



Cálculo de la criticidad en los subsistemas del segmento fijo en la PSTN de Cuba

Por MSc. Ing. Erasmo Luis González Méndez, Especialista Principal e Ing. César A. Martínez Méndez, Jefe del Grupo de Protecciones Integrales, Departamento Nacional de Energética y Climatización, VPOR, ETECSA.
luis.glez@etecsa.cu, cesar.martinez@etecsa.cu

Introducción

La ingeniería de confiabilidad dispone de poderosas herramientas para el análisis de las tendencias en el trabajo de las empresas modernas lo que permite organizar los planes de mejoramiento de la confiabilidad operacional. Es, precisamente, el análisis del cálculo de la criticidad la primera de las técnicas que se debe aplicar en el marco de un programa de mejoramiento de la confiabilidad operacional, pues sus resultados muestran los principales problemas de la empresa ordenados jerárquicamente.

Teniendo en cuenta que la red de telecomunicaciones presenta numerosas fallas en su infraestructura, el presente

trabajo propone una metodología a partir de los mecanismos de análisis de riesgo de los subsistemas más críticos en el segmento fijo de la PSTN—*Public Switched Telephone Network*— cubana. Al analizar su criticidad, se evalúa el impacto que para la Empresa tendrá el evento *Afectación al servicio de telecomunicaciones* en la más amplia gama de variantes posibles por cada subsistema, con el objetivo final de alterar las tendencias desfavorables o reducir dicho impacto a través del diseño e implementación del Programa de mejoramiento en la confiabilidad operacional.

Confiabilidad operacional

Cuando se aborda el tema de la confiabilidad operacional (CO) en los círculos empresariales modernos, la mayor parte de las personas asocia el término a la actividad de operaciones y dentro de ella, inevitablemente, al mantenimiento. Por añadidura, en las empresas de telecomunicaciones la confiabilidad operacional es aún más desconocida, aunque paradójicamente, es frecuente hablar sobre ella. Pero, ¿qué es?, ¿a quién o quiénes beneficia? y ¿cómo se define?

La confiabilidad operacional es la capacidad de una instalación o sistema —integrados por procesos, tecnología y recursos humanos—, para cumplir su función dentro de sus límites de diseño y en un contexto operacional específico.

Los criterios para realizar un análisis de criticidad están asociados con la seguridad, el ambiente, la producción, los costos de operación y el mantenimiento, la frecuencia de fallas y el tiempo de reparación, principalmente [1].

En un programa de optimización de confiabilidad operacional es necesario el análisis de los cuatro parámetros siguientes: confiabilidad humana, confiabilidad de los procesos, mantenibilidad de los equipos y confiabilidad de los equipos.

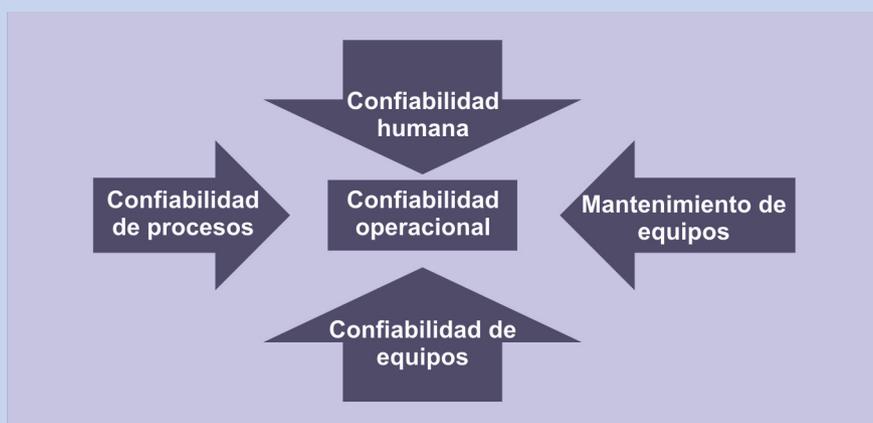


Figura 1 Aspectos de la confiabilidad operacional. (Fuente: [1]).

Hechos asociados a baja operacional	
- Fallas	- Enfermedades profesionales
- Pérdidas	- Estrés del personal
- Mantenimiento de emergencia	- Problemas ambientales
- Insatisfacción general	- Responsabilidad jurídica
- Repuestos de emergencia	- Penalidades por los clientes
- Accidentes	- Gran consumo de energía
- Administración de la insatisfacción	- Problemas de unidad
- Tiempo de trabajo extra	- Outsourcing (tercerización)
- Disminución de las ventas	- Mal mantenimiento
- Baja producción	- Mala operación
- Mucho trabajo/ rotación del personal	- Falta de entrenamiento
- Baja productividad	- Desconfianza general
- Mal comportamiento de la red	- Baja eficiencia

Tabla 1 Hechos asociados a baja confiabilidad operacional. (Fuente: [1]).

En la tabla 1 se muestran algunos hechos relacionados con la baja confiabilidad.

Un análisis *a priori* de los hechos relacionados en la tabla 1, permite comprender que en cualquier empresa que existan dichas manifestaciones, se necesita del concurso de todos sus trabajadores, de procesos claramente definidos, de un mantenimiento correcto a sus equipos y que estos presenten alta disponibilidad en el tiempo. En este sentido, ETECSA puede verse representada en estos hechos.

Como se aprecia en la figura 1, la CO tiene cuatro entradas mayores, sobre las cuales se debe actuar si se precisa de un mejoramiento continuo sostenido a largo plazo. Este proceso, denominado Mejoramiento en la Confiabilidad Operacional (MCO), genera cambios en la cultura de la organización, haciendo que esta se convierta en una organización diferente, con amplio sentido de la productividad, visión clara de la empresa y gobernada por hechos. Cualquier acción aislada de mejora en alguno de los cuatro parámetros de la CO genera beneficios; sin embargo, al no tener en cuenta los demás factores, es probable que estos sean limitados y diluidos en la organización y pasen a ser sólo el resultado de un proyecto y no de una transformación.

Estos son los típicos casos de la realización de proyectos de manera aislada, por ejemplo, los de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad —*Reliability Centered Maintenance* (RCM)— focalizados en la confiabilidad de los equipos, pero que mueren por no tener participación en el área de operaciones; los de Gestión de Calidad Total —*Total Quality Management* (TQM)—, centrada en la seguridad de los procesos/calidad de producción, aunque olvida la actividad de mantenimiento; o los proyectos de reingeniería que fracasan por no involucrar a las personas.

Otras herramientas útiles en la implementación de programas de mejoramiento de la confiabilidad operacional, son los diagramas de Pareto, la tormenta de ideas —*Brain Storm*—, el análisis de causa raíz y, dentro de este, el árbol de fallas, el diagrama de Ichikawa, etc.

¿Cómo poner orden en medio del caos derivado de todas las manifestaciones de baja confiabilidad operacional que pueden aparecer en una empresa de telecomunicaciones o de otro sector?

La respuesta está en el análisis o estudio de criticidad, mediante el cual se puede “poner orden en la casa” y conformar el plan de medidas que conduzca a la implementación de un programa

de mejoramiento de la calidad operacional en la empresa.

Estudio de criticidad

Para realizar un estudio de criticidad [1] se deben tener en cuenta los siguientes elementos: seguridad, ambiente, producción, costos de operación y mantenimiento, frecuencia de fallas y tiempo de reparación; aunque la selección de estos no constituye una camisa de fuerza y pueden sugerirse otros que sean validados por un consejo de expertos.

El análisis de criticidad es una metodología que permite, de manera análoga, al análisis de Pareto —es más frecuente emplearla en aquellos casos en los que la falla se hace frecuente— establecer la jerarquía o prioridades de los procesos, sistemas y equipos, para crear una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, dirige el esfuerzo y los recursos hacia aquellas áreas donde sea más importante y necesario mejorar la confiabilidad operacional, en correspondencia con la realidad.

Lamentablemente, es muy difícil disponer de recursos ilimitados, tanto financieros como humanos, para mejorar a un mismo tiempo la confiabilidad humana, la confiabilidad del proceso, la confiabilidad del diseño y la del mantenimiento en todas las áreas de una empresa [2].

¿Cómo definir que un proceso, sistema o equipo es más crítico que otro? ¿Qué criterio se debe seguir? Todos los que toman decisiones, ¿utilizan el mismo criterio? El análisis de criticidades responde a estas interrogantes, debido a que genera una lista ponderada desde el elemento más crítico hasta el menos crítico del total del universo analizado, con la diferenciación de tres zonas de clasificación: alta criticidad, mediana criticidad y baja criticidad. Una vez identificadas estas zonas, es mucho más fácil diseñar una estrategia para realizar estudios o proyectos que mejoren la confiabilidad operacional, iniciando las aplicaciones en el conjunto de procesos o elementos que formen parte de la zona de alta criticidad [3].

Definición de criterios para la determinación de las consecuencias

La criticidad en su forma más simple se define matemáticamente como:

$$C = F \times P \quad (1)$$

Donde F es la frecuencia de ocurrencia de la falla y P es el peso, consecuencia o impacto que esta falla tendrá en la PSTN.

Si la falla es detectable, entonces la expresión (1) se convierte en:

$$C = \frac{F \times P}{D} \quad (2)$$

Donde D , es la detección entendida como el % de eventos de alarma implementados —de los posibles a implementar— ante averías. De la ecuación (2) se infiere que cuanto menor es la posibilidad de detectar la avería, mayor es la criticidad del sistema.

Como es conocido, la PSTN está constituida por un sinnúmero de elementos, lo cual hace que la factibilidad de la ocurrencia de un fallo en alguno de ellos sea un aspecto indefectible y deba tenerse en cuenta al determinar su impacto en el servicio que la Empresa ofrece a sus clientes. No es igual el impacto en el servicio de telecomunicaciones cuando la afectación al mismo se produce como consecuencia de una descarga atmosférica debido a insuficiencias del Sistema de Protección Integral, que cuando es consecuencia de un fallo en la red comercial eléctrica. En el primer caso, las secuelas suelen ser catastróficas; mientras que, en el segundo, la posibilidad de evitar la afectación radica en el respaldo que dan los bancos de baterías estacionarias y grupos electrógenos instalados en la mayoría de los sitios de telecomunicaciones del país. De estos sistemas se suele decir que son Tolerantes a Fallas. De igual forma, el impacto en el servicio varía cuando la afectación se produce en una central telefónica local o en una tandem provincial o nacional.

Es importante la selección de un conjunto de criterios excluyentes entre sí para determinar las consecuencias. Después de haber considerado la opinión de un grupo de cinco expertos, se acordó que

los criterios a tener en cuenta para la determinación de las consecuencias en cada uno de los subsistemas que se definen para la PSTN (Tabla 2), se evalúan en una escala de 1 a 15 puntos. Los criterios establecidos serían los siguientes:

Tiempo Acumulado de Interrupción (TAD): Es el producto del tiempo de la afectación por la cantidad de abonados afectados; es una medida de las pérdidas que sufre la Empresa. Debe tenerse en cuenta que el concepto tiempo de afectación está estrechamente ligado a otros, por ejemplo, las pérdidas en los ingresos por afectaciones al tráfico telefónico, el deterioro de la imagen de la Empresa, así como la extensión del tiempo de trabajo base dedicado a la solución de las averías y los posibles incumplimientos contractuales con aplicación de sanciones o multas.

Tolerancia a las Fallas (TF): Ante una falla el sistema puede conmutar o no por una vía alternativa o brindar un tiempo adicional de gracia para ser solucionada. Si el subsistema es tolerante a fallas, su valor puede ser 1, ó 15 si no lo es.

Impacto en el Sistema de Telecomunicaciones (IST): Indica la magnitud de afectación de la PSTN provocada por la avería de un subsistema. Es una medida del impacto que puede tener una rotura con afectación al servicio en la PSTN y está dada por la cantidad de enlaces que son afectados como consecuencia de la avería, debido a que el mismo se relaciona de una manera directa con las rutas por las cuales se establecerá la comunicación entre el abonado A y el B y, por lo tanto, con la cantidad de llamadas telefónicas potenciales a establecer con el resto de los elementos del sistema de telecomunicaciones. Para ello, se toma como base la cantidad de enlaces E_i existentes por subsistema. Puede afirmarse que cuanto mayor sea el número de enlaces perdidos, menor será la posibilidad de establecer comunicación entre dos puntos y el impacto sobre el sistema en su conjunto será mayor.

Tipo de Cliente (TC): Personaliza el grado de la afectación por el tipo de

cliente, bien sea por los ingresos que reporta a la Empresa, la imagen corporativa o por su importancia para la defensa.

Tiempo de Acceso (TA): Evalúa el tiempo de acceso al lugar de la avería, influye más en la severidad de la avería. Obviamente, cuanto mayor es el tiempo, mayor será la consecuencia de la afectación.

Si para cada evento de afectación al servicio de telecomunicaciones, el peso o consecuencia total de la misma es:

$$P = (P_{TAI} + P_F + P_{IST} P_{TC} + P_{TA}) \quad (3)$$

Entonces, la expresión (3) puede formularse como sigue:

$$C = F \times (P_{TAI} + P_F + P_{IST} P_{TC} + P_{TA}) \quad (4)$$

Donde:

P_{TAI} : Peso o consecuencia de acuerdo con TAI.

P_{TF} : Peso o consecuencia por la tolerancia a fallas del subsistema.

P_{IST} : Peso o consecuencia por el impacto en el sistema de telecomunicaciones.

P_{TC} : Peso o consecuencia por el tipo de clientes diferenciados por su importancia económica, industrial o para la defensa.

P_{TA} : Peso o consecuencia por el tiempo que demora el acceso al subsistema en caso de una avería.

De igual manera, la frecuencia con la que se produce la falla se evalúa entre 1 y 15.

Con todas estas premisas y después de realizar una valoración estadística de las 2413 afectaciones reportadas al servicio de telecomunicaciones durante el 2007, se concluyó que al asociar a cada uno de los subsistemas definidos para la PSTN cubana el valor de la consecuencia debido al tiempo acumulado de interrupción, su tolerancia a las fallas, el impacto en el sistema de telecomunicaciones, el tipo de cliente y el tiempo de acceso, la criticidad de la PSTN puede ser calculada con un arreglo a la ecuación (4). Estos resultados aparecen en la tabla 2.

Frecuencia, consecuencia y criticidad de los distintos subsistemas definidos para la PSTN										
Sistemas	Mnemónico	Consecuencia de fallas					Total	Frecuencia de fallas	Criticidad	
		TAI	TF	IST	TC	TA			Valor	Nivel
- Radio Enlaces Locales y Territoriales	RELT	12	15	6	7	15	55	15	825	Alto
- Sistema de Protección Integral	SPI	15	15	6	3	7	46	15	690	Alto
- Enlaces Locales y Territoriales a través de equipos PCM (Pulse Code Modulation o Modulación por Impulsos Codificados)	ELTPCM	13	15	3	7	6	44	15	660	Alto
- Centrales Locales	CL	1	15	3	7	15	41	15	615	Alto
- Enlace Local por Físicos	ELF	3	15	3	7	6	34	15	510	Alto
- Centrales Municipales	CM	1	15	3	7	6	32	15	480	Medio
- Sistema de corriente directa	SCD	15	1	3	3	6	28	7	196	Medio
- Enlace de Rutas Troncales (P.Ext)	SRT	15	15	3	7	6	46	4	184	Medio
- Fibra Óptica Nacional Plata Interior	FON	15	1	9	15	1	41	4	164	Medio
- Enlace Territorial a través de MDF	ETMDF	1	15	3	7	15	41	4	164	Medio
- Sitios sin Aseguramiento Energético	SAE	7	1	3	3	6	20	8	160	Medio
- Tandem Nacionales	TN	15	1	15	15	1	47	2	94	Bajo
- Enlace Local a través de MDF (Multiplex por División en Frecuencia)	ELMDF	6	15	3	7	15	46	2	92	Bajo
- Microonda Nacional Digital	MOD	1	1	12	15	15	44	2	88	Bajo
- Microonda Nacional Analógica	MOA	1	1	9	15	15	41	2	82	Bajo
- Enlace de Fibra Óptica Nacional y territorial (P. Ext)	SFON	15	1	9	15	15	41	2	82	Bajo
- Enlace de Rutas Submarinas (P. Ext)	SRS	1	15	3	15	6	40	2	80	Bajo
- Enlace de rutas locales (P. Ext)	SRL	12	15	3	7	1	38	2	76	Bajo
- Tandem Provinciales	TP	11	1	9	15	1	37	2	74	Bajo
- Sistema de Corriente Alterna	SCA	5	1	3	3	6	18	2	72	Bajo
- Subsistema del Cable Coaxial	SCC	2	1	3	15	15	36	2	72	Bajo
- Enlace Nacional a través de PCM	ENPCM	3	15	3	7	7	35	2	70	Bajo
- Fibra Óptica Territorial Planta Interior	FOT	11	1	6	7	1	26	2	52	Bajo
- Sistema de Presurización de cables	SPC	9	1	3	3	6	22	2	44	Bajo
- Sistema de Climatización	SCL	3	1	3	3	6	16	2	32	Bajo

Tabla 2 Frecuencia, consecuencia y criticidad de los distintos subsistemas definidos para la PSTN. (Fuente: elaboración propia).

El valor de la criticidad de cada subsistema se alcanza según la expresión (4) y su nivel se determina a partir de la matriz de todas las posibilidades que esta misma expresión brinda para todos los criterios de evaluación de las consecuencias. De acuerdo con la matriz de criticidad obtenida se definen tres zonas de criticidad: alta, media y baja; y los límites de estas son:

Baja: de 0 a 125.

Media: entre 126 y 500.

Alta: desde 501 hasta 1125.

La figura 2 representa gráficamente los valores de criticidad de los diferentes subsistemas de la PSTN, ordenados de mayor a menor.



Figura 2 Zonas de criticidad por subsistemas. (Fuente: elaboración propia).

En la figura anterior puede observarse cómo en la zona de alta criticidad se encuentran los subsistemas radio enlaces locales y territoriales, sistemas de protección integral, enlaces locales y territoriales a través de PCM, centrales locales y los enlaces locales por físicos. Aunque el valor límite inferior para la zona de alta criticidad es 500 y las centrales municipales alcanzan un valor de 480, podría considerarse, debido a su proximidad, que están en la zona de alta criticidad. El resto de los subsistemas están situados en las zonas perfectamente delimitadas por las elipses de criticidad media y baja.

Actualmente, se dispone de las evaluaciones sobre las causas más probables de la alta criticidad de algunos de los subsistemas estudiados. Estas evaluaciones, así como la elaboración de los planes de medidas para revertir las tendencias desfavorables obtenidas con el análisis de criticidad, forman parte de una segunda etapa de investigación.

Conclusiones

La identificación de los problemas más acuciantes en la prestación del servicio de telecomunicaciones a causa de los fallos en los subsistemas que conforman la PSTN, brinda la posibilidad de mejorar la confiabilidad operacional de la red. Como resultado del trabajo, se pudo obtener una metodología basada en la ingeniería de confiabilidad para la evaluación y determinación jerárquica de los subsistemas críticos dentro de la PSTN y su respaldo de energía. A partir de esta metodología, se concluye que los subsistemas más críticos en la PSTN de Cuba son, por su orden, los Radio Enlaces Locales y Territoriales (RELT), los Sistemas de Protección Integrales (SPI), los Enlaces Locales y Territoriales a través de PCM (ELTPCM),

las Centrales Locales (CL), los Enlaces Locales a través de Físicos (ELF) y las Centrales Municipales (CM).

Un elemento importante en el desarrollo de la metodología desarrollada ha sido la obtención de la expresión que permite calcular la criticidad con la determinación de las áreas críticas de la PSTN y su respaldo de energía. ▀

Referencias bibliográficas

[1] Durán, M.J.B. "¿Qué es Confiabilidad Operacional?". Florida: Reliabilityweb.com, Inc, 2000. http://www.confiabilidad.net/art_05/RCM/rcm_6.pdf (acceso octubre 15, 2007).

[2] González Méndez, Erasmo Luis. "Indicadores de Comportamiento de la red de Telecomunicaciones en la evaluación de su Confiabilidad". La Habana: CUJAE, 2008. <http://www.cipel.cujae.edu.cu/> (acceso marzo 6, 2009).

[3] Huerta Mendoza, Rosendo. "El Análisis de Criticidad, una metodología para mejorar la Confiabilidad Operacional". Florida: Reliabilityweb.com, Inc, 2004. <http://confiabilidad.net/articulos/el-analisis-de-criticidad-una-metodologia-para-mejorar-la-confiabilidad-ope/> (acceso febrero 15, 2008).