

**UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
COMISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**



**ANALISIS DE CONFIABILIDAD OPERACIONAL EN LA
RED DE TRANSMISION PDVSA ORIENTE DISTRITO PLC**

**Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
para optar al titulo de Especialista
en redes y Comunicación de datos
por la Ingeniero Mary Carmen Martinez**

Caracas, Marzo 2005

**UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
COMISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**



**ANALISIS DE CONFIABILIDAD OPERACIONAL EN LA
RED DE TRANSMISION PDVSA ORIENTE DISTRITO PLC**

Tutor Académico: Prof. Carlos Moreno
Tutor Industrial: Ingeniero José Enrique Avila

**Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
para optar al título de Especialista
en redes y Comunicación de datos
por la Ingeniero Mary Carmen Martinez**

Caracas, Marzo 2005

A **Dios** quien ha estado presente en mí, desde los inicios de mi carrera.

A Mi Hijo **Adrián David** por ser el gran motivo de inspiración para culminar este trabajo.

A Mis Padres **Edgar Martínez y María de Martínez** por darme todo el apoyo necesario para cumplir este nuevo reto en mi vida.

A la gerencia **AIT PDVSA ORIENTE**, por brindarme la oportunidad de tener una valiosa experiencia y permitirme culminar la etapa final de mi especialización.

A mi tutor industrial **José Avila**, quien me brindo en todo momento su apoyo me transmitió su experiencia y me apporto sus valiosos conocimientos para la realización de este trabajo.

A mi tutor Académico **Carlos Moreno**, quien me dio su apoyo.

A mis amigos **Milagros Cordero, Pedro Cordero, Francly Tannoux y José Suarez** por sus palabras de aliento en momentos difíciles.

A mis asesores **Rolando López y Carlos Parra** quienes me prestaron su apoyo y aportaron importantes ideas durante curso del trabajo.

A todos Mil Gracias
Mary Carmen Martínez

A Dios:

Toda la felicidad y los beneficios que he recibido en mi vida te los debo sin duda alguna a ti Dios. No ha habido ocasión en que no estés conmigo. Gracias Dios mío por estar aquí siempre.

A mi abuelita Carmen Edecia.

A ti mi querida y gran amada abuelita te dedico este trabajo, porque estés donde estés, sé que estás contenta. Tu fuiste el principal motivo de inspiración y a pesar de tu partida tan temprana al mundo desconocido me distes las fuerzas que necesite para seguir adelante y no permitir en ningún momento mirar atrás. Gracias por tus consejos que recibí durante mi niñez y parte de mi adolescencia los cuales estarán siempre en mis pensamientos.

A mi hijo Adrián David.

A ti hijo adorado por entender en tus ocho años el gran reto que nos trazamos para conseguir este titulo que nos pertenece, esas lagrimas que nunca borrare de mi mente en el momento de mi partida a Caracas fueron motivo de inspiración para emprender con firmeza este reto. Gracias mi amor por tu paciencia y tu espera.

A mis padres María y Edgar.

Por una vez mas apoyarme, guiarme para conseguir este nuevo reto en mi vida sin ustedes sin duda no hubiese podido lograrlo.

A mis hermanos Goyo y Mameña

Por apoyarme y brindarme su voto de confianza, dedico este trabajo muy en especial a ustedes para que sea motivo de inspiración para sus metas en sus vidas y que al igual que yo puedan sentir lo grandioso de nutrirse de nuevos conocimientos.

DEDICATORIA

Martinez T. Mary Carmen

ANALISIS DE CONFIABILIDAD OPERACIONAL EN LA RED DE TRANSMISION PDVSA ORIENTE DISTRITO PLC

Tutor Académico: Prof. Carlos Moreno

Tutor Industrial: Ing. José Enrique Avila

Resumen: El presente trabajo muestra un análisis de Confiabilidad Operacional en el Sistema Microondas de la Gerencia de AIT Oriente de PDVSA (Petróleos de Venezuela S.A.), el cual propone una metodología de trabajo para controlar dicho sistema, implementando mejoras en las políticas de mantenimiento y en el diseño del mismo, esto se realiza con la finalidad de mitigar el riesgo de paradas no programadas las cuales ocasionan pérdida de producción. Las bases Teóricas de este análisis se fundamentan en Metodologías de Confiabilidad Operacional, como Análisis de Criticidad (AC), Análisis Causa Raíz (ACR) y Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC).

El análisis se realizó en las estaciones de Telecomunicaciones que pertenecen al Sistema de Microondas de PDVSA Oriente, específicamente en la estación Sabana Larga, la cual sirvió como piloto para estudiar el resto de las estaciones, ya que es la más crítica de todas. Cada una de estas estaciones consta de tres sub-sistemas: Energía, Infraestructura y Radio.

El trabajo mostrado define las metodologías que permitieron diagnosticar y controlar el sistema, y para la misma se definen dos etapas: Una de diagnóstico, en la cual se identifican los sistemas críticos objetos de estudio y las fallas recurrentes que se desea mitigar; y una etapa de Control, en la cual se diseñan políticas de mantenimiento y de rediseño de los sistemas en estudio.

El resultado de este análisis permitió obtener una mayor confiabilidad de los activos y se logró alargar el ciclo vida de los mismos generando un incremento en la confiabilidad general de los procesos productivos.

INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO	
DEDICATORIA	
INTRODUCCION.....	2
CAPITULO I	
1.1 Justificación.....	6
1.2 Alcance.....	6
1.3 Objetivo General.....	7
1.4 Objetivos Específicos.....	7
CAPITULOII	
2.1 Antecedentes.....	10
2.2 Tecnología PDH.....	15
2.2.1 Características de PDH.....	19
2.3 Herramientas de Confiabilidad Operacional.....	20
2.4 Herramientas Desarrollo Organizacional.....	20
2.5 Herramientas Técnicas	
2.5.1 Análisis de Criticidad (AC).....	21
2.5.2 Análisis Causa Raíz (ACR).....	23
2.5.3 Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. (MCC).....	26
2.5.3.1 ¿Qué es MCC?.....	29
2.5.3.2 ¿ Que se necesita?.....	29
2.5.3.3¿Qué Busca?.....	30
2.5.4 Análisis Costo Riesgo Beneficio (ACRB).....	34
CAPITULOIII	
3.1 Marco Metodológico.....	39
3.2 Area de Investigación.....	39
3.3 Técnicas de Recolección de la data.....	39
3.3.1 Características de los Equipos naturales.....	40
3.3.2 Rol del Facilitador.....	42
3.3.3 Actividades que debe realizar el Facilitador.....	42
3.3.4 Perfil del facilitador y areas de conocimiento.....	42
3.4 Metodología Utilizadas para el proceso de Investigación.....	43

3.4.1 ETAPA I “ANALISIS DE CRITICIDAD”	44
3.4.2 ETAPA II “ANALISIS DE PARETO”	46
3.4.3 ETAPA III “ANALISIS CAUSA RAIZ”	46
3.4.4 ETAPA IV “MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD” (MCC).....	47
3.4.5 ETAPA V “ANALISIS COSTO RIESGO BENEFICIO” (ACRB).....	48
CAPITULO IV	
4.1 Análisis del Contexto Operacional del Sistema Microondas.....	51
4.2 Desarrollo Etapa I “Análisis de Criticidad”	55
4.2.1 Estación Sabana Larga.....	61
4.2.1.1 Ubicación Geográfica.....	61
4.2.1.2 Propósito de la estación de telecomunicaciones....	61
4.2.1.3 Descripción de Sub-Sistemas Estación Sabana Larga.....	62
4.3 Desarrollo Etapa II “Análisis de Pareto”	76
4.4. Desarrollo Etapa III “Análisis Causa Raíz”	77
4.4.1 Modos de fallas del radio.....	81
4.4.2 modos de falla de Infraestructura y de Energía.....	83
4.5 Desarrollo Etapa IV “Mantenimiento Centrado en Confiabilidad”....	83
4.6 Desarrollo Etapa V “Análisis Costo Riesgo Beneficio”	90
CONCLUSIONES.....	93
CITAS BIBLIOGRAFICAS.....	97
BIBLIOGRAFICA.....	98
ANEXOS.....	100

INDICE DE FIGURAS

CAPITULO II

2.1 Formación de las Jerarquías PDH de ANSI.....	16
2.2 Formación de las jerarquías PDH de ETSI.....	17
2.3 Trama primaria de 2Mbps.....	17
2.4 Matriz de Criticidad.....	23
2.5 Análisis Causa Raíz utilizando metodología PROACT.....	25
2.6 Estructura del “árbol de falla” de la metodología PROACT™.....	26
2.7 Árbol de decisiones.....	33
2.8 Intervalo Óptimo.....	35

CAPITULO III

3.1: Roles de los participantes.....	41
3.2: Modelo Confiabilidad Operacional del Sistema Microondas.....	44
3.3. Uso de las APT en la aplicación ACRB.....	48

CAPITULO IV

4.1 Modelo Confiabilidad Operacional del Sistema Microondas.....	51
4.2 Jerarquización de la Red de Transmisión.....	52
4.3 Mapa Red de Transmisión Digital.....	53
4.4 Matriz de Criticidad Estaciones Telecomunicaciones.....	60
4.5 Disposición del Transceptor CTR 216/6U en el Bastidor.....	66
4.6 Vista Externa del Módulo Transmisor.	68
4.7 Vista Externa del Módulo Receptor Principal.....	70
4.8 Pareto de Alarmas estación Sabana Larga.....	76
4.9 Análisis Causa Raíz Radio.....	78
4.10 Análisis Causa Raíz Infraestructura.....	79
4.11 Análisis Causa Raíz Energía Motogenerador.....	79
4.12 Análisis Causa Raíz Energía Banco de Baterías.....	80
4.13 Análisis Causa Raíz Energía Rectificador.....	80
4.14 Análisis Causa Raíz Energía Panel de Transferencia.....	81

4.15	AMEF Sub-Sistema de Energía.....	85
4.16	Diagrama de Decisión Sub-Sistema de Energía.....	86
4.17	Tareas por consecuencias.....	87
4.18	Tareas Proactivas.....	88
4.19	Tareas del Radio por Consecuencias.....	88
4.20	Tareas del Radio e Infraestructura Proactivas.....	89
4.21	Tareas por Disciplinas.....	89
4.22	Análisis Costo Riesgo Beneficio.....	91

INDICE DE TABLAS

CAPITULO IV

4.1 Tabla Configuración de Radios Puerto La Cruz.....	55
4.2 Tabla Criterio Numero de enlaces.....	57
4.3 Tabla Criterio capacidad del radio.....	57
4.4 Tabla Criterio de Acceso.....	58
4.5 Tabla Criterio de Flexibilidad.....	58
4.6 Tabla Criterio de Desconexión de la Central telefónica.....	58
4.7 Tabla de calculo de criterios de Consecuencias.....	59

A través de los años la globalización ha llevado a grandes cambios estructurales en el sistema de gerencia del mundo empresarial y uno de los mecanismos para efectuar notables transformaciones fue el enfoque de la confiabilidad dentro del sistema. Cada día se hace más exigente los niveles de producción, calidad, demanda, seguridad, ambiente, mantenimiento; induciendo de esta forma la competencia en la economía global y manteniendo a las empresas bajo una intensiva presión. Es por ello que la industria debe ir sobre la marcha de estos desarrollos.

En el ámbito mundial se ha observado que muchas compañías han aplicado nuevas técnicas y estrategias en la búsqueda de una cultura de confiabilidad mejorando de esta forma sus gestiones. Básicamente todas las compañías están centrando sus esfuerzos sobre la manera de dirigir sus prácticas de mantenimiento. Específicamente se preguntan ¿Qué podemos hacer para disminuir los costos de mantenimiento?, ¿Cómo podemos aumentar los tiempos entre fallas?, ¿Cómo garantizar seguridad, calidad, productividad? y separando sus gestiones de las tradicionales, logran aumentar sus niveles de capacidad.

En Venezuela ya comienzan a aplicarse técnicas de confiabilidad como una alternativa para el mejoramiento de las gestiones empresariales. Sin embargo, aún la cultura de confiabilidad dentro del ámbito empresarial venezolano no se ha desarrollado en forma plena.

Específicamente en PDVSA, ya se han comenzado a aplicar herramientas técnicas de confiabilidad y los resultados han sido satisfactorios.

Por todo lo expuesto anteriormente surge la iniciativa del presente trabajo, el cual consiste el desarrollo de un Modelo de Confiabilidad Operacional en la Red de Transmisión de PDVSA Oriente Distrito PLC para optimizar el proceso de Gestión de Confiabilidad Operacional con la visión de alcanzar una Gestión de Activos Clase Mundial.

El nuevo enfoque que presenta este trabajo sobre estrategias para ejecutar una gestión de Confiabilidad Operacional, permite el uso simultáneo de las distintas metodologías dentro del mismo ámbito y donde la información extraída de cada una de ellas sirve como insumo a las demás.

El trabajo se inicia con la justificación, alcance y objetivos los cuales se desarrollan en el (Capítulo I), donde se describe la justificación del este modelo propuesto en la red de transmisión, conjuntamente con el alcance del análisis, el objetivo principal con los específicos.

Luego en el (Capitulo II) se inicia con una introducción a la teoría de confiabilidad donde se describen los antecedentes más notables en la industria petrolera, luego se presentan un conjunto de nociones preliminares que permiten visualizar de una manera holística el concepto de Gestión de Activos Clase Mundial y la influencia que posee una Gestión de Confiabilidad Operacional dentro del mismo.

Posteriormente se describen las diversas herramientas de confiabilidad operacional en el (Capítulo III), con la finalidad de dar una visión más detallada del uso de las mismas en el proceso de gestión contenido dentro del modelo propuesto.

Seguidamente se presenta la aplicación del modelo propuesto en la red de transmisión de PDVSA Oriente en el Distrito Puerto La Cruz (Capítulo IV) comenzando primero con una breve explicación del sistema.

Finalmente se muestra los anexos con los reportes de los resultados del MCC en las estaciones de Telecomunicaciones del Distrito Puerto La Cruz conjuntamente con los reportes del APT – Lifespan.

1.1 JUSTIFICACION

Cada Día las exigencias de la producción y del mercado llevan a la realización de ajustes en los presupuestos y estos deben estar alineados con las políticas de mantenimiento existentes. Para poder realizar las actividades sin afectar los procesos, es necesario establecer patrones y políticas derivadas de herramientas confiables que puedan justificar las inversiones y gastos en un momento determinado dentro de la gerencia AIT Oriente; es por esta razón que se vio la necesidad de aplicar un Modelo de Confiabilidad Operacional en la Red de Transmisión de PDVSA Oriente específicamente en el Distrito PLC para validar el modelo y masificarlos en el resto de los distritos .

La finalidad de este Análisis de Confiabilidad Operacional es realizar un estudio utilizando las diversas herramientas de confiabilidad como son Análisis de Criticidad (AC), Análisis Causa Raíz (ACR), Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC), entre otras; esto con la finalidad de lograr un mejoramiento del tiempo de reparación, una mejor capacitación del personal operario, una mejor estrategia de ensamblaje, una mejor estrategia gerencial, un mejoramiento de diseño, etc.

1.2 ALCANCE

El alcance de este trabajo consiste en la combinación de las metodologías técnicas de confiabilidad con la finalidad de construir un modelo de Confiabilidad Operacional que primero permita diagnosticar los sub-sistemas con la finalidad de establecer la ruta critica a seguir para aplicar las optimas acciones en la red de transmisión de PDVSA Distrito Puerto La Cruz, adicional estará conformado por una etapa de control basándose en

metodologías que mejor se acoplen a las necesidades reales del sistema para lograr mantener la función deseada. En el modelo también se considerara realizar una evaluación Costo Riesgo Beneficio con herramientas que permitirán tomar decisiones optimas ante la presencia de data débil, rompiendo esto con el paradigma de la búsqueda de los lotes de datos precisos (difícil de encontrar en la realidad). En este trabajo se tomaran los conceptos de Gerencia de Activos desarrollados por The Woodhouse Partnership Limited. La Gerencia de Activos es un juego de procesos, metodologías de confiabilidad Integradas de forma ordenada adoptadas en tres fases, (Primera fase en el Diagnostico – Segunda fase en el Control y en la tercera, la Optimización), herramientas, medida de desempeños y entendimiento compartido, que juntan las mejoras o actividades individuales. O más aun, esta es un juego de técnicas muy dinámicas y auto-ajustables, es el lubricante que mantiene todos los dientes del engranaje juntos.

1.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar un Análisis de Confiabilidad Operacional en la red de transmisión de PDVSA Oriente utilizando metodologias de confiabilidad para detectar mejoras en el sistema.

1.4. OBJETIVOS ESPECIFICOS

1.- Jerarquización de Estaciones de telecomunicaciones a través de análisis de criticidad.

2.- Identificación de tareas de mantenimiento utilizando la metodología Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.

3.- Emitir recomendaciones de diseño que conlleven a mejorar la confiabilidad y disponibilidad de las instalaciones.

4.- Realizar Análisis Costo Riesgo Beneficio para validar que sea económicamente factible y con bajo impacto en el negocio.

2.1 ANTECEDENTES

Los primeros pasos en la cuantificación de la confiabilidad fueron en la industria aeronáutica. A partir de la Primera Guerra Mundial, el número de tráfico aéreo y caídas de aviones se incrementó, surgieron entonces los criterios de confiabilidad y seguridad orientados hacia el mejoramiento de la eficiencia de los equipos.

Durante la Segunda Guerra Mundial surgió la necesidad de una respuesta a rápidos desarrollos tecnológicos y la gran exigencia sobre el funcionamiento de los equipos bélicos; por tal causa comenzaron a desarrollarse técnicas de confiabilidad en el ámbito de los circuitos eléctricos y áreas de la electrónica.

Los primeros análisis sistemáticos de confiabilidad fueron realizados por el alemán Werner Von Braun quien manifestó la iniciativa de mejorar la eficacia de los cohetes V-1 cuya primera serie resultó totalmente desconfiable. Estudió entonces las causas de las fallas y ajustó sus resultados en modelos con diseños mejorados.

Una anécdota relevante en este período tuvo lugar cuando el grupo de investigadores encabezado por Werner Von Braun, consultó acerca de la problemática de los cohetes V-1 con Robert Lusser, un matemático inglés quien respondió con la famosa frase: *“No existe cadena alguna que sea más fuerte que el más débil de sus eslabones”*. Con esto, él se refería a que la metodología usada no era aplicable sobre un sistema en serie con componentes que presentaban fallas aleatorias. Lusser desarrolló entonces la ley de la confiabilidad de los componentes en serie la cual se enuncia

como: *“la confiabilidad de un sistema cuyos componentes están dispuestos en serie, es igual al producto de las confiabilidades de cada uno de ellos”*.

Por otra parte, durante este período también se presentaron progresos notables a través de los procesos de endurecimiento de superficies de cigüeñales y árboles de levas, avances donde los diseños se orientaron hacia la accesibilidad para mantenimiento, proporción de planes, técnicas, planificaciones del mantenimiento preventivo, planes de inspección, cartas de control para herramientas de máquinas de alta producción, etc. Esto marcó la entrada de la ingeniería industrial en el campo y nuevas técnicas estadísticas asociadas.

Al final de la Segunda Guerra Mundial, continuaron evolucionando los estudios de confiabilidad cuyo impulso fue la guerra fría, la carrera espacial y el desarrollo de la industria nuclear.

En la década de los 50 ya se empezó a estudiar la confiabilidad en el campo computacional, reactores nucleares y aeromodelismo; se le otorgó un papel preponderante a la seguridad, se dió inicio a los análisis de confiabilidad al nivel de componentes basada en tasa de fallas, esperanza de vida útil, eficiencia del plan y predicción de fallas.

También en este período se unieron esfuerzos para estudiar y corregir errores humanos que contribuyen a la falla de los sistemas. Una de las primeras estimaciones de la influencia del factor humano se elaboró en los laboratorios de Sandia en 1952, a través de un estudio clasificado sobre un avión con sistemas de arma nuclear.

En los 60 el concepto de confiabilidad alcanzó el área de la industria misilística. Es en este período donde se presentó la mayor necesidad de nuevas técnicas de confiabilidad y las más vastas aplicaciones especializadas.

Se extendió el análisis del comportamiento de los componentes, discriminando los sistemas como mecánicos, eléctricos e hidráulicos y se hizo énfasis en los efectos que las fallas de dichos componentes producían sobre el sistema al cual integraban. La era de los proyectiles intercontinentales junto a los proyectos y programas subsecuentes tales como Mercurio y Géminis, aceleraron la búsqueda del éxito a través del mejoramiento continuo.

Se desarrollaron sistemas de análisis utilizando diagramas de bloques y un extenso número de modelos exitosos para el logro de las metas trazadas en seguridad y Confiabilidad.

Con la creciente complejidad de diagramas de bloques más sofisticados, surgió en 1961 el concepto de *análisis de árbol de fallas* originado por H. A. Watson como un plan para analizar la seguridad del sistema de control de un contador de lanzamientos espaciales. Mas tarde la Boeing Company modifica este programa con el uso de computadoras.

En 1965, D.F. Haasl, desarrolló una técnica de construcción del árbol de fallas y esta nueva aplicación abarca una amplia gama de problemas concernientes a confiabilidad y seguridad industrial.

Además se desarrollaron estudios sobre la disponibilidad y la mantenibilidad para equipos individuales. En fin, en este período se

presentan cambios notorios con la presencia de distinguidos matemáticos tales como Z.W. Birnbaum, R. Barlow, F. Proschan, J. Esary, y W. Weibull; llevando a cabo el desarrollo de técnicas estadísticas avanzadas y genéricas para el análisis de problemas de mantenibilidad y confiabilidad.

En los años 70 se profundizó el estudio de árboles de eventos, árboles de fallas, técnicas de análisis de riesgo – consecuencia y estas herramientas fueron aplicadas a diversas industrias, principalmente la química.

El desarrollo de los análisis de Confiabilidad avanzó hasta la década de los 80 con modelos estadísticos basados en tasa de fallas constantes, esto limitó el análisis de equipos cuya tendencia de fallas no presentara tal comportamiento.

A partir de los años 80 con el desarrollo computacional y el uso de software, se produjeron notables cambios en las técnicas de análisis de la confiabilidad, generando el mejoramiento de la misma con modelos estadísticos basados en tasa de fallas aleatorias, costos, riesgo, etc.

Ya en la década de los 90 la Confiabilidad se convirtió en un concepto involucrado en industrias petroquímicas, industrias de procesos continuos y compañías de vanguardia. Estas han desarrollado aplicaciones particulares de técnicas de confiabilidad para la optimización de sus gestiones dando origen al concepto de *Confiabilidad Operacional*.

En 1996 PDVSA inicia un proceso para identificar e iniciar acciones destinadas a crear/agregar valor a la función mantenimiento. Dentro del marco corporativo, se homologaron las siguientes iniciativas: Implantación de las Diez Mejores Prácticas de Mantenimiento Clase Mundial (MCM),

Cuadros de Mandos Integrales (BSC) y la Transformación/Integración de PDVSA con la fusión de las filiales operadoras en enero de 1998.

En ese momento, se conceptualizó un pentágono, donde sus 5 vértices resumen en 5 macro-proyectos, el camino a seguir para la implantación de las mejores prácticas, seguidas por empresas líderes de categoría clase mundial:

- ❖ **Gerencia del cambio:** plan de educación basado en competencias, programa de enriquecimiento artesanal, integración operador/mantenedor y organización integral de equipos de trabajo.

- ❖ **Producción Basada en Confiabilidad:** Implantación de un Programa de Mejoramiento de la Confiabilidad Operacional con el desarrollo de metodologías como Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC), Inspección Basada en Riesgos (IBR), Análisis Causa Raíz (ACR), Optimización Costo-Riesgo de Tareas de Mantenimiento e Inspección (OCR), Gerencia de Seguridad de los Procesos (GSP), y Tecnología de Punta.

- ❖ **Integración con Proveedores de Materiales y Servicios:** Alianzas de procura, integración cliente-suplidor, promover proveedores integrales, acuerdos de niveles de servicio.

- ❖ **Contratistas Orientados a la Productividad:** Nuevas modalidades y estrategias de contratación y acuerdos de niveles de servicio.

- ❖ **Sistemas Integrados de Información:** Integración MAXIMO/SIM/SICOT/PITIM en SAP-PM

Las prácticas de integración y sus factores claves se resumen en objetivos alineados hacia una visión/dirección común, cambio cultural, comunicación abierta y continua, fortalecimiento de la relación mutua, minimización de los términos de los contratos, acceso y apertura, aceptación y divulgación de los planes estratégicos, involucramiento, integración informativa y administrativa, riesgos compartidos y ventaja competitiva.

Para el caso particular de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, el proceso se inicia en áreas de la exfilial Maraven en el año 1996, estableciendo una estrategia de aplicación a partir de 1998 para toda la corporación.

2.2 TECNOLOGIA PDH

Las redes de transmisión de datos de alta capacidad PDH están basadas en la jerarquización de señales multicanalizadas. A nivel mundial, dos estándares han sobresalido en cuanto a jerarquías PDH: el estándar americano (norma BELL) y el estándar Europeo (norma CEPT).

El estándar americano define un nivel básico de transmisión de datos denominado T1 o DS-1. El T1 está compuesto de 24 canales de voz en PCM (Modulación de pulsos codificados) (64 Kbps) mas un bit para sincronización de los canales, formando así una trama de 1.544Mbps. En cada nivel físico de la jerarquía PDH se va aumentando el número de canales multiplexados sobre el medio físico, de manera que el formato de trama es distinto en cada nivel e incluso varía la duración de cada una. En una trama además de los canales de 64Kbps se transporta información de control, que se va añadiendo cada vez que se aumenta de nivel. De este modo el número de canales información de 64Kbps siempre es múltiplo del número de canales

del nivel inferior pero no ocurre lo mismo con el régimen binario. Otras jerarquías han sido definidas dentro del estándar americano, tal como se muestra en la figura No. 2.1

T1: 1.544 Mbps (24CH)

T2: 6.312 Mbps (4T1 o 96CH)

T3: 44.736 Mbps (7T2 o 672CH)

T4: 274.176 Mbps (6T3 o 4032CH)

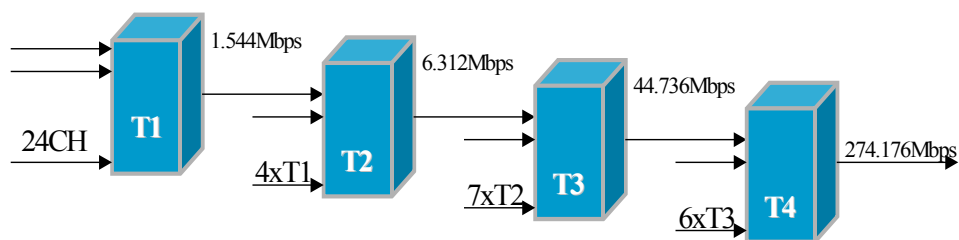


Figura 2.1 Formación de las Jerarquías PDH de ANSI

Por otro lado, el estándar europeo define un nivel básico denominado E1, compuesto por 30 canales de voz PCM mas dos canales para supervisión y niveles o jerarquías a partir de nivel básico. Estas jerarquías se muestra en la figura 2.2

E1: 2.048 Mbps (30CH)

E2: 8.448 Mbps (4E1 o 120CH)

E3: 34.368 Mbps (4E2 o 480CH)

E4: 139.274 Mbps (4E3 o 1920CH)

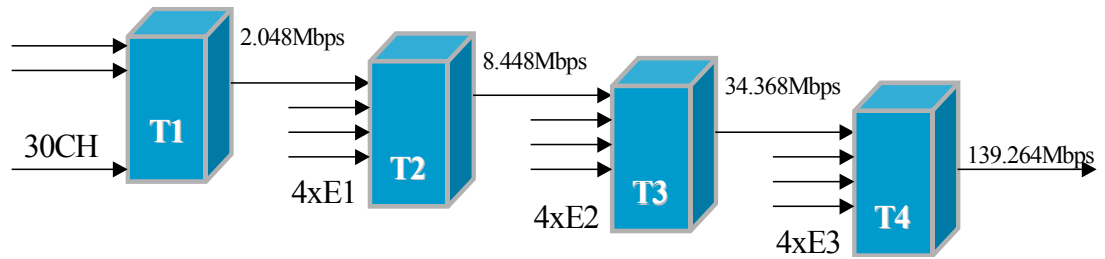


Figura 2.2 Formación de las jerarquías PDH de ETSI

La formación de una trama de 2 Mbps se esquematiza en la figura 2.3

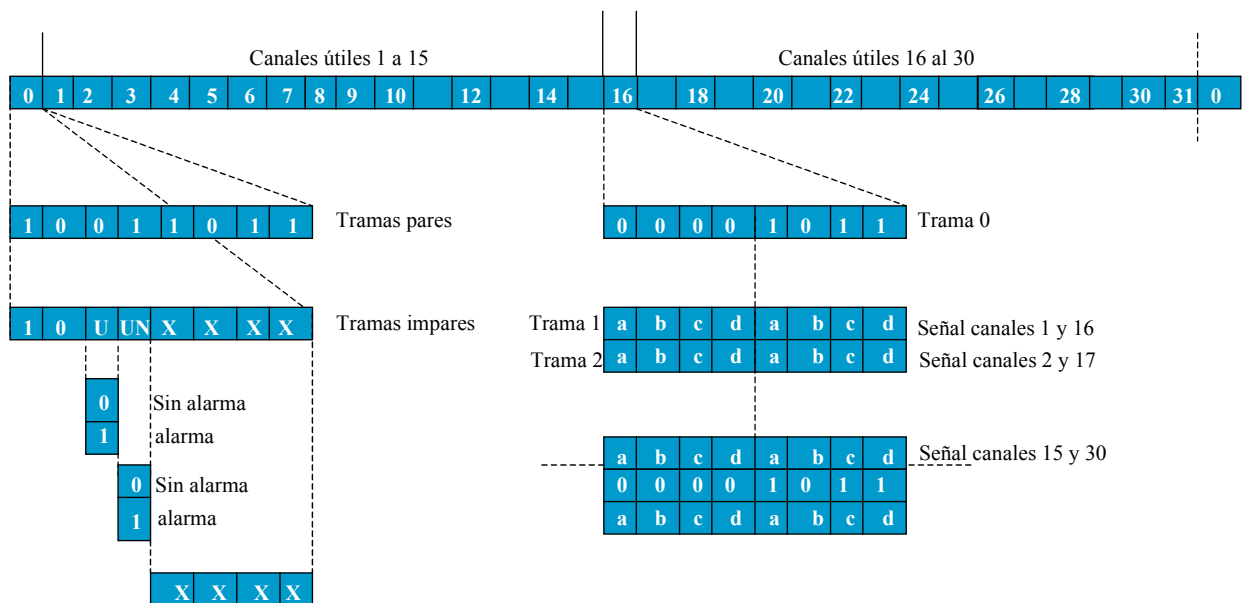


Figura 2.3 Trama primaria de 2Mbps

Los espacios de carga para los tributarios en la trama E1 se encuentran intercalados byte a byte (cada octeto consecutivo en la trama

representa un nuevo time slot, o intervalo de tiempo); lo que significa que cada octeto de la trama (repetido 8000 veces por segundo), constituye un espacio de carga con capacidad nominal de transportar 64Kbit/s.

Los tributarios transportados en la trama son copiados en los respectivos espacios de carga (intervalos de tiempo). Como la trama no permite ajustar la velocidad de cada tributario al espacio de carga que le es destinado, los tributarios tienen que ser síncronos a la trama primaria hacia la cual son copiados, pues de otro modo ocurrirían slips (deslizamientos) periódicamente.

De hecho lo que pasa en centrales y cross-connects digitales de tributarios de 64kbit/s, es que esos elementos copian la carga extraída de los espacios de carga de las tramas primarias que les llegan hacia memorias elásticas. De esas memorias, la carga es leída, con el reloj local, y copiada en los espacios de carga de tramas generadas por esos elementos hacia delante. Los tributarios tienen que caber exactamente en esos espacios; de otro modo, los elementos que hacen la conmutación tendrían que periódicamente introducir slips o desplazamientos siempre que se hubiese acumulado un desfase igual a la mitad del tamaño de la memoria elástica. Con ello, la información sería en el proceso de conmutación.

Debido a esa problemática, para que una señal de 64 kbit/s o $n \times 64$ kbit/s pueda ser transportada sin errores, es necesario que todas las señales de 64 kbit/s sean síncronas a las tramas de 2 Mbit/s, y que todas las tramas de 2 Mbit/s en la red sean asíncronas entre sí. En el proceso de extracción/inserción de señales tributarias a multiplexores respectivamente, para obtener señales tributarias al nivel requerido. La utilización de estos

bloques implica el empleo de recursos económicos adicionales, espacio, numerosas conexiones, etc.

Hoy en día la transmisión digital no está limitada sólo en la parte de aplicaciones de voz. Razón por la cual la tendencia en aplicaciones futuras requerirán el soporte de estándares más flexibles que el suministrado por PDH. En este sentido en la actualidad han surgido nuevas alternativas de estándares que poseen robustez en los puntos débiles de PDH. Entre los cuales es importante mencionar SONET (Synchronous Optical Network) y SDH (Synchronous Digital Hierarchy).

2.2.1 CARACTERÍSTICAS DE PDH

- ❖ El primer nivel (E1 o T1) se trata bajo la forma de octetos.
- ❖ Los niveles superiores se tratan bajo la forma de bits.
- ❖ La duración de las tramas no es uniforme.
- ❖ La alineación de tramas se obtiene mediante una señal de alineación de trama.
- ❖ No todas las interfaces están estandarizadas.
- ❖ Baja capacidad de los canales de servicio. Constituidos de bits en la señal de alineación de trama, utilizados primordialmente para alarmas remotas.
- ❖ Debido a la necesidad de gestión, los equipos de línea generalmente crean una trama propia, no estandarizada, para incluir los canales de servicio y monitorización de errores.

La incompatibilidad de los estándares americanos y europeos hace necesaria la utilización de equipos adicionales de interfaz en los casos

requeridos (comunicaciones internacionales). Estos equipos son complejos y costosos.

2.3 HERRAMIENTAS DE CONFIABILIDAD OPERACIONAL

Las herramientas de Confiabilidad Operacional (Análisis de Criticidad, Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, Análisis Causa Raíz, entre otras) influyen directamente sobre los cuatro parámetros que la conforman, lo cual permite el acceso a la manipulación gerencial de los mismos.

Es en este punto, donde comienza el proceso de generación de modelos de confiabilidad operacional a través del uso de las herramientas, incidiendo sobre sus parámetros y al mismo tiempo orientando dicho proceso hacia el alcance de una gestión de activos Clase Mundial.

2.4 HERRAMIENTAS DE DESARROLLO ORGANIZACIONAL

Las herramientas de desarrollo organizacional, comprenden todo el conjunto de metodologías y estrategias que inducen a la aceptación de cambios de paradigmas dentro de la empresa, es decir, todas aquellas prácticas que se ejecutan para abolir la resistencia al cambio cuando nuevas culturas pretenden ser incluidas dentro del ambiente de trabajo.

Igualmente las herramientas de desarrollo organizacional, comprenden los sistemas de inducción para la formación de equipos dentro de las diversas dependencias de la empresa; bajo este concepto se genera el *Equipo Natural de Trabajo*, el cual está integrado por personas que se

desempeñan en diversas áreas de la organización, quienes trabajan juntas por un período de tiempo determinado en un clima de potenciación para analizar problemas comunes de los distintos departamentos, apuntando al logro de un objetivo común.

Dentro de las herramientas organizacionales, se toma en cuenta el aporte que puede suministrar el personal basándose en su experiencia, enriqueciendo de esta forma las decisiones que se puedan tomar en un momento dado con hechos ya experimentados en el pasado.

2.5 HERRAMIENTAS TÉCNICAS

2.5.1 ANALISIS DE CRITICIDAD

Es una metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos, en función de su impacto global, con el fin de optimar el proceso de asignación de recursos (económicos, humanos y técnicos). El término “crítico” y la definición de criticidad pueden tener diferentes interpretaciones y van a depender del objetivo que se está tratando de jerarquizar. Desde esta óptica existen una gran diversidad de herramientas de criticidad, según las oportunidades y las necesidades de la organización, la metodología propuesta, es una herramienta de priorización bastante sencilla que genera resultados semicuantitativos, basados en la teoría del Riesgo

Para aplicar AC se deben definir los alcances y propósitos del análisis; se debe establecer criterios de importancia y se debe seleccionar un método de evaluación para jerarquizar la selección del sistema objeto del análisis.

El análisis se realiza vía tormenta de ideas en una reunión de trabajo con un grupo multi-disciplinario entre los que se encuentran la línea supervisora y trabajadores de operaciones y mantenimiento, ingeniería de procesos o infraestructura, analista de mantenimiento preventivo/predictivo), con la finalidad de unificar criterios y validar la información.

Generalmente los criterios establecidos para AC son: Seguridad, Ambiente, Producción, Costos de Operación, Costos de Mantenimiento, Frecuencia de Fallas y tiempo promedio para reparar. Con estos criterios, se genera un modelo de criticidad definido por:

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia Fallas} * \text{Consecuencia} \text{ e.c. [2.1]}$$

Donde la consecuencia está ahora en función de los criterios de impacto operacional, costo de mantenimiento, impacto de seguridad ambiental e higiene y el concepto de *flexibilidad operacional*, el cual indica si existe o no la posibilidad de producción durante la falla, si hay o no función del repuesto, si hay repuestos en el almacén y si el repuesto está disponible, etc.

De esta manera se define la consecuencia como el producto de los factores de impacto operacional y la flexibilidad operacional agregado a los costos de mantenimiento e impacto de seguridad ambiental, esto es:

$$\text{Consecuencia} = ((\text{Impacto Operacional} + \text{Flexibilidad} + \text{Costos de Mtto.} + \text{Impacto SAH}) \text{ e.c. [2.2]}$$

Una vez realizado el análisis cuantitativo de la consecuencia y por ende de la criticidad, se emite una matriz de criticidad (véase Figura 2.4), en la cual se ubica el equipo o sistema según su nivel, bien sea, crítico (C), medianamente crítico (MC) y no crítico (NC).

F R E C U E N C I A	4	MC	MC	C	C	C
	3	MC	MC	MC	C	C
	2	NC	NC	MC	C	C
	1	NC	NC	NC	MC	C
		10	20	30	40	50
		CONSECUENCIA				

Figura 2.4- Matriz de Criticidad

Un AC debe aplicarse cuando se requiera de fijar prioridades en sistemas complejos, administrar recursos escasos, crear valor, determinar impacto en el negocio, aplicar metodologías de confiabilidad operacional, etc.

AC puede ser aplicado en cualquier conjunto de procesos, plantas, sistemas, equipos y/o componentes que requieran ser jerarquizados en función de su impacto dentro del ámbito en estudio.

2.5.2 ANALISIS CAUSA RAIZ (ACR)

La metodología de Análisis Causa Raíz (ACR) propuesta por la empresa consultora “Reliability Center Incorporated” (RCI), es de gran

efectividad en la solución de problemas de equipos que presentan fallas recurrentes.

La gran cantidad de fallas en algunos equipos puede convertirlos en los llamados “pocos vitales” es decir, un grupo reducido de equipos que pueden estar consumiendo gran parte del presupuesto de mantenimiento y afectado significativamente la operación y rendimiento de la instalación. Esta empresa utiliza un procedimiento estructurado para determinar la causa raíz de la fallas al cual denominaron “PROACT™”, el cual consiste fundamentalmente en 5 pasos a seguir durante el análisis conducido por un Equipo Natural de Trabajo (ENT). Los 5 pasos se llevan a cabo después de haber completado un Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF), en el cual se determinan los eventos de falla “pocos vitales”. La palabra “PROACT” es una abreviación de las palabras en inglés “Preserve”, “Order”, “Analyze”, “Communicate” y “Tracking”^[3], las cuales describen los 5 pasos de la metodología que se describen brevemente a continuación.

- a) **“Preserve”**: Preservar la información de la falla, relacionando esta información con las denominadas “5 Reglas de Oro”, que no son más que las fuentes donde se obtendrá esta información: partes asociadas a la falla, posición o ubicación del evento físico, papeles o documentos de interés relacionados con el evento, paradigmas del personal relacionado con el equipo o componente, e información proveniente de testigos presenciales y protagonistas.
- b) **“Order”**: conformar el ENT y ordenar el análisis fijando estrategias y responsabilidades para la captura y análisis de los datos.

- c) **“Analyze”**: realizar el análisis de falla describiendo y definiendo el evento y los modos de fallas, planteando y verificando hipótesis, y determinando las raíces físicas, humanas y latentes de la falla.
- d) **“Communicate”**: comunicar resultados y recomendaciones del análisis.
- e) **“Tracking”**: control y seguimiento a la implantación y ejecución de recomendaciones.

En la Fig. 2.5 se muestra un esquema de los pasos que deben ser llevados a cabo para completar el Análisis Causa Raíz siguiendo la metodología propuesta por RCI.



Figura 2.5 Análisis Causa Raíz utilizando metodología PROACT.

Una vez conformado el Equipo Natural de Trabajo (ENT) y definidas las premisas del análisis se construye un “árbol de fallas”, estructurándolo tal y como se muestra la Fig. 2.6. En primera instancia, se describe el evento de falla, definiendo con exactitud el significado de la palabra falla en el contexto de operación. Luego se identifican los modos de fallas asociados al

evento, continuando con la formulación de hipótesis asociadas a cada modo de falla. En esta instancia se asignan las tareas a los miembros del equipo para verificar la información clasificando la información a ser recogida según las “5 Reglas de Oro”, es decir, papel, posición, partes, paradigmas y gente. Una vez comprobadas o descartadas las hipótesis se formulan las raíces físicas, humanas y latentes.

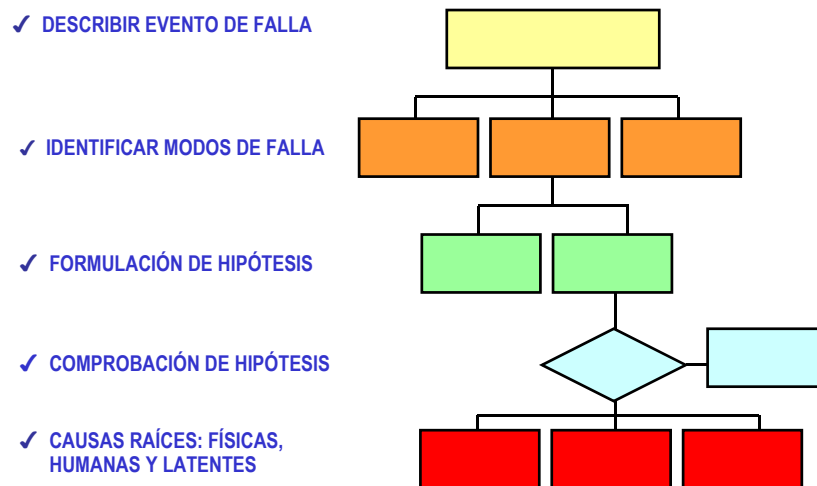


Figura.2.6 Estructura del “árbol de falla” de la metodología PROACT™.

2.5.3 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (MCC)

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad fue desarrollado en un principio por la industria de la aviación comercial de los Estados Unidos, en cooperación con entidades gubernamentales como la NASA y privadas como la Boeing (constructor de aviones). Desde 1974, el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, ha usado el MCC, como la filosofía de mantenimiento de sus sistemas militares aéreos. El éxito del MCC en el sector de la aviación, ha hecho que otros sectores tales como el de

generación de energía (plantas nucleares y Centrales termoeléctricas), las industrias petroleras, químicas y de refinación, se interesen en implantar esta filosofía de gestión del mantenimiento, adecuándola a sus necesidades de operaciones.

Un aspecto favorable de la filosofía del MCC, es que la misma promueve el uso de las nuevas tecnologías desarrolladas para el campo del mantenimiento.

La aplicación adecuada de las nuevas técnicas de mantenimiento, bajo el enfoque del MCC, permite de forma eficiente, optimar los procesos de producción y disminuir al máximo los posibles riesgos sobre la seguridad personal y el ambiente, que traen consigo las fallas de los activos en un contexto operacional específico.

En la actualidad, las compañías; Shell y British Petroleum líderes en el sector petrolero, han implantado el MCC. En el caso de Venezuela, la Refinería de Cardón perteneciente a PDVSA, comenzó hace cuatro años a aplicar la filosofía del MCC durante el proceso de renovación y ampliación (Proyecto PARC), obteniéndose de forma satisfactoria a finales del año 1996, los primeros resultados. PDVSA adoptó dentro del proyecto Producción Centrada en Confiabilidad, la aplicación de dicha metodología como parte del objetivo básico de cualquier gestión de Mantenimiento, consiste en incrementar la disponibilidad de los activos, a bajos costos, partiendo de la ejecución permitiendo que dichos activos funcionen de forma eficiente y confiable dentro de un contexto operacional.

El objetivo básico de cualquier gestión de Mantenimiento, consiste en incrementar la disponibilidad de los activos, a bajos costos, partiendo de la ejecución y permitiendo que dichos activos funcionen de forma eficiente y confiable dentro de un contexto operacional.

En otras palabras, el mantenimiento debe asegurar que los activos continúen cumpliendo las funciones para las cuales fueron diseñados. Es decir, debe estar centrado en la Confiabilidad Operacional.

En la actualidad, este objetivo puede ser alcanzado de forma óptima, con la metodología de gestión del Mantenimiento, titulada Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC).

En términos generales, permite distribuir de forma efectiva los recursos asignados a la gestión de mantenimiento, tomando en cuenta la importancia de los activos dentro del contexto operacional y los posibles efectos o consecuencias de los modos de fallas de estos activos, sobre la seguridad, el ambiente y las operaciones.

“El MCC sirve de guía para identificar las actividades de mantenimiento con sus respectivas frecuencias a los activos más importantes de un contexto operacional. Esta no es una fórmula matemática y su éxito se apoya principalmente en el análisis funcional de los activos de un determinado contexto operacional, realizado por un equipo de trabajo multidisciplinario.

El equipo desarrolla un sistema de gestión de mantenimiento flexible, que se adapta a las necesidades reales de mantenimiento de la organización, tomando en cuenta, la seguridad personal, el ambiente, las operaciones y la razón costo/beneficio.

En otras palabras el MCC es una metodología que permite identificar las políticas de mantenimiento óptimas para garantizar el cumplimiento de los estándares requeridos por los procesos de producción.

Esta metodología demanda una revisión sistemática de las funciones que conforman un proceso determinado, sus entradas y salidas, las forman en que pueden dejar de cumplirse tales funciones y sus causas, las consecuencias de las fallas funcionales y las tareas de mantenimiento óptimas para cada situación (predictivo, preventivo, etc.) en función del impacto global (Bs, Barriles).

2.5.3.1 ¿Qué es MCC?

Mantenimiento Centrado en Confiabilidad es una metodología utilizada para determinar sistemáticamente, que debe hacerse para asegurar que los activos físico continúen haciendo lo requerido por el usuario, en el contexto operacional presente.

2.5.3.2 ¿Por qué se necesita?

Responde a las debilidades de los enfoques tradicionales de mantenimiento y permite asociar los riesgos del negocio con la falla de los activos.

2.5.3.3 ¿Qué busca?

MCC, busca definir estrategias de Mantenimiento que:

- ❖ Mejoren la seguridad
- ❖ Mejoren el rendimiento operacional de los activos
- ❖ Mejoren la relación costo/riesgo-efectividad de las tareas de mantenimiento
- ❖ Sean aplicables a las características de una falla
- ❖ Sean efectivas en mitigar las consecuencias de la falla, es decir, un mantenimiento que funcione y sea costo-efectivo.
- ❖ Sean documentados y auditables.

Un aspecto clave de la metodología MCC, es reconocer que el mantenimiento asegura que un activo, continúe cumpliendo su misión de forma eficiente en el contexto operacional.

La definición de este concepto se refiere a cuando el valor del estándar de funcionamiento deseado sea igual, o se encuentre dentro de los límites del estándar de ejecución asociado a su capacidad inherente (de diseño) o a su confiabilidad inherente (de diseño).

- ❖ La capacidad inherente (de diseño) y la confiabilidad inherente (de diseño) limita las funciones de cada activo.
- ❖ El mantenimiento, la confiabilidad operacional y la capacidad del activo no puede aumentar más allá de su nivel inherente (de diseño).

El mantenimiento solo puede lograr mejorar el funcionamiento de un activo cuando el estándar de ejecución esperado de una determinada función del activo, está dentro de los límites de la capacidad de diseño o de la confiabilidad de diseño del mismo.

Desde este punto de vista, el MCC, no es más que una herramienta de gestión del mantenimiento, que permitirá maximizar la confiabilidad operacional de los activos en su contexto operacional, a partir de la determinación de los requerimientos reales de mantenimiento.

“ Una filosofía de gestión del mantenimiento, en la cual un equipo multidisciplinario de trabajo, se encarga de optimar la confiabilidad operacional de un sistema que funciona bajo condiciones de trabajo definidas, estableciendo las actividades más efectivas de mantenimiento en función de la criticidad de los activos pertenecientes a dicho sistema” [4]

Esta definición toma en cuenta los posibles efectos que originarán los modos de fallas de estos activos, a la seguridad, al ambiente y a las operaciones.

En otras palabras un equipo multidisciplinario de trabajo se encarga de maximizar la confiabilidad operacional de un sistema, identificando los requerimientos necesarios de mantenimiento según la importancia y criticidad de los activos en su actual contexto operacional, partiendo de la función que cumple cada activo en el contexto operacional, y finalizando con el análisis del posible efecto ó consecuencia.

Esto originaría el modo de falla asociado a la falla funcional de cada activo, sobre la seguridad, el ambiente y las operaciones.

En MCC los proyectos deben ser cuidadosamente seleccionados y definidos; es de suma importancia el involucramiento del cliente; debe hacerse uso de la mejor información de fallas disponibles; los beneficios deben ser mensurables antes y después.

Particularmente en MCC, se debe comenzar por un análisis general, al cual se le hará una auditoría para luego establecer una planificación que al ejecutarse deberá ser revisada en el tiempo.

En un análisis del MCC el equipo natural de trabajo, debe definir el contexto operacional del equipo y/o sistema que va a ser estudiado.

El contexto operacional puede ser analizado desde un enfoque operativo donde se toma en cuenta el propósito del sistema; la descripción de los equipos; descripción de los procesos; dispositivos de seguridad; inquietudes, planes a futuro, metas de seguridad, ambiente y operación. Puede ser analizado también desde un enfoque del personal donde se toma en cuenta los turnos rotativos, operaciones, mantenimiento, parámetros de calidad y gerencia. También puede ser analizado desde un enfoque de los procesos, donde se toma en cuenta la división de éstos en sistemas, se definen los límites del sistema y se registran listados de componentes para cada sistema.

Una vez definido el contexto operacional del equipo y/o sistema, el equipo natural de trabajo se debe plantear las 7 preguntas del MCC, de las cuales 5 de ellas corresponden al Análisis de Modos y Efectos de Fallas

(AMEF): ¿Cuál es la función del activo?, ¿De qué manera puede fallar?, ¿Qué origina la falla?, ¿Qué pasa cuando falla?, ¿Importa si falla?. Básicamente con un AMEF lo que se persigue es definir las funciones del equipo y/o sistema, determinar la fallas funcionales, identificar los modos de fallas y los efectos de fallas. Las dos preguntas restantes que pertenecen a la lógica de decisiones: ¿Se puede hacer algo para prevenir la falla? , ¿Qué pasa si no se puede prevenir la falla?; permiten orientar la toma de decisiones ante un evento específico.

Finalmente con la formulación de estas preguntas y las respuestas de las mismas, el equipo natural de trabajo está en capacidad de estructurar un árbol de decisiones que servirá como base a la elaboración de una hoja de decisiones la cual presenta la información necesaria para el desarrollo de los planes de mantenimiento que se van a generar.

Una hoja de decisiones es el instrumento donde se registrará tanto el análisis de modo y efectos de falla en conjunto con el estándar de ejecución, actividad del mantenimiento, acción de mantenimiento a ejecutar, frecuencia de aplicación del mantenimiento, número óptimo de repuestos en almacén y el personal que se responsabilizará de ésta tarea.

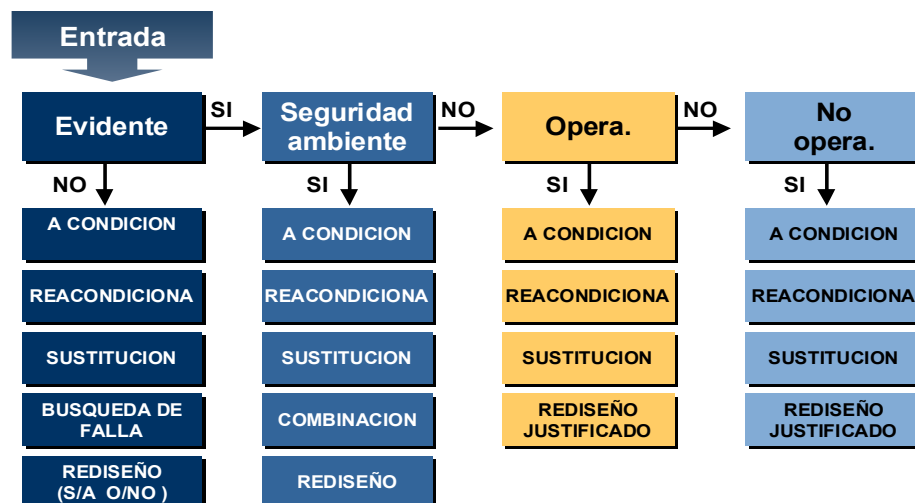


Figura 2.7 Árbol de decisiones.

2.5.4 ACRB: “Análisis de Costo Riesgo Beneficio” es una metodología que permite identificar la frecuencia óptima de las actividades de mantenimiento preventivo, con base en el costo total óptimo que genera. Esto se logra a través del balance de los costos – riesgos asociados a tales actividades y los beneficios que se generan.

Con ACRB se pueden determinar intervalos óptimos de mantenimiento, intervalos óptimos de inspección, análisis de factibilidad de reemplazo, análisis de factibilidad de inventario y análisis de ciclo de vida de las unidades.

Generalmente las gestiones de mantenimiento son aplicadas sólo para disminuir las frecuencias de fallas, sin analizar las consecuencias que generan éstas en el contexto operacional. En la selección de frecuencia de aplicación de las actividades de mantenimiento, el criterio usado ha sido la data histórica de fallas: tiempo promedio para fallar (TPPF).

Actualmente la función del mantenimiento no puede limitarse únicamente a la reducción de fallas con acciones de mantenimiento basadas en registros históricos de fallas. De esta manera el mantenimiento se puede describir como: “Preservar la función de los equipos aplicando estrategias efectivas de mantenimiento “costo/riesgo/beneficio”, que ayuden a minimizar los riesgos asociados a las consecuencias que generan los distintos modos de fallas dentro del contexto operacional”.

Para determinar los beneficios que aporta el mantenimiento, es necesario tomar en cuenta las razones que justifican las actividades de mantenimiento, esto es: ¿Cuál es el motivo para invertir dinero en mantenimiento?

Las razones principales que sustentan a este cuestionamiento son:

- ❖ Evita fallas o permite recuperarse de ellas.
- ❖ Mejora la eficiencia del equipo.
- ❖ Prolonga la vida útil.
- ❖ Permite el cumplimiento de las regulaciones.
- ❖ Mejora la imagen.

Un inconveniente, es relacionar las ganancias que se obtienen a partir de lo que se invierte en un departamento y los beneficios que se reflejan en otro sector. Esto conduce a la cuantificación de las variables involucradas y además relacionarlas con la cantidad obtenida con un gasto adicional o reducido, hecho que es complejo.

Una definición sólida debe involucrar las relaciones de precio-valor. Se debe adoptar algún tipo de unidades que permitan cuantificar cosas disímiles. El impacto total en la hoja de balance debe ser factor que determine la mejor oferta. Esto significa, minimizar el costo total de producción o maximizar las ganancias. Sólo a este nivel se puede determinar la combinación óptima entre los costos y los logros. La forma más común de expresar todo esto es a través de una gráfica como la que se muestra en la Figura 2.8

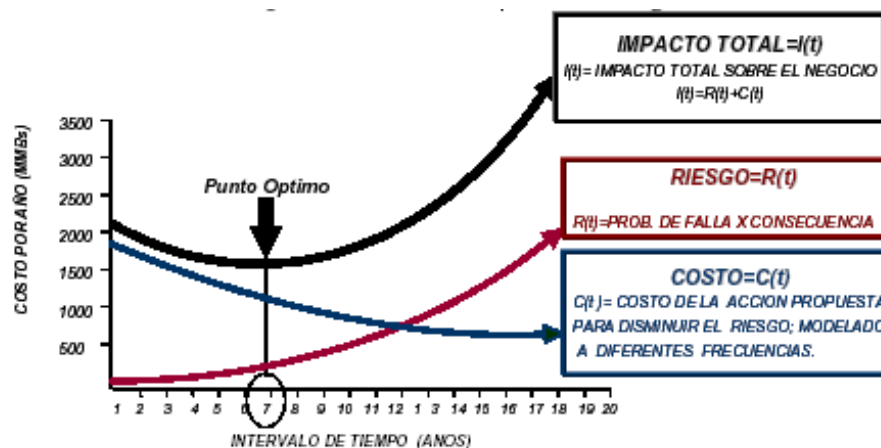


Figura 2.8 Nivel Óptimo de Riesgo.

A continuación se definen de forma general cada una de las herramientas APT:

- ❖ **APT-MAINTENANCE:** Utilizado para definir intervalos óptimos de mantenimiento, gerencia del deterioro, confiabilidad, desempeño y efectos del ciclo de vida.
- ❖ **APT-INSPECTION:** Utilizado para definir intervalos óptimos de monitoreo, pruebas e inspección y comparación costo/beneficio de métodos de monitoreo.
- ❖ **APT-PROJECT:** Esta herramienta, permite jerarquizar y visualizar costos beneficios y riesgos del propósito, modificaciones, proyectos, seguridad, procesos o cambios de proceso. En la Figura 2.14 se muestran resultados típicos tal como los muestra el APT Project:
- ❖ **APT-SPARE:** Permite generar estrategias de repuestos y materiales, niveles mínimos y máximos de inventarios, cuantificación de ordenes, comparación de suplidores y opciones de inventario. En la Figura 2.15 se muestran resultados típicos obtenidos a partir del APT Spare:
- ❖ **APT-LIFESPAN:** El análisis de optimización costo riesgo fundamentalmente significa obtener el mejor beneficio de una actividad específica de inspección y/o mantenimiento que mejore la confiabilidad del componente o equipo. Para realizar este análisis es necesario establecer una comparación entre los costos asociados a realizar la tarea de inspección y/o mantenimiento y los beneficios o riesgos potenciales al realizar o no la tarea, específicamente. El objetivo es determinar una combinación óptima de costos, vida esperada, riesgos, comportamiento y

otros factores asociados con la confiabilidad del ente evaluado para una tarea específica. Esto permitirá realizar análisis de sensibilidad que ayudarán a mejorar las estrategias de mantenimiento e inspección y salvar dinero al mismo tiempo.

Como se puede apreciar, un análisis de riesgos es la base sobre la cual se fundamentan los programas de *Assets Performance Tools* modelados por Woodhouse Partnership.

La frecuencia de fallas es determinada por medio de modelos estadísticos apoyados por datos históricos y en base a herramientas estadísticas como Weibull para mantenimiento, Log-Normal para inspección, Poisson para inventarios, y modelos económicos para proyectos.

Sin embargo, una de las mayores dificultades que presenta la determinación de la frecuencia de fallas, son las relaciones de matemáticas financieras en conjunto con la falta de información confiable. Esto puede traer como consecuencia imprecisión en las estrategias gerenciales y por tanto gastos innecesarios.

Por otra parte, las consecuencias presentan dos escenarios: el escenario de las actividades proactivas o planificadas y el escenario de las actividades reactivas o no planificadas.

3.1 MARCO METODOLOGICO

El marco metodológico utilizado en el Modelo de Confiabilidad Operacional diseñado consiste en herramientas técnicas que permiten obtener una exitosa Gestión de Confiabilidad. Cabe destacar que estas metodologías se caracterizan por ser pioneras para análisis en este tipo de sistemas las cuales durante su implementación y desarrollo se ha demostrado la potencialidad que tiene para lograr la confiabilidad en sistemas electrónicos, automatizados, informáticos, telecomunicaciones entre otros.

3.2 AREA DE INVESTIGACION

Este trabajo de Grado esta enfocado en el Area de Transmision dentro de la Gerencia de AIT Oriente de PDVSA, orientado a ofrecer una plataforma de análisis (metodología y software) para optimizar la planificación y la toma de decisiones en el sistema de microondas, fundamentada en análisis de confiabilidad y riesgo.

3.3 TECNICAS DE RECOLECCION DE LA DATA

Las técnicas utilizadas para la recolección de datos fue a través de conformación de Grupos Naturales de Trabajo. Este equipo multidisciplinario integrado básicamente por especialista en el Sistema de Energía, el Sistema de Radio, Sistema de Infraestructura que asistieron a nivel nacional Centro, Oriente y Occidente, fueron los que nos suministraron la información técnica del sistema. El grupo natural de trabajo fue asistido por un facilitador que fue el encargado de dirigir la dinámica de trabajo.

Las mesas de trabajos se realizaron por quince días consecutivos tres veces a la semana se reunían los equipos naturales de trabajo bajo una previa planificación. La dinámica consistía que el facilitador era el que dicta los lineamientos y reglas a llevarse a cabo durante el ejercicio y el como conocedor de todas las metodologías de trabajo era el encargado de conseguir el consenso de todos lo participantes. A continuación se muestra las características que deben considerarse para formar los equipos naturales de trabajo y el rol que debe tener el facilitador dado que de esta dinámica de opinión de experto es una de las técnicas que se utiliza para obtener los datos. Cabe destacar que el facilitador de las metodologías fue una persona certificada en todas las metodologías de Confiabilidad Operacional

3.3.1 “Características de los Equipos naturales:

- ❖ **Alineación:** Cada miembro está comprometido con los acuerdos del equipo. Esto demanda que la misión y visión sean compartidas por todos. En este sentido la tendencia es sacarle provecho a los desacuerdos y conflictos para integrar los aportes de los miembros, a fin de lograr soluciones efectivas.
- ❖ **Coordinación.** Esta característica, implica que cada miembro del equipo teniendo roles y responsabilidades claras se apropia de los compromisos del equipo como si fueran las suyas individuales. De esta forma el trabajo individual se orienta al desempeño común del equipo. En este sentido, el liderazgo, la gerencia y el coaching, son habilidades de todos los miembros.
- ❖ **Comprensión.** La comprensión es un compromiso compartido. Esto requiere habilidad para distinguir entre “puntos de vista”,

“interpretaciones” y “los hechos”, para así coordinar y divulgar el propio punto de vista y ayudar a los otros a considerarlo y considerar el punto de vista del otro. Cualquier miembro del equipo, conoce a los clientes, los suplidores, los procesos de trabajo y los resultados del equipo. Esto significa que los objetivos, metas e hitos son claros y compartidos.

- ❖ **Respeto.** Apreciar y sentir verdadero aprecio por el otro. Desarrollar y mejorar continuamente la habilidad de ver las cosas, como lo ve la otra persona “ponerse en los zapatos del otro”, pero sin perder la perspectiva de la objetividad de la realidad operacional. Preguntarse siempre: ¿Quién necesita participar en esta reunión y/o decisión? y luego preguntar ¿A quién es necesario informar respecto a los resultados?
- ❖ **Confianza:** Tener confianza en que los demás van a desempeñar sus responsabilidades de manera óptima. Confiar en que cada miembro del equipo buscará insumos requeridos para la toma de decisiones, consolidando la proactividad individual para modelar este clima

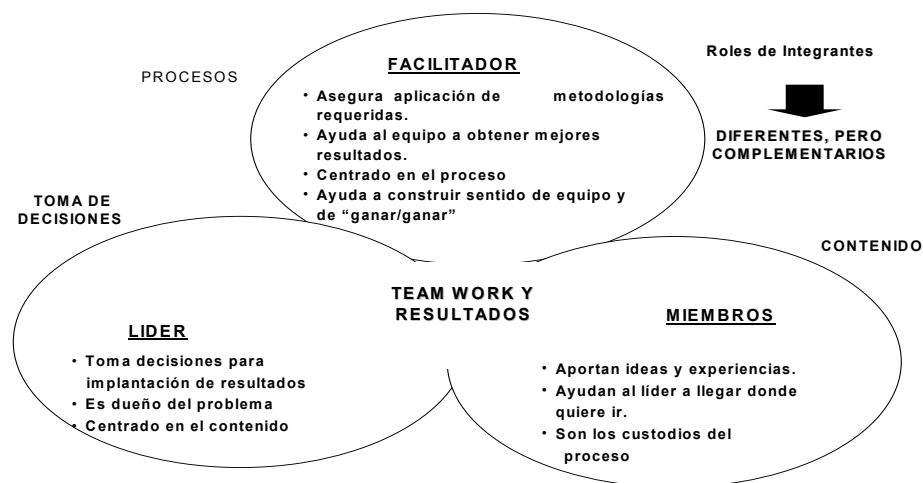


Figura 3.1: Roles de los participantes

3.3.2 Rol del facilitador

La función básica del facilitador consiste en guiar y conducir el proceso de implantación del MCC. En otras palabras el facilitador es el encargado de asegurar que el proceso de implantación del MCC se realice de forma ordenada y efectiva.

3.3.3 Actividades que debe realizar el facilitador

- ❖ Guiar al equipo de trabajo en la realización del análisis de los modos y efectos de fallas (AMEF), y en la selección de las actividades de mantenimiento.
- ❖ Ayudar a decidir el nivel que debe ser realizado el análisis de los modos y efectos de fallas.
- ❖ Ayudar a identificar los activos que deben ser analizados bajo esta metodología (activos críticos).
- ❖ Asegurar que las reuniones de trabajo sean conducidas de forma profesional y se lleven a cabo con fluidez y normalidad.
- ❖ Asegurar un verdadero consenso (entre operador y mantenedor.).
- ❖ Motivar al equipo de trabajo.
- ❖ Asegurar que toda la documentación a registrar durante el proceso de implantación sea llevada correctamente.

3.3.4 Perfil del facilitador y áreas de conocimiento

- ❖ Amplia capacidad de análisis.
- ❖ Alto desarrollo de cualidades personales (liderazgo, credibilidad, seguridad y confianza).
- ❖ Habilidades para conducir reuniones de trabajo (facilidad para comunicarse).

- ❖ Teoría básica del MCC.
- ❖ Técnica para realizar un Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF).
- ❖ Técnica de evaluación y selección de actividades de mantenimiento (Árbol lógico de decisión).
- ❖ Técnicas de análisis estadístico (confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad).
- ❖ Técnicas de evaluación del riesgo / análisis costo riesgo beneficio.
- ❖ Herramientas computacionales.” [1]

3.4 METODOLOGIAS UTILIZADAS PARA EL PROCESO DE INVESTIGACION

El modelo de Confiabilidad Operacional esta constituido por un conjunto de herramientas técnicas que permitirán obtener la Confiabilidad del sistema Microondas. El modelo esta constituido por 5 etapas como se muestra en la figura numero 3.2 y cada etapa esta constituida por una metodología técnica las cuales se detallan en el CAPITULO 2. En la primera etapa del modelo se aplica un análisis de criticidad donde se jerarquizan las estaciones de telecomunicaciones más críticas y en base a los resultados obtenidos se toma una estación piloto para el desarrollo de las siguientes etapas. En la segunda etapa se realiza un análisis de pareto donde se obtiene el porcentaje de fallas en la estación seleccionada y en base a estos se toma un evento ocurrido para proceder en la tercera etapa a través de un análisis causa raíz identificar cual fue la causa de la falla Física, Humana y latente, en la cuarta etapa se utiliza la metodología Mantenimiento Centrado en confiabilidad (MCC) para identificación de las estrategias de mantenimiento Proactivas a realizar gerenciando las consecuencias una ves armado el plan de mantenimiento en la quinta etapa se realiza un análisis de costo de ciclo de vida de dos escenarios diferentes para facilitar la toma de

decisiones en cuanto mantener la plataforma o cambiar de tecnología cerrando de esta forma el ciclo con un análisis económico.

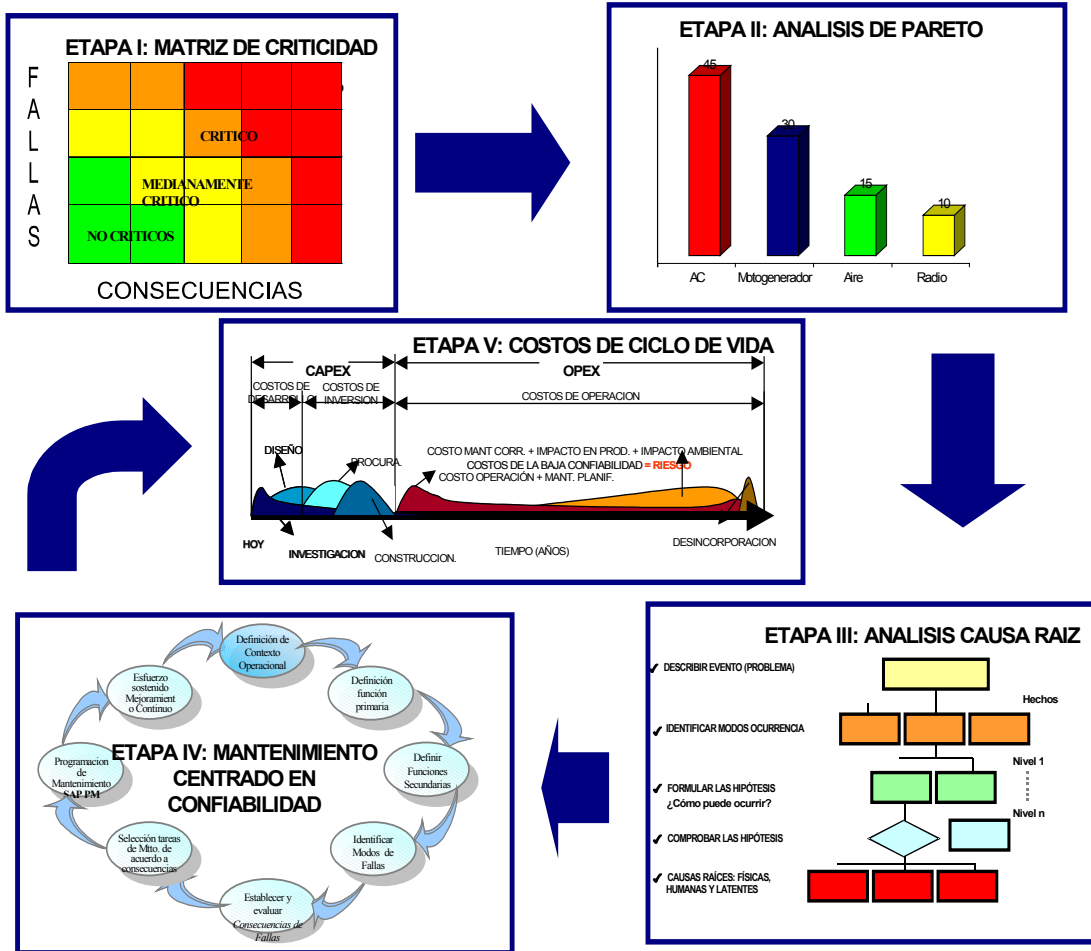


Figura 3.2: Modelo Confiabilidad Operacional del Sistema Microondas

3.4.1 ETAPA I “ ANALISIS DE CRITICIDAD”

En el preámbulo de una Gestión de Confiabilidad Operacional, la iniciativa del cambio debe germinar en el eslabón fundamental de la cadena: *la gerencia*. Esto permite mayor fluidez en la toma de decisiones e involucra de antemano a la misma a lo largo de todo el proceso de gestión.

Se comenzará definiendo el Sistema de Microondas; se establecerá una evaluación del estado actual y realizará una búsqueda de oportunidades, aplicando de una de las herramientas de Confiabilidad Operacional: *Análisis de Criticidad*.

Para establecer una evaluación del estado actual se debe estudiar el tipo de información que se posee del sistema y al mismo tiempo cuestionar si es ésta suficiente para realizar una evaluación cualitativa o cuantitativa del mismo.

En la evaluación cualitativa hay que definir cuidadosamente los parámetros que han de ser considerados; mientras que en la evaluación cuantitativa deben estimarse los índices de confiabilidad y disponibilidad actuales.

El análisis de criticidad permitirá jerarquizar en este caso del sistema microondas las estaciones de telecomunicaciones más críticas y esto se realizara bajo un enfoque de una evaluación cualitativa del riesgo.

Para la estructuración del análisis cualitativo, se formulan algunas preguntas tales como:

- ¿ El sistema tiene altos riesgos de seguridad y ambiente?
- ¿ El sistema posee un alto impacto operacional?
- ¿ El sistema genera altos costos globales de mantenimiento?, etc.

Cuando se ejecuta una jerarquización a este nivel, se debe considerar las necesidades actuales de la gerencia, de forma tal que se adjudique una

primera orientación a la aplicación del plan de confiabilidad. Es importante definir si la prioridad en el momento de evaluar se debe encausar hacia seguridad y ambiente, hacia impacto operacional, hacia costos de mantenimiento, hacia producción, etc.

3.4.2 ETAPA II “ANALISIS DE PARETO”

El análisis de Pareto se realizará con la finalidad de jerarquizar dentro de las estaciones de telecomunicaciones cuales son las fallas mas recurrentes en los equipos (Radio, Motogenerador, Rectificador, entre otros). Determinar fallas recurrentes en estos equipos, indicará si es preciso aplicar la herramienta idónea para este tipo de caso: *Análisis de Causa Raíz*.

3.4.3 ETAPA III “ANALISIS CAUSA RAIZ”

El análisis causa raíz se realizará para identificar en los equipos las causas raíces (Físicas, Humanas y Latentes) cuando las fallas son muy recurrentes con el objetivo de realizar la acción mas indicada .

Para el sistema de Microondas a través de la diversidad de equipos por el cual esta conformado el sistema con el objetivo de brindar varios servicios se visualizo la potencialidad de utilizar esta metodologia ya que generalmente los equipos presentan frecuencia de fallas mayores y modos de fallas más diversos con la cual se obtendrá una planificación sistemática del mantenimiento para evitar modos de fallas específicos.

3.4.4 ETAPA IV “MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD” (MCC)

Con la aplicación metodología MCC se desea perseguir como fin fundamental establecer planes óptimos de mantenimiento basado en una perfecta armonía **proceso-gente-tecnología**, que garantice el nivel requerido de **Confiabilidad Operacional**.

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) es una metodología utilizada para determinar sistemáticamente que debe hacerse para asegurar que los activos físicos continúen haciendo lo requerido por el usuario en el contexto operacional presente.

“Las Metas establecidas que se quieren alcanzar con la aplicación de esta metodología es el siguiente:

- ❖ Aumentar la confiabilidad y disponibilidad del sistema.
- ❖ Generar ahorros, asociados a las acciones de operación y mantenimiento, producto de una nueva filosofía de trabajo.
- ❖ Incrementar la base de conocimiento del personal de operaciones y mantenimiento.
- ❖ Emitir recomendaciones de diseño y procedimientos de operación y mantenimiento que conlleven a mejorar la confiabilidad y disponibilidad de las instalaciones.

- ❖ Garantizar la existencia de los niveles mínimos tolerables de riesgo del personal ,el ambiente y las instalaciones, en función de los parámetros exigidos por la normativa pdvsa.
- ❖ Generar plan optimizado de mantenimiento compatible con el sistema SAP de planificación de mantenimiento
- ❖ Optimizar niveles de inventario de repuestos.” [2]

3.4.5 ETAPA V “ANÁLISIS COSTO RIESGO BENEFICIO” (ACRB)

“La aplicación de las herramientas de confiabilidad operacional da como resultado una serie de planteamientos que deben ser “filtrados” por un *Análisis de Costo Riesgo Beneficio*, logrando así garantizar a efectividad de los planes y programas generados.

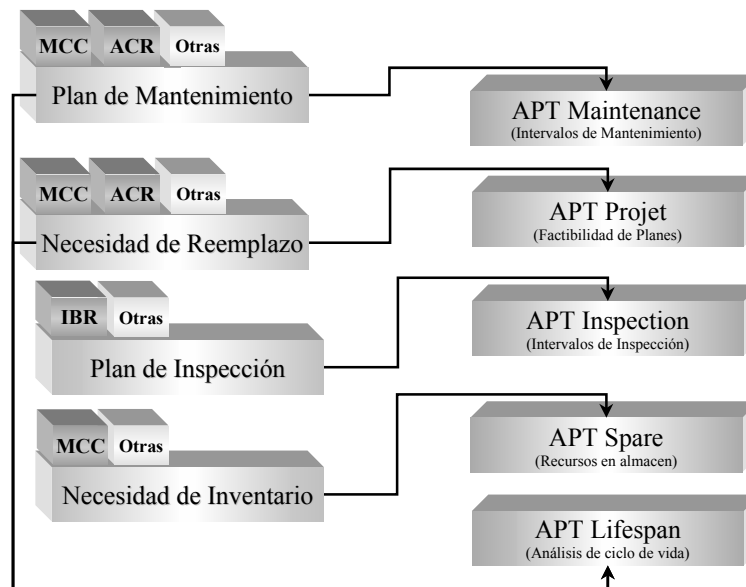


Fig. 3.3 - Uso de los APT en la aplicación de un ACRB

Como una herramienta de soporte al Análisis de Costo Riesgo Beneficio, están el uso de los APT (Asset Performance Tools) mostrados en la Figura 3.3. Estos son programas diseñados por Woodhouse Patnership, que establecen un estudio de intervalo óptimo de mantenimiento (APT Maintenance), un estudio de intervalo óptimo de inspección (APT Inspección), un estudio de equipos en almacén (APT Spare), un estudio al momento de reemplazar un equipo (APT Lifespan y APT Project).

El criterio de los APT se basa en el análisis del riesgo, es por ello que detrás de toda la base de datos se involucran: frecuencias de fallas, costos de mantenimiento, costos por penalización, etc.

Un ACRB puede estructurarse según las necesidades y condiciones que presente el sistema y/o equipo a evaluar, lo que no significa que sin la disposición de los APT no se pueda establecer dicho análisis.”^[3]

Adicionalmente dentro del ACRB se planteara la evaluación del costo del ciclo de vida de los equipos, con la cual se podrá determinar el punto óptimo de duración de un equipo, lo que ayudará a definir el momento de su reemplazo o bien seleccionar entre un equipo específico y otro que presente características de vida diferentes, bajo un mismo contexto operacional. Esta evaluación está inmersa en el software APT Lifespan.

Una vez realizado el Análisis Costo Riesgo Beneficio, queda el cuadro abierto a la generación de planes y programas de mantenimiento.

4.1 ANALISIS DEL CONTEXTO OPERACIONAL DEL SISTEMA DE MICROONDAS.

En este punto se enmarcará los límites de baterías del sistema en estudio para luego aplicar los pasos del modelo de Confiabilidad operacional como se muestra en la figura 4.1.

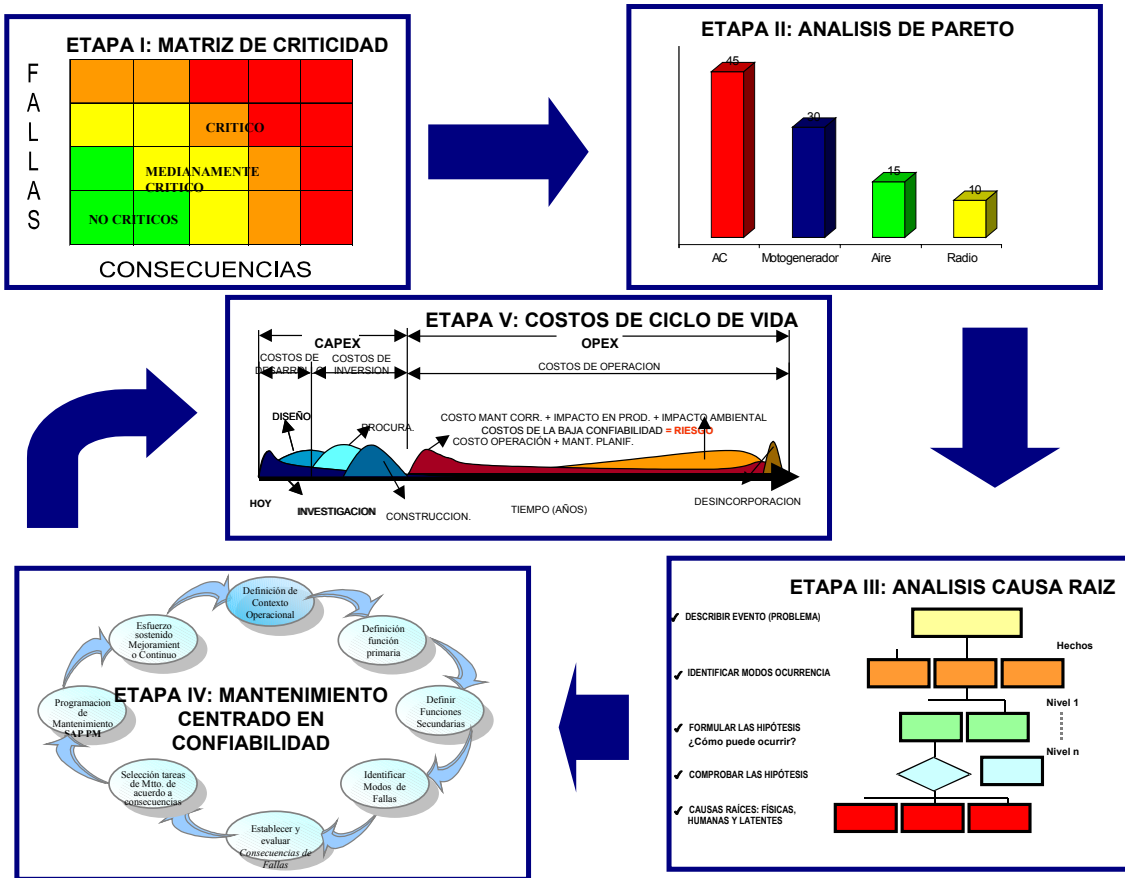


Figura 4.1: Modelo Confiabilidad Operacional del Sistema Microondas

Antes de empezar a desarrollar cada una de las etapas del modelo se dará un bosquejo de cómo esta estructurada el sistema Microondas. La red de Transporte de Información (también llamada Red de transmisión) de PDVSA está diseñada con base en una jerarquía de dos niveles, un nivel corporativo (Red Corporativa) conformado por enlaces Interregionales de

140 Mbps que interconectan las diferentes regiones donde opera PDVSA (**Centros Regionales de Transmisión**) a lo largo del territorio nacional: Occidente, Paraguaná, Sur, Centro-Occidente, Area Metropolitana y Oriente. Por otra parte, el **nivel operativo** de la red (**Red Operacional**) lo constituyen todos los enlaces intrarregionales a través del cual se conectan las diferentes localidades de una región con el punto más cercano de la Red Corporativa. La figura 4.2 muestra la jerarquización de la red de PDVSA.

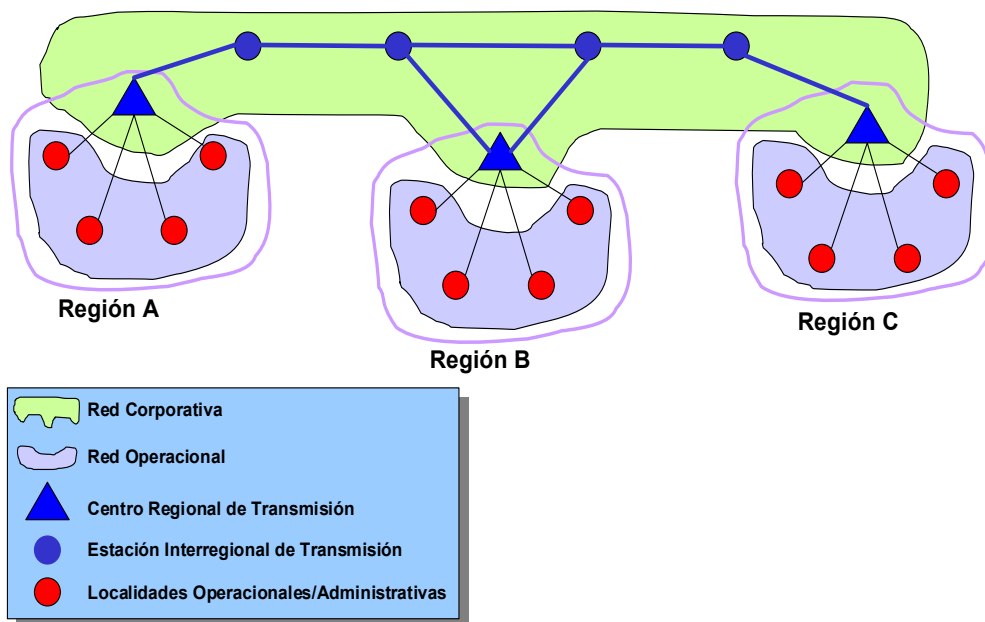


Fig. 4.2 Jerarquización de la Red de Transmisión

Con esta topología de Red se trata de garantizar el transporte de Información de todos servicios de Telecomunicaciones de PDVSA (Voz, Datos, Vídeo, Telemetría, Comunicaciones Móviles, aplicaciones especiales, etc.), entre las diversas localidades, tanto operativas como administrativas, distribuidas a nivel Nacional. Esta red de transmisión está conformada por cerca de 264 enlaces bajo estándar PDH. Adicionalmente, el Sistema de

Administración/ Supervisión (DAS 64) es propietario, y en la actualidad se está adquiriendo su reemplazo por el (STAER). La figura No. 2 muestra las dimensiones de la red de Transmisión Digital de PDVSA.

Red de Transmisión Digital



Fig. 4.3 Mapa Red de Transmisión Digital

Como puede observarse en la Figura No. 4.3, La Red Troncal de Transmisión abarca toda la faja norte del país desde Zulia hasta Monagas. Además se extiende desde Anzoátegui y Monagas hasta Bolívar y de Lara hasta Barinas y Apure. Está conformada principalmente, por enlaces de

radios digitales de microondas de velocidad 4x34 Mb/s en los troncales principales y de 34 y 2 Mb/s en los troncales secundarios, para un total de 264 enlaces. La configuración de la Red en “Anillos” de Contingencia garantizan los niveles de Disponibilidad de los servicios al disponer de rutas alternas de transporte de la Información. En el caso del Oriente del país, se está completando una red de fibra óptica basada en el Sistema de Transmisión Eléctrico de Producción (SEO).

El sistema de transmisión es alimentado de la red pública con 115v AC y transformado por un banco de transformadores a 110 v AC los mismos llegan a un rectificador de 110 v AC a 48 v DC de los cuales se alimenta el radio de microondas. Este sistema cuenta además con un respaldo de una planta DIESEL generadora en paralelo con la alimentación AC; funcionando bajo la siguiente filosofía: Cuando falla el AC de la red publica el panel de transferencia pasado 5 minutos arranca la planta generadora y una vez estabilizado su voltaje en 110 v AC con una frecuencia de 60 Hz. Toma la carga de la estación. Sumado a este respaldo AC, existe un respaldo en la alimentación de 48 v DC (Banco de Baterías) que funciona en paralelo con la salida de 48 v DC del rectificador.

Los servicios básicos de video, voz y datos desde su nivel jerárquico mas bajo 64 Kbps son multiplexados hasta 34 Mbps para ser insertados en la red troncal que servirá de medio de transporte.

El referido estudio se centra en las estaciones de Telecomunicaciones correspondientes al distrito de Puerto La Cruz. En la tabla 4.1 se muestra la configuración de los radios en el distrito Puerto La Cruz.

ESTACION	TIPO TERMINAL	TIPO DE MULTIPLEXOR
Sabana Larga Ctr-216 Sentido Guaraguao Ctr-216 Sentido Anaco Ctr-190 Sentido Palma Real Ctr-190 Sentido Jose	Cuadruple Terminal	Dos Multiplexores Drop Insert MP31X3 Dos Multiplexores Terminales MP31X3
Chancharire Ctr-216 Sentido Claudio Yoli Ctr-216 Sentido El Cristo	Repetidor	No tiene
Claudio Yoli Ctr-216 Sentido Pto. Piritu Ctr-216 Sentido Chancharire	Repetidor	No tiene
Pto. Piritu Ctr-216 Sentido Claudio Yoli Ctr-216 Sentido Guaraguao	Doble Terminal	Un Multiplexor DSMX
Guaraguao Ctr-216 Sentido Pto. Piritu Ctr-216 Sentido Sabana Larga	Doble Terminal	Dos Multiplexores Terminales MP31X3
Jose Ctr-190 Sentido Sabana Larga	Terminal	Un Multiplexor MP31X3
Palma Real Ctr-190 Sentido Sabana Larga Ctr-190 Sentido Guamache	Doble Terminal	Un Multiplexore Drop Insert MP31X3
Guamache Ctr-190 Sentido Palma Real	Terminal	Un Multiplexor MP31X3

4.1 Tabla Configuración de Radios Distrito Puerto la cruz.

Para la jerarquización de las estaciones de telecomunicaciones se procedió a realizar un análisis de criticidad para tomar como modelo piloto la estación de telecomunicaciones más crítica.

4.2 DESARROLLO ETAPA I “ANALISIS DE CRITICIDAD”

El objetivo principal del Análisis de Criticidad (AC) fue establecer un método que permitiera a través de la matriz de criticidad identificar claramente las estaciones que más fallan y el impacto en las consecuencias. Esta matriz ayudará a tomar decisiones en base a la disminución de las fallas y mitigar el riesgo en la consecuencias obtener la decisión que sea técnicamente factible y económicamente rentable.

Basándose en el concepto de Riesgo ya discutido en el CAPITULO II e.c. 2.1 para el análisis de criticidad se definieron las frecuencias de fallas y los criterios de consecuencias de la siguiente forma:

A.- FRECUENCIAS DE FALLAS: Estas frecuencias de fallas son obtenidas del Centro de Control de la Red (CCR). El CCR es un centro de monitoreo que se encarga de visualizar las alarmas de todos los sistemas de telecomunicaciones (Sistema de Microondas, Sistema de Energía, Sistema de ATM, Sistema de Centrales telefónicas, entre otros), el sistema encargado de arrojar las alarmas es el PEM (Patrol Enterprise Manager) este tiene una interfaz con el SIFTEL el cual permite grabar la base de datos de todas las alarmas arrojadas por el PEM. Basándose en esta data ubicada en el SIFTEL se pudo obtener la información de las fallas en cada una de las estaciones para el año 2002.

B.- CONSECUENCIAS: Para el análisis de consecuencias se definieron cierta cantidad de criterios que permitieran evaluar el impacto en el sistema, a continuación se muestran con sus respectiva ponderaciones:

N.E: Numero de Enlaces: Cantidad de enlaces asociados a una estación.

C.R: Capacidad del Radio: Capacidad de los radios en cada estación.

I.S: Impacto en el Servicio: Es la cantidad de servicios de datos y centrales telefónicas asociada a cada estación.

A: Acceso: Es el tiempo que se tarda en llegar a la estación al perder el servicio de la misma

F: Flexibilidad: Capacidad de re-enrutar los servicios críticos.

D.R: Desconexión de la Central Regional: Perdida de conexión de la central zonal de la central regional al perder la estación asociada.

PONDERACION DE CRITERIOS

NUMERO DE ENLACES (NE): Este criterio se define como la cantidad de enlaces que tiene cada estación de telecomunicaciones. Las estaciones con mayor cantidad de enlaces tienen una ponderación mayor ya que las consecuencias son más altas. Ver tabla 4.2.

N.E Numero de Enlaces	Peso
De 09 a 10	10
De 07 a 08	6
De 05 a 06	3
De 03 a 04	2
De 02 a 01	1

Tabla 4.2 Criterio Numero de Enlaces.

CAPACIDAD DEL RADIO (CR): Las estaciones que tengan diferentes capacidad de radio tienen mayor impacto por lo tanto la ponderación tiene mayor valor.

C.R Capacidad del Radio	Peso
Alta-Mediana-Baja Capacidad	10
Solo Alta capacidad	8
Mediana-Baja Capacidad	6
Solo Mediana Capacidad	4
Solo Baja Capacidad	2

Tabla 4.3 Criterio Capacidad del Radio.

ACCESO (A): El criterio acceso se define como el tiempo que se tarde en llegar los operadores desde su sitio de trabajo hasta las casetas de

telecomunicaciones. El acceso con mayor de 3 horas tiene mayor ponderación ya que el impacto es mayor.

A Acceso	Peso
Mayor de 3 horas	10
Entre 2 y 3	6
Entre 1 y 2	4
Menor de 1 hora	1

Tabla 4.4 Criterio de Acceso.

FLEXIBILIDAD (F): Las estaciones que tienen la flexibilidad de re-enrutar los servicios son de menor impacto que las que no tienen flexibilidad.

F Flexibilidad	Peso
No	10
Si	5

Tabla 4.5 Criterio de Flexibilidad

DESCONEXION DE LA CENTRAL REGIONAL (DR): Las estaciones que tienen desconexión de la central regional (Centrales TANDEM en la red de conmutación de PDVSA) tienen mas alto impacto que las que carecen de dicha conexión.

D.R Desconexion de la Central Regional	
Si	10
No	5

Tabla 4.6 Criterio Desconexión de la Central Telefónica

Una vez definida la Frecuencia de Fallas y los criterios de consecuencias se procedió a expresar la criticidad de la siguiente manera:

$$C = FF \times (NE + CR + A + DR + F) \quad \text{e.c [4.1]}$$

Donde C indica el valor relativo de un subsistema en función de la frecuencia de falla (FF) y de las consecuencias (NE+CR+IS+A+DR+F). Esto permite, adicionalmente, representar los valores dentro de la matriz de criticidad mostrada en la Fig.4.4. En la tabla 4.8 que se muestra a continuación está el de tabulador los resultados de todas las estaciones de Microondas Puerto La Cruz con sus respectivos Criterios de consecuencias y total de las frecuencias de fallas.

ESTACIONES	CONSECUENCIAS					TOTAL	FRECUENCIA DE FALLAS	RIESGO
	N.E	C.R	IS	A	F			
Guaraguao	1	10	6	1	5	23	1	23
Sabana Larga	2	10	6	4	5	27	61	1647
Jose	1	4	2	4	5	16	10	160
Plama Real	1	4	2	10	5	22	23	506
Guamache	1	4	2	10	5	22	6	132
Pto. Piritu	2	4	2	4	5	17	59	1003
Claudio Yoli	2	4	2	4	5	17	52	884
Chanhamire	2	10	2	6	5	25	80	2000

Tabla 4.7 Tabla de calculo de criterios de Consecuencias

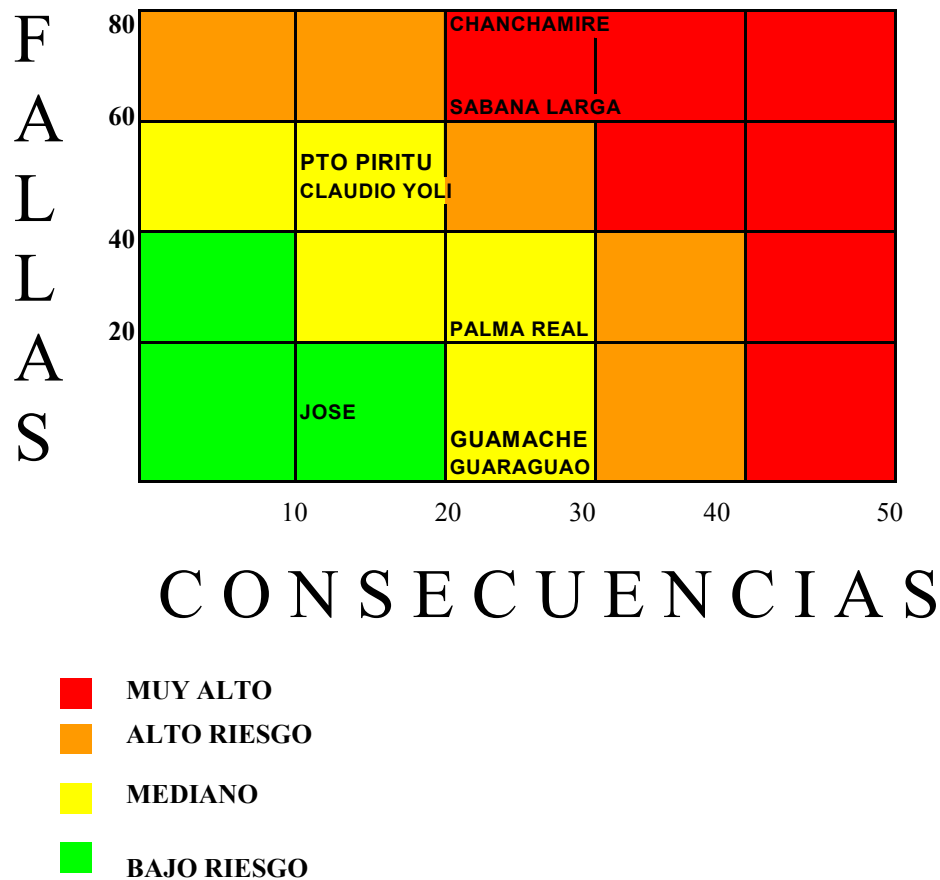


Figura 4.4 Matriz de Criticidad Estaciones Telecomunicaciones

En la matriz de criticidad mostrada en la Fig4.4 en base a los criterios de consecuencias definidos y las fallas obtenidas en un año se pudo determinar que la estación de telecomunicaciones SABANA LARGA posee los mayores niveles de criticidad en tal sentido se decidió seleccionarla como estación piloto para el desarrollo de las siguientes etapas a lo largo del modelo de Confiabilidad operacional. Antes de pasar a la Etapa II del modelo se realizara el análisis del contexto operacional de la Estación sabana Larga.

4.2.1 ESTACION SABANA LARGA

4.2.1.1 UBICACIÓN GEOGRAFICA

Esta ubicada en el Sector San Pedro del Limón en el Cerro Sabana Larga en un terreno Privado (Radio Caracas Televisión) a una altura de 1600 mts sobre el nivel del mar, el acceso se encuentra saliendo de la carretera nacional asfaltada, iniciando la vía de tierra hasta llegar a la entrada de la estación, la carretera tiene un ancho promedio de 5,00 mts, con pendientes variables que se estiman entre los 25° y 30° de inclinación. La carretera se encuentra en condiciones regulares con tramos donde existen huecos y zanjas producidas por el efecto de erosión de las aguas de lluvia y sin cunetas. Los últimos 100 mts son de pavimento de concreto en buen estado con cuneta en un lado de la vía. Con pendiente variable que se estima entre 40° y 45° de inclinación y ancho de vía de 4,00 mts.

4.2.1.2 PROPOSITO DE LA ESTACION DE TELECOMUNICACIONES

La estación Sabana Larga fue construida en el año 1985 con la finalidad de brindar comunicaciones de forma analógica para permitir la comunicación de voz y datos entre Anaco, Puerto la Cruz y Caracas. Con el surgimiento del proyecto Sisor, estos radios fueron sustituidos por radios digitales marca Siemens con el propósito de transmitir voz y datos en forma continua desde/hacia Jose y Palma Real a 34 Mbps (Red secundaria) y entre Anaco/Guaraguao a 140 Mbps (Red troncal) para soportar los servicios de telemetría, ATM, Centrales Telefónicas y los servicios locales de radio operacional y punto multipunto.

4.2.1.3 DESCRIPCION DE SUBSISTEMA ESTACION SABANA LARGA

A SISTEMA RADIO MICROONDAS

Está conformado por dos diferentes modelos de radios marcas SIEMENS, los CTR-190 y los CTR-216.

- Radio Siemens modelo CTR-216 de tecnología PDH: Existen 2 equipos de 4x34 (140 Mbps) en configuración Hot-Standby, en la banda de 6 GHz, Heterofrecuencia , modulación 16 QAM. Este equipo esta estructurado de la siguiente forma:

- ❖ Transmisores y Receptores
- ❖ Bit-In / Bit-Ex
- ❖ Moduladores y Desmoduladores
- ❖ CCA
- ❖ Banda Base
- ❖ Sistema Radiante (antena, onda, guía y hangle kit)

- Radio Siemens modelo CTR-190 de tecnología PDH: Existen 1 equipos de 1x34 (34 Mbps) en configuración Hot-Standby, en la banda de 2 GHz, Diversidad de espacio y frecuencia, Modulación 4 PSK. Este equipo esta estructurado de la siguiente forma:

- ❖ Transmisores y Receptores
 - ❖ Bit-In / Bit-Ex
 - ❖ Moduladores y Desmoduladores
 - ❖ CCA
 - ❖ Banda Base
 - ❖ Sistema Radiante (antena, onda, guía y hangle kit)
- Multiplexores 34 Mbps modelo MP-31: 1 equipos en configuración Drop/insert y 2 equipos terminales.

Solo se especificaran las funciones y características de Transmisores y Receptores del radio CTR 216/6U.

El transmisor - receptor CTR 216/6U es un equipo que opera en las bandas de 6.4 a 7.1 GHz para cumplir con la transmisión de señales de alta capacidad (4x34 Mb/s) moduladas en 16QAM.

“El CTR 216/6U ocupa un bastidor completo, en el que están colocados los módulos que lo integran, tal como se observa en la figura 4.5. Las dimensiones del bastidor son: 2600 x 120 x 260 mm. Tienen las siguientes medidas:

Transmisor: 530 x 110 x 220 mm.

Receptor principal: 340 x 55 x 185 mm.

Receptor de diversidad en espacio: 340 x 55 x 185 mm.

Para evitar la pérdida de información, se configuró el transceptor con protección 1+1, que consiste en una reserva activa en el emisor, la cual proporciona redundancia y seguridad en la señal. Los recorridos en transmisión son idénticos, seleccionándose uno de los dos transmisores con un conmutador de RF, dependiendo de la calidad de las señales. El emisor de reserva tiene características idénticas al principal y se encuentra ubicado en otro bastidor, por lo que para los sistemas NURGAS, SISCO y SISR existen dos "bastidores transceptores", uno principal y otro auxiliar.

En lo referente a la recepción, es necesario hacer una explicación complementaria. El equipo transceptor está diseñado para funcionar con protección de diversidad en espacio utilizando para ello un módulo receptor especial al que llega la señal a RF proveniente de la antena de diversidad. Este receptor está gobernado por el oscilador local del receptor principal y su señal de salida a FI es enviada por medio de puentes externos a dicho módulo donde se mezcla con la señal principal para luego ser llevado hacia el demodulador. Dentro del sistema de transmisión NURGAS y SISCO, la etapa de recepción con diversidad en espacio, hasta el momento se definió en forma distinta: en el bastidor auxiliar donde está el transmisor de reserva se colocó un receptor idéntico al principal e independiente de él. Este receptor capta la señal proveniente de la antena de diversidad y la traslada a frecuencia intermedia para luego ser procesada por el demodulador de reserva. La señal que sale del receptor principal llega al demodulador principal. Las salidas de los demoduladores se envían a la unidad de conmutación CCA 63-4 donde se escoge la mejor.

Sin embargo en algunos de los sistemas pertenecientes a la red SISO se usan receptores de diversidad en espacio para los enlaces que lo necesiten.

A.1 Características Internas.

El transceptor CTR 216/6U está compuesto por dos módulos principales, transmisor y receptor y, en caso de predisponerse con protección de diversidad en espacio, posee también un módulo receptor de diversidad de espacio. Con estas unidades, cumple la función de transmitir o recibir el flujo de capacidad 4x34 Mb/s a RF.

A.2 Características Externas.

Cada módulo posee, en forma independiente, indicaciones de alarmas, tomas de monitoreo y seccionamientos que facilitan el reconocimiento y eliminación de fallas, así como también las rutinas preventivas de mantenimiento. En las unidades se generan alarmas internamente, como resultado de alguna avería en sus circuitos. Estas alarmas se combinan para producir el encendido de LEDs indicadores y también se envían al exterior hasta el Sistema de Supervisión

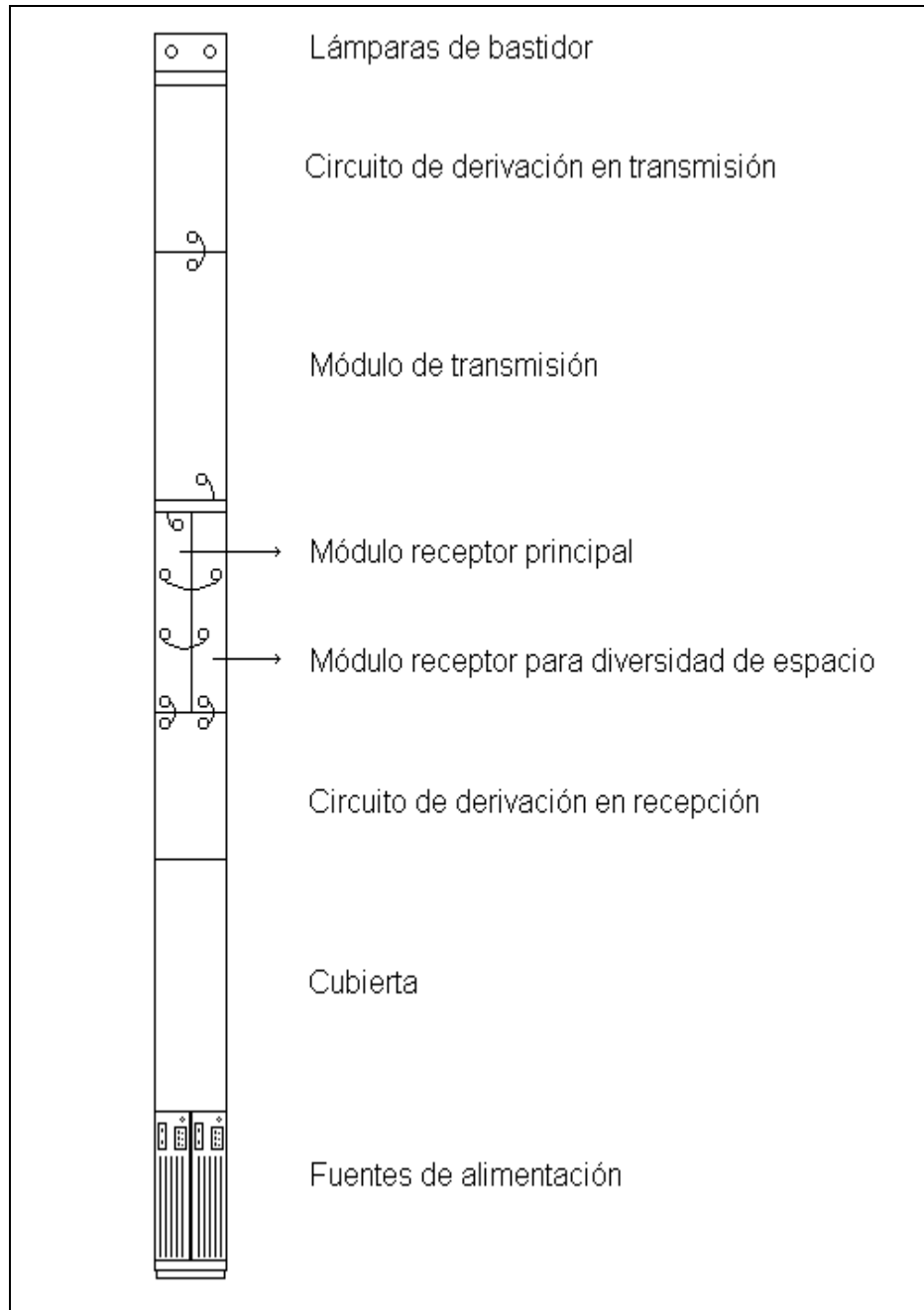


Figura 4.5 Disposición del Transceptor CTR 216/6U en el Bastidor.

El equipo CTR 216/6U tiene puntos de medición en corriente continua para comprobar los parámetros más significativos y en corriente alterna para permitir las mediciones de las señales de entrada y salida sin necesidad de acceder los seccionamientos e interrumpir el tráfico.

Los puntos de medición en c.c. indican una tensión de $-2.5 V_{cc} \pm 0.3$ cuando se conectan a un voltímetro digital a través de un resistor de $1 K\Omega$ y están dentro de sus valores nominales. Si se conectan al check panel a través de cableado externo, se muestra su valor real.

Todos los elementos que se observan en la tapa frontal de los módulos se describen a continuación.

A.3 Módulo Transmisor.

En él se introduce la señal a FI proveniente del MODEM CMF 62/16, que se predistorsiona para compensar la posterior distorsión producida por su amplificador, al cual alimenta después con una portadora a 6 GHz formada con la mezcla de la señal de entrada y la generada por el oscilador local y, finalmente, amplifica el nivel de la señal RF a ser transmitida, hasta un valor mayor o igual a 29 dBm. La estructura externa del transmisor se representa en la figura 4.6.

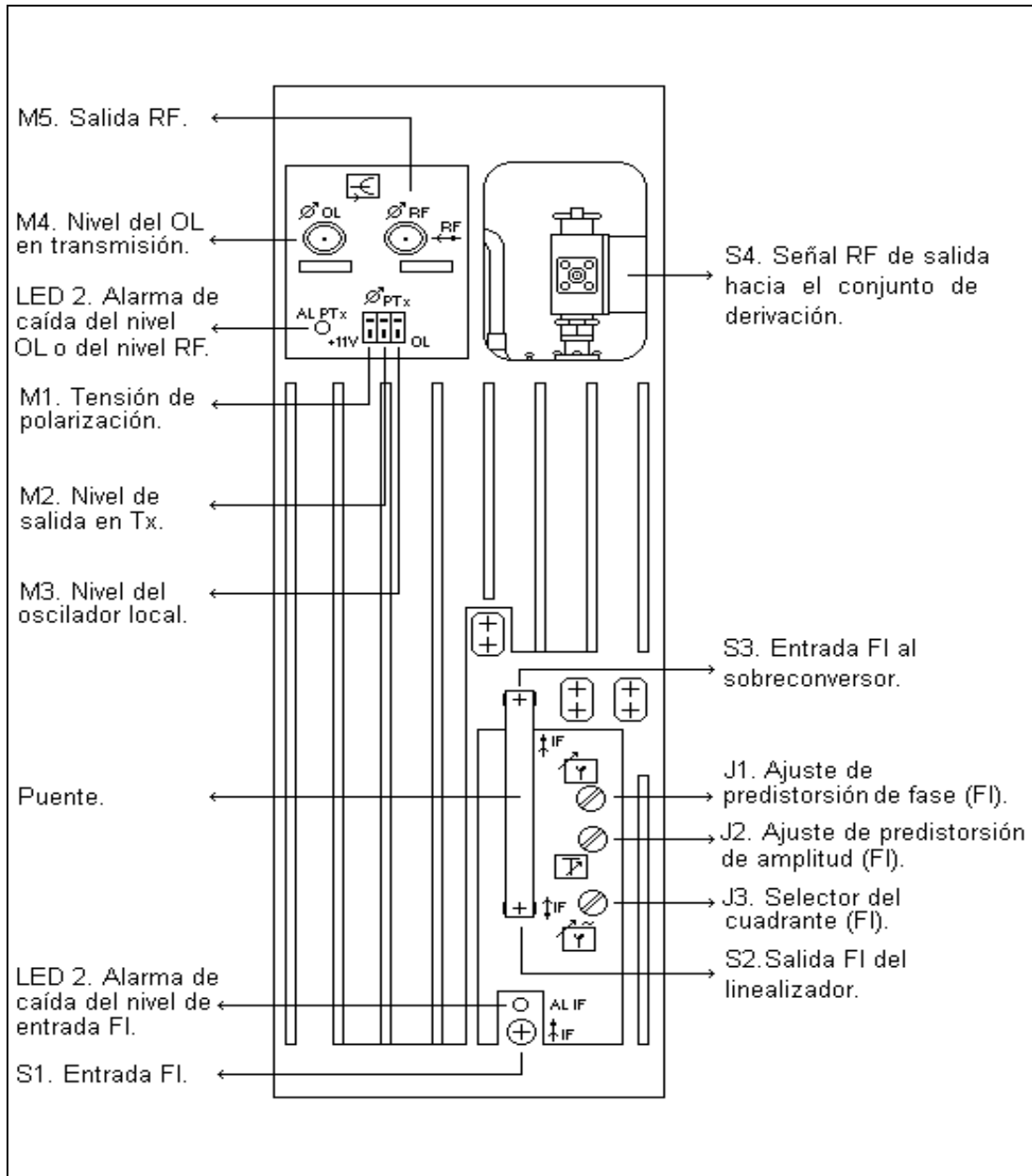


Figura 4.6 Vista Externa del Módulo Transmisor.

A.4 Módulo Receptor Principal.

El conjunto receptor principal convierte el flujo de RF que recibe, en una señal a FI, al batirlo con la señal generada por un oscilador local. Además, en caso de que exista protección de diversidad de espacio en el enlace, combina la señal a FI obtenida con la que proviene del receptor de diversidad de espacio.

Su constitución externa con la identificación de los elementos que posee se observa en la figura 4.7.

A.5 Módulo Receptor de Diversidad de Espacio.

El receptor de diversidad de espacio convierte la señal entrante RF en una señal FI, mezclándola con la señal OL proveniente del receptor principal. La señal FI se desfasa con un circuito controlado por un microprocesador y posteriormente se envía al receptor principal a través de una conexión que une dos seccionamientos externos para, una vez allí, combinarse con la señal a FI presente en el mismo.” [4]

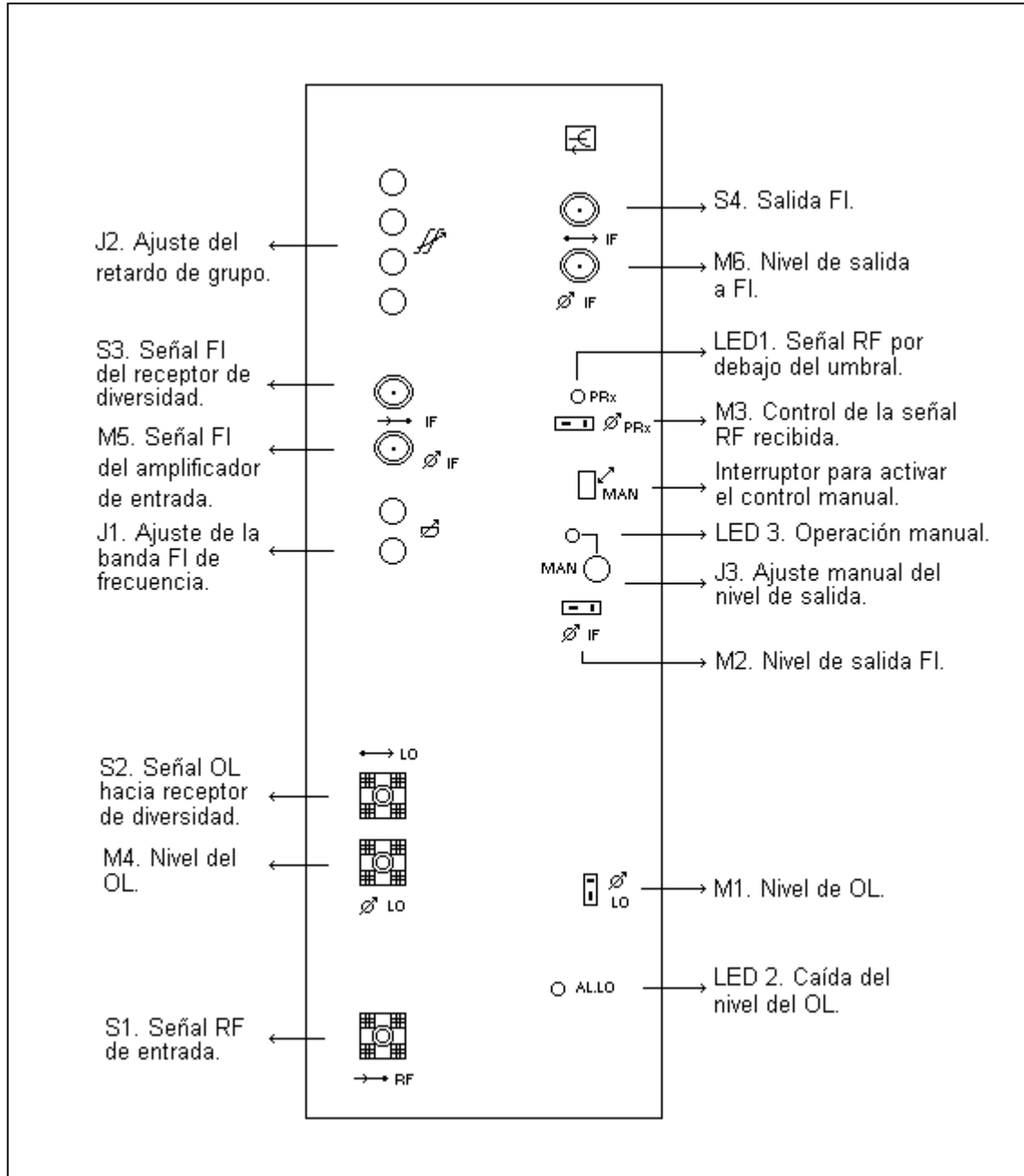


Figura 4.7 Vista Externa del Módulo Receptor Principal.

B.- SISTEMA MULTIPLEXORES DE SERVICIOS (PCM)

Consta de 3 Multiplexores marca SIEMENS modelo MP-31 Drop-Insert de 30 canales de 64 Kbps c/u, Estos están conectados al Radio a través de un E1 a los multiplexores de 34 Mbps del Sub-sistema microondas ya descrito.

Por estos multiplexores se cursan los servicios locales de voz y datos de la estación Sabana Larga, y otros servicios provenientes de las estaciones de José, Palma real y Guaraguao.

C.- SISTEMA DE SUPERVISION DAS 64

Este equipo está compuesto por un tipo de PLC capaz de monitorear hasta 96 alarmas (básico) y utiliza protocolo HDLC. Posee además la capacidad enviar 24 tele señales (comandos) para el control de equipos externos e internos y a su vez realizar 24 telemidas internas y externas (analógicas). El equipo también posee un contador de errores utilizado para medir la calidad del enlace.

D.- SISTEMAS AUXILIARES

El Sistema de Auxiliares se encarga de suministrar los servicios necesarios para lograr la transmisión y recepción de voz y datos en la estación de Telecomunicaciones Sabana Larga. Este sistema está conformado por cada uno de los sub-sistemas siguientes:

D.1 ENERGIA

Suministrar de manera continua un mínimo de 12 KVA de energía, necesaria para operar equipos asociados a la estación Sabana Larga.

Este sub-sistema está conformado por:

D.1.1.- Energía AC externa

Proveniente de un banco de transformadores de 3 x 25 KVA perteneciente a Eleoriente con una relación de transformación de 13,8 KV/208/120 V. La Capacidad del banco: 75 KVA, Longitud de la acometida subterránea en baja tensión: 90 mts, Medidor 3Ø Tipo T22AT Clase 2 No. 279369Z. 3x120/208 Volts 60 Hz 4H, Lectura: 7.695,3 KWH, Breaker de 3x125 Amp.

Cuenta con un Breaker Principal de 3x150 Amperios que protege la estación de fluctuaciones en la tensión. Dos tableros: Tablero No. 1 ubicado en la sala de radios, el cual es superficial de 30 circuitos sin principal (11 de 1x20 Amp, 1 de 2x20 Amp, 1 de 2x30 Amp, 1 de 2x60 Amp, 1 de 2x70 Amp, 2 de 3x60 Amp – 5 espacios libres y 0 disponibles), tiene barra de neutro y no tiene barra de tierra, tiene un supresor de picos ACDATA drenando hacia la línea 21. Y un Tablero No. 2 en sala de rectificadores, también superficial de 12 circuitos sin principal (Sub-Tab AC No. 1) Distribución de breakers: 2 (1x20 Amp), 5 (1x30 Amp), 1 (2x40 Amp), 1 de (3x90 Amp)- 0 libres y 0 disponibles. Arrester Siemens Tipo K1-D1. Un sistema de transferencia automática con las siguientes características: Dos contactores de 3 x 150 Amperios, tensión de operación 208/120 V.

D.1.2.- Motogenerador

Motogenerador operado con Gasoil, Marca Onan, enfriado por agua. Serial: 44292805 de 86 HP y 1800 rpm, modelo 50DGCAL14A /4BT-3.9, Fecha: 01-09-88. De 41-62,5 KVA y de 33-50 KW 60 Hz 120/208 Volts 3Ø I= 174 Amp. Cuenta con 2 Baterías de arranque, marca Fulgor de 1300 Amp. Reserva: 340 min. c/u. Serial: 061170722 y 120950698

D.1.3.- Tanque principal, diario y de aceite

Tiene tanque de reserva y de uso diario, faltan los tanques de agua y de lubricantes.

D.1.4.- Sistema transferencia.

Tablero de transferencia Onan – Serial: J880172613 Modelo: OTCV400C14G 3Ø 4H 60 Hz 208/120 Volts 400 Amp. F1-F2= 213 Volts F1-F3= 217 Volts F2-F3= 212 Volts I1= 33,9 Amp I2= 44,5 Amp I3= 69,9 Amp. No tiene arrester.

D.1.5.- Sistema de Puesta a Tierra (AC, DC, pararrayos y supresión trasientes).

Es un anillo de aterramiento. El sistema está equipotenciado – Posee un supresor de pico o arrester marca Joslyn 1455-80 100 KA en el breaker principal, un arrester ACDATA 01285 208/120 Volts P24XSM en el tablero de la sala de radios y un arrester Siemens de 100 KA, K1-D1 conectado en el tablero de en la sala de rectificadores. Resistencia del electrodo 6,30 Ohm.

D.2.- AIRE ACONDICIONADO

Mantener las condiciones de humedad (menor o igual a 75%) y temperatura (menor o igual a 45 °C) adecuadas para asegurar la operación de los equipos de telecomunicaciones.

Existen 5 aparatos:

a.- AIRE ACONDICIONADO 25.000 BTU Marca Fadoca

Modelo FXAA-25C

b.- AIRE ACONDICIONADO 15.000 BTU Marca Admiral.

Modelo DAM15E Septiembre 96

c.- AIRE ACONDICIONADO 24.000 BTU Marca Climar

Modelo sin información

d.- AIRE ACONDICIONADO 24000 BTU Marca Isanova

Modelo sin información.

e.- AIRE ACONDICIONADO CENTRAL Tempo Aires 5 Toneladas. 60.000 BTU

D.3 ESTRUCTURA DE LAS TORRES

Soportar al Sistema Radiante bajo los parámetros de diseño y seguridad para la transmisión y recepción de voz y datos.

Torre autosoportada. H= 50 m.

Pararrayos esta a 2,00 m. sobre la torre.

D.4 INFRAESTRUCTURA

Mantener las condiciones mínimas necesarias de orden, limpieza, integridad, servicio, seguridad de la infraestructura y la cerca perimetral de la estación Sabana Larga.

Características de la caseta

Sala de radio.

Techo con losa de bloque tipo tablón, con friso y pintado.

Piso cemento con acabado de cerámica.

Paredes de bloque arcilla.

Area: 6,50 mts x 4,50 mts.

Altura: 3,60 mts.

Sala de batería.

Techo con losa de bloque tipo tablón, con friso y pintado.

Piso cemento acabado boca cepillo y pintado.

Paredes de bloque arcilla.

Area: 4,50 mts x 2,15 mts .

Altura: 3,60 mts.

Caseta motogenerador.

Techo con losa de bloque tipo tablón, con friso y pintado.

Piso cemento acabado boca cepillo y pintado.

Paredes de bloque arcilla.

Area: 3,25 mts x 3,25 mts

Altura: 2,60 mts

4.3 DESARROLLO ETAPA II “ANÁLISIS DE PARETO”

Actualizado el contexto operacional en la estación de telecomunicaciones Sabana Laraga se procedió a ponderar cada una de las causas por las cuales el sistema deja de cumplir su función para prestar los servicios. Para el análisis se tomaron en la estación Sabana Larga las fallas mas recurrentes que afectan al sistema los cuales pudieron visualizarse como: Falla Energia AC , Falla en el Motogenerador, Falla en el Aire Acondicionado y Falla en el Radio, el análisis se realizo para el año 2002 y se tomaron los resultados de los centros de monitoireo originando en un año el porcentaje de cada falla como se muestra en la figura Fig. 4.8,. De este análisis se puede concluir que para el periodo 2002 se observa que el Radio solo falla un 6% y que los sistemas auxiliares (AC, Motogenerador y Aires Acondicionados) suman un total de 94% en fallas recurrentes. En tal sentido se realizo un Análisis Causa Raíz (ACR) para identificar las causas de las fallas y tomar las acciones pertinentes para hacer el sistema mas confiable.

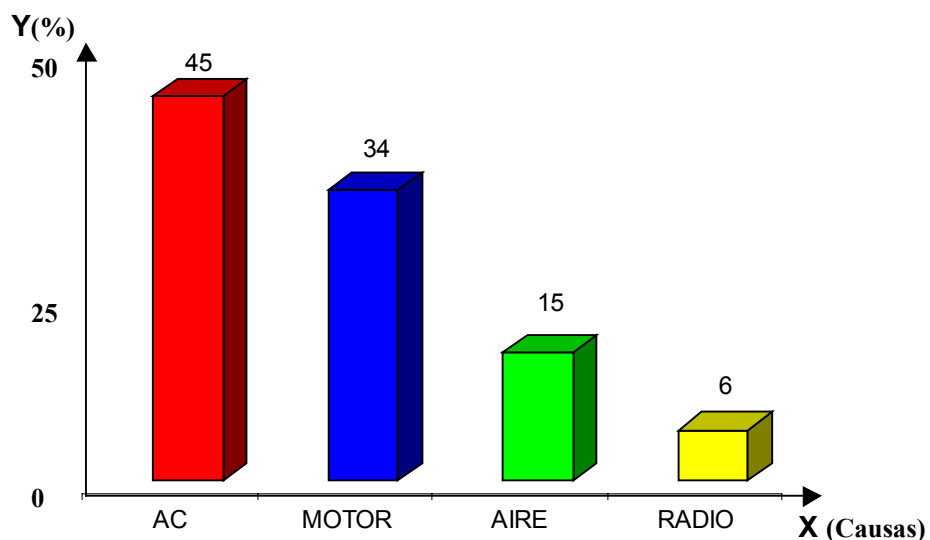


Figura 4.8 Pareto de Alarmas estación Sabana Larga

4.4 DESARROLLO ETAPA III “ANALISIS CAUSA RAIZ”

El propósito de aplicar esta metodología es proveer una guía uniforme para lograr un consistente y eficiente desempeño en el análisis de fallas o problemas en las estaciones de Telecomunicaciones. Cada falla/problema tiene una o varias causas raíces físicas, responsables directos de las fallas; estas causas físicas tienen su origen de alguna manera por la intervención humana y ésta a su vez ocurre por alguna desviación en los sistemas gerenciales (organizacionales). Estas últimas se conocen como las Causas Raíces Latentes de una falla o problema y serán las que se reconocerán como las verdaderas causas raíces. Descubriéndolas podremos prevenir o evitar su recurrencia o reparación en el mismo equipo/sistema u otros similares.

“Los beneficios que se conseguirán en la aplicación de esta metodología son de realizar los análisis de fallas en diferentes localidades de una forma sistemática y con criterios homologados como por ejemplo:

- ❖ Mejora de la eficiencia de los procesos debido a la prevención de fallas.
- ❖ Reducción de costos de reparación al ser identificados y corregidos los modos de falla crónicos
- ❖ Reducción de la exposición al riesgo del personal con la disminución del número de fallas de equipos.
- ❖ Amplio acceso corporativo a la información producida por los análisis de fallas, mejorando la comunicación de las lecciones aprendidas entre las localidades.” [5]

Es importante resaltar que con este estudio causa – raíz, además de identificar las fallas de los equipos, se presentan las posibles soluciones para disminuir las mismas. Las diferentes alternativas de solución planteadas están orientadas a optimar la confiabilidad operacional en cada una de las estaciones.

Para el Análisis se identifico el Evento Crónico y a partir de los modos de falla listados, se hace la pregunta. ¿cómo puede ocurrir un modo de falla?, y se listan todas las hipótesis. Estas son a su vez verificadas, volviendo a hacer la misma pregunta anterior. De esta forma se van identificando todas las posibles hipótesis que se convierten en causas toda vez que hayan sido validadas. Durante el procedimiento de validación, las causas son verificadas, tratando de cuantificar en lo posible los efectos de las mismas. Así mismo, se clasifican de acuerdo a lo descrito en el procedimiento. Es decir, causas humanas, latentes o físicas.

En las figuras siguientes se listan los Eventos junto con los modos de fallas.

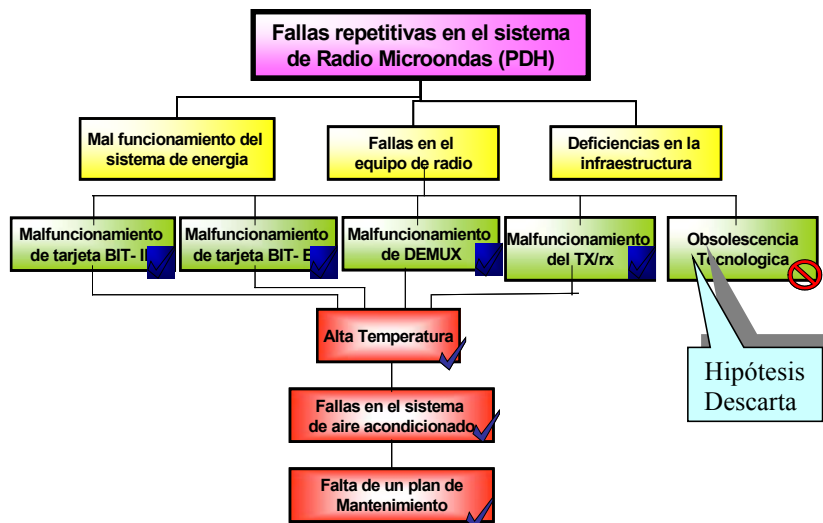


Figura 4.9 Análisis Causa Raíz Radio

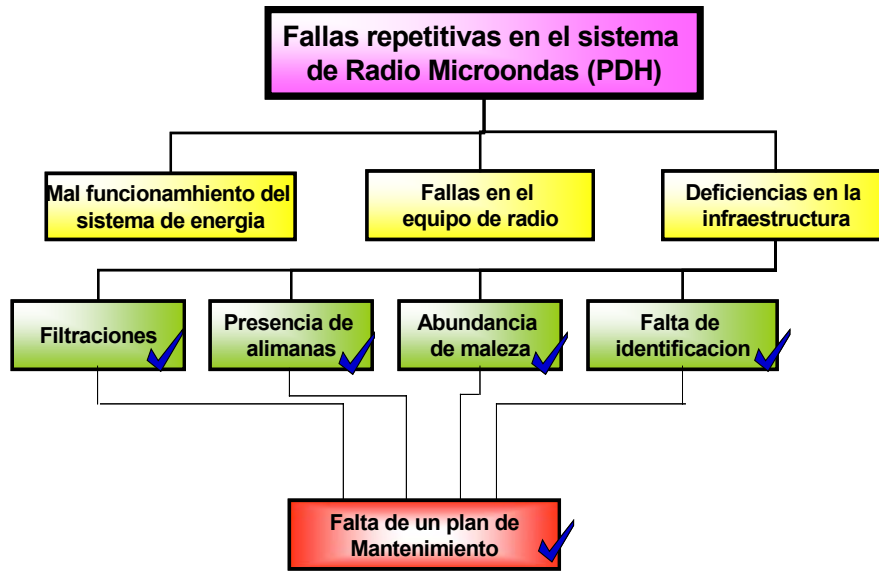
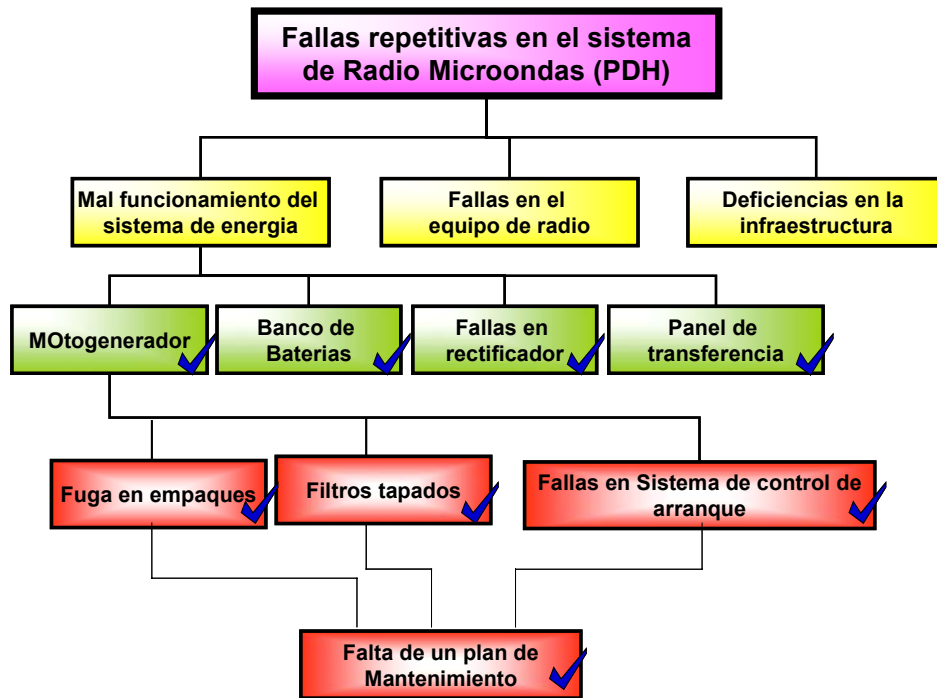


Figura 4.10 Análisis Causa Raíz Infraestructura



1

Figura 4.11 Análisis Causa Raíz Energía Motogenerador

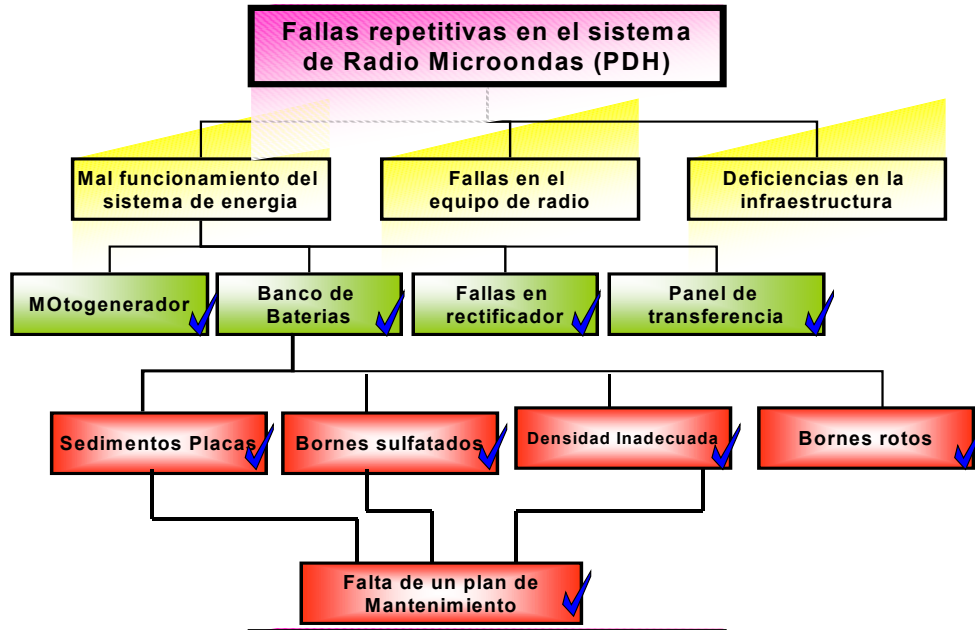


Figura 4.12 Análisis Causa Raíz Energía Banco de Baterías

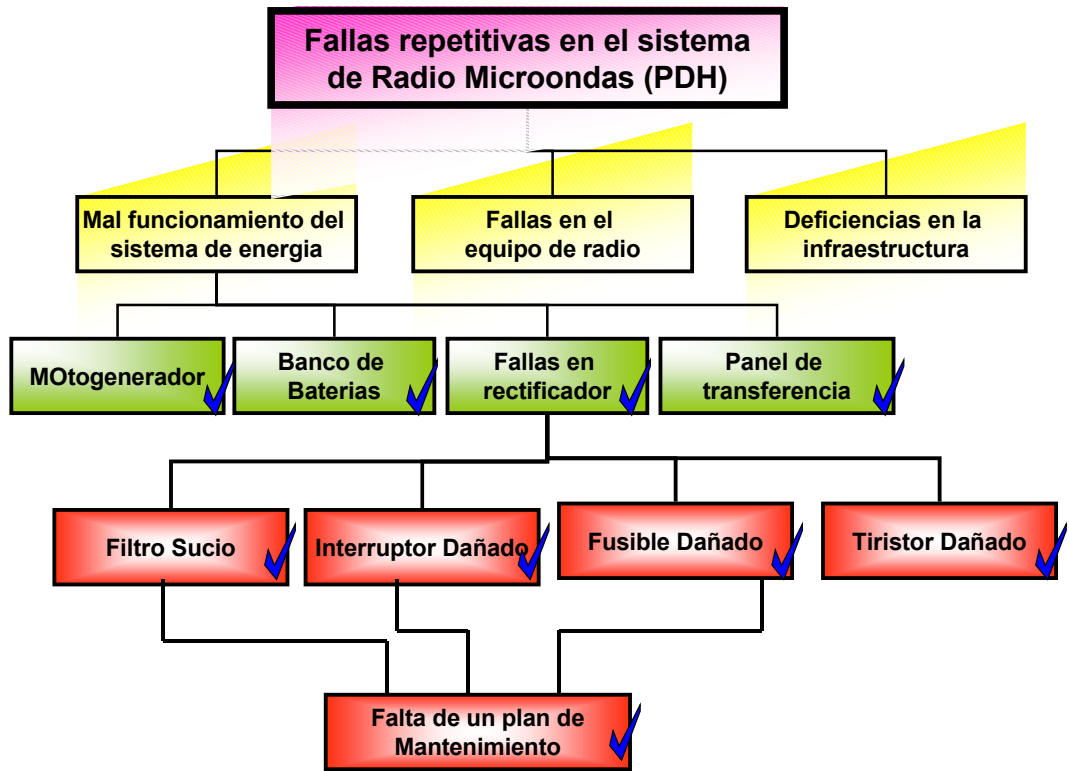


Figura 4.13 Análisis Causa Raíz Energía Rectificador

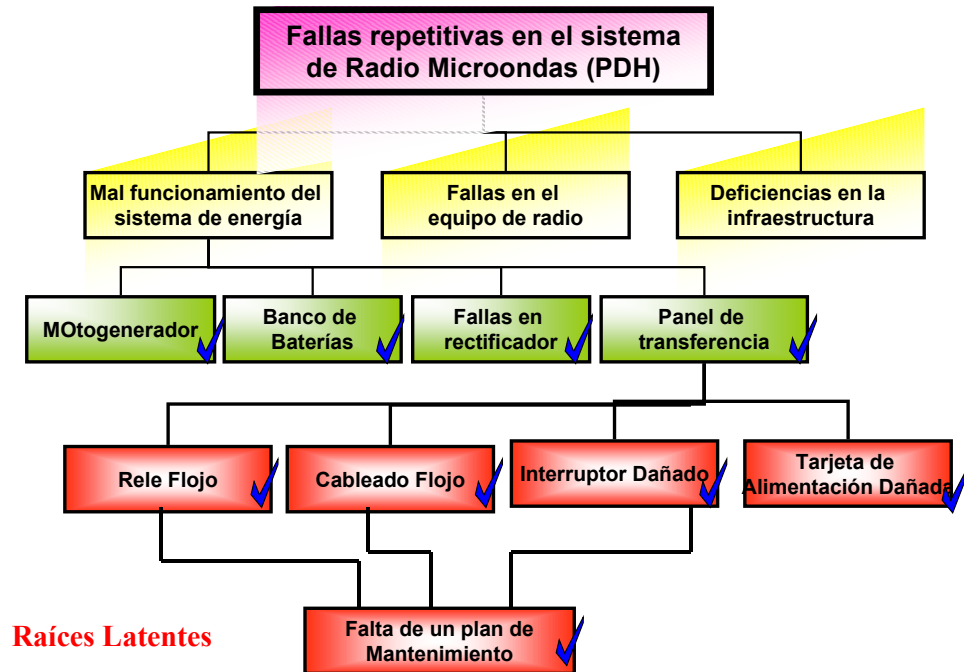


Figura 4.14 Análisis Causa Raíz Energía Panel de Transferencia

Siguiendo cada uno de los arboles especificados en las figuras anteriores, se identifican las posibles hipótesis que resumen la problemática. Estas prácticamente incluyen toda la problemática según lo que se describe en esta sección. En los niveles más bajos del árbol se encuentran los detalles (hipótesis más específicas) de la problemática descrita. Las casillas con el símbolo ✓ indican una hipótesis validada (causa raíz), mientras que una tachada representa una descartada.

4.4.1 MODOS DE FALLAS DEL RADIO

Estos modos de fallas se pueden visualizar en la Figura No. 4.9, se puede identificar los Modos de Falla del Radio, “Mal Funcionamiento de la tarjeta BIT-IN”, “Mal Funcionamiento de la tarjeta BIT-EX”, “Mal Funcionamiento del DEMUX”, “Mal Funcionamiento del TX/RX” y

“Obsolescencia Tecnológica”, para el caso de los cuatro primeros modos de fallas se tienen estadísticas anuales las cuales para el año 2002 arrojan un 40% de tarjetas BIT-IN y las BIT-EX dañadas, esto específicamente ocurría en las estaciones en donde los niveles de temperatura eran muy altos, no se tienen equipos de aires acondicionados que cumplan con las condiciones ideales de Temperatura y humedad para mantener los equipos electrónicos que están dentro de las estaciones. Las fallas en los aires acondicionados ocurren repetitivamente ya que el departamento de Servicios son los responsables de realizar el mantenimientos a estos y no poseen un plan. La forma de trabajo que este departamento tiene es reparar cuando falla, en otras palabras atención mantenimiento correctivo. La acción a tomar para reparar las fallas fue la de realizar un plan de mantenimiento que permita identificar las tareas de mantenimiento en todo el sistema de manera de disminuir las fallas en los equipos adicional se evaluó sustituir los equipos de Aires Acondicionados por equipos que cumplieran con las especificaciones ideales para mantener los equipos electrónicos que se encuentran dentro de las estaciones de telecomunicaciones, esta consideración fue discutida a nivel gerencial y actualmente esta en espera de repuesta de un proceso licitatorio. Para el quinto modo de falla “Equipos Obsoleto” se descartó esta hipótesis ya que hoy en día la red de transmisión de microondas sigue cumpliendo con su función de transmisión de voz y datos desde/hacia sus correspondientes, se propuso realizar un estudio de Capacity Planning para identificar los nuevos proyectos próximos a ejecutarse en los próximos cinco años y en base a esto tomar la decisión mas convincente, paralelo a esto se contacto al fabricante SIEMENS para ubicar una cantidad considerable de repuestos del radio para garantizar el ciclo de vida del radio en el tiempo considerado.

4.4.2 MODOS DE FALLA DE INFRAESTRUCTURA Y DE ENERGIA

Analizando los modos de fallas de Infraestructura y Energía como se muestran en la figura 4.10, 4.11, 4.12 4.13 y 4.14 se observa que los modos de fallas convergen a una sola raíz física “Falta de un Plan de Mantenimiento.. En base a este análisis se propone realizar un Plan de Mantenimiento basado en la siguiente metodología “Mantenimiento Centrado en Confiabilidad” MCC. Para la aplicación de esta metodología se propuso involucrar a las personas integrantes a los sistemas externos al sistema microondas, Grupo de Energía y las personas pertenecientes al sistema de Infraestructura que son los integrantes del Departamento de SERVICIO, esto con la finalidad de identificar los planes de mantenimientos en estos sistemas y crear las responsabilidades a cumplir por cada equipo de trabajo.

4.5 DESARROLLO ETAPA IV “ANALISIS MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD” (MCC).

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad MCC, es una metodología utilizada para determinar sistemáticamente, qué debe hacerse a fin de asegurar que los activos físicos continúen haciendo lo requerido por el usuario, en el contexto operacional presente.

Los planes de mantenimiento en el Sistema de Microondas, tradicionalmente han sido preparados y revisados por el personal de telecomunicaciones, el MCC rompe con este paradigma ya que el plan presentado fue elaborado por un grupo multidisciplinario conformado por operadores, especialistas, mantenedores y asesores, dando como resultado un plan optimizado basado en la función del equipo en el proceso, por lo que

las actividades de mantenimiento son distintas para equipos similares, es así como, basado en la función del equipo, el mismo instrumento instalado en sistemas distintos tiene funciones distintas y por ende la acción de mantenimiento es distinta.

Con la aplicación de esta metodología se consiguieron resultados que han permitido mejorar todas las actividades asociadas a los planes de mantenimiento ajustando frecuencias y esfuerzo necesario para la ejecución de las tareas.

Para la identificación de las tareas de Mantenimiento el sistema de Microondas se dividió en tres Sub-Sistemas: El primero el Sistema del Radio aquí se identificaron todas las actividades de mantenimiento referente al radio y sistema radiante, en el sub-Sistema numero dos es el de Energía se identificaron todas las actividades de mantenimiento de todos los equipos de energía y el tercer y ultima sub-sistema es el de Infraestructura donde se identificaron las actividades de mantenimiento de la caseta. En el anexo A se puede observar todas las actividades de Mantenimiento de los Sistemas Auxiliares y del Radio en la estación de Telecomunicaciones “Sabana Larga” , en el ANEXO A-1 se muestran los AMEF (Análisis de Modo y Efectos de Falla) y en el ANEXO A-2 se muestran el Arbol de Decisión.

Al realizar el AMEF del Sub-Sistema Energía el cual esta compuesto por Equipos como: Motogeneradores, Rectificadores, Banco de Baterías Sistema puesta a tierra, entre otros. La función principal de este sistema es **“Suministrar en forma continua tensiones de -48 y -24 vdc +/- 10% a los equipos de radio”** Como se observa en la figura 4.15, esta función tiene cuatro fallas funcionales: “No suministra nada”, “Suministrar en forma intermitente”, “No suministrar tensiones de -24 +/- 10% vdc a los equipos

de radio”, cada fallo funcional tiene varios modos y efectos de falla. Una vez culminada el AMEF se procede a realizar la Hoja de decisión como se muestra en la Fig. 4.16 que es donde se identifican las acciones de mantenimiento gerenciando las consecuencias.

RCMII HOJA DE TRABAJO DE INFORMACION ©1994 Aladon Ltd	SISTEMA MOTORES AUXILIARES ESTACION SABANA LARGA	II° 0	Recopilado por	Fecha 23-Mar-04	Hoja 1	
	SUB-SISTEMA	Rd. MOTORES ESTACION	Revisado por	Fecha	de 8	

FUNCION	FALLO FUNCIONAL	MODOS DE FALLO (Causa del fallo)	EFECTO DEL FALLO (Qué ocurre cuando falla)
1	A NO SUMINISTRA NADA	1 PUENTE RECTIFICADOR DAÑADO.	AL DAÑARSE EL RECTIFICADOR, EL BANCO DE BATERIAS SUMINISTRA ENERGÍA POR UN PERÍODO DE 08 HORAS. DESPUES DE 08 HORAS EL SISTEMA DE RADIO QUEDA SIN SERVICIO. PRODUCE ALARMA REMOTA. TPPR= ALREDEDOR DE 02 DÍAS. SEGURAMENTE SE SACARÁ UN RECTIFICADOR DE OTRA INSTALACIÓN PARA REPARAR. CPPR=10MMBS, SIN CONTAR EL EFECTO DE LA PRODUCCIÓN.
1	A	2 CABLEADO DE ALIMENTACIÓN A LOS RADIOS INTERRUPTIDO.	EL SERVICIO A LOS RADIOS SE PIERDE DE INMEDIATO. SE ORIGINA UNA ALARMA REMOTA EN EL CENTRO DE CONTROL DE RADIO (CCR). TPPR=APROX. 10 HORAS.
1	A	3 CONEXIONES SULFATADAS O FLOJAS.	EL SERVICIO A LOS RADIOS SE PIERDE DE INMEDIATO. SE ORIGINA UNA ALARMA REMOTA EN EL CENTRO DE CONTROL DE RADIO (CCR). TPPR=APROX. 10 HORAS.
1	A	4 FALLA EN EL SISTEMA ELECTRICO AC.	SE ANALIZA POR SEPARADO. VER FUNCIÓN 2.
1	A	5 CORTO CIRCUITOS GENERADOS POR ALIMAÑAS.	LA ENTRADA DE PEQUEÑOS ANIMALES EN LA CASETA DEL MOTOGENERADOR PUEDE PRODUCIR CORTOCIRCUITOS EN LOS SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN A LOS RADIOS. TPPR=APROX. 10 HORAS.
1	A	6 FALLA DEL VENTILADOR DEL RECTIFICADOR	SE RECALIENTA EL RECTIFICADOR Y FALLA. AL DAÑARSE EL RECTIFICADOR, EL BANCO DE BATERIAS SUMINISTRA ENERGÍA POR UN PERÍODO DE 08 HORAS. DESPUES DE 08 HORAS EL SISTEMA DE RADIO QUEDA SIN SERVICIO. PRODUCE ALARMA REMOTA. TPPR= ALREDEDOR DE 02 DÍAS. SEGURAMENTE SE SACARÁ UN RECTIFICADOR DE OTRA INSTALACIÓN PARA REPARAR. CPPR=10MMBS, SIN CONTAR EL EFECTO DE LA PRODUCCIÓN.
1	B SUMINISTRAR EN FORMA INTERMITENTE TENSIONES DE -48 Y/O -24 VDC +/- 10% A LOS EQUIPOS DE RADIO.	1 DAÑOS EN LA ELECTRÓNICA DEL CIRCUITO DEL RECTIFICADOR.	ORIGINA UNA ALIMENTACIÓN NO CONTÍNUA DE VDC A LOS RADIOS Y AL BANCO DE BATERIAS. ESTO PUEDE CAUSAR DAÑOS SECUNDARIOS AL SISTEMA DE TRANSMISIÓN Y AL BANCO DE BATERIAS. AL DAÑARSE EL RECTIFICADOR, EL BANCO DE BATERIAS SUMINISTRA ENERGÍA POR UN PERÍODO DE 08 HORAS. DESPUES DE 08 HORAS EL SISTEMA DE RADIO QUEDA SIN SERVICIO. PRODUCE ALARMA REMOTA. TPPR= ALREDEDOR DE 02 DÍAS. SEGURAMENTE SE SACARÁ UN RECTIFICADOR DE OTRA INSTALACIÓN PARA

Figura 4.15 AMEF Sub-Sistema de Energía

RCM II
HOJA DE
TRABAJO

©1994 Aladon Ltd

SISTEMA MOTORES AUXILIARES ESTACION SABANA LARGA	II° 0	Reconilado por	Fecha 23-11-04	Hoja 1
SUB-SISTEMA	Ref. MARES ESTACION	Revisado por	Fecha	de 4



Información Referencia	Consecuencia evaluación			H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	A falta de tareas			Proposed Task	Intervalo Inicial	A realizar por	
	F	FF	MF				H4	H5	S4				
1 A 1	S	N	N	S	N	N	N				NMP		
1 A 2	S	N	N	S	N	N	N				NMP		
1 A 3	S	N	N	S	N	S					LIMPIEZA Y AJUSTE DE BORNES Y CONEXIONES	SEMESTRAL	ELECTRICISTA
1 A 4													
1 A 5	S	N	N	S	N	S					FUMIGACION DE TODAS LAS CASETAS	ANUAL	CONTRATISTA
1 A 6	S	N	N	S	N	N	N				NMP		
1 B 1	S	N	N	S	N	N	N				NMP		
1 C 1	S	N	N	S	S						VERIFICAR EL VOLTAJE DE FLOTACION	TRIMESTRAL	INFRAESTRUCTURA
1 D 1	S	N	N	S	S						VERIFICAR EL VOLTAJE DE FLOTACION	TRIMESTRAL	INFRAESTRUCTURA
2 A 1	N				S						INSPECCION DE LA IMPEDANCIA DEL SISTEMA DE ATERRAMIENTO CON PERSONAL Y EQUIPOS ESPECIALIZADOS	SEMESTRAL	INFRAESTRUCTURA
2 A 2	N				N	N	N	S			INSPECCION DE LOS SISTEMAS DE ATERRAMIENTO	SEMESTRAL	INFRAESTRUCTURA
2 A 3	N				N	N	N	N	S		REDISEÑO. PROCEDIMIENTO.		
3 A 1	S	S			S						INSPECCION DE LAS SOLDADURAS DEL TANQUE POR ULTRASONIDO U OTRO METODO QUE APLIQUE	5 Years	SUPERVISOR
3 A 2	S	S			S						INSPECCION VISUAL DE LA VALVULA DE DRENAJE POR POSIBLE OXIDO Y/O SUCIEDAD	TRIMESTRAL	INFRAESTRUCTURA
3 A 3	S	S			S						INSPECCION VISUAL DE LAS BRIDAS Y UNIONES DEL TANQUE POR POSIBLE OXIDO Y/O SUCIEDAD QUE INDIQUE UN POSIBLE DETERIORO	TRIMESTRAL	INFRAESTRUCTURA
4 B 1	N				N	N	N	S			PRUEBA DE FUNCIONALIDAD DEL RELE DE BAJA TENSION	ANUAL	INFRAESTRUCTURA
4 B 2	N				N	S					RECALIBRACION DEL RELE DE BAJA TENSION	ANUAL	INFRAESTRUCTURA
4 C 1	N				N	N	N	S			PRUEBA DE FUNCIONALIDAD DEL SUICHE DE TRANSFERENCIA	MENSUAL	INFRAESTRUCTURA
4 C 2	N				N	N	N	S			PRUEBA DE FUNCIONALIDAD DEL SISTEMA DE CABLEADO	MENSUAL	INFRAESTRUCTURA

Figura 4.16 Diagrama de Decisión Sub-Sistema de Energía.

RECOMENDACIONES DE REDISEÑO

SUB-SISTEMA DE ENERGIA

1. Se recomienda la colocación de parabichos para evitar que entren alimañas por las puertas de las casetas.
2. Elaborar procedimiento que asegure la reconexion de los sistemas de aterramiento una vez concluido el mantenimiento.

SUB-SISTEMA INFRAESTRUCTURA

1. Rediseñar la caseta de manera que evite el acceso de intrusos.

DISTRIBUCION DE LAS TAREAS DE MANTENIMIENTO

SUB-SISTEMA ENERGIA

DISTRIBUCION DE TAREAS POR CONSECUENCIAS

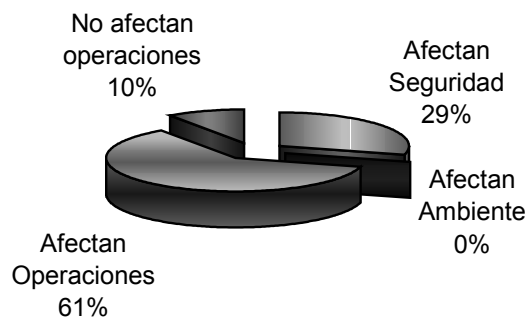


Figura 4.17 Tareas por consecuencias

DISTRIBUCCION DE TAREAS PROACTIVAS

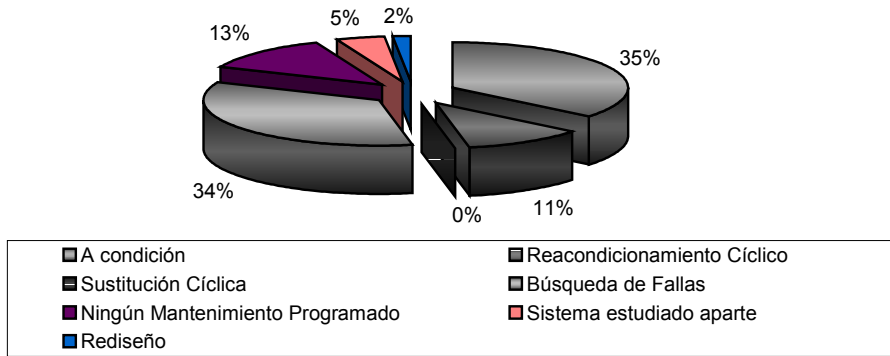


Figura 4.18 Tareas Proactivas

SUB-SISTEMA DE RADIO E INFRAESTRUCTURA

DISTRIBUCCION DE TAREAS POR CONSECUENCIAS

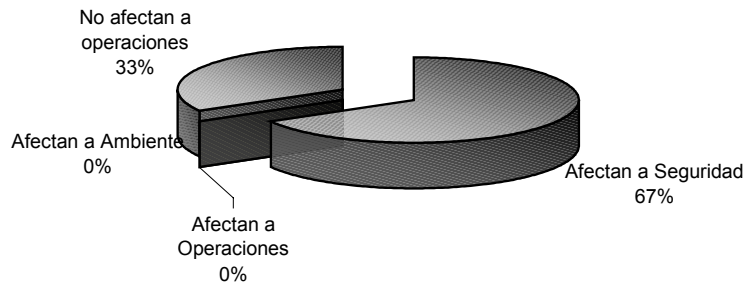


Figura 4.19 Tareas del Radio por Consecuencias

DISTRIBUCCION DE TAREAS PROACTIVAS

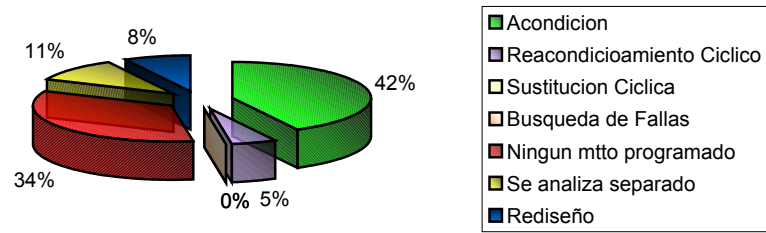


Figura 4.20 Tareas del Radio e Infraestructura Proactivas

DISTRIBUCCION DE TAREAS POR DISCIPLINA

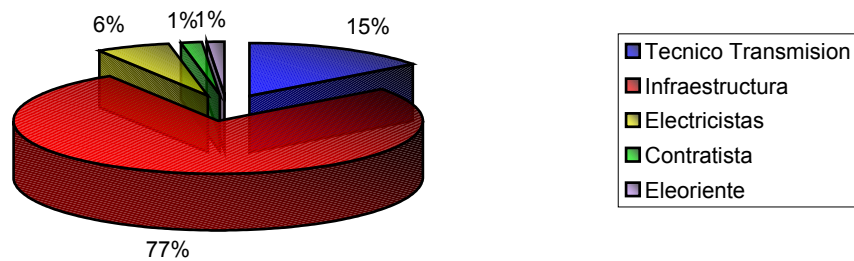


Figura 4.21 Tareas por Disciplinas.

4.6 DESARROLLO ETAPA VI “ANÁLISIS COSTO RIESGO

Una vez identificadas las tareas de mantenimiento se procedió a realizar el análisis Costo-Riesgo-Beneficio con la finalidad de evaluar el sistema Microondas considerando dos Escenarios. El primer Escenario es el cambio de Tecnología de PDH a SDH en la infraestructura de la red troncal del sistema microondas donde se consideraron todos los aspectos económicos y de confiabilidad para el cambio de esta nueva tecnología y el segundo escenario se consideró alargar el ciclo de vida del sistema microondas realizando los mantenimientos programados a todos los sub-sistemas (Energía, Infraestructura, radio, otros) garantizando los repuestos de los radios, mantenimiento mayor a motogeneradores, Banco de Baterías y reacondicionamiento de Infraestructura. Este análisis se realizó con la herramienta APT- Lifespan diseñados por **Woodhouse Patnership** con el propósito de cuantificar el impacto de los costos en los dos escenarios a lo largo del ciclo de vida del sistemas, y de esta forma, poder seleccionar el escenario que aporte mayores beneficios a la organización.

En la herramienta se consideraron los Datos Económicos y los Datos de Confiabilidad para los dos escenarios descritos. Conociendo como datos económicos todos los costos CAPEX (costos de instalación, adquisición y tasa de descuento) y costos OPEX (costos operacionales por año y costos de mantenimiento preventivo) y como datos de confiabilidad la definición de modos de fallas críticos y menores, data histórica, frecuencia de ocurrencia de eventos imprevistos, costos de penalización asociados a las fallas imprevistas (mantenimiento correctivo, impacto operacional y oportunidades perdidas).

Todos estos datos fueron alimentados en el software obteniendo como resultado lo que se muestra en la figura 4.22.

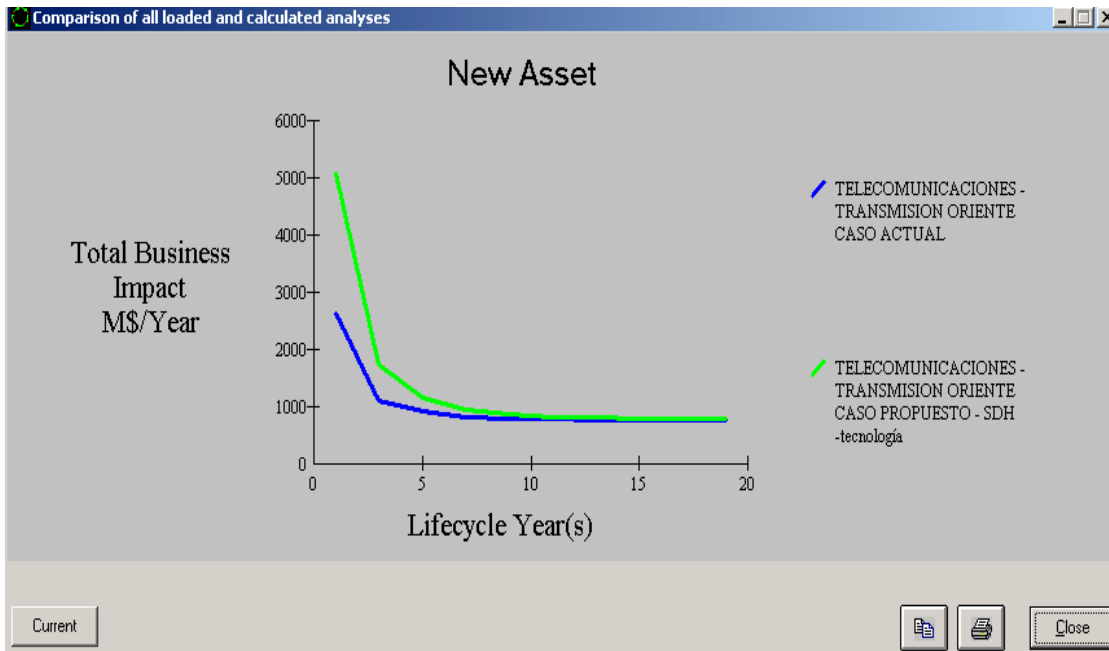


Figura 4.22 Análisis Costo Riesgo Beneficio

Concluyendo con el ciclo final del modelo metodológico para mejorar la confiabilidad operacional del sistema microondas que adecuando la infraestructura, aplicando los mantenimientos preventivos y garantizando los repuesto del fabricante en el sistema da un total de 2600 M\$ sin embargo cambiando de tecnología nos da una cantidad de 5000M\$ observando de esta manera un gap considerable de 2400M\$ considerando que para el sexto año ambos sistemas tendrán el mismo comportamiento. En base a esta premisas se decidió aplicar todas las consideraciones de Escenario primero dado que sale mas rentable para la gerencia garantizando así la confiabilidad y continuidad del sistema microondas.

- ❖ Aplicar metodologías técnicas para mejorar la confiabilidad de los sistemas en la gerencia de AIT ha sido innovador dado que es la primera práctica que se ha realizado en sistemas de telecomunicaciones y en vista a los grandes resultados obtenidos de este análisis ha permitido innovar en su aplicabilidad en sistemas informáticos y automatizados.
- ❖ El esquema de trabajo en equipo de las metodologías aplicadas, brinda una excelente oportunidad para aprender de otras disciplinas y/o fortalecer nuestros conocimientos sobre la instalación.
- ❖ La aplicación de la metodología de MCC permitió generar planes óptimos de mantenimiento de forma estructurada y sistemática., gerenciando de esta forma todas las consecuencias para disminuir el impacto de las fallas.
- ❖ El MCC es una excelente metodología para captar el conocimiento y estadística no documentada de la organización.
- ❖ El plan optimado generado del estudio de MCC no se concluye hasta que las tareas de mantenimiento producto del análisis, no hayan sido implantadas, lo que significa que formen parte del sistema Sap-pm o en cualquier otro sistema de información.
- ❖ Implementar los Índices de Gestión de Mantenimiento, Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad para justificar y orientar a la toma de decisiones de un activo.

- ❖ El proceso de comunicación de resultados es un factor habilitador, que facilita la búsqueda de recursos adicionales, rompe paradigmas y promueve el cambio de Gerencia Reactiva en Gerencia Proactiva.

[1] Parra, Carlos (julio 2004) pag. (9-11). Manual del Participante Mantenimiento Centrado en Confiabilidad

[2] Parra, Carlos (julio 2004) pag. (50). Manual del Participante Mantenimiento Centrado en Confiabilidad

[3] López A. Rolando A. (2001) pag (18) . Desarrollo de un Modelo de Gestión de Confiabilidad Operacional.

[4] Procedimiento de trabajo Mantenimiento Correctivo Radio CTR-216. Departamento de Telecomunicaciones PDVSA pag. (5)

[5] López A. Rolando A. (2001) pag (25) . Desarrollo de un Modelo de Gestión de Confiabilidad Operacional.

1. PDVSA CIED, Introducción a la Confiabilidad Operacional, 1999.
2. PDVSA CIED, Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, 1999.
3. Strategic Technologies Inc., Reliability – Centred Maintenance for facilitators., 1999
4. The Woodhouse Partnership Ltd, Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad Plus, 1988.
5. Resultados Confiabilidad Operacional E & P Occidente, Agosto 2000.
6. Desarrollo de un Modelo de Gestión de Confiabilidad Operacional, Intevep, Caracas 2001.
7. Biblia de las Telecomunicaciones Copyright © 2004 KG Corporation, Inc. All rights reserved. Disponible en: <http://teleco.spymac.net/biblia.htm>