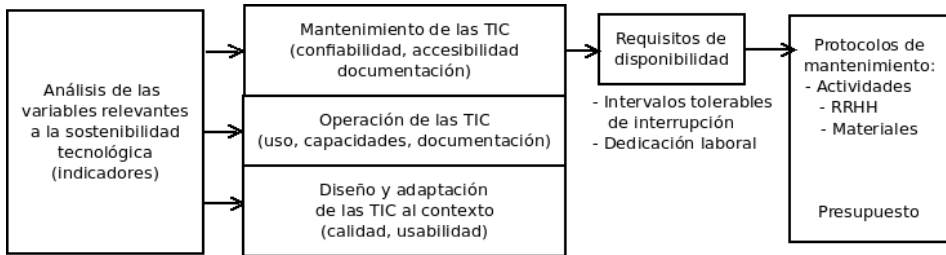


Figura 21.2.: Proceso de diseño del Plan Operativo de Mantenimiento.

21.1.4. Esquema de bloques en mantenimiento

Garantizar la disponibilidad adecuada pasa por ser capaces de reunir información estadística sobre las variables asociadas a la calidad, grado de uso y confiabilidad de los servicios ofrecidos, una tarea especialmente difícil en redes rurales de comunicaciones [234]. El registro de la información temporal de estas variables es lo que hemos denominado el **Conocimiento Histórico del Estado de la Red**. Éste será el núcleo del Plan Operativo de Mantenimiento, que nos permitirá tomar las mejores decisiones relativas a actividades preventivas y correctivas, gestión del personal y de la reserva (*stock*), e incluso anticiparnos a los fallos y realizar un diagnóstico más preciso de las causas raíz del problema. La Figura 21.3 muestra los bloques de las principales actividades de mantenimiento, que serán detallados en apartados posteriores.

21.1.5. Equipo de mantenimiento escalonado

Las acciones de mantenimiento pueden comprender la modificación, reparación o sustitución de los elementos de la red de comunicaciones. Para algunas de estas acciones será necesario intervenir de forma presencial, mientras que otras tareas será posible realizarlas de forma remota. Se proponen cuatro niveles, de menor a mayor conocimiento técnico y experiencia, y de mayor a menor cercanía geográfica respecto de los puntos de comunicación remotos:

- N1** Constituido por técnicos de mantenimiento con formación no profesional en TIC. Se trata de personal de mantenimiento general que forma parte de la plantilla de los establecimientos de salud rurales de mediana complejidad (Centros de

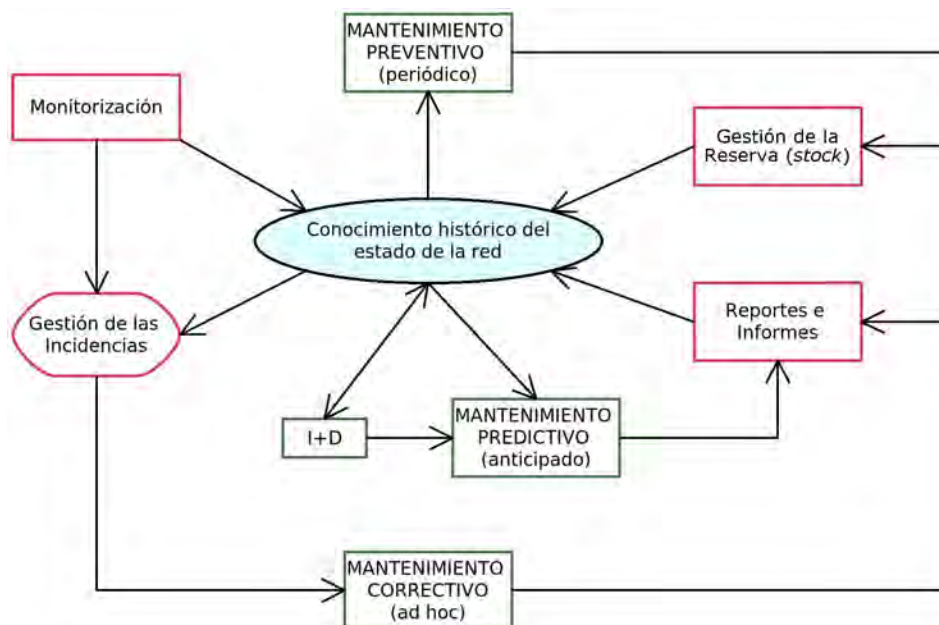


Figura 21.3.: Diagrama de procesos del Plan Operativo de Mantenimiento.

Salud), y que son capacitados por el proyecto para realizar estas tareas en su área de influencia².

- N2** Constituido por al menos un informático, ingeniero de telecomunicaciones o electrónico, con formación específica en los sistemas TIC instalados. Es el máximo responsable de la operación y el mantenimiento de la red, y entre sus tareas estarán garantizar la disponibilidad acordada, y coordinar el trabajo de los técnicos locales N1. Tendrá su centro de operaciones y control en la ciudad o municipio de mayor envergadura.
- N3** Constituido por el equipo de ingeniería de la organización que ejecuta el proyecto, que proporcionará asesoría técnica a N2 durante la implantación del Plan Operativo de Mantenimiento y los primeros meses de su ejecución.
- N4** Constituido por el equipo de I+D de la organización que ejecuta el proyecto, que se encargará de realizar un seguimiento de la red, y de la vigilancia tecnológica e investigación necesarias para mejorar las funcionalidades de la instalación.

La Tabla 21.1 muestra un resumen de las características relevantes de los distintos niveles: los técnicos N1 serán más rápidos en responder, mientras los investigadores N4 podrán aportar mayor análisis al diagnóstico de problemas. En todo caso, una buena

²Entendemos por área de influencia un conjunto de emplazamientos cercanos al establecimiento de N1, correspondientes a Puestos de Salud. Es recomendable que N1 tenga hasta un máximo de 5 emplazamientos a su cargo.

gestión de recursos humanos deberá contar con estas características, y lidiar con la elevada rotación de personal rural, el reconocimiento oficial de labores de mantenimiento y la formación continuada del equipo de mantenimiento.

Nivel	N1	N2	N3	N4
Experiencia tecnológica	*	**	****	***
Conocimiento científico-tecnológico	*	**	***	****
Accesibilidad (cercanía) a la red	****	***	**	*
Responsabilidad del mantenimiento	***	****	**	*

Tabla 21.1.: Resumen de cualidades por niveles del equipo de mantenimiento.

A éstos, cabe añadir un nivel N0, constituido por los usuarios de los sistemas, responsables de hacer un uso adecuado de los mismos, de reportar problemas a N1 y realizar una supervisión básica del estado de las instalaciones de sus respectivos establecimientos. Por otra parte, en algunas tareas concretas será necesario contar con un profesional torrero, experimentado en el trabajo en altura, y con un piloto para el transporte de personal y material³.

Considerando una red rural de comunicaciones que proporciona servicios al Sistema Nacional de Salud, es recomendable que al menos N1 y N2 formen parte de la plantilla de personal de la institución, y que los profesionales de N3 y N4 pertenezcan a un equipo mixto de la organización ejecutora del proyecto y otras instituciones socias como universidades y centros de investigación en la región de actuación.

21.2. Detección de fallos: Monitorización

La monitorización es la base de la entrada de información al Conocimiento Histórico de la Red. Consiste en la observación de diversos parámetros que caracterizan el funcionamiento de la red y los sistemas instalados. Algunos de estos parámetros se podrán deducir a través de entrevistas o cuestionarios directos a los usuarios finales, pero es conveniente disponer también de fuentes de información objetivas. Para este fin encontramos los Sistemas de Gestión de Red (SGR), plataformas informáticas que realizan consultas programadas a los dispositivos sobre su estado (encendido, alerta o apagado) o sobre valores concretos como el consumo de memoria o el uso de disco duro, almacenan históricos de estas consultas y permiten su graficación en tiempo real. Ambas fuentes de información son importantes y se complementan, acelerando

³Para todos los miembros del equipo de mantenimiento es recomendable la contratación de seguros que cubran tanto los accidentes por desplazamiento como el trabajo en altura.

la detección de fallos o interrupciones en los servicios.

En adelante, denominaremos **incidencia** a todo evento que no es parte de la operación normal de los servicios y que causa, o podría causar, la interrupción o reducción de la calidad de los servicios proporcionados. El tiempo de reacción ante una incidencia comienza a correr desde el momento en que el fallo se produce. En una red que no disponga de SGR, generalmente el equipo de mantenimiento no tendrá noticias de ello hasta que un usuario afectado se lo notifique; según la gravedad y profundidad del fallo, esto puede tardar minutos o días en producirse. Por ejemplo, un enrutador que se queda colgado en la ejecución de un proceso, deja de responder y provoca un corte de conectividad a varios usuarios, es un fallo grave e instantáneo que provoca la caída en cadena de otros tantos servicios asociados; este fallo puede detectarse al instante, ya que los usuarios afectados se pondrán en contacto con el Centro de Operaciones. Sin embargo, si se trata de un fallo en el regulador de voltaje del sistema de energía fotovoltaico, dada una autonomía de dos días del sistema funcionando con la carga restante de las baterías, los usuarios tardarán dos días en percibir el problema. Por ello es importante disponer de un SGR y, sobre todo, realizar una buena selección de los parámetros a monitorizar.

21.2.1. ¿Qué queremos monitorizar?

La manera más sencilla de monitorizar un dispositivo de red, de saber si está encendido y conectado, es enviarle un mensaje mediante el comando `ping`. Sin embargo, esto proporciona muy poca información sobre el estado real del sistema. Por ello existen las Bases de Información de Gestión (MIB). Una MIB es una colección de información organizada jerárquicamente y estandarizada; por ejemplo, la MIB-II, definida en [239], contiene información de sistema y de red (interfaces, IP, TCP, UDP, etc.). Muchos fabricantes amplían la MIB-II incluyendo información específica de sus sistemas. Siguiendo esta línea, se han desarrollado ampliaciones de la MIB-II para incluir objetos concernientes a las tarjetas Wi-Fi Ubiquiti dotadas con controladores Madwifi, en lo que se ha denominado MIB-WiFi-EHAS [240], y que monitorizan los valores de los parámetros Wi-Fi relevantes para largas distancias como son *Slottime*, *ACK Timeout* y *CTS Timeout*, y los valores de retorno del comando Linux `iwconfig`, como es el nivel de señal recibido. Existen otras MIB, como *MIB Host Resources*, definida en [241], que monitoriza los datos específicos de equipos utilizados por “humanos” (no específicamente de comunicaciones), como son sistemas Unix y computadoras, y también información de periféricos (equipos), capacidad de almacenamiento, programas instalados y ejecutándose (procesos), memoria, etc. Considerando estas MIB, es posible monitorizar parámetros específicos de los enrutadores como nivel de señal recibido, tráfico cursado, espacio de memoria y nivel de voltaje de alimentación, y para todos los equipos de cómputo el consumo de CPU, el tiempo de encendido y el estado de los periféricos.

21.2.2. Implementación de un Sistema de Gestión de Red

Un Sistema de Gestión de Red está compuesto por una o varias estaciones de gestión y los agentes de gestión remotos. Un agente de gestión es un dispositivo de red que corre un programa capaz de responder a consultas sobre el estado de sus servicios, o bien de generar mensajes de aviso cuando se produce una incidencia en alguno de sus servicios (*traps*). Una estación de gestión es una entidad que consulta y recibe *traps* de los dispositivos de red (agentes de gestión).

La manera en que la plataforma de gestión se relaciona con los agentes gestionados es lo que denominamos protocolo de gestión de red. Existe un estándar definido en la RFC 1157 llamado *Simple Network Management Protocol* (SNMP) [242]. Se trata de un protocolo de comunicaciones no orientado a conexión (sobre UDP) para enviar mensajes entre los administradores y los agentes gestionados. Los administradores de la red preguntan a los agentes en cada dispositivo sobre el estado de las variables definidas en la MIB.

Para su instalación en instituciones públicas, es deseable que un Sistema de Gestión de Red cumpla las siguientes características [243]: estar basado en software de código abierto; contar con una comunidad de soporte activa y regular que disponga de foros y listas de correo; disponer de bases de datos centralizadas y abiertas, protocolos de comunicación estándares, interfaz de línea de comandos (CLI) e interfaz gráfica de usuario (GUI, por sus siglas en inglés), escalabilidad para redes extensas y amplia documentación; y que además de monitorizar pueda tener otras funcionalidades como la actualización de aplicaciones y configuraciones de los dispositivos, gestión de usuarios, etc. Existen diversas plataformas SGR de software libre como Nagios, Zabbix, OpenNMS o Zenoss.

Las estaciones de gestión están constituidas generalmente por una interfaz web asociada a una base de datos donde se realiza un registro histórico de las consultas a los dispositivos gestionados. Los usuarios de la plataforma son generalmente los miembros del equipo de mantenimiento, de manera que éstos pueden acceder a una vista del estado de los sistemas en tiempo real y a mapas de la red, generar gráficas y elaborar reportes. La Figura 21.4 muestra la graficación de una consulta usando el comando *ping* durante un intervalo escogido por el usuario, y en la Figura 21.5 puede verse un reporte de disponibilidad para un grupo de enrutadores WiLD. Ambas representaciones corresponden a la plataforma Nagios [244] junto al visor web Centreon⁴.

⁴Nagios (<http://www.nagios.org/>) es una herramienta muy consolidada por su madurez y estabilidad, con una gran comunidad de desarrollo y soporte y un elevado número de accesorios (*plugins*) que extienden sus funcionalidades, como por ejemplo para la gestión del servicio de VoIP basado en Asterisk. Sin embargo, Nagios presenta el inconveniente principal de tener una configuración que no resulta sencilla, ya que se realiza operando directamente sobre los ficheros de configuración y por línea de comandos. Para suplir esta carencia existen visualizadores web como Centreon (<http://www.centreon.com/>) o NagVis.

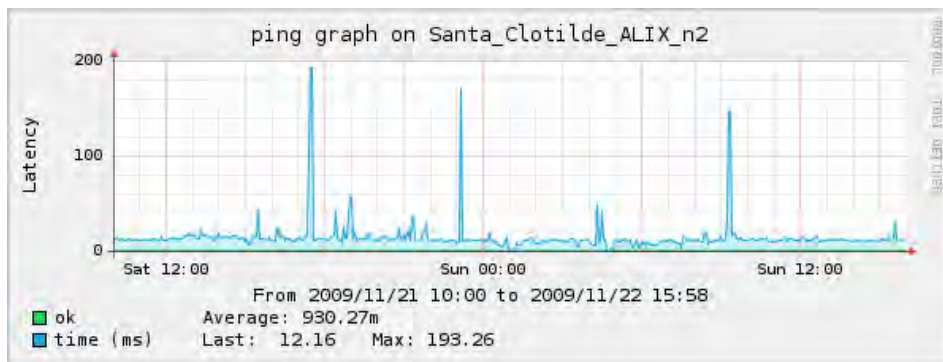


Figura 21.4.: Graficación de un histórico de ping en Centreon-Nagios.

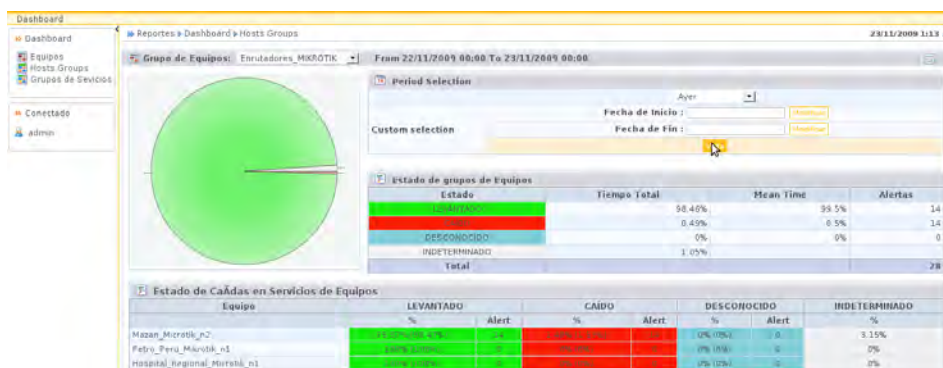


Figura 21.5.: Reporte en Centreon del grupo de dispositivos Mikrotik.

21.3. Diagnóstico de fallos y gestión de las incidencias

El objetivo de la Gestión de Incidencias es restablecer la operación normal lo antes posible y con el menor impacto para el usuario [245]. Desde que una incidencia se produce hasta que es resuelta, ésta pasa por diferentes fases como su detección por parte del equipo de mantenimiento, el diagnóstico de las causas del fallo, la intervención de reparación, etc. La Figura 21.6 se muestra el ciclo de vida de una incidencia.

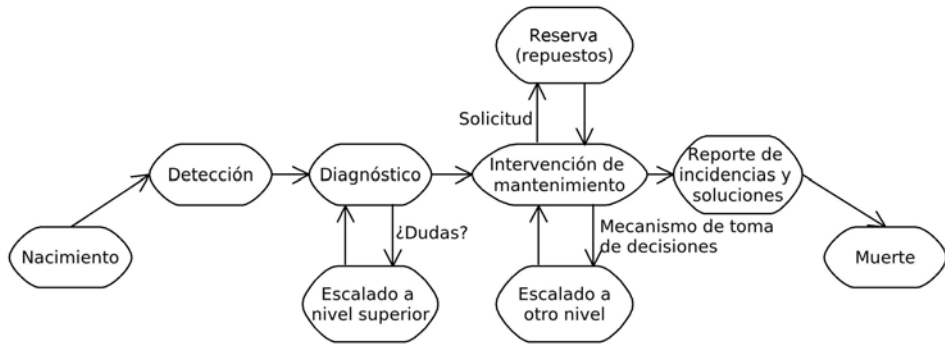


Figura 21.6.: Ciclo de vida de una incidencia.

21.3.1. Elaboración de árboles de diagnóstico y resolución de fallos

Con base en la experiencia acumulada, es decir, el Conocimiento Histórico del Estado de la Red, es posible documentar de manera esquemática las comprobaciones rutinarias que se deberán realizar para descubrir la causa real que originó el problema. Este análisis es importante para establecer los protocolos de actuación tras la detección de fallos, y también para estudiar cómo se propagan los fallos a través de la infraestructura TIC y para comprender su impacto en la disponibilidad [245]. Se han de tener en cuenta las experiencias de los usuarios y técnicos, y las recomendaciones recogidas en los diversos manuales e informes de actuación existentes. Es recomendable aunar los fallos en diversas categorías fácilmente reconocibles a partir de los síntomas identificados por los usuarios y los técnicos.

Para el caso de una red rural de comunicaciones pueden definirse las categorías siguientes: comunicación, energía, telefonía, informática, Internet, telemedicina e infraestructura de soporte. La Figura 21.7 muestra un árbol de diagnóstico de fallos para un caso problemático de telefonía por VoIP (basado en Asterisk) sobre una red de comunicaciones WiLD.

21.3.2. ¿Quién es responsable de resolver una incidencia?

Desde el punto de vista de un técnico de mantenimiento, éste debe resolver la incidencia actuando en sus varias fases: detección, diagnóstico de fallos e intervención de mantenimiento. En cada uno de esos momentos será preciso que la incidencia esté asociada al técnico responsable de su resolución. Generalmente, los técnicos N1 son los primeros en detectar las incidencias o bien en proceder a una intervención, debido a que se encuentran más próximos al emplazamiento afectado. Sin embargo, si éstos no están capacitados para resolverla, escalarán la incidencia a un nivel superior N2, es

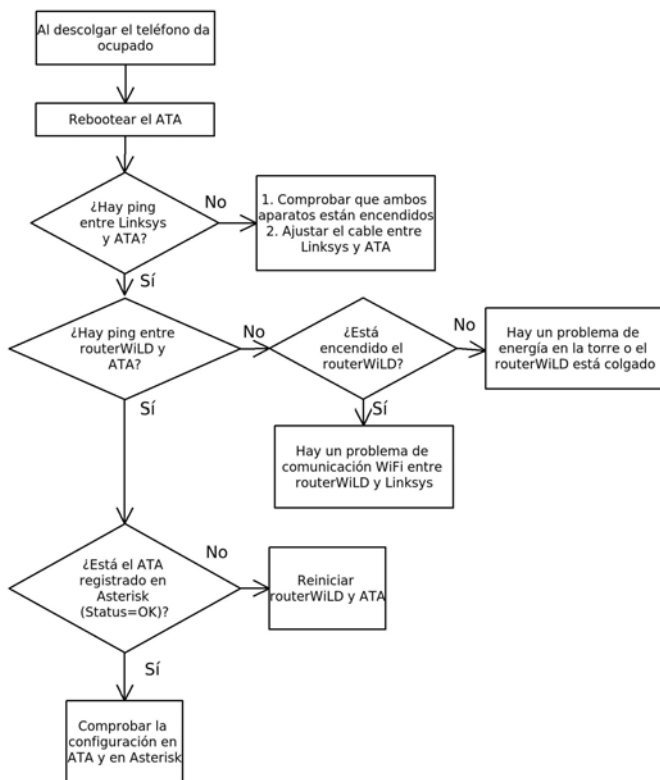


Figura 21.7.: Ejemplo de un árbol de diagnóstico de fallos en telefonía.

decir, transferirán la responsabilidad de su resolución, y así sucesivamente.

La Figura 21.8 muestra un esquema para la creación y escalado de incidencias. Generalmente, las incidencias proceden de la detección por parte de usuarios y de las notificaciones del Sistema de Gestión de Red. Sin embargo, también es posible utilizar la gestión de incidencias para:

- Notificar problemas persistentes o servicios insuficientes, para que se ponga en marcha una estrategia de mantenimiento predictivo. A efectos prácticos, N2 generaría una incidencia madre que englobe las incidencias repetidas a lo largo del tiempo, y la asigna a N4. En el medio o largo plazo, N4 deberá proponer soluciones tecnológicas que mejoren la calidad y usabilidad de los sistemas. Esto supone una gestión del cambio en el medio plazo.
- Gestionar la reserva, generando incidencias entre N1 y N2 cuando reciben peticiones de suministro o reemplazan equipo.

Con el fin de promover la colaboración y confianza de los usuarios afectados durante el proceso de Gestión de las Incidencias, es recomendable que sean informados de la creación, cambio de estado y resolución de cada una de ellas.

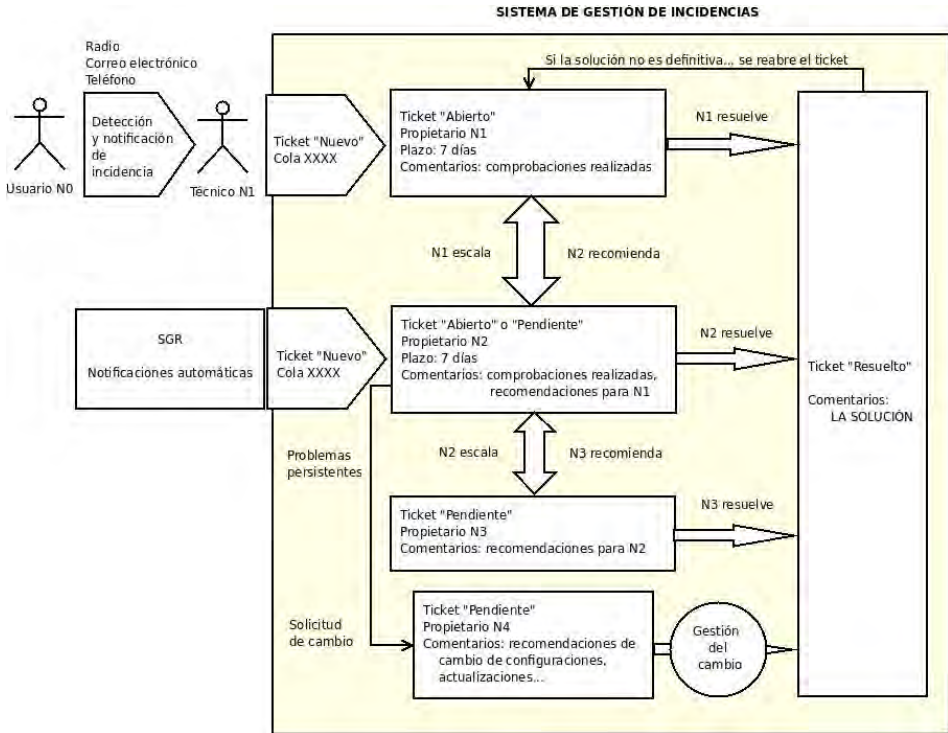


Figura 21.8.: Diagrama de escalado de incidencias.

21.3.3. Implementación de un Sistema de Gestión de Incidencias

Al igual que para la monitorización sistemática, para la gestión de incidencias existen plataformas informáticas que permiten registrar y administrar las incidencias ocurridas en un entorno determinado: los Sistemas de Gestión de Incidencias (SGI). Las incidencias se reflejan mediante fichas (*tickets*)⁵, que son registros del sistema de seguimiento que contienen información acerca de las intervenciones hechas por el personal de mantenimiento. Típicamente una ficha tiene un número único de referencia (ID), que permite al personal localizar, añadir o comunicar el estado de una incidencia.

Generalmente, un Sistema de Gestión de Incidencias dispone de las siguientes funcionalidades:

- Generación de fichas, que permite registrar una descripción de la incidencia y sus atributos: prioridad, fecha de creación, cola a la que pertenece, estado, etc.

⁵Si bien entre los profesionales hispanohablantes de las TIC está extensamente difundido el uso del término en inglés, también lo es que individuos e instituciones preocupados por la buena salud del español, usan términos como el que aquí se adopta, con el mismo significado. [N. del E.].

- Creación de colas. Una cola es un contenedor de incidencias que tienen en común una serie de características, y que serán atendidas siguiendo la regla *First In First Out*. Cada cola establece el comportamiento por defecto de esas fichas: prioridad, escalado, dirección de respuesta, etc. Es recomendable crear colas según las categorías anteriormente descritas para la clasificación de problemas (véase apartado 21.3.1).
- Definición de usuarios y grupos. Cada miembro del equipo de mantenimiento debe tener una cuenta de acceso a la plataforma, con determinados privilegios. Es recomendable reunir los usuarios de cada nivel por grupos N1, N2, N3 y N4.
- Motor de búsqueda de incidencias según atributos.
- Gráficas y estadísticas referentes a la resolución de incidencias según clasificación, personal y tiempos.
- Generación de preguntas frecuentes (FAQ) para introducir sugerencias o soluciones a casos ya documentados mediante árboles de problemas.

Las fichas son el elemento central del SGI. Pueden pasar por diversos estados, en concordancia con el ciclo de vida de las incidencias: nueva, abierta, pendiente, resuelta, rechazada, borrada. En sistemas complejos como las redes rurales de comunicaciones, puede suceder que varias incidencias reportadas confluyan en la misma causa originaria. Esto puede reflejarse en el SGI mediante relaciones entre fichas: fusión, referencia, madre-hija. Las fichas pueden además tener asociados varios usuarios:

- Solicitante, que es quien detecta la incidencia y crea la ficha correspondiente. Generalmente, si existen cambios en el estado de la ficha se notificarán al solicitante.
- Observadores, que son usuarios del SGI que serán notificados de cambios en el estado de la ficha.
- Propietario, que es el responsable de la resolución de la incidencia. En el ciclo de vida de una incidencia, ésta podrá tener diversos propietarios (es lo que hemos llamado escalado de incidencias).

Existen diversas aplicaciones para la gestión de incidencias, generalmente orientadas al seguimiento de eventos en el campo del desarrollo informático. Una herramienta de código abierto ampliamente utilizada es *Request Tracker* (RT)⁶ [246], que dispone de una extensión específica para SGI: *RT for Incident Response* (RTIR). La Figura 21.9 muestra la creación de una nueva ficha (caso) con RT por un técnico de mantenimiento.

21.3.3.1. Conexión entre SGR y SGI

Existe una buena cantidad de información generada y compartida en las actividades de mantenimiento: el estado de la red, incidencias, actividades del equipo de mantenimiento, necesidades de reserva, etc. La labor de construir un buen diagnóstico de

⁶<http://bestpractical.com/rt/>

Creación rápida de caso

Asunto: Prueba de problema con la computadora

Cola: Computadora Propietario: waldir

Solicitantes: waldir@localhost.com

Contenido: El técnico de salud de Huamán Urco ha informado que tiene problemas con el encendido de su computadora.

Crear

Figura 21.9.: Creación de una nueva ficha en el Sistema de Gestión de Incidencias.

fallos y ejecutar un protocolo eficiente de recuperación, depende en buena medida de la construcción de un paquete de información completa sobre cada incidencia. Entonces, el hecho de que un SGI permita al equipo de mantenimiento registrar y actualizar el trabajo referente a fallos y reparaciones, al tiempo que compila automáticamente las alarmas generadas por el Sistema de Gestión de Red, se convierte en un criterio clave de selección.

La Figura 21.10 ilustra el proceso de generación de un caso en el Sistema de Gestión de Incidencias provocada por la notificación de una alarma desde el Sistema de Gestión de Red. Esta conexión es posible entre las plataformas Nagios y RT, a través del encaminamiento de notificaciones por correo electrónico. En este escenario, es posible automatizar incluso la clasificación de fichas en función del dispositivo gestionado que generó la alarma, para su inmediata asignación a una cola.

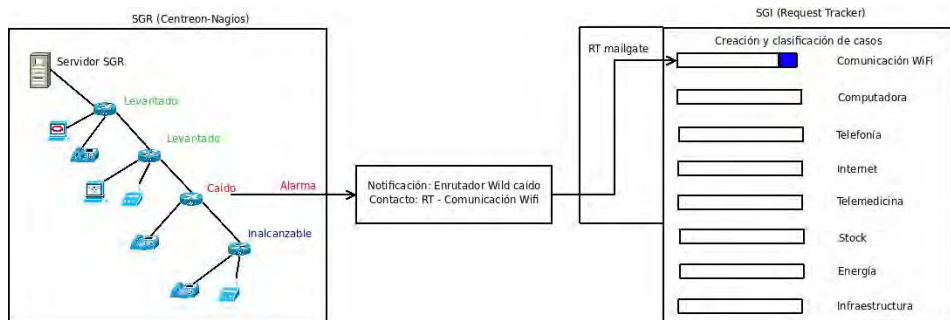


Figura 21.10.: Diagrama de notificación de incidencias del SGR al SGI.

21.4. Mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo

Tradicionalmente, las intervenciones de mantenimiento han concentrado los esfuerzos de los tecnólogos por mantener los equipos en funcionamiento. Sin embargo, hemos visto que estas tareas se dificultan y encarecen enormemente sin una eficaz gestión de la información asociada al mantenimiento mediante la gestión de red y la gestión de incidencias.

El mantenimiento predictivo se sirve del Conocimiento Histórico de la Red en tanto se basa en el análisis de los datos registrados por el SGR y el SGI, así como de los informes generados por N2: fallos comunes, seguimiento de parámetros fluctuantes, etc. El trabajo de investigación basado en el contraste de publicaciones científicas, simulaciones en laboratorio, renovación de versiones de aplicaciones, etc. genera las capacidades para anticiparnos a los fallos y resolver otros problemas predecibles. En este contexto se ubica N4, que será responsable de mantener una vigilancia tecnológica de los desarrollos de última generación, simular y estudiar escenarios de pruebas que emulen las condiciones específicas de las redes rurales, y realizar recomendaciones compartiendo este conocimiento con el resto del equipo de mantenimiento. Ésta es la importante contribución de las universidades y centros de investigación tecnológica a la operación y mantenimiento de las redes. No sólo la I+D ha de ocuparse del diseño original y la viabilidad tecnológica previa, sino de mantener y mejorar paulatinamente la calidad de los servicios ofrecidos.

Por mantenimiento preventivo se entienden aquellas actividades de ejecución periódica que hacen que, conocido el estado histórico de la red, sea posible devolverla a un estado de funcionamiento óptimo. Algunas de estas actividades deben estar programadas y definidas en un protocolo de actuación propio de cada nivel⁷, mientras otras serán añadidas en función del estado de la red. Generalmente, los usuarios de los sistemas (N0) deberán realizar una supervisión básica de sus equipos una vez por semana. Por su parte, los técnicos N1 y N2 son los responsables de realizar las tareas periódicas, a saber:

- Remotas: se trata de chequeos rutinarios de configuración, actualización de aplicaciones, copias de respaldo, etc., una vez por semana.
- Presenciales: se trata de tareas concentradas en una misión de mantenimiento presencial que llevará a N1 y N2 a visitar y revisar cada emplazamiento de la red. En esta revisión se verificarán el sistema de energía, la infraestructura de soporte, y los sistemas de comunicaciones y cómputo, tanto en los repetidores como en las estaciones cliente. Es recomendable que estas revisiones se realicen semestralmente, con el objetivo de minimizar el riesgo de fallos que deriven en intervenciones correctivas *ad-hoc*.

⁷Es importante que cada nivel cuente con un manual de operación y mantenimiento de los sistemas para su consulta, así como de un listado claro de tareas asignadas, duración y periodicidad de las mismas.

Cuando se trata de una red rural con infraestructura de soporte de grandes dimensiones (e.g. torres de altura superior a 60 metros), el tiempo de revisión completa de un emplazamiento es de 1,5 días, de modo que si consideramos el tiempo de desplazamiento entre nodos, cada misión de mantenimiento preventivo tendría una duración de 2 jornadas por emplazamiento. Para los demás casos, hablaríamos de 1 jornada por emplazamiento. En todo caso, durante la misión tanto N1 como N2 están con dedicación exclusiva. Esto implica que, por ejemplo, para una red de 20 emplazamientos, la misión de mantenimiento preventivo se demora 20 días⁸.

En el momento en que se diagnostica una incidencia, se pone en marcha el procedimiento de mantenimiento correctivo. Las experiencias recogidas en mantenimiento de infraestructuras de comunicaciones rurales indican que realizar visitas presenciales de mantenimiento supone un gasto muy elevado en recursos tanto humanos (días de trabajo) como materiales (medios de transporte, combustible, etc.) y requieren además de una planificación cuidadosa [234]. Así, el mantenimiento correctivo deberá realizarse de forma remota siempre que sea posible, o presencial en el resto de casos. El Plan Operativo de Mantenimiento está por tanto orientado a minimizar el número de intervenciones de mantenimiento correctivo, de manera que se deberá proceder priorizando este orden de coste creciente:

1. N0 repara el problema con asistencia remota de N1.
2. N1 repara el problema con asistencia remota de N2.
3. N2 repara el problema con asistencia remota de N3.
4. N3 repara el problema.

Mientras el coste de todas las actividades del POM está acotado y puede ser fácilmente cuantificado, el coste del mantenimiento correctivo es directamente proporcional al número de incidencias que se producen en la red, y supone siempre un gasto incremental sobre el presupuesto anual del mantenimiento, tal y como veremos en la Sección 21.6.

21.5. Gestión de la reserva

La reserva es el equipo, material de reparación y herramientas, comprado y almacenado, que está listo para ser instalado en la red. Su gestión requiere un registro cuidadoso de la entrada y salida de material, así como del inventario de equipos instalados y sustituidos. Esta información es clave para contribuir al Conocimiento Histórico del Estado de la Red, de manera que se pueda realizar un estudio detallado de costes y tiempos de vida del equipo proporcionado. Las tareas relacionadas con la reserva en mantenimiento predictivo pueden planificarse anticipadamente, y distribuir aquellas

⁸Es importante tener en cuenta aquí que en las primeras fases del proyecto N2 deberá acompañar a cada técnico N1 en la revisión de los emplazamientos en su área de influencia. Sin embargo, es previsible que esto no sea necesario en años posteriores, reduciendo el tiempo que N2 se encuentra fuera del Centro de Operación de la Red.

herramientas y equipamiento básicos en pequeños almacenes locales (custodiados por N1). También es posible ubicar algunos equipos de repuesto en los almacenes locales o en el almacén principal, reduciendo así el tiempo de respuesta.

La Figura 21.11 muestra la gestión de la reserva para una intervención de mantenimiento correctivo, en relación con el ciclo de vida de una incidencia. Dado que existe una relación directa entre el uso de repuestos y la resolución de algunas incidencias, puede resultar útil tratar la gestión de la reserva como una categoría más de ficha en el Sistema de Gestión de Incidencias. Adicionalmente, es recomendable mantener una base de datos dinámica de inventario tanto de equipo de repuesto como de herramientas, que facilite el registro de entrada, modificación y salida de elementos. El cuidado de los almacenes correspondientes está también a cargo del equipo de mantenimiento: deberán siempre contar con una persona responsable por el material que albergan, y ser mantenidos en adecuadas condiciones ambientales, de espacio y seguridad.

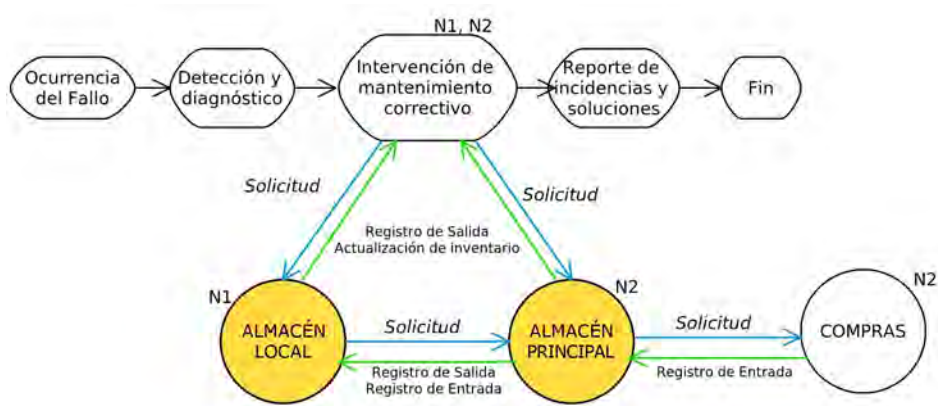


Figura 21.11.: Gestión de la reserva provocado por el mantenimiento en una incidencia.

21.6. El presupuesto anual del mantenimiento

El coste total de apropiación⁹ de las TIC es una inversión obligatoria y adicional al coste estimado de inversión inicial del proyecto destinado al despliegue de infraestructuras y demás actividades del mismo. La ejecución del Plan Integral de Sostenibilidad requiere una planificación de recursos y presupuesto propio. A continuación se incluyen algunas pautas para la estimación del presupuesto correspondiente a la ejecución del POM.

⁹Más conocido por sus siglas en inglés TCO (*Total Cost of Ownership*).

21.6.1. Costes fijos

A lo largo de este capítulo se han detallado las actividades dentro de cada bloque de mantenimiento. La Figura 21.12 refleja los miembros del equipo de mantenimiento asociados a estos procesos.

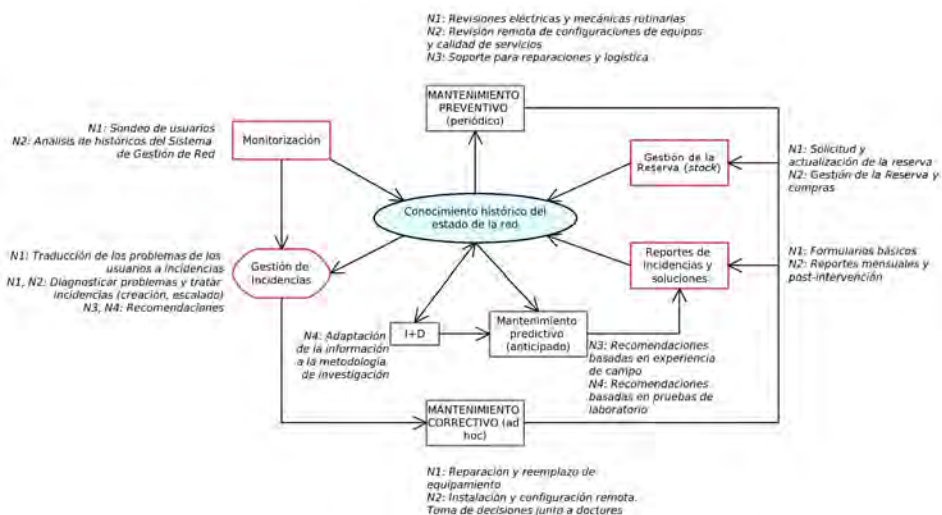


Figura 21.12.: Diagrama de procesos y recursos humanos.

En la planificación del trabajo asociado al equipo de mantenimiento es preciso definir cada actividad, su duración y periodicidad. Por ejemplo, se puede definir la labor de N1 en la monitorización como la realización de sondeos semanales recopilando la percepción de los usuarios sobre el funcionamiento de los sistemas. Para ello bastará con la aplicación de un breve formulario telefónico a los usuarios de sus respectivas zonas. Si de esta información N1 detecta alguna anomalía, abrirá una ficha en el Sistema de Gestión de Incidencias. El tiempo consumido por N1 en esta actividad será de unos 10 minutos por establecimiento, esto es, un promedio de una hora a la semana. Por otro lado, en la gestión de incidencias es razonable limitar a 2 días el plazo máximo en que N1 y N2 comienzan a tratar una incidencia, si tenemos en cuenta que la definición de objetivos de disponibilidad fijó el tiempo máximo de recuperación ante fallos en una semana. Por su parte, las misiones integrales de mantenimiento preventivo, que requerirán la participación N1 y N2 con dedicación exclusiva durante 1 día/emplazamiento (en situaciones normales), implican un máximo de 5 días para N1 desplazado de su lugar de trabajo habitual. La Figura 21.13 ilustra un resumen de la distribución de tareas de mantenimiento para cada uno de los niveles estipulados.

En resumen, es recomendable considerar un presupuesto ejecución del POM de aproximadamente el 5 % del coste inicial del proyecto, siempre que cubra los gastos de personal para la contratación de N2 y el personal esporádico (torreros, pilotos, etc.),

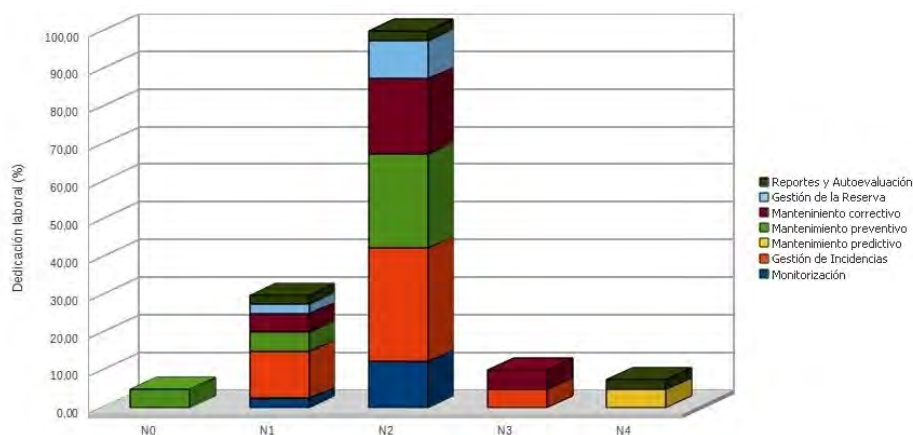


Figura 21.13.: Distribución de tareas de mantenimiento para el equipo escalonado.

así como el transporte y la compra y almacenamiento de equipos. Para la compra de equipos de repuesto deberá tenerse en cuenta la depreciación de los mismos y la durabilidad de cada uno de ellos, para las condiciones del proyecto (generalmente extremas en términos ambientales).

21.6.2. Costes variables

El coste de una intervención de mantenimiento correctivo depende del fallo concreto (si precisa de un mantenimiento presencial o puede repararse remotamente) y su estimación anual está estrechamente relacionada con la frecuencia de las incidencias. En este punto es crucial el planteamiento de “Conocimiento Histórico de la Realidad” propuesto en el POM, con un registro fiable de incidencias que permita conocer o estimar su frecuencia de forma precisa y realista. Entonces, para el cálculo presupuestario es importante tomar en cuenta las siguientes variables:

- El promedio mensual de incidencias para todo el sistema TIC, y su correspondiente número total de incidencias al año. Por ejemplo, si en cada emplazamiento de la red rural de comunicaciones suceden unas 5 incidencias al cabo del año, tenemos que el promedio es de 8,33 incidencias mensuales para la red completa de 20 nodos. De éstas se estima el porcentaje que requiere la presencia de N1, el porcentaje que requiere la presencia de N2, y el resto, que se solucionan en forma remota.
- El coste del material de repuesto. Este material deberá obtenerse de la reserva, la cual habrá de ser actualizada para disponer siempre de los artículos prefijados. Sólo en algunas ocasiones será necesario reparar o reponer equipos.
- El coste de transporte asociado a una intervención de mantenimiento correctivo de N1, correspondiente al número de horas de viaje por trayecto. La máxima

distancia y el promedio en tiempo nos dan el coste para que N1 acuda a un nodo que ha registrado una incidencia. De aquí se obtiene el coste del viaje completo de ida y vuelta.

- El coste de transporte para aquellas incidencias que requieran mantenimiento presencial de N2, desde su lugar de trabajo en la ciudad hasta el nodo que ha registrado la incidencia.
- El coste de viáticos para todo el equipo de mantenimiento junto con los del piloto y el torrero está cuantificado por baremos locales. La duración de las intervenciones de mantenimiento correctivo en que participa N1 deberá ser de aproximadamente 1 jornada, ya que N1 se encuentra a pocas horas de los puntos que mantiene en su zona, mientras que las intervenciones dirigidas por N2 se estiman con una duración de al menos 2 jornadas.

La expresión siguiente resume el coste del mantenimiento correctivo:

$$\text{Coste Correctivo} = N\{\nu \times TA_{N1} \times D_{N1} + \lambda \times TA_{N1+N2} \times D_{N2} \times +S\} \quad (21.1)$$

Donde:

N : número medio anual de incidencias en toda la red.

ν : porcentaje de incidencias que requiere la presencia de N1.

λ : porcentaje de incidencias que requiere también la intervención presencial de N2.

TA (*travel allowance*): disponibilidad de viajar del equipo N1 (técnico N1 acompañado de torrero y piloto) y del equipo N2 (que incluye también a N2).

D : duración de la intervención incluyendo el desplazamiento.

S : se refiere al equipo de repuesto que será instalado en la intervención de mantenimiento correctivo.

El diseño de este Plan Operativo de Mantenimiento es una de las primeras y más importantes tareas a realizar durante la ejecución del proyecto. En primer lugar, el proceso de instalación de la infraestructura y los servicios servirá para verificar la calidad de las estimaciones realizadas en el diseño de la intervención, mientras se analizan los riesgos potenciales para la sostenibilidad tecnológica en el medio y largo plazo. En segundo lugar, la implementación del POM ha de realizarse por primera vez durante la ejecución del proyecto, de manera que la organización ejecutora pueda trabajar en la formación del equipo de mantenimiento, en la institucionalización de los procesos de mantenimiento, y en el fortalecimiento de las instituciones socias que constituyan los niveles de referencia.