

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE TECNOLOGÍA
MAESTRÍA EN GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO



TESIS DE POSTGRADO

**"MODELO DE PLAN DE MANTENIMIENTO
CENTRADO EN CONFIABILIDAD (MCC), PARA
RADIO BASES DE TELECOMUNICACIONES 4G-LTE"**

Tesis de Postgrado para la obtención del título de Magister Scientiarum

POR: LIC. RICAR CADENA SUXO

TUTOR: M. SC. ING. MARCO ANTONIO VARGAS PAREDES

LA PAZ - BOLIVIA

Mayo, 2019

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme fuerzas día a día, por la salud mía y de mi familia, a la institución Universidad Mayor de San Andrés, a la Facultad de Tecnología, a la Carrera de Mecánica Industrial y al plantel docente del programa de Maestría de la Cuarta Versión, quienes me han formado durante estos dos años, en especial a mi tutor M. Sc. Ing. Marco Antonio Vargas Paredes, quien me ha brindado su plena colaboración en el desarrollo, revisión y corrección de este documento.

Richar Cadena Suxo

DEDICATORIA

A toda mi familia, en especial a mis padres (Justina Suxo Huaranca y Felipe Juan Cadena Apaza), a mi esposa Rosa Lucia y mis queridos hijos Luz Annett, Ruddy Santiago y Alejandro Alberto. También a la carrera de Electrónica y Telecomunicaciones de la Facultad de Tecnología que me formo a nivel profesional.

Richar Cadena Suxo

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene la finalidad de elaborar un plan de MCC (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad), para los equipos que componen las RBS (Estaciones Radio Bases) de Telecomunicaciones con tecnología 4G-LTE, pertenecientes a la empresa TELECEL S.A. (TIGO), como muestra se consideraron 10 RBS de la ciudad de La Paz y 10 RBS de la ciudad de El Alto, en el periodo anual del 2016, estas RBS transmiten datos, voz y video de forma inalámbrica y utilizan equipos de la marca Huawei. A través de la investigación se describió el contexto operacional actual de las RBS, a fin de conocer la conformación, funcionamiento y mantenimiento actual que es el preventivo y correctivo de los equipos de las RBS. El mantenimiento de las RBS, es realizado por la empresa STS Bolivia Ltda. (Sociedad de Telecomunicaciones y Servicios Bolivia Ltda.). Los equipos de la RBS, se agruparon en 5 subsistemas: Unidad Principal de procesamiento de datos (**Nodo B**), transmisión y recepción de datos con el usuario final (**Radio Frecuencia**), alimentación de energía eléctrica en Corriente Directa y Corriente Alterna (**Energía Eléctrica**), transmisión y recepción a la red móvil principal (**Transporte**), y componentes auxiliares de funcionalidad (**Infraestructura**). En la parte aplicativa de la investigación se utilizó la metodología del MCC que se basa en 7 preguntas, las cuales al responderlas describen la/s función/es de cada equipo, las fallas de los equipos, los modos de fallas, los efectos de las fallas, las consecuencias de las fallas y en función a estas últimas se determinan cuáles son las actividades de mantenimiento necesarias para que los equipos realicen sus funciones con la mayor confiabilidad posible. En base a datos de la empresa de mantenimiento se calculó la confiabilidad en promedio de las 20 RBS en la gestión 2016, cuyo resultado es 59.51%, dejando evidenciada de una confiabilidad baja. Aplicando la metodología del MCC, se elaboró un plan de MCC como propuesta. Utilizando datos estimados que se basan en consultas a expertos de la empresa de mantenimiento, de acuerdo a una posible aplicación del plan de MCC en las RBS, y realizando los cálculos necesarios, el índice de confiabilidad del sistema sube a 67.67%, cuyo resultado es favorable al propósito de esta investigación.

Palabras Clave: Mantenimiento, Confiabilidad, Función del equipo, Falla del equipo, Modo de Falla, Efecto de falla, Consecuencia de la falla.

ABSTRACT

The present research work aims to develop an RCM (Reliability Centered Maintenance) plan for the teams that make up the RBS (Base Radio Station) of Telecommunications with 4G-LTE technology, belonging to the company TELECEL S.A. (TIGO), as sample were taken 10 RBS from the city of La Paz and 10 RBS from the city of El Alto, in the annual period of 2016, these RBS transmit data, voice and video wirelessly and They use equipment of the Huawei brand. Through the investigation the current operational context of the RBS was described, in order to know the conformation, operation and current maintenance that is the preventive and corrective of the equipment and elements of the RBS. The maintenance is carried out by the company STS Bolivia Ltda. (Telecommunications and Services Company, Bolivia Ltda.). The equipment and elements of the RBS were grouped into 5 subsystems: Main Unit of data processing (**Node B**), transmission and reception of data with the end user (**Radio Frequency**), Power supply in Direct Current and Alternating Current (**Electrical Energy**), transmission and reception to the Main Mobile Network (**Transport**) and auxiliary elements of functionality (**Infrastructure**). In the application part of the research, the methodology of the RCM (Reliability Centered Maintenance) was used, which is based on 7 questions, which, when answered, describe the function of each equipment, the equipment failures, the modes of failures, the effects of the failures, the consequences of the failures and depending on the latter are determined which are the maintenance activities necessary for the equipment and elements to perform their functions with the highest possible reliability. Based on data from the maintenance company, the average reliability of the 20 RBS in the 2016 management was calculated, which resulted in 59.51%, evidencing low reliability. Applying the RCM methodology, an RCM plan was developed as a proposal. Using estimated data based on consultations with experts from the maintenance company, according to a possible application of the RCM plan in the RBS, and performing the necessary calculations, the reliability index of the system rises to 67.67%, the result of which is favorable to the purpose of this investigation.

Key words: Maintenance, Reliability, Equipment function, Equipment failure, Failure mode, Failure effect, Consequence of failure.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO.....	i
DEDICATORIA.....	ii
RESUMEN.....	iii
ABSTRACT.....	iv
ÍNDICE GENERAL.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
LISTA DE ACRÓNIMOS.....	xiv
CAPÍTULO I GENERALIDADES.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.2.1. PROBLEMA GENERAL.....	2
1.2.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA CIENTÍFICO.....	2
1.3. DEFINICIÓN DE OBJETIVOS.....	2
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	2
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.4. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	3
1.4.1. VARIABLES.....	3
1.4.1.1. VARIABLE DEPENDIENTE.....	3
1.4.1.2. VARIABLE INDEPENDIENTE.....	3
1.4.1.3. VARIABLE INTERVINIENTE.....	3
1.5. JUSTIFICACIÓN.....	4
1.5.1. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA.....	4
1.5.2. JUSTIFICACIÓN SOCIAL.....	4
1.5.3. JUSTIFICACIÓN TECNOLÓGICA.....	4
1.5.4. JUSTIFICACIÓN ACADÉMICA.....	4
1.6. ALCANCES Y LIMITACIONES.....	5
1.6.1. ALCANCES.....	5
1.6.2. LIMITACIONES.....	5

CAPÍTULO II	MARCO TEÓRICO	6
2.1	TECNOLOGÍAS MÓVILES	6
2.1.1	INTRODUCCIÓN A LAS TECNOLOGÍAS MÓVILES	6
2.1.2	EVOLUCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS MÓVILES	7
2.1.2.1	PRIMERA GENERACIÓN 1G (AMPS/NMT)	7
2.1.2.2	SEGUNDA GENERACIÓN 2G (TECNOLOGÍA GSM)	8
2.1.2.3	SEGUNDA GENERACIÓN Y MEDIA 2.5G (TECNOLOGÍA GPRS)	11
2.1.2.4	TERCERA GENERACIÓN 3G (TECNOLOGÍA UMTS)	13
2.1.2.5	CUARTA GENERACIÓN 4G (TECNOLOGÍA LTE)	16
2.1.2.6	¿QUE ES 4G?	18
2.1.2.6	¿QUE ES LTE?	19
2.1.2.7	MODULACIÓN OFDM, OFDMA Y SC-FDMA	21
2.3	MANTENIMIENTO	25
2.3.1	OBJETIVOS DEL MANTENIMIENTO	26
2.3.2	TIPOS DE MANTENIMIENTO CONVENCIONAL	27
2.3.2.1	MANTENIMIENTO CORRECTIVO	27
2.3.2.2	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	29
2.3.2.3	MANTENIMIENTO PREDICTIVO	30
2.4	CONCEPTOS BÁSICOS DE CONFIABILIDAD	31
2.4.1	TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS (MTBF)	31
2.4.2	TIEMPO MEDIO PARA LA REPARACIÓN (MTTR)	31
2.4.3	DISPONIBILIDAD	32
2.4.4	TASA DE FALLA	32
2.4.5	CONFIABILIDAD	32
2.4.6	PROBABILIDAD DE FALLO	33
2.5	MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (MCC)	33
2.5.1	SAE	35
2.5.2	NORMAS SAE JA 1011 Y SAE JA 1012	36
2.5.3	RCM SEGÚN LA NORMA SAE JA 1011	36
2.5.3.1	FUNCIONES	37
2.5.3.2	FALLOS FUNCIONALES	37

2.5.3.3 MODOS DE FALLO	38
2.5.3.4 EFECTOS DE FALLO.....	38
2.5.3.5. CATEGORÍAS DE LA CONSECUENCIA DEL FALLO.....	39
2.5.3.6 SELECCIÓN DE LA POLÍTICA DE ADMINISTRACIÓN DE FALLO	39
2.5.3.7 POLÍTICAS DE ADMINISTRACIÓN DE FALLO – TAREAS PROGRAMADAS.....	40
2.5.4 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE LA METODOLOGÍA DEL MCC.....	42
2.5.4.1 FASE 0: LISTADO Y CODIFICACIÓN DE EQUIPOS	43
2.5.4.2 FASE 1: LISTADO DE FUNCIONES Y ESPECIFICACIONES	43
2.5.4.3 FASE 2: DETERMINACIÓN DE FALLOS FUNCIONALES	44
2.5.4.4 FASE 3: DETERMINACIÓN DE LOS MODOS DE FALLO.....	46
2.5.4.5 FASE 4: ANÁLISIS DE LA GRAVEDAD DE LOS FALLOS, ANÁLISIS DE CRITICIDAD.....	46
2.5.4.6 FASE 5: DETERMINACIÓN DE LAS MEDIDAS PREVENTIVAS	48
2.5.4.7 FASE 6: OBTENCIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO	50
2.5.4.8 FASE 7: PUESTA EN MARCHA.....	51
 CAPÍTULO III CONTEXTO OPERACIONAL RBS 4G-LTE.....	53
 3.1 CONFORMACIÓN DE UNA ESTACIÓN RADIO BASE (RBS)	53
3.1.1 SUBSISTEMA NODO B	54
3.1.1.1 BBU UNIDAD BANDA BASE.....	55
3.1.1.2 PRINCIPALES TARJETAS DE LA BBU 3900	58
3.1.2 SUBSISTEMA RADIO FRECUENCIA	59
3.1.2.1 RRU UNIDAD DE RADIO REMOTA.....	59
3.1.2.2 CONEXIÓN ENTRE BBU Y RRU	62
3.1.2.3 CONEXIÓN ENTRE BBU Y RRU CON FIBRA ÓPTICA	63
3.1.2.4 ANTENAS SECTORIALES	66
3.1.3 SUBSISTEMA ENERGÍA ELÉCTRICA	69
3.1.3.1 ACOMETIDA Y TABLEROS.....	69
3.1.3.2 RECTIFICADORES	70
3.1.3.3 TIERRA	71
3.1.3.4 RESPALDO DE ENERGÍA - BANCO DE BATERÍAS	72

3.1.4 SUBSISTEMA TRANSPORTE.....	74
3.1.4.1 TRANSPORTE MEDIANTE FIBRA ÓPTICA	74
3.1.4.2 TRANSPORTE MEDIANTE RADIO ENLACE.....	76
3.1.5 SUBSISTEMA INFRAESTRUCTURA	77
3.1.5.1 ILUMINACIÓN INTERIOR Y EXTERIOR	77
3.1.5.2 BALIZA	78
3.1.5.3 AIRE ACONDICIONADO	79
3.2. MANTENIMIENTO ACTUAL DE LAS RBS DE TELECEL S.A.....	80
3.2.1. ACTIVIDADES PREVENTIVAS	80
3.2.2. MANTENIMIENTO CORRECTIVO	82
CAPÍTULO IV MARCO PRÁCTICO- ESTUDIO PREVIO A LA APLICACIÓN DE LA	
METODOLOGÍA DEL MCC.....	84
4.1 DATOS RECOPIADOS ESTACIONES RADIO BASES.....	84
4.2 CONFIABILIDAD DEL SISTEMA DE LA RBS SIN MCC	86
4.2.1. TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS (MTBF)	86
4.2.2. TIEMPO MEDIO PARA LA REPARACIÓN (MTTR).....	86
4.2.3. DISPONIBILIDAD	87
4.2.4. TASA DE FALLA	87
4.2.5. CONFIABILIDAD.....	87
4.2.6. PROBABILIDAD DE FALLO	87
4.3 ANÁLISIS DE FALLOS POR GRAFICA DE PARETO	89
CAPÍTULO V APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA	
DEL MCC PARA RBS 4G-LTE.....	91
5.1 PROCESO METODOLÓGICO DEL MCC.....	91
5.2 SISTEMA DEFINIDO DE UNA RBS 4G - LTE.....	91
5.3 ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLOS (AMEF).....	92
5.4 ANÁLISIS DE LOS EFECTOS DE LOS MODOS DE FALLOS Y CRITICIDAD (FMECA) ..	102
5.5 ANÁLISIS DE LAS CONSECUENCIAS DE LOS MODOS DE FALLOS	112

5.6	EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS	115
5.7	ACTIVIDADES, TAREAS Y FRECUENCIA	122
5.8	PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD	127
5.9	CONFIABILIDAD DEL SISTEMA DE LA RBS POST MCC	133
5.9.1.	TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS (MTBF) POST MCC	134
5.9.2.	TIEMPO MEDIO PARA LA REPARACIÓN (MTTR) POST MCC	134
5.9.3.	DISPONIBILIDAD POST MCC	134
5.9.4.	TASA DE FALLA POST MCC	134
5.9.5.	CONFIABILIDAD POST MCC	134
5.9.6.	PROBABILIDAD DE FALLO POST MCC	135
CAPÍTULO VI	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	137
6.1	RESULTADOS.....	137
6.2	DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	139
6.3	COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	140
6.4	RECOMENDACIONES	141
	GLOSARIO DE TÉRMINOS	142
	BIBLIOGRAFÍA.....	147
	LIBROS.....	147
	TESIS Y PROYECTOS.....	147
	INFORMES.....	148
	PAGINAS WEB.....	148
	ARTICULO CIENTÍFICO.....	148
	OTROS DOCUMENTOS	148
	ANEXOS.....	149
ANEXO 1	HOJA DE PREGUNTAS – ENTREVISTA A EXPERTOS	149
ANEXO 2	PLANILLA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO STS LTDA.	150
ANEXO 3	PLANILLA MANTENIMIENTO CORRECTIVO INTERNO.....	160
ANEXO 4	PLANILLA MANTENIMIENTO CORRECTIVO EXTERNO.....	164

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 2.1.</i> Primera Generación Telefonía Móvil (1G)	8
<i>Figura 2.2.</i> Segunda Generación de Telefonía Móvil (2G)	9
<i>Figura 2.3.</i> Arquitectura de una red GSM.....	11
<i>Figura 2.4.</i> Arquitectura GPRS.....	13
<i>Figura 2.5.</i> Tercera Generación de Telefonía Móvil (3G)	14
<i>Figura 2.6.</i> Arquitectura UMTS.....	16
<i>Figura 2.7.</i> Cuarta Generación de Telefonía Móvil (4G).....	17
<i>Figura 2.8.</i> Evolución de las Tecnologías Móviles.....	18
<i>Figura 2.9.</i> Modulación FDMA y OFDMA.....	18
<i>Figura 2.10.</i> Modulación OFDMA y SC-FDMA.....	22
<i>Figura 2.11.</i> Modulación Downlink FDMA y Uplink SC-FDMA	23
<i>Figura 2.12.</i> Modulación Downlink y Uplink.....	24
<i>Figura 2.13.</i> Proceso de la metodología MCC.....	43
<i>Figura 3.1.</i> Elementos de una Estación Radio Base Genérica	53
<i>Figura 3.2.</i> Unidad Banda Base BBU 3900	55
<i>Figura 3.3.</i> Conexión entre la BBU y las RRU's	56
<i>Figura 3.4.</i> Interconexión entre BBU, RRU y Antenas	57
<i>Figura 3.5.</i> Puertos y Tarjetas de una BBU 3900	58
<i>Figura 3.6.</i> Prioridad de las tarjetas en la BBU 3900.....	59
<i>Figura 3.7.</i> Unidad de Radio Remota RRU 3908	60
<i>Figura 3.8.</i> Estructura lógica de la BBU 3900 y la RRU 3908	62
<i>Figura 3.9.</i> Conexión entre la BBU y RRU	63
<i>Figura 3.10.</i> Transmisión por una Fibra Óptica Monomodo	64
<i>Figura 3.11.</i> Conversión de la Señal Óptica a Eléctrica en un Transceiver.....	65
<i>Figura 3.12.</i> Antenas y Disposición Física en una Radio Base	66
<i>Figura 3.13.</i> Patrón de Radiación Tilt Mecánico	66
<i>Figura 3.14.</i> Patrón de Radiación Tilt Eléctrico	66
<i>Figura 3.15.</i> Tablero de distribución de una RBS.....	70

<i>Figura 3.16.</i> Rectificadores para RBS.....	71
<i>Figura 3.17.</i> Barra de Tierra.....	71
<i>Figura 3.18.</i> Banco de Baterías	73
<i>Figura 3.19.</i> Transporte de Datos mediante ATN 910.....	75
<i>Figura 3.20.</i> Radio enlace por microondas	76
<i>Figura 3.21.</i> Iluminación interior y exterior.....	77
<i>Figura 3.22.</i> Baliza.....	78
<i>Figura 3.23.</i> Aire Acondicionado.....	79
<i>Figura 4.1.</i> Gráfica de Pareto aplicado a RBS	90
<i>Figura 5.1.</i> Flujograma para Análisis de Resultados de (FMECA)	106
<i>Figura 5.2.</i> Arbol de desición de MCC.....	106
<i>Figura 6.1.</i> Porcentaje de Confiabilidad y Probabilidad de Falla	106

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1. <i>Estaciones Radio Base Empresa TELECEL S.A.</i>	84
Tabla 4.2. <i>Fallos y Promedio de Fallos en la Gestión 2016</i>	85
Tabla 4.3. <i>Datos Para Análisis de Confiabilidad sin MCC</i>	86
Tabla 4.4. <i>Análisis de Confiabilidad, Sistema y Subsistemas de una RBS sin MCC</i>	88
Tabla 4.5. <i>Tabla de Análisis por Método de Pareto</i>	89
Tabla 5.1. <i>MCC, Hoja de Registro Análisis de Modos y Efectos de Fallos (AMEF) – SUBSISTEMA NODO B.</i>	92
Tabla 5.2. <i>MCC, Hoja de Registro Análisis de Modos y Efectos de Fallos (AMEF) – SUBSISTEMA RADIO FRECUENCIA.</i>	94
Tabla 5.3. <i>MCC, Hoja de Registro Análisis de Modos y Efectos de Fallos (AMEF) – SUBSISTEMA ENERGÍA ELÉCTRICA.</i>	97
Tabla 5.4. <i>MCC, Hoja de Registro Análisis de Modos y Efectos de Fallos (AMEF) – SUBSISTEMA TRANSPORTE.</i>	99
Tabla 5.5. <i>MCC, Hoja de Registro Análisis de Modos y Efectos de Fallos (AMEF) – SUBSISTEMA INFRAESTRUCTURA.</i>	100
Tabla 5.6. <i>Ponderación de Seguridad</i>	103
Tabla 5.7. <i>Ponderación de Medio Ambiente</i>	103
Tabla 5.8. <i>Ponderación de Calidad</i>	103
Tabla 5.9. <i>Ponderación de Producción</i>	104
Tabla 5.10. <i>Ponderación de Frecuencia</i>	104
Tabla 5.11. <i>Ponderación de Mantenibilidad</i>	104
Tabla 5.12. <i>Ponderación de Detección</i>	105
Tabla 5.13. <i>MCC, Hoja de Registro de Análisis de Modos, Efectos de fallos y Criticidad – SUBSISTEMA NODO B.</i>	108
Tabla 5.14. <i>MCC, Hoja de Registro de Análisis de Modos, Efectos de fallos y Criticidad – SUBSISTEMA RADIO FRECUENCIA.</i>	109
Tabla 5.15. <i>MCC, Hoja de Registro de Análisis de Modos, Efectos de fallos y Criticidad – SUBSISTEMA ENERGÍA ELÉCTRICA.</i>	110

Tabla 5.16. <i>MCC, Hoja de Registro de Análisis de Modos, Efectos de fallos y Criticidad – SUBSISTEMA TRANSPORTE.</i>	111
Tabla 5.17. <i>MCC, Hoja de Registro de Análisis de Modos, Efectos de fallos y Criticidad – SUBSISTEMA INFRAESTRUCTURA.</i>	112
Tabla 5.18. <i>MCC, Hoja de Decisión - Evaluación de las Consecuencias – SUBSISTEMA NODO B</i>	115
Tabla 5.19. <i>MCC, Hoja de Decisión - Evaluación de las Consecuencias– SUBSISTEMA RADIO FRECUENCIA</i>	117
Tabla 5.20. <i>MCC, Hoja de Decisión - Evaluación de las Consecuencias – SUBSISTEMA ENERGÍA ELÉCTRICA</i>	120
Tabla 5.22. <i>MCC, Hoja de Decisión - Evaluación de las Consecuencias – SUBSISTEMA TRANSPORTE</i>	121
Tabla 5.23. <i>MCC, Actividades, Tareas y Frecuencias– SUBSISTEMA NODO B</i>	122
Tabla 5.24. <i>MCC, Actividades, Tareas y Frecuencias – SUBSISTEMA RADIO FRECUENCIA</i>	123
Tabla 5.25. <i>MCC, Actividades, Tareas y Frecuencias – SUBSISTEMA ENERGÍA ELÉCTRICA</i>	125
Tabla 5.26. <i>MCC, Actividades, Tareas y Frecuencias – SUBSISTEMA TRANSPORTE</i>	126
Tabla 5.27. <i>Plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad</i>	127
Tabla 5.28. <i>Datos para análisis de confiabilidad Post MCC</i>	133
Tabla 5.29. <i>Análisis de confiabilidad, sistema y subsistemas de una RBS post MCC</i>	136
Tabla 6.1. <i>Valores de Confiabilidad y Probabilidad de Falla sin MCC</i>	127
Tabla 6.2. <i>Valores de Confiabilidad y Probabilidad de Falla post MCC</i>	127

LISTA DE ACRÓNIMOS

1G:	Primera Generación de Comunicación Móvil.
2G:	Segunda Generación de Comunicación Móvil.
3G:	Tercera Generación de Comunicación Móvil.
4G:	Cuarta Generación de Comunicación Móvil.
3GPP:	3rd Generation Partnership Project - Proyecto Asociación de 3G.
A/D:	Conversión Analógico a Digital.
AC:	Corriente Alterna
AGC:	Control de Ganancia Automática.
AMEF:	Análisis de Modos y Efectos de Fallos.
AMPS:	Sistema Telefónico Móvil Avanzado.
APM:	Auxiliar Power Module – Modulo Auxiliar de Energía
ATM:	Modo de Transmisión Asíncrono.
ATN:	Access Transport Network
AuC:	Authentication Center.
BBU:	Base Band Unit
BG:	Border Gateway.
BSC:	Base Station Controller - Controlador de Estaciones Base.
BSS:	Base Station Subsystem.
BTS:	Base Transceiver Station
C:	Calidad
CDMA:	Code-Division Multiple Access – Acceso Multiple por División de Código.
CN:	Core Network.
CPRI:	Common Public Radio Interface
D:	Detección
DAGC:	Digital Automatic Gain Control.
DBS:	Distributed Base Station
DC:	Corriente Continua
DCS:	Digital Cellular Service.

DSA:	Dynamic Spectrum Assignment - Asignación Dinámica del Espectro.
E1:	Formato de Transmisión Digital Europea
EDGE:	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
EF:	Efecto de Fallo
EIR:	Equipment Identity Register.
EPON:	Ethernet PON.
ETSI:	European Telecommunications Standards Institute.
F.O.:	Fibra Óptica
F:	Función del activo
FAN:	Ventilador
FDD:	Frequency División Duplex
FF:	Falla Funcional
FMECA:	Análisis de los Efectos de los Modos de Fallos y Criticidad.
Fr:	Frecuencia
GGSN:	Gateway GPRS Support Node.
GMSC:	Gateway Mobile Switching center
GPON:	Gigabit Passive Optical Network.
GPRS:	General Packet Radio service
GPS:	Global Positioning System
GSM:	Global System for Mobile communications.
GTMU:	GSM Transmission & Management Unit
HANDOVER:	Cambio de BTS que realiza la unidad Móvil
HLR:	Home Location Register
HSDPA:	High Speed Downlink Packet Access
HSPA:	High Speed Packet Access
HSUPA:	High Speed Uplink Packet Access
ICIC:	Inter-cell interference coordination.
IEEE:	Institute of Electrical and Electronics Engineers.
IF:	Intermediate Frequency – Frecuencia Intermedia
IP:	Internet Protocol

IP:	Protocolo de Internet.
IP-NGN:	Internet Protocol-Next Generation Networking
ISP:	Proveedor de Servicio de Internet.
ITU:	Unión Internacional de Telecomunicaciones.
Kbps:	kilo bist por segundo.
LBBP:	Tarjeta de Proceso de Banda Base de la BBU tecnología 4G – LTE.
LDR:	Resistencia Dependiente de Luz.
LGB:	Barra Local de Tierra.
LMPT:	Tarjeta de Tx y Rx de Datos de la BBU tecnología 4G - LTE
LMT:	Local Maintenance Terminal - Terminal de Mantenimiento Local.
LNA:	Low Noise Amplifier - Amplificador de Bajo Ruido
LTE:	Long Term Evolution.
M:	Mantenibilidad
MA:	Medio ambiente
Mbps:	Mega bist por segundo.
MCC:	Mantenimiento Centrado en Confiabilidad
MF:	Modo de Fallo
MGB:	Barra Principal de Tierra.
MIMO:	Múltiple Input - Múltiple Output.
MME:	Mobility Management Entity
MP:	Mantenimiento preventivo
MS:	Mobile Station.
MSC:	Mobile Services switching Center.
MTBF:	Tiempo Medio Entre Fallas
MTTR:	Tiempo Medio Para la Reparación.
NA:	No aplica ninguna acción de mantenimiento
NMT:	Telefonía Móvil Nórdica.
NSS:	Network Switching Subsystem.
O&M:	Operación y Mantenimiento.
OMC:	Operation and Maintenance Center - Centro de Operación y Mantenimiento.

OSS:	Operation & Support System
P:	Producción
PA:	Amplificador de Potencia
PCU:	Packet Control Unit.
PON:	Passive Optical Network – Red Óptica Pasiva
QoS:	Calidad de Servicio.
RBS:	Radio Base Station
RCM:	Reliability Centered Maintenance
RDSI:	Red Digital de Servicios Integrados
RF:	Radio Frequency - Radio Frecuencia.
RFU:	Unidad de frecuencia de radio
RNC:	Radio Network Controller
RRU:	Remote Radio Unit
Rx:	Recepción
S:	Seguridad
SAE:	Sociedad de Ingenieros de la industria Automovilística.
SGSN:	Serving GPRS Support Node.
SIM:	Subscriber Identity Module - Módulo de Identificación de Abonado.
SMS:	Short Messages Service.
TACS:	Sistema de Comunicación de Acceso Total.
TDD:	Time División Duplex.
TDMA:	Time División Multiple Access – Acceso Multiple por División de Tiempo.
TMA:	Telefonía Móvil Automática.
TRX:	Transceiver (Tx-Rx)
Tx:	Transmisión
UE:	User Equipment
UMPT:	Tarjeta de Tx y Rx de Datos de la BBU tecnología 3G
UMTS:	Universal Mobile Telecommunications Service.
USB:	Universal Serial Bus.
USIM:	Universal Subscriber Identity Module

UTRAN:	UMTS Terrestrial Radio Access
UTRAN:	UMTS Terrestrial Radio Access Network.
UTRP:	Universal Transmission Processing Unit
VLR:	Visitor Location Register.
VSWR:	Voltage Standing Wave Ratio - Relación de Onda Estacionaria.
WCDMA:	Wideband Code División Multiple Access.
WiMAX:	Worldwide Interoperability for Microwave Access



CAPÍTULO I

GENERALIDADES

CAPÍTULO I GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

La presente investigación se refiere a la confiabilidad de los equipos que conforman las RBS (Estaciones Radio Bases) de Telecomunicaciones con tecnología 4G-LTE, de la empresa TELECEL S.A. más conocida como (TIGO), de las ciudades de La Paz y El Alto.

La confiabilidad de los equipos depende en su mayoría del mantenimiento que se les realiza, haciendo una recopilación de datos de la empresa de mantenimiento de TELECEL S.A., los tipos de mantenimiento que se están aplicando actualmente son el preventivo y correctivo, mediante el análisis de Confiabilidad con los tipos de mantenimiento indicados anteriormente, se puede establecer índices de Confiabilidad y Probabilidad de falla, ya sea del sistema, equipo o elemento a analizar, los cuales nos dan resultados de confiabilidad baja y probabilidad de falla alta.

Es evidente que se busca mejorar los niveles de confiabilidad de los equipos, hoy en día existen diferentes técnicas y nuevas filosofías como MCC (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad), el cual está reconocido como una evaluación sistemática para identificar las acciones aplicables (desde el punto de vista técnico) y efectivas (por su impacto económico).

La metodología del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) parte de determinar los equipos críticos de la instalación, la aplicación de técnicas de análisis de causa de fallo, a partir de la consulta de los registros de planta, y de la implementación de una política de mantenimiento enfocada en la confiabilidad, dirigida a corregir las causas de fallo de los equipos críticos.

La presente investigación proporcionara un Plan de Mantenimiento basado en la metodología del MCC, el cual servirá para toma de decisiones y la posible implementación en las empresas de Telecomunicaciones, para poder mejorar los niveles de confiabilidad.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

De acuerdo a la Constitución Política del Estado en su Título I (Bases fundamentales del Estado) en su artículo 20, parágrafo I, dice: “Toda persona tiene derecho al acceso universal y equitativo a los servicios básicos de agua potable, alcantarillado, electricidad, gas domiciliario, postal y **Telecomunicaciones**”, así también en parágrafo II, dice: “Es responsabilidad del Estado, en todos sus niveles de gobierno, la provisión de los servicios básicos a través de entidades públicas, mixtas, cooperativas o comunitarias. En los casos de electricidad, gas domiciliario y **Telecomunicaciones** se podrá prestar el servicio mediante contratos con la empresa privada. La provisión de servicios debe responder a los criterios de universalidad, responsabilidad, accesibilidad, **continuidad, calidad, eficiencia, eficacia**, tarifas equitativas y cobertura necesaria; con participación y control social.” (BOLIVIA, 2009).

La operadora de telecomunicaciones TELECEL S.A., **no cuenta con planes de mantenimiento basados en nuevas filosofías, como MCC (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad)**, el cual pretende aumentar la confiabilidad, de los equipos de las Radio Bases. Sólo realizan mantenimientos Preventivo y Correctivo. (STS Bolivia, 2016)

1.2.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA CIENTÍFICO

¿Cuál es el resultado de desarrollar un Plan de mantenimiento basado en la metodología del MCC (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad)?

1.3. DEFINICIÓN DE OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un Modelo de Plan de MCC (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad), para el mantenimiento de equipos de las Radio Bases (RBS) de Telecomunicaciones 4G-LTE.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar la arquitectura actual de las Estaciones Radio Bases (RBS) de Telecomunicaciones con tecnología 4G-LTE.
- Describir el mantenimiento actual en las Estaciones Radio Bases (RBS) de Telecomunicaciones con tecnología 4G-LTE.
- Explicar la metodología del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC).
- Identificar los principales parámetros del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) necesarios para el desarrollo de un modelo de mantenimiento aplicado a las Estaciones Radio Bases (RBS) de Telecomunicaciones con tecnología 4G-LTE.
- Aplicar la metodología del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC), para desarrollar el plan de mantenimiento.

1.4. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS

“La mejora de la confiabilidad de los equipos de las Estaciones Radio Base de Telecomunicaciones 4G-LTE, está directamente relacionada con la correcta aplicación del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC).”

1.4.1. VARIABLES

1.4.1.1. VARIABLE DEPENDIENTE

Confiabilidad.

1.4.1.2. VARIABLE INDEPENDIENTE

Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC).

1.4.1.3. VARIABLE INTERVINIENTE

Estaciones Radio Bases (RBS) de Telecomunicaciones 4G-LTE.

1.5. JUSTIFICACIÓN

1.5.1. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA

La posible reducción del tiempo que se dedica al mantenimiento en los equipos de las Estaciones Radio Bases (RBS) de Telecomunicaciones 4G-LTE, sin afectar la calidad y eficiencia del servicio, repercute directamente en los costos ya sea para la operadora, así como para el usuario, aumentando la confiabilidad de los equipos y por ende la continuidad del servicio que significa mayores ingresos económicos.

1.5.2. JUSTIFICACIÓN SOCIAL

Si bien la sociedad no ve de manera directa el posible incremento de la eficiencia en el mantenimiento, lo notara en la continuidad y calidad de los servicios de Telecomunicaciones que transmiten las Radio Bases como los de internet y telefónica móvil principalmente, los cuales son los más requeridos en la actualidad

1.5.3. JUSTIFICACIÓN TECNOLÓGICA

La presente investigación pretende aplicar nuevas Metodologías de mantenimiento basado en una nueva filosofía, es decir aquellas que garanticen la disminución de las acciones de mantenimiento aumentando la confiabilidad de los equipos y minimizando las acciones correctivas que se aplican actualmente debido a la falta de planes de mantenimiento. El uso de nuevas técnicas, debe estar presente en las últimas tecnologías en este caso en el área de Telecomunicaciones para poder validar una mejora en el mantenimiento se hace imprescindible en nuestros tiempos.

1.5.4. JUSTIFICACIÓN ACADÉMICA

Este trabajo de investigación académica pretende dar a conocer la confiabilidad de los equipos, optimización de mantenimiento en el área de las Telecomunicaciones, en específico, en la transmisión de datos de manera inalámbrica, de esta manera representara una base novedosa para otros aportes académicos.

1.6. ALCANCES Y LIMITACIONES

1.6.1. ALCANCES

- La investigación sólo tomara datos de la empresa STS (Sociedad de Telecomunicaciones y Servicios Bolivia Ltda.), que es la encargada de realizar el mantenimiento de las Estaciones Radio Bases (RBS), en el área urbana de La Paz y El Alto, para la operadora de Telecomunicaciones TELECEL S.A. (TIGO).
- La investigación tomara datos de equipos del fabricante HUAWEI TECHNOLOGY y no así de otros como ZTE.
- La investigación tomara como referencia Estaciones Radio Bases de Telecomunicaciones con tecnología 4G-LTE, u otras como 3 G – 2 G de ser necesario.
- La investigación sólo realizara un Plan de Mantenimiento con la aplicación de la metodología del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) y no así de otras como Mantenimiento Productivo Total (TPM).

1.6.2. LIMITACIONES

- No se cuenta con bibliografía nacional, ya sea libros, proyectos de grado y/o tesis de referencia específica en el área de Telecomunicaciones que tenga relación con el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC), que sirva como base para la investigación.
- El acceso a información de mantenimiento en las Estaciones Radio Bases, es restringido por parte de las operadoras de Telecomunicaciones.
- No se cuenta con convenios interinstitucionales con las operadoras de Telecomunicaciones.



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1 TECNOLOGÍAS MÓVILES

2.1.1 INTRODUCCIÓN A LAS TECNOLOGÍAS MÓVILES

El acceso a Internet y la gama de servicios brindados a través de redes de datos, ha revolucionado el estilo de vida moderno del ser humano. El contenido de texto, audio, video, y servicios en general han encontrado en la nube la plataforma para desplegarse masivamente, exigiendo a la vez un alto requerimiento de banda ancha para el acceso a información.

Por otro lado las redes móviles de datos, particularmente las redes celulares, se han expandido desde su introducción en los años 90, hasta convertirse en el principal medio de acceso a servicios de telefonía y datos.

Los requerimientos generados en el mercado global, tales como movilidad en redes de comunicaciones, y de acceso con banda ancha a contenido de multimedia y servicios, impulsaron el desarrollo de una tecnología móvil de alta capacidad, orientada a datos, En el ámbito sudamericano, los principales operadores móviles a nivel regional, iniciaron desde el año 2012, la evolución de sus servicios introduciendo redes con tecnología 4G-LTE, que significa (Cuarta Generación - Long Term Evolution), con el objeto de brindar servicios de mayor velocidad y menor latencia a través de la red comercial sobre las redes existentes de GSM/WCDMA. (JARAMILLO, ARTICULO CIENTIFICO, 2017)

En esta parte de la investigación se describirá la evolución de las tecnologías de redes móviles, así como de las generaciones de tecnologías hasta llegar a la solución tecnológica 4G-LTE, como facilitador de acceso a banda ancha móvil.

2.1.2. EVOLUCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS MÓVILES

La necesidad del hombre de comunicarse a mayores distancias lo ha llevado a desarrollar diversos sistemas como el telégrafo o el teléfono. Estos, impulsados por los estudios de la electricidad, funcionaban mediante cables que se conectaban unos a otros. Sin embargo, surgió la necesidad de una comunicación inalámbrica, lo que conllevó la utilización de ondas de radio para la primera transmisión.

2.1.2.1. PRIMERA GENERACIÓN 1G (AMPS/NMT)

Aquí se engloban todas las tecnologías que preceden a GSM (Grupo Especial Móvil o Sistema Global para Comunicaciones Móviles). Son conocidas como tecnologías de primera generación. Estas tecnologías se caracterizan por tener una interfaz radio analógica. Estos sistemas disponían de un número bastante limitado de canales y los terminales finales de usuario eran bastante voluminosos y pesados. Esto provoca que su mayor uso fuera la integración en automóviles más que como dispositivos de bolsillo. (SAEZ A. , 2016)

En la década de los 70 se introdujo la primera generación de redes móviles o 1G. A estos sistemas se les conocían como celular, en inglés, pero luego el término fue reducido a "cell" (celda), debido a que los teléfonos o dispositivos de esta generación están basados en las redes celulares con múltiples estaciones de base BS (Base Station), relativamente cercanas unas de otras, y protocolos para el traspaso o "handover" entre las celdas cuando el teléfono se movía de una celda a otra. La señal estaba basada en sistemas de transmisión analógicos y los dispositivos 1G eran relativamente más ligeros y menos costosos que dispositivos anteriores.

La calidad de enlace era muy reducida y la velocidad de conexión no era mayor a 2400 baudios. En cuanto a la transferencia entre celdas, era muy imprecisa ya que contaba con una baja capacidad. Algunos de los estándares más famosos que surgieron con esta tecnología fueron: Sistema Telefónico Móvil Avanzado (AMPS, por sus siglas en inglés) cuya técnica de modulación empleada era FDMA, utilizando el espectro de parte de la banda de 800 MHz, el Sistema de Comunicación de Acceso Total (TACS) y Telefonía Móvil Nórdica (NMT). (JIMENES L. , 2012)

A nivel mundial los tres sistemas con más penetración fueron:

- Norma nórdica: NMT 450 MHz y NMT 900 MHz
- Norma americana: AMPS y TACS (ambos a 900 MHz)
- Norma japonesa: NTT (800-900 MHz)

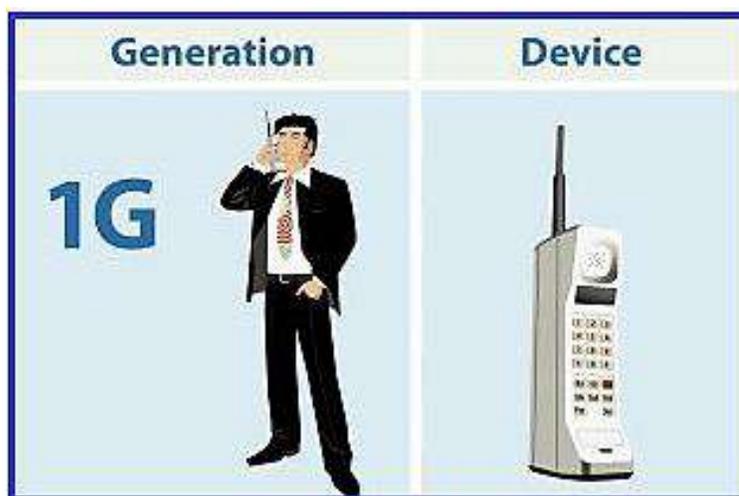


Figura 2.1. Primera Generación Telefonía Móvil (1G)

Fuente: www.sicomtesting.com

España fue uno de los países pioneros en la utilización de redes analógicas de telefonía móvil desplegando el 1982 el sistema NMT-450 bajo el nombre de TMA-450 (Telefonía móvil automática). Posteriormente el sistema evolucionó a TMA-900 basado en TACS, ya que este ofrecía una mayor calidad de servicio. Ambos servicios fueron desplegados por el monopolio de Moviline y estuvieron en servicio hasta 2003. (JIMENES L. , 2012)

2.1.2.2. SEGUNDA GENERACIÓN 2G (TECNOLOGÍA GSM)

La tecnología GSM (Global System for Mobile communications) es la segunda generación de telefonía móvil y es popularmente conocida como 2G. Se convierte en estándar internacional en 1991. Esta es la evolución más importante que ha sufrido la telefonía móvil. En este punto la interfaz de acceso radio se digitaliza y se convierte en un estándar abierto aportando grandes ventajas tanto al usuario como a los operadores. Los usuarios

puedes utilizar un mismo terminal con distintos operadores y estos pueden utilizar equipos de distintos proveedores dentro de la misma red. (SAEZ A. , 2016)



Figura 2.2. Segunda Generación de Telefonía Móvil (2G)

Fuente: www.sicomtesting.com

La gran problemática a la que se enfrentó GSM fue a la limitación de frecuencias y ancho de banda disponible. Si se utiliza una sola antena para cubrir una zona muy grande se corre el riesgo de no disponer de suficiente ancho de banda para todos los usuarios. Para solucionar este problema GSM utiliza múltiples antenas para cubrir una zona, utilizando distintas frecuencias para antenas vecinas y reutilizando frecuencias para las antenas que están fuera de rango. Cada zona cubierta por una de estas antenas se denomina celda y cada antena BTS.

De acuerdo a (SAEZ A. , 2016) , Con la digitalización de la red se obtuvieron muchas ventajas, aquí hay un resumen de las más importantes:

- Se permite el Roaming (Itinerancia). Que es la capacidad de un dispositivo de poder desplegarse en diferentes áreas de cobertura. Esto se logra ya que al ser un estándar abierto todas las redes GSM son capaces de conectarse entre sí.
- Se consigue realizar el Handover sin cortes. Esto es la transferencia de llamadas de una BTS a otra si el usuario está en movimiento y sin que esté aprecie ningún corte

ni reducción de calidad en la llamada. Para lograrlo se interconectan todas las BTS a través de una controladora de nivel superior llamada (BSC Controlador de Estaciones Base).

- Se prolonga la batería de los terminales gracias a que las celdas utilizadas son mucho más pequeñas que en los sistemas analógicos y se necesita menos potencia para comunicarse con la BTS.
- El despliegue de la red es más sencillo y barato que en la generación analógica, lo que se traduce en que se despliega la red móvil ya no sólo en las grandes ciudades. Se despliega red en pueblos pequeños y zonas rurales. Además aumentar la capacidad de usuarios de una zona es relativamente sencillo, bastaría con introducir otra BTS y dividir la celda actual en dos sub-celdas más pequeñas.
- El terminal no va unido a la línea ya que esta va en la tarjeta SIM. Esto provoca la aparición de distintos fabricantes de terminales que se traduce en una reducción de los precios. La consecuencia final es que el número de usuarios se dispara.
- Al ser digital la red se puede utilizar para transmitir más información a parte de la voz. Se introducen los mensajes cortos SMS (Short Messages Service).
- El sistema GSM pese a estar normalizado se desplego sobre varias frecuencias dependiendo del país. Debido a esto se pueden encontrar cuatro tecnologías GSM.
- GSM900: Sistema GSM sobre la banda de 900 MHz. Es el sistema más usado en el mundo (se encuentra desplegado en más de 100 países). Es el sistema que se desplegó primero en España.
- GSM1800: Funciona sobre la banda de 1800 MHz. También se le conoce como DCS (Digital Cellular Service). Este sistema se ha utilizado principalmente para dotar de más capacidad a GSM900 en núcleos urbanos europeos.
- GSM850: Funciona sobre la banda de 850 MHz, este sistema se utiliza en la mayoría de los países de América.
- GSM1900: Funciona sobre la banda de 1900 MHz, es utilizado en países de América sobre todo en núcleos urbanos. (SAEZ A. , 2016)

La introducción de nuevos servicios de transmisión de datos como los SMS comenzó a saturar la red GSM, ya que está en un principio no disponía de canales para la transmisión de datos.

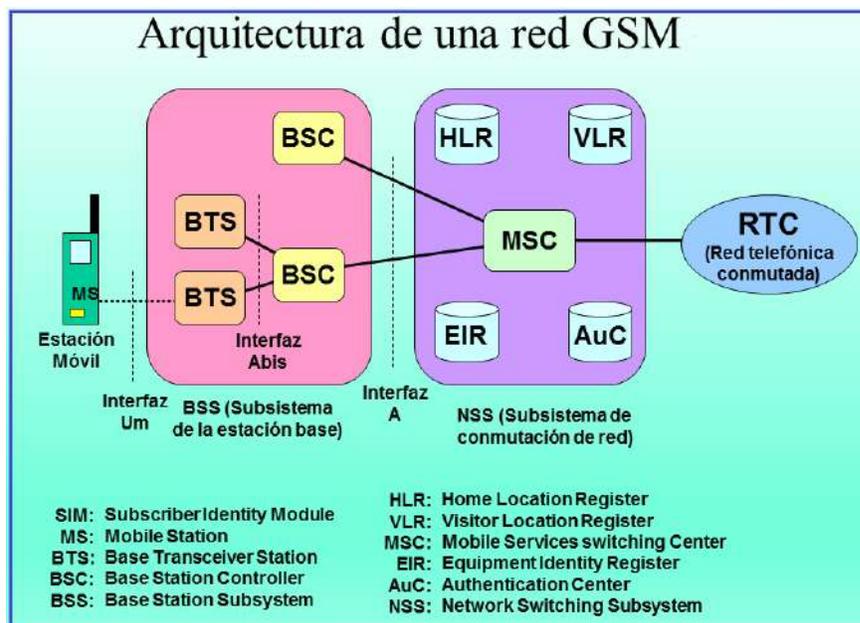


Figura 2.3. Arquitectura de una red GSM

Fuente: www.udima.es

Este suceso motivó la creación del estándar GPRS (General Packet Radio Service) posibilitando el uso de los canales de voz para la transmisión de datos mediante conmutación de paquetes. Con esto se descongestionó el tráfico de SMS y se posibilitó la conexión a internet de los terminales móviles. (SAEZ A. , 2016)

2.1.2.3. SEGUNDA GENERACIÓN Y MEDIA 2.5G (TECNOLOGÍA GPRS)

GPRS (General Packet Radio Service) es una nueva tecnología que comparte el rango de frecuencias de la red GSM utilizando una transmisión de datos por medio de 'paquetes'. La conmutación de paquetes es un procedimiento más adecuado para transmitir datos, hasta ahora los datos se habían transmitido mediante conmutación de circuitos, procedimiento más adecuado para la transmisión de voz.

La tecnología GPRS fue originalmente estandarizada por European Telecommunications Standards Institute (ETSI) y ahora es mantenida por el consorcio 3rd Generation Partnership Project (3GPP). (JIMENES L. , 2012)

En GSM, cuando se realiza una llamada se le asigna un canal de comunicación al usuario, el cuál permanecerá asignado aunque no se envíen datos. El acceso al canal utilizado en GPRS se basa en divisiones de frecuencia sobre un dúplex y TDMA. En GPRS los canales de comunicación se comparten entre los distintos usuarios dinámicamente, de modo que un usuario sólo tiene asignado un canal cuando se está realmente transmitiendo datos. Para utilizar GPRS se precisa un teléfono que soporte esta tecnología. La mayoría de estos terminales soportarán también GSM, por lo que podrá realizar sus llamadas de voz utilizando la red GSM de modo habitual y sus llamadas de datos (conexión a internet, WAP,...) tanto con GSM como con GPRS. (JIMENES L. , 2012)

La tecnología GPRS, representa un paso más hacia los sistemas inalámbricos de Tercera Generación o UMTS. Su principal baza radica en la posibilidad de disponer de un terminal permanentemente conectado, tarifando únicamente por el volumen de datos transferidos (enviados y recibidos) y no por el tiempo de conexión como hemos podido observar en un punto anterior.

Tradicionalmente la transmisión de datos inalámbrica se ha realizado utilizando un canal dedicado GSM a una velocidad máxima de 9.6 Kbps. Con el GPRS no sólo la velocidad de transmisión de datos se ve aumentada hasta un mínimo 40 Kbps y un máximo de 115 Kbps por comunicación, sino que además la tecnología utilizada permite compartir cada canal por varios usuarios, mejorando así la eficiencia en la utilización de los recursos de red.

La tecnología GPRS permite proporcionar servicios de transmisión de datos de una forma más eficiente a como se venía haciendo hasta el momento. GPRS es una evolución no traumática de la actual red GSM: no conlleva grandes inversiones y reutiliza parte de las infraestructuras actuales de GSM. Por este motivo, GPRS tendrá, desde sus inicios, la

misma cobertura que la actual red GSM. GPRS (Global Packet Radio Service) es una tecnología que subsana las deficiencias de GSM. (JIMENES L. , 2012)

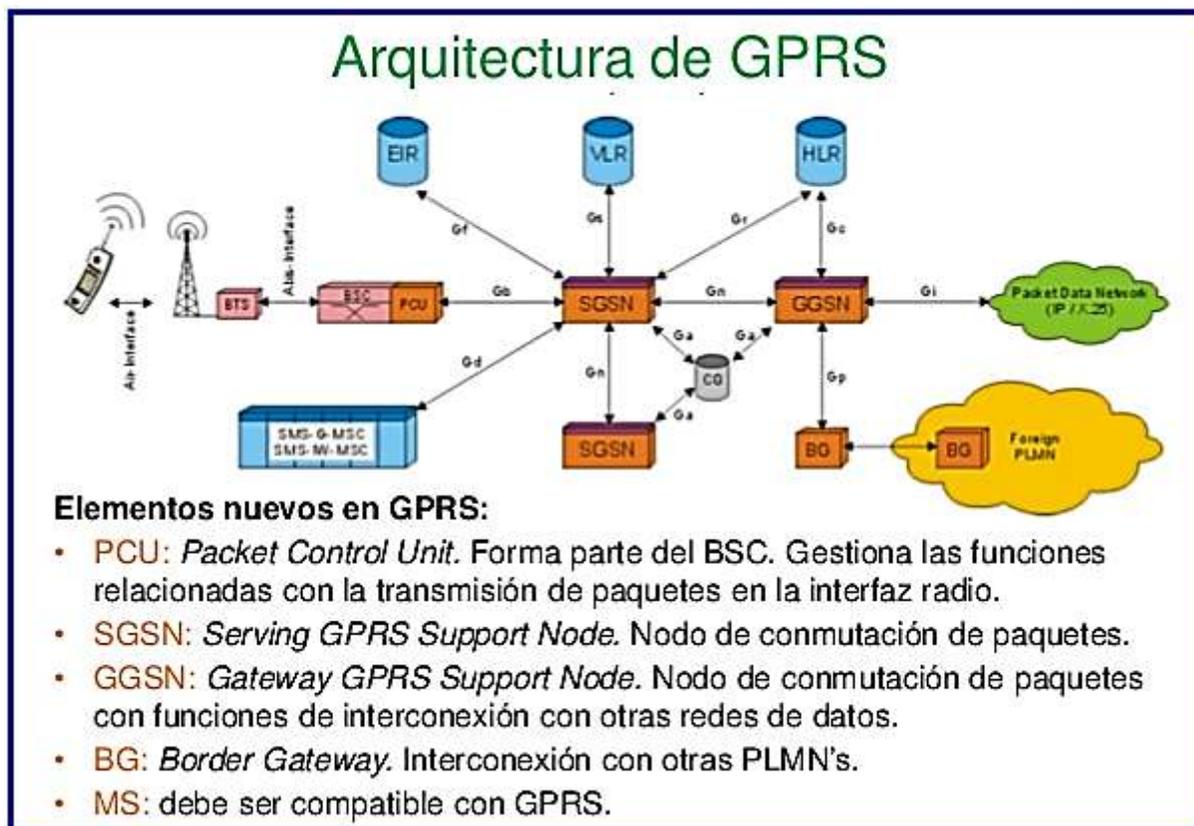


Figura 2.4. Arquitectura GPRS

Fuente: www.uni-ing-telecom.pe

2.1.2.4. TERCERA GENERACIÓN 3G (TECNOLOGÍA UMTS)

La revolución del 3G permitió a los usuarios el uso de aplicaciones de audio, imágenes y vídeo. A través del 3G es posible ver vídeo en streaming (en tiempo real, sin que el vídeo se detenga) y hacer uso de las vídeo llamadas, aunque realmente ya en la práctica este tipo de actividades se ven restringidas por el elevado uso de esta red por parte los usuarios. Uno de los principales objetivos del 3G era estandarizar las redes en un único protocolo de red global, en vez de utilizar los diferentes estándares que fueron adoptados anteriormente en Europa, Estados Unidos, y otras regiones. El 3G puede ofrecer velocidades hasta 2 Mbps, pero sólo bajo las mejores condiciones y en modo estacionario (usándolo con un router en

nuestra casa). Si el 3G se utiliza a grandes velocidades, por ejemplo en la carretera, el ancho de banda puede ser reducido hasta a 145 Kbps. (JIMENES L. , 2012)



Figura 2.5. Tercera Generación de Telefonía Móvil (3G)

Fuente: www.sicomtesting.com

Los servicios 3G, también conocidos como UMTS (Universal Mobile Telecommunications system), sostienen mayores velocidades de datos y abren el camino a Internet. El 3G soporta voz y datos al mismo tiempo, a excepción de cuando se utiliza en redes CDMA, lo cual ya ha ido cambiando poco a poco, también se puede utilizar con un grupo de estándares alrededor del mundo, siendo compatible con una amplia variedad de dispositivos móviles. Gracias a la tecnología UMTS ya existe la posibilidad de roaming global, con acceso a Internet desde cualquier parte del mundo.

Según ha pasado el tiempo el 3G ha ido evolucionando, uno de los cambios más importantes fue la actualización de la tecnología UMTS, haciendo llegar la misma a velocidades de hasta 14 Mbps, en sus mejores condiciones. A esta actualización se le dio el nombre de HSDPA (High-Speed Downlink Packet Access), la cual también se conoce como 3.5G, o 3G+. Aunque el 3G ya nos ofrece muchas ventajas en la telefonía móvil aún con esta tecnología estamos lejos de ponernos a la altura de la red fija, para acercarnos más a ella se investiga en el 4G y de ahí surge el LTE. (JIMENES L. , 2012)

HSPA (High Speed Packet Access)

De acuerdo a (SAEZ A. , 2016), HSPA se trata de una serie de protocolos destinados a mejorar la red UMTS ya existente. Son los siguientes:

- **HSDPA:** El principal objetivo de HSDPA es mejorar la tasa de descarga final del usuario y mejorar la calidad del servicio. Para lo cual optimiza el espectro para los servicios de datos que tienen la característica de ser asimétricos y a ráfagas. Para lograr esto se utiliza la modulación por código adaptativa AMC y complejos algoritmos para repartir los recursos disponibles entre las tareas que lo solicitan. Este protocolo se define en el Release 5 del proyecto UMTS de 3GPP.
- **HSUPA:** Se trata del release 6 publicado por 3GPP. Este protocolo va encaminado a mitigar la asimetría existente entre downlink y uplink, para ello se requiere un canal dedicado para el uplink llamado E-DCH (Enhanced dedicated channel). Sobre este canal se utilizan métodos muy similares a los usados en HSDPA.
- **HSPA+:** Es la release 7 de UMTS. Con HSPA+ se consiguen mejoras significativas tanto en DL como en UL. Se introduce la posibilidad de utilizar una arquitectura IP en la red UMTS conectando los NodosB a través de una conexión Ethernet a un proveedor de internet ISP. Esta posibilidad hace la integración de nuevos nodos mucho más sencilla y barata. (SAEZ A. , 2016)

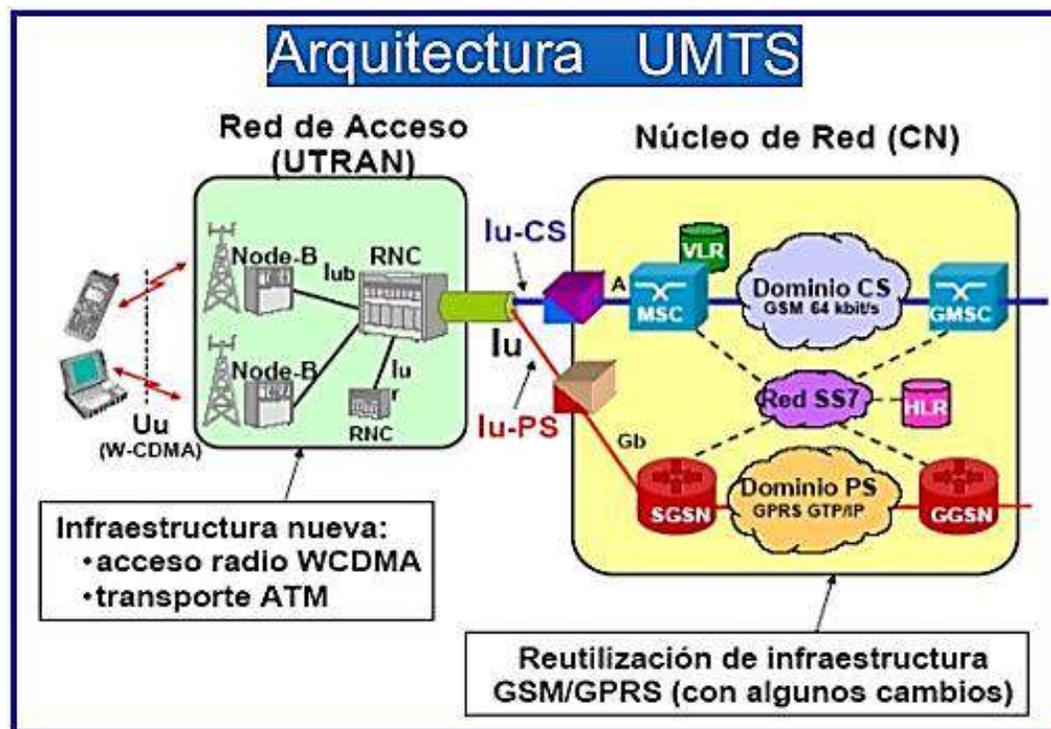


Figura 2.6. Arquitectura UMTS

Fuente: www.uni-ing-telecom.pe

2.1.2.5. CUARTA GENERACIÓN 4G (TECNOLOGÍA LTE)

La generación actual de telefonía móvil, 4G ha sido creada con el objetivo de proveer tasas de transmisión hasta unos 20 Mbps mientras, simultáneamente, hace uso de las características de la Calidad de Servicio (QoS). (JIMENES L. , 2012)

El despliegue de las redes 4G ayudará a mejorar la funcionalidad de las vídeo - conferencias. Se espera también que las redes 4G hagan entrega de mayores anchos de banda en móviles moviéndose a altas velocidades dentro del área de cobertura. No hay que confundir LTE con 4G. Son diferentes conceptos técnicos: (JIMENES L. , 2012)

4G es un término que se utiliza habitualmente para simbolizar 'cuarta generación', la idea de mejores y más rápidos equipos, etcétera. El LTE no llega a la velocidad marcada por el 4G. LTE es la evolución de 3G a 4G. El trabajo se centrará en el estándar LTE y se comenzará con su definición. LTE (Long Term Evolution) es un nuevo estándar de la norma 3GPP.



Figura 2.7. Cuarta Generación de Telefonía Móvil (4G)

Fuente: www.sicomtesting.com

Definida para unos como una evolución de la norma 3GPP UMTS (3G) para otros un nuevo concepto de arquitectura evolutiva (4G). De hecho LTE será la clave para el despegue del Internet móvil.

Las mejoras a investigar son, por ejemplo, el aumento de la eficiencia, la reducción de los costes, la ampliación y mejora de los servicios ya prestados y una mayor integración con los protocolos ya existentes.

De acuerdo a (JIMENES L. , 2012), Pasado, presente y futuro de las Telecomunicaciones son:

- | | |
|---------------------------------------|--------------------------|
| • 1G: Red celular analógica | Conmutación de circuitos |
| • 2G: Red celular digital (GSM) | Conmutación de circuitos |
| • 2,5 G: Red celular digital (GPRS) | Conmutación de paquetes |
| • 3G: Red celular digital UMTS | Conmutación de paquetes |
| • 4G: Red celular digital multimedia: | Todo por IP (VoIP) |



Figura 2.8. Evolución de las Tecnologías Móviles

Fuente: www.androidestudio.com

2.1.2.6. ¿QUE ES 4G?

De acuerdo a (JIMENES L. , 2012). En 2008, la ITU (Unión Internacional de Telecomunicaciones) estableció los requisitos para la cuarta generación de estándares de Telecomunicaciones móviles: los sistemas IMT-Advanced o simplemente 4G. Los principales requisitos para un estándar 4G son:

- Que esté basado en un modelo de red “all-IP” que utilice únicamente conmutación de paquetes.
- Que alcance tasas de pico de 1 Gbps en movilidad de baja velocidad (usuario quieto o a pie) y de 100 Mbps en movilidad de alta velocidad (trenes, coches...).
- Que alcance picos de eficiencia espectral de enlace de 15 bits/Hz en bajada y 6,75 bits/Hz en subida (es decir, que podamos descargar a 1 Gbps con un ancho de banda de menos de 67 MHz).

Dicho de otra forma: las redes 4G están optimizadas para un mundo en que las comunicaciones son casi todas sobre IP, nos permiten descargas mucho más rápidas y también aprovechan extremadamente bien el espectro radioeléctrico. (JIMENES L. , 2012)

2.1.2.6. ¿QUE ES LTE?

De acuerdo a (JIMENES L. , 2012). LTE, o Long Term Evolution, es un estándar de comunicaciones móviles desarrollado por la 3GPP, la asociación que desarrolló y mantiene GSM y UMTS, y el siguiente paso en la evolución hacia las Redes de Cuarta Generación o 4G.

Su desarrollo trata de solventar las limitaciones de las redes móviles actuales de tercera generación, permitiendo mantener la competitividad de las redes futuras en la que se permita que los operadores UMTS empleen más espectro (hasta 20 MHz.) y mejores velocidades de transferencia de datos.

El interfaz radio (nivel físico) del sistema LTE es algo completamente nuevo, así que LTE es una nueva generación respecto a UMTS (tercera generación o 3G) y a su vez GSM (segunda generación o 2G). No obstante, la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) no considera que LTE sea 4G y ya se verá por qué.

LTE nació para cubrir principalmente las siguientes necesidades:

Rendimiento y capacidad: Uno de los requisitos de LTE es ofrecer velocidades de descarga de al menos 100 Mbps, pudiendo llegar a velocidades de más de 300 Mbps.

Simplicidad: Los fabricantes y operadores quieren un estándar menos complejo y que reduzca los costes.

Latencia: La latencia en LTE es menor que en 3G consiguiéndose así una gran ventaja en los servicios interactivos como, por ejemplo, juegos multijugador, comunicaciones multimedia.

Amplio abanico de dispositivos: Todos los módems LTE, teléfonos móviles, ultrabooks, tabletas, etc., incorporarán módulos de comunicación LTE embebidos.

Competitividad: Hay que asegurar la competitividad del 3G en el futuro frente, por ejemplo, a WiMAX. “All-IP”: Red basada en IP.

El primer servicio público de LTE se desplegó en Estocolmo y Oslo el 14 de diciembre de 2009. En nuestro país la operadora TELECEL S.A., comienza con la instalación de LTE, desde el año 2014. (TELECEL, 2015)

Flexibilidad del espectro. Es una de las características clave de LTE. La existencia de distintos marcos regulatorios dependiendo de la zona geográfica de despliegue, así como la coexistencia con otros operadores u otros servicios y sistemas, hacen necesaria la flexibilidad en el ancho de banda usado dentro de la banda de despliegue.

Idealmente además cualquier ancho de banda puede ser utilizado dentro de esta banda (en pasos de 180 kHz correspondientes a la anchura de banda). En LTE se definen unos anchos de banda nominales posibles de 1.4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz y 20 MHz.

LTE además es capaz de operar tanto en bandas pareadas (FDD) como no pareadas (TDD). El sistema permite además un uso óptimo del espectro radioeléctrico por medio de técnicas de Asignación Dinámica del Espectro (Dynamic Spectrum Assignment, DSA). Básicamente el sistema es capaz, en función de las condiciones del canal en cada bloque de frecuencia e instante de tiempo, de seleccionar los usuarios en mejores condiciones.

De acuerdo a (JIMENES L. , 2012). La utilización de múltiples antenas. Los beneficios del uso de este tipo de técnicas son muy variados:

- Protección adicional a los desvanecimientos del canal radio por medio de técnicas de diversidad espacial o diversidad de polarización.
- Posibilidad de "moldear" los diagramas de radiación resultantes en transmisión y recepción consiguiendo, por ejemplo, aumentar la ganancia en una dirección deseada, cancelar alguna interferencia, etc.

- Obtención de muy altas tasas de datos mediante la utilización de múltiples canales en paralelo (multiplicación espacial), también denominadas técnicas MIMO (Múltiple Input - Múltiple Output).
- Control de potencia en el enlace ascendente. Consiguiendo mejorar la capacidad del sistema y reducir el consumo de potencia.

Coordinación de interferencia intercelular (Inter-cell interference coordination, ICIC). LTE permite la coordinación entre las distintas estaciones base con el objetivo de identificar que usuarios se encuentran en el centro o en el borde de la celda. La utilización de diferentes esquemas de reutilización de frecuencias permite reducir la interferencia intercelular.

2.1.2.7. MODULACIÓN OFDM, OFDMA Y SC-FDMA

LTE utiliza una modulación denominada OFDM (multiplexación ortogonal por división en frecuencia) adaptada para proporcionar un esquema de acceso múltiple utilizando OFDMA en enlaces descendentes y SC-FDMA en los ascendentes. Esta modulación presenta muchas ventajas, tales como su robustez ante los desvanecimientos y la interferencia.

OFDM utiliza un gran número de portadoras que están muy cerca unas de las otras, moduladas individualmente con datos a baja velocidad. Normalmente estas señales interferirían entre ellas, pero al hacerlas ortogonales entre sí este hecho no se produce, por lo que los datos que se transmiten se dividirían entre todas las portadoras, para ofrecer mayor robustez ante las interferencias y los desvanecimientos que producen el multicamino. (Temes, 2015)

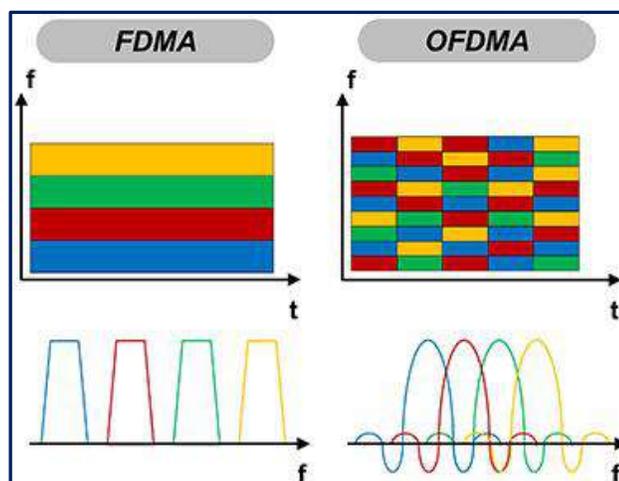


Figura 2.9. Modulación FDMA y OFDMA

Fuente: <http://iopscience.iop.org>

La implementación concreta de la tecnología difiere entre el enlace descendente y el ascendente, para adaptarse a los diferentes requerimientos que presentan. Además, OFDM puede usarse en los formatos FDD y TDD (duplexados por división en frecuencia/tiempo).

Uno de los parámetros clave en el uso de OFDM es la elección del ancho de banda, ya que influirá en el número de portadoras que puede tener la señal y en la longitud de símbolo. Así, mayor ancho de banda mayor capacidad del canal. En LTE van desde 1.4 MHz hasta 20 MHz.

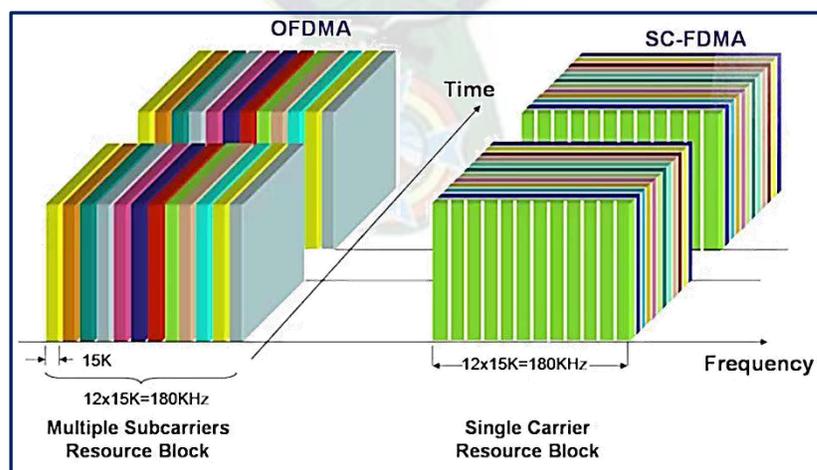


Figura 2.10. Modulación OFDMA y SC-FDMA

Fuente: www.gta.ufrj.br/ofdma_scdma.htm

La separación entre las subportadoras es de 15 kHz, y pueden soportar una velocidad máxima de datos de 15000 símbolos por segundo, correspondiéndose, por ejemplo, con una tasa de datos de 108 Mbps usando 64QAM en un sistema de 20 MHz. Las diferencias con los valores que aparecen en el estándar LTE, se deben a la sobrecarga de control y la codificación, además del uso de técnicas como la multiplexación espacial.

Dentro de la señal OFDM es posible elegir entre 3 tipos de modulación para la señal LTE: QPSK, 16QAM o 64QAM, lo que se hace dependiendo de las condiciones del medio: las modulaciones menos eficientes no requieren una SNR elevada, pero transmiten los datos más lentamente, solo cuando hay una SNR lo suficientemente alta se puede utilizar una modulación con más bits por símbolo, lo que implica mayor velocidad.

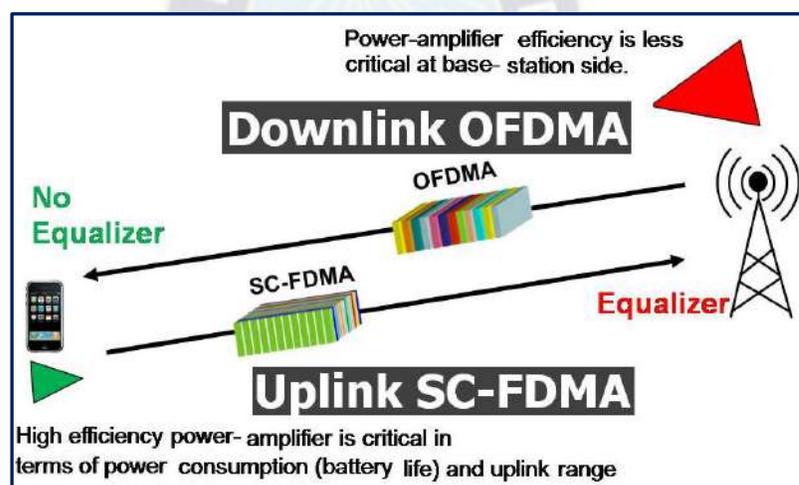


Figura 2.11. Modulación Downlink OFDMA y Uplink SC-FDMA

Fuente: <https://www.exploreagate.com>

En el enlace descendente las subportadoras se dividen en bloques de recursos (Resource Blocks), esto permite que el sistema sea capaz de transportar los datos en “compartimentos” a través de números fijos de subportadoras. Estos bloques agrupan 12 subportadoras, sin tener en cuenta el ancho de banda de la señal LTE; también cubren una ranura en el marco temporal, lo que implica que diferentes anchos de banda LTE tendrán diferentes números de RB. (Temes, 2015)

Hay un máximo de 2048 subportadoras, y los móviles tienen que ser capaces de recibir las 2048; sin embargo las estaciones base solo necesitan ser capaces de soportar la transmisión de 72, por lo que cualquier móvil podrá comunicarse con cualquier estación base. Para el enlace ascendente en LTE se utiliza un concepto diferente en la técnica de acceso, una variante de la tecnología OFDMA usada en el descendente, denominada SC-FDMA (Single Carrier Frequency División Multiple Access). Esto se debe a que uno de los parámetros clave en el uso de los terminales móviles es la duración de la batería y, a pesar de que este rendimiento está mejorando mucho, aún es necesario garantizar que consuman la mínima energía posible. Siendo el amplificador de potencia de radiofrecuencia (el encargado de transmitir la señal a través de la antena a la estación) el elemento con mayor consumo en el sistema, se usa esta alternativa que proporciona una mayor eficiencia.

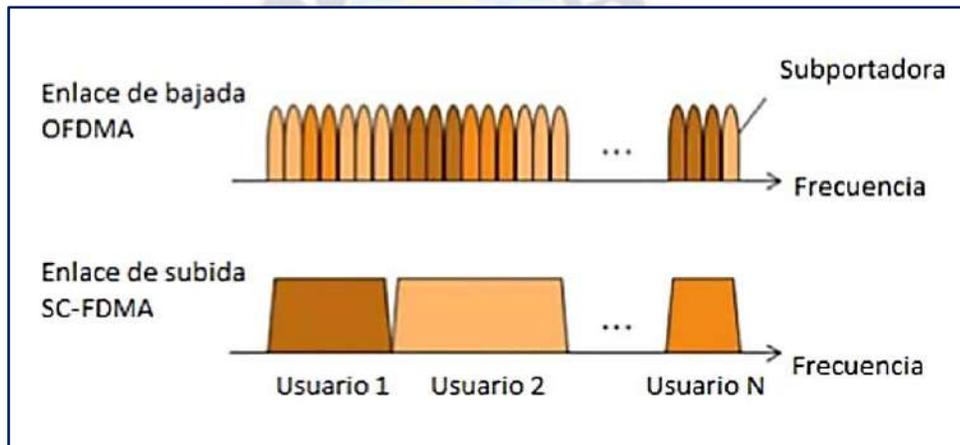


Figura 2.12. Enlace de Downlink y Uplink
 Fuente: Uso de Uplink/Downlink para redes LTE, (Temes, 2015)

Este elemento puede verse afectado de manera significativa por la forma de la modulación empleada y el formato de la señal; así, las señales con altos picos que requieren amplificación lineal no son eficientes con estos amplificadores, por lo que hay que emplear un modo de transmisión que tenga un nivel de potencia más o menos constante. En el enlace descendente esto no importa pues la potencia no es un problema. Por tanto se utiliza un formato híbrido, combinando potencias constantes ofrecidas por los sistemas de única portadora, con la capacidad de resistencia a la interferencia del multicamino y la asignación flexible de frecuencias que ofrece OFDM. (Temes, 2015)

2.3 MANTENIMIENTO

El mantenimiento es el conjunto de acciones y/o intervenciones que se llevan a cabo en un equipo de trabajo para conservarlo en condiciones óptimas de productividad y seguridad.

El mantenimiento, además, no se tiene que limitar sólo a hacer intervenciones de conservación, sino que también tiene que participar en la mejora continua de los procesos productivos, teniendo en cuenta siempre la evolución de la tecnología.

Mantenimiento es el conjunto de actividades técnicas de aplicación directa, organizativas y de control económico que satisfacen diversas condiciones. Con éstas, se pretende conservar o restablecer un equipo o instalación, de manera que su vida útil sea la más prolongada posible, asegurando un determinado servicio con un costo mínimo y la máxima seguridad. (PERALTA, 2011)

Sin embargo en el campo del mantenimiento se pueden encontrar varias definiciones del mantenimiento como ser:

Klijn A. – 2000 “Mantener no sólo significa tener el equipo funcionando, sino tenerlo en la más alta condición de servicio. Con ello el equipo y la compañía, pueden y cumplirán con las severas condiciones impuestas por los reglamentos técnicos y las normas medioambientales” (PERALTA, 2011)

Cabral J.S. – 1998 “La combinación de acciones de gestión, técnicas y económicas, aplicadas a los bienes para la optimización de su ciclo de vida, entendiéndose por bien el conjunto concebido para asegurar una determinada función”. (PERALTA, 2011)

Pessoa A. – 1997 “EL conjunto de acciones y medidas destinadas a garantizar el correcto funcionamiento de una instalación productiva, evitando de esta forma que baje el rendimiento o que sus elementos productivos dejen de funcionar”. (PERALTA, 2011)

Farinha J.M. – 1994 “El concepto de mantenimiento viene incluido en el concepto de aumentar su hábito a diversificar las estrategias de intervención. Esta inclusión fue acompañada del reconocimiento de su importancia en el conjunto de las actividades empresariales y de su interpretación con otras áreas funcionales”. (PERALTA, 2011)

Souris J.P. – 1992 “Todas la definiciones, oficiales o no, tienden a presentar esta función como sinónimo de garantía en la disponibilidad de los equipamientos de producción”. (PERALTA, 2011)

2.3.1 OBJETIVOS DEL MANTENIMIENTO

Cada tipo de empresa necesita un servicio de Mantenimiento adecuado a su proceso productivo y en ningún caso separado del proceso de Mantenimiento. Las políticas, objetivos y manera de actuar del Mantenimiento deben ajustarse a las políticas, objetivos y estructuras de la empresa y deben desarrollarse y evolucionar con la misma.

Se pueden establecer como principales objetivos del Mantenimiento:

- Reducir al máximo los costos debidos a las paradas por averías accidentales de la maquinaria que comparten pérdidas de producción o de servicios, incluyendo en tales costos de correspondiente al propio Mantenimiento.
- Limitar el deterioro de la maquinaria y en consecuencia, el incremento de rechazos o la degradación de calidad del producto.
- Proporcionar conocimientos y asistencia, a partir de la experiencia adquirida, a todos aquellos que intervienen en el proyecto y gestión de nuevas instalaciones.

Como se comprende de lo dicho anteriormente se puede resumir el objetivo fundamental del servicio de Mantenimiento como:

“La consecución de un determinado número de horas disponibles de funcionamiento de la planta, instalación, maquina o equipo, en condiciones de calidad de fabricación o servicio

exigible con el mínimo costo y el máximo de seguridad para el personal que utiliza y mantiene las instalaciones y maquinaria” (PERALTA, 2011)

2.3.2 TIPOS DE MANTENIMIENTO CONVENCIONAL

Según (ALDAKIN, 2018), Existen varios tipos de mantenimiento en la actualidad sin embargo los más convencionales son los siguientes:

- Mantenimiento correctivo
- Mantenimiento preventivo
- Mantenimiento predictivo

2.3.2.1 MANTENIMIENTO CORRECTIVO

El mantenimiento correctivo es aquel cuyo fin es corregir cualquier defecto que presente la maquinaria o equipo. Así pues, existen también dos tipologías dentro del correctivo, que son:

Mantenimiento correctivo no planificado: en este caso nos referimos al mantenimiento de emergencia. Es decir, cuando ocurre algún tipo de urgencia o imprevisto y se han de tomar decisiones para que la maquinaria vuelva a su funcionamiento correcto lo antes posible. A veces pueden surgir por imperativos legales, como defectos de seguridad, aplicación de normas o asuntos de contaminación.

Mantenimiento correctivo planificado: en este caso nos referimos al mantenimiento del que tenemos constancia con antelación, por lo que se puede preparar al personal, los repuestos y equipos técnicos necesarios, los documentos pertinentes, etc.

Ventajas del mantenimiento correctivo

La verdad es que para este tipo de mantenimiento no es fácil encontrar ventajas, salvo que sea un correctivo planificado. De ser un mantenimiento correctivo sin planificar, por lo general es algo urgente porque la máquina está parada, hay prisas y las ventajas no aparecen por ningún lado.

Así pues, nos centramos en las ventajas de un correctivo planificado:

- Las instalaciones y los equipos se mantienen más tiempo trabajando aunque a veces por debajo de su rendimiento normal por la avería.
- Los costes de las reparaciones suelen ser más reducidos, aunque no siempre, porque a veces una avería pequeña que se mantiene en funcionamiento genera una avería mayor, incrementando los costes.
- Se logra una mayor uniformidad en lo que respecta a carga de trabajo del personal encargado del mantenimiento, ya que la programación de actividades así lo facilita y lo promueve.
- Dado que el personal tiene que trabajar en buenas condiciones para que el mantenimiento sea efectivo, se logran conformar equipos muy fiables y de alta especialización en situación de fuertes medidas de seguridad. (ALDAKIN, 2018)

Desventajas del mantenimiento correctivo

- Se pueden producir algunos fallos en el momento de la ejecución, lo que podría provocar un retraso en la puesta en marcha correcta de todos los equipos.
- El precio de algunas reparaciones en concreto se podría elevar demasiado, algo que afecta a los presupuestos de la empresa. A veces hay que adquirir repuestos y equipos no planificados o con urgencia.
- No existe una garantía total del tiempo que pueda llevar la reparación de un fallo en concreto.
- Las roturas suelen venir en el momento más inoportuno y muchas veces en picos de producción, donde las máquinas que trabajan deben trabajar a tope.

2.3.2.2 MANTENIMIENTO PREVENTIVO

En lo que respecta al mantenimiento preventivo, podemos definirlo como una técnica cuya eficacia se basa en un mantenimiento enfocado a la prevención de fallos en los equipos. Con este método se busca que las actividades estén siempre controladas para que el funcionamiento sea más fiable y eficiente, previendo los errores antes de que se produzcan.

Así pues, es muy útil en la gestión de proyectos, por ejemplo. Es decir, es una forma excelente de evitar posibles contingencias futuras que puedan costar un sobre coste elevado a la empresa.

Ventajas del mantenimiento preventivo

- Sin duda, se reducen porcentualmente los riesgos de error y fugas, que son mucho menos probables.
 - En comparación con otro tipo de mantenimiento, el coste es mucho menos elevado, especialmente frente a los fallos no planificados, que se reducen considerablemente con esta técnica.
 - Se reducen los paros imprevistos, lo que aumenta la productividad y los tiempos de trabajo constante.
 - Permite un mayor control sobre la producción y facilita la planificación de planes, instalación de nuevos dispositivos, aplicaciones de nuevas técnicas, etc.
- (ALDAKIN, 2018)

Desventajas del mantenimiento preventivo

- Es más complejo diagnosticar el nivel de desgaste que sufren las piezas que forman los diversos equipos.
- Se ha de buscar un personal mucho más especializado y las recomendaciones del fabricante cobran especial valor. De lo contrario, este tipo de mantenimiento será poco eficaz y muy costoso.

2.3.2.3 MANTENIMIENTO PREDICTIVO

Por último, destacamos el mantenimiento predictivo. En este caso encontramos una técnica basada en el mantenimiento a través de inspecciones periódicas para determinar la operatividad y estado de los equipos. Se produce a través del conocimiento de las variables, que ayudan a descubrir el verdadero estado y la prevención de fallos.

Este tipo de mantenimiento basa su eficacia en la prevención de variables como vibración, presión, temperatura, etc., que actúan como indicio del estado de los equipos. Es muy técnico y requiere unos altos conocimientos de análisis, ya que se trabaja con equipos de elevada sofisticación. (ALDAKIN, 2018)

Ventajas del mantenimiento predictivo

- La operatividad de la maquinaria es más continua, ya que las pausas en caso de error son breves al detectarse de forma temprana.
- Es muy fiable, ya que usa un personal muy cualificado que realiza cálculos de alta exactitud.
- La necesidad de personal es menor, por lo que se reducen los costes en contratación.
- Los repuestos y equipos empleados tienen una alta durabilidad. Las revisiones se hacen en base a resultados, por lo que se buscan piezas que cumplan con lo estipulado.

Desventajas del mantenimiento predictivo

- Implica programación, por lo que una avería puede demorarse más tiempo en ser solucionada.
- Los equipos requeridos son más costosos, ya que son especiales, muy precisos, y, por tanto, de un presupuesto muy elevado.
- El personal, pese a ser menor en número, ha de tener una alta cualificación. Así pues, tiene que conocer muy bien su área, pero hay menos opciones de mercado para encontrar a colaboradores realmente cualificados.

- Implementar estos equipos de alta tecnología es muy caro, ya que, al funcionar por medio de programación, los inicios son muy complejos, por lo que de entrada la inversión es muy elevada.

Estos son brevemente los tipos de mantenimiento industrial y los pros y contras que cada uno de ellos implican. Ahora es decisión de cada quien saber por cuál se ha de decantar para optimizar los procesos de producción. (ALDAKIN, 2018)

2.4. CONCEPTOS BÁSICOS DE CONFIABILIDAD

El diseño de un programa eficiente de mantenimiento implica la comprensión de los fenómenos de falla de los equipos. Dado que las fallas en los equipos son eventos aleatorios, utilizaremos conceptos y modelos estadísticos que nos permitan controlar y mejorar la confiabilidad. Las tareas de mantenimiento predictivo y preventivo están basados sólo en el intervalo P-F. Para establecer los intervalos de búsqueda de falla, deben tomarse en cuenta la disponibilidad y confiabilidad. (MENDOZA, TESIS - Sistema de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad para Motores Electricos de Inducción, 2016)

2.4.1. TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS (MTBF)

“Mean Time Between Failure” Este indicador permite medir la frecuencia entre fallas promedio transformándose en una medida de la confiabilidad de los equipos o dispositivos. Es el tiempo promedio que un equipo, máquina, línea o planta cumpla su función sin interrupción debido a una falla funcional. (MENDOZA, 2016)

$$MTBF = \frac{N^{\circ} \text{ Equipos} * \text{Tiempo Operativo}}{N^{\circ} \text{ Fallas}}$$

2.4.2. TIEMPO MEDIO PARA LA REPARACIÓN (MTTR)

MTTR (Mean Time To Repair) Se define como la relación de la demora de tiempo muerto por las fallas y el número de fallas, La mantenibilidad es la probabilidad de realizar la reparación en un tiempo dado o en el MTTR. Es el tiempo promedio para restaurar la

función de un equipo, máquina, línea o proceso después de una falla funcional. (MENDOZA, 2016)

$$MTTR = \frac{\textit{Tiempo NO operativo}}{\textit{Nº Fallas}}$$

2.4.3. DISPONIBILIDAD

La disponibilidad de un equipo o activo se define como el porcentaje de tiempo en que está operativo, o disponible a funcionar en cualquier instante. Las unidades de medida pueden ser horas, días, etc. (MENDOZA, 2016)

$$\textit{DISPONIBILIDAD} = \frac{\textit{MTBF}}{\textit{MTBF} + \textit{MTTR}}$$

2.4.4. TASA DE FALLA

La tasa de fallos (Failure Rate, λ) es el parámetro más básico con el cual se mide la fiabilidad de un sistema. Se define como: “La inversa de (MTBF)”

$$\lambda = \frac{1}{\textit{MTBF}}$$

2.4.5. CONFIABILIDAD

Confiabilidad es la capacidad de un sistema o componente para desempeñar las funciones requeridas en las condiciones establecidas por un determinado período de tiempo. En otras palabras, es la probabilidad de que un sistema o componente realice las funciones en forma satisfactoria durante el tiempo que dure la misión especificada, sin presentar anomalías. (MENDOZA, 2016)

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

Dónde:

$R_{(t)}$: *Confiabilidad*

e : *Constante e*

λ : *Tasa de Fallos*

t : *Tiempo Operativo*

2.4.6. PROBABILIDAD DE FALLO

Es el valor que representa la probabilidad de fallo $F_{(t)}$, de un equipo, elemento, sistema, etc, y es el complemento a la unidad de la Confiabilidad, matemáticamente se tiene:

$$F_{(t)} = 1 - R_{(t)}$$

2.5 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (MCC)

Como en los últimos años el mantenimiento ha recibido brillantes aportes provenientes del campo de la estadística y de la teoría de la confiabilidad, el mantenimiento de aeronaves ha sido el motor que ha activado los mejores planteamientos dentro del mantenimiento.

Estas teorías también se han ampliado con estudios efectuados en grandes flotas de transporte urbano, y aunque no se pueden aplicar a la totalidad de una fábrica u otra empresa, debido a la falta de homogeneidad en los equipos instalados a las grandes diferencias entre fábricas y a la carencia de organismos que regulen, que coordinen y tengan autoridad en lo que respecta a la práctica del mantenimiento. No es que las bases teóricas globales, estén vedadas a las fábricas u otras empresas, pero a la vista de la situación general y a la necesidad de atender prioritariamente los problemas inmediatos y de medio plazo, la experiencia es el mejor camino.

Ante esta situación, puede ser de primera necesidad el conseguir y seguir un método que pretenda únicamente unificar criterios dentro de una misma organización. Criterios que, como primer caso, se basen en la lógica y el conocimiento de los equipos y de sus misiones. Son los mismos parámetros que se aplican a diario, pero sistematizados para obtener una mayor uniformidad. El plan así diseñado, puede ser un buen punto de partida para que posteriormente sea afinado y retocado con aportaciones de mayor nivel.

Algunos diccionarios definen mantener como la causa para continuar o para mantener en un estado existente. Ambas definiciones ponen de manifiesto que el mantenimiento significa la preservación de algo.

Pero cuando se tiene que tomar la decisión de mantener algo, ¿qué es lo que se desea causar que continúe? ¿Cuál es el estado existente que se desea preservar?

La respuesta a estas preguntas puede encontrarse en el hecho de que todo elemento físico se pone en servicio para cumplir una función o funciones específicas. Por lo tanto, cuando se mantiene un equipo, el estado en que se desea preservarlo debe ser aquel en el que se desea que continúe para cumplir la función determinada. Mantenimiento: Asegurar que todo elemento físico continúe desempeñando las funciones deseadas.

Claramente, para que esto sea posible, los equipos deben ser capaces de cumplir esas funciones previstas.

Esto es porque el mantenimiento - el proceso de “causar que continúe” - solamente puede entregar la capacidad incorporada (confiabilidad inherente) de cualquier elemento. No puede aumentarla. En otras palabras, si cualquier tipo de equipo es incapaz de realizar el funcionamiento deseado en principio, el mantenimiento por sí solo no puede realizarlo. En tales casos, debemos modificar los elementos de forma que pueda realizar el funcionamiento deseado, o por el contrario reducir nuestras expectativas.

MCC se llama Mantenimiento Centrado en Confiabilidad porque reconoce que el mantenimiento no puede hacer más que asegurar que los elementos físicos continúan consiguiendo su capacidad incorporada confiabilidad inherente.

No se puede lograr mayor confiabilidad que la diseñada al interior de los activos y sistemas que la brindada por sus diseñadores. Cada componente tiene su propia y única combinación de modos de falla, con sus propias intensidades de falla. Cada combinación de componentes es única y las fallas en un componente pueden conducir a fallas en otros componentes. Cada sistema opera en un ambiente único consistente de ubicación, altitud, profundidad, atmósfera, presión, temperatura, humedad, salinidad, exposición a procesar fluidos o productos, velocidad, aceleración, entre otros

La función determinada de cualquier equipo puede definirse de muchas formas dependiendo exactamente de dónde y cómo se esté usando (el contexto operacional).

Como resultado de esto, cualquier intento de formular o revisar las políticas de mantenimiento deberían comenzar con las funciones y los estándares de funcionamiento asociados a cada elemento en su contexto operacional presente. Esto lleva a la siguiente definición formal de RCM (Reliability Centered Maintenance). Es un proceso que se usa para determinar los requerimientos del mantenimiento de los elementos físicos en su contexto operacional

Una definición más amplia de MCC: Mantenimiento Centrado en Confiabilidad podría ser “un proceso que se usa para determinar lo que debe hacerse para asegurar que un elemento físico continúa desempeñando las funciones deseadas en su contexto operacional presente”. (MOUNBRAY, 1999)

2.5.1 SAE

Entidad Técnica Norteamericana cuya denominación es SAE (Society of Automotive Engineering - Sociedad de Ingenieros de la industria automovilística), que está constituida por los principales especialistas del sector. Promueve intercambios de informaciones y propuestas de unificación de las **normas** y materiales entre las diferentes industrias automovilísticas y áreas relacionadas. Según la SAE, la organización surgió en los Estados Unidos desde muy temprano en el siglo 20. En aquel entonces, había docenas de fabricantes de automóviles y surgió la necesidad de establecer normas de diseño y protección de patentes. La sociedad comenzó en 1905 y en 1980 tenía 35.000 miembros. Algunos de los miembros más famosos fueron Henry Ford y Charles Kettering. (SAE, 1999)

SAE promueve la distribución de información técnica de alta calidad para sus miembros y diseñadores profesionales en las industrias del automóvil, vehículos industriales y aeroespaciales. SAE sigue apoyando a las normas técnicas uniformes en estas industrias y

también promueve la formación de nuevos ingenieros a través de diversas becas, programas y concursos.

2.5.2 NORMAS SAE JA 1011 Y SAE JA 1012

En 1999 la Sociedad de Ingenieros de la industria automovilística (SAE) decidió emitir una norma que contenía los requisitos mínimos que debería cumplir una metodología que quisiera definirse como RCM.

Ante la diversidad de metodologías que decían llamarse MCC aparecidas a partir de 1990, y como resultado de la demanda internacional por una norma que estableciera unos criterios mínimos para que un proceso de análisis de fallos pueda ser llamado “MCC” surgió en 1999 la norma SAE JA 1011 y en el año 2002 la norma SAE JA 1012. Tal y como anuncia la introducción de ambas normas, no intentan ser un manual ni una guía de procedimientos, sino que simplemente establecen unos criterios mínimos que debe satisfacer una metodología para que pueda llamarse MCC. (SAE, 1999)

Alcance, El estándar para Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) está concebida para ser utilizada por cualquier organización que tiene o haga uso de activos físicos o sistemas que desee manejar responsablemente. (SAE, 1999)

Propósito, la norma pretende ser utilizado en la evaluación de cualquier proceso que puede ser evaluado por MCC, con la finalidad de determinar si es un verdadero proceso MCC. El mismo apoya tal evaluación especificando los criterios mínimos que un proceso debe tener para ser un proceso MCC (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad). (SAE, 1999)

2.5.3 RCM SEGÚN LA NORMA SAE JA 1011

Cualquier proceso RCM asegurará que todas las siguientes preguntas sean respondidas satisfactoriamente y en la secuencia mostrada como sigue a continuación:

- a. ¿Cuáles son las funciones y normas asociadas deseadas de desempeño del recurso en su contexto de operación actual (funciones)?
- b. ¿En cuáles modos puede fallar el cumplimiento de sus funciones (fallos funcionales)?
- c. ¿Qué causa cualquier fallo funcional (modos de fallo)?
- d. ¿Qué sucede cuando ocurre cada fallo (efectos del fallo)?
- e. ¿En cuál modo ocurre cada fallo (consecuencias del fallo)?
- f. ¿Que se haría para pronosticar o prevenir cada fallo (tareas proactivas e intervalos de acciones)?
- g. ¿Qué tarea se haría si una tarea proactiva apropiada no pudiera encontrarse (acciones implícitas)? (SAE, 1999)

Para responder “satisfactoriamente” cada una de las preguntas previas se recogerá la siguiente información y realizadas las siguientes decisiones. Toda información y decisiones serán documentadas de modo que conforme la información y decisiones totalmente disponibles, aceptadas por el propietario o usuario del recurso.

2.5.3.1 FUNCIONES

- Será definido el contexto de operación del recurso.
- Todas las funciones del recurso / sistema serán identificadas (todas las funciones primarias y secundarias, incluyendo las funciones de todos los dispositivos protectores.
- Todas las declaraciones de función contendrán un verbo, un objeto y una norma de ejecución (cuantificado en cada caso donde pueda ser hecho).
- Las normas de ejecución incorporadas en las declaraciones de función, tendrán el nivel de ejecución en su contexto de operación deseado por el propietario o usuario del sistema / recurso. (SAE, 1999)

2.5.3.2 FALLOS FUNCIONALES

Serán identificados todos los estados de fallo asociados con cada función.

2.5.3.3 MODOS DE FALLO

- Serán identificados todos los modos de fallo que sean la causa probable de cada fallo funcional.
- El método de costumbre para decidir que constituye un “probable” modo de fallo será aceptable para el propietario o usuario del recurso.
- Un modo de fallo será identificado a un nivel causal tal que haga posible identificar una política apropiada de manejo del fallo.
- Las listas de modos de fallo incluirán modos de fallo que hayan ocurrido anteriormente, modos de fallo que estén actualmente siendo prevenidos por programas de mantenimiento existentes y modos de fallo que no hayan sucedido todavía pero que se ha pensado sea probable (creíble) en el contexto de operación.
- La lista de modo de fallos incluirá cualquier evento o proceso que sea probablemente la causa de un fallo funcional, incluyendo el deterioro, efectos de diseño y error humano causado por operadores o mantenedores (a menos que el error humano esté siendo activamente dirigido por un proceso analítico aparte del RCM). (SAE, 1999)

2.5.3.4 EFECTOS DE FALLO

- Los efectos por fallo describirán que sucedería para anticipar, prevenir o detectar el fallo al ejecutarse una tarea no específica.
- Los efectos fallo incluirán toda la información necesaria para apoyar la evaluación de las consecuencias del fallo, tales como:
 - Qué evidencia (cualquiera) que el fallo haya ocurrido (en el caso de funciones ocultas, que sucedería si ocurriera un fallo múltiple)
 - Qué hace (cualquier cosa) para matar o dañar a alguien, o tener un efecto adverso en el ambiente
 - Qué hace (cualquier cosa) para tener un efecto adverso en la producción o las

- Qué operaciones daño físico (cualquiera) causa el fallo
- Qué (cualquier cosa) debe hacerse para restaurar la función del sistema luego del fallo. (SAE, 1999)

2.5.3.5. CATEGORÍAS DE LA CONSECUENCIA DEL FALLO

- Las consecuencias de cada modo de fallo serán formalmente categorizadas como sigue:
 - El proceso de categorización de consecuencia separará los modos de fallo oculto de los modos de fallo evidente.
 - El proceso de categorización de consecuencias distinguirá con claridad los eventos (modos fallo y fallos múltiples) que tengan consecuencias en la seguridad y/o ambiente de aquellos que solamente tienen consecuencias económica (consecuencias operacionales o no).
- La valoración de las consecuencias del fallo será llevado a cabo como si una tarea no específica se haya hecho vigente para anticipar, prevenir o detectar el fallo. (SAE, 1999)

2.5.3.6 SELECCIÓN DE LA POLÍTICA DE ADMINISTRACIÓN DE FALLO

- El proceso de selección de administrar un fallo tomará en cuenta el hecho de que la probabilidad condicional de algunos modos de fallo se incrementará con la edad (o exposición al estrés), que la probabilidad condicional de otros fallos no cambiará con la edad y que la probabilidad condicional de otros fallo todavía menguará con la edad.
- Todas las tareas programadas será técnicamente factibles y valga la pena hacerla (aplicable y efectiva)

- Si dos o más políticas propuestas de administración de fallos son técnicamente factibles y vale la pena hacerlas (aplicable y efectiva), se seleccionará la política del mejor costo eficaz.
- La selección de políticas de administración de fallo se llevará a cabo como si una tarea no específica se haya hecho vigente para anticipar, prevenir o detectar el fallo. (SAE, 1999)

2.5.3.7 POLÍTICAS DE ADMINISTRACIÓN DE FALLO – TAREAS PROGRAMADAS

- Todas las TAREAS PROGRAMADAS cumplirán con el siguiente criterio:
 - En el caso de un modo de fallo evidente que tiene consecuencias de seguridad o ambiental, la tarea reducirá la probabilidad del modo fallo a un nivel tolerable por el propietario o usuario del recurso.
 - En el caso de un modo de fallo oculto donde el fallo múltiple asociado ha tenido consecuencias de seguridad o en el ambiente, la tarea reducirá la probabilidad del modo de fallo oculto a una extensión la cual reduce la probabilidad de fallo múltiple asociado a un nivel tolerable por el propietario o usuario del recurso.
 - En el caso de un modo de fallo evidente que no tenga consecuencias ambientales o de seguridad, los costos directos e indirectos de ejecutar la tarea serán menos que los costos directos e indirectos del modo fallo cuando se midan por periodos de tiempo comparables. En el caso de un modo de fallo oculto donde la falla múltiple asociada no tenga consecuencias de seguridad o ambiental, los costos directos e indirectos de realizar esa tarea, serán menores que los costos directos e indirectos del fallo múltiple más el costo de reparar el modo fallo oculto cuando se mida con periodos comparables de tiempo. (SAE, 1999)

- TAREAS POR - CONDICIÓN – Cualquier tarea por - condición (o predictiva o condición fundamentada o condición de tarea monitoreada) que sea seleccionada satisfará los siguientes criterios adicionales:
 - Existirá un potencial de fallo claramente definido.
 - Existirá un identificable intervalo P – F (o periodo de desarrollo de fallo)
 - El intervalo de tarea será menor que el intervalo P – F más corto probable.
 - Será físicamente posible hacer la tarea a intervalos menores que el intervalo P – F.
 - El tiempo más breve el descubrimiento de un fallo potencial y la ocurrencia de un fallo funcional (el intervalo P – F menos el intervalo de tarea) será lo suficientemente grande para que sea tomada la acción predeterminada para evitar, eliminar o minimizar las consecuencias del modo de fallo.

- TAREAS DE SUSTITUCIÓN PROGRAMADA– Cualquier tarea programada eliminada que es seleccionada satisfará el siguiente criterio adicional:
 - Será una edad claramente definida (preferentemente una demostrable) a la cual hay un aumento en la condición de probabilidad de un modo fallo bajo consideración.
 - Una proporción suficientemente grande de las ocurrencias de este modo de fallo ocurrirá luego de esta edad para reducir la probabilidad de falla prematura a un nivel tolerable para el propietario o usuario del recurso.

- TAREAS PROGRAMADAS DE RESTAURACIÓN – Cualquier tarea programada de restauración que sea seleccionada satisfará el siguiente criterio adicional:

- Habrá una claramente definida (preferentemente demostrable) edad a la cual hay un incremento en la probabilidad condicional del modo fallo bajo consideración.
 - Una proporción suficientemente grande de las ocurrencias de este modo de fallo ocurrirá luego de esta edad para reducir la probabilidad de falla prematura a un nivel tolerable para el propietario o usuario del recurso.
 - La tarea restaurará la resistencia a fallar (condición) del componente a un nivel tolerable por el propietario o usuario del recurso.
- TAREAS DE BÚSQUEDA DE FALLOS – Cualquier tarea seleccionada de encontrar fallo satisfará el siguiente criterio adicional (encontrando fallos no se aplica a modos de fallo evidente):
 - Las bases a las cuales se selecciona el intervalo de tarea tomarán en cuenta la necesidad de reducir la probabilidad de fallo múltiple del sistema protegido asociado a un nivel tolerable por el propietario o usuario del recurso.
 - La tarea confirmará que todos los componentes abarcados por la descripción del modo fallo sean funcionales.
 - La tarea de búsqueda de fallos y el proceso de selección de intervalo asociado tendrían en cuenta cualquier probabilidad de que la tarea misma pueda dejar la función oculta en estado fallido.
 - Será físicamente posible hacer la tarea a los intervalos especificados. (SAE, 1999)

2.5.4 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE LA METODOLOGÍA DEL MCC

Es un proceso para determinar cuáles son las operaciones que debemos hacer para que un equipo o sistema continúe desempeñando las funciones deseadas en su contexto operacional, siempre y cuando sean rentables para la empresa.

El proceso del MCC considera los requisitos del mantenimiento de cada elemento antes de preguntarse si es necesario volver a considerar el diseño. Esto es porque el ingeniero de mantenimiento que está de servicio hoy tiene que mantener los equipos como está funcionando hoy, y no como debería de estar o puede que esté en el futuro.

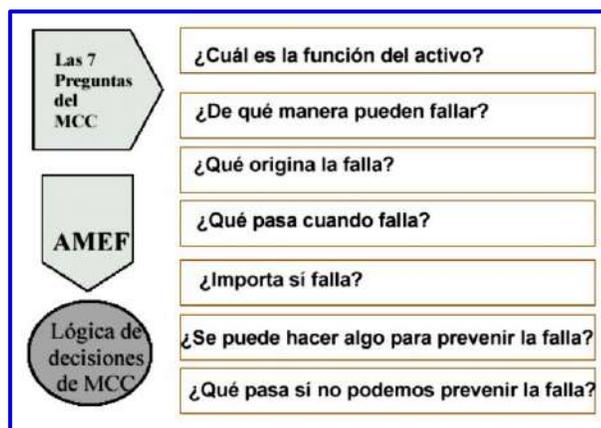


Figura 2.13. Proceso de la metodología MCC

Fuente: Modelos mixtos de confiabilidad – Luis Amendola

El proceso de la metodología en la que se basa MCC supone ir completando una serie de fases para cada uno de los sistemas que componen la planta, a saber:

2.5.4.1 FASE 0: LISTADO Y CODIFICACIÓN DE EQUIPOS

El primer problema que se plantea al intentar realizar un análisis de fallos según la metodología del MCC es elaborar una lista ordenada de los equipos que hay en ella. Para realizar un inventario de los activos de la planta debemos expresar esta lista en forma de estructura arbórea, en la que se indiquen las relaciones de dependencia de cada uno de los ítems con los restantes. (SANCHEZ, 2016)

2.5.4.2 FASE 1: LISTADO DE FUNCIONES Y ESPECIFICACIONES

Significa detallar todas las funciones que tiene el sistema que se está estudiando, cuantificando cuando sea posible como se lleva a cabo esa función (especificación a alcanzar por el sistema).

Por último, cada uno de los elementos está compuesto por una serie de componentes. Posiblemente fuera conveniente detallar la función de cada uno de estos componentes, por muy pequeño que fuera, pero esto haría que el trabajo fuera interminable, y que los recursos que deberíamos asignar para la realización de este estudio fueran tan grandes que lo harían inviable. (SANCHEZ, 2016)

2.5.4.3 FASE 2: DETERMINACIÓN DE FALLOS FUNCIONALES

Un fallo es la incapacidad de un ítem para cumplir alguna de sus funciones. Por ello tendremos un posible fallo por cada función que tenga el ítem y no se cumpla.

Puede ser conveniente hacer una distinción entre fallos funcionales y fallos técnicos.

Fallo funcional es aquel fallo que impide al sistema en su conjunto cumplir su función principal.

Fallo técnico es aquel que, no impidiendo al sistema cumplir su función, supone un funcionamiento anormal de una parte de este.

Estos fallos, aunque de una importancia menor que los fallos funcionales, suponen funcionamientos anormales que pueden tener como consecuencia una degradación acelerada del equipo y acabar convirtiéndose en fallos funcionales del sistema. (SANCHEZ, 2016)

Las fuentes de información para determinar los fallos son muy diversas. Entre las principales podemos citar las siguientes:

Histórico de averías

El histórico de averías es una fuente de información valiosísima a la hora de determinar los fallos potenciales de una instalación. El estudio del comportamiento de una instalación, equipo o sistema a través de los documentos en los que se registran las averías e incidencias

que pueda haber sufrido en el pasado nos aporta una información esencial para la identificación de fallos.

En algunas plantas no existe un archivo histórico de averías suficientemente fiable, un archivo en el que se hayan registrado de forma sistemática cada una de las averías que haya tenido cada equipo en un periodo determinado. Pero siempre es posible buscar una fuente que nos permita estudiar el historial del equipo:

- Estudio de los partes de trabajo, de averías, etc. Agrupando los partes de trabajo por equipos es posible deducir las incidencias que han afectado a la maquina en un periodo determinado.
- Facturas de repuesto. Puede recurrirse al departamento de contabilidad para que facilite las facturas del material consumido en mantenimiento en un periodo determinado (preferiblemente largo, 5 años por ejemplo).
- Diarios de incidencias. El personal a turnos utiliza en ocasiones diarios en los que refleja los incidentes sufridos, como medio para comunicárselos al turno siguiente.

Personal de mantenimiento

Siempre es conveniente conversar con cada uno de los miembros que componen la plantilla, para que den su opinión sobre los incidentes más habituales y las formas de evitarlos. Esta consulta ayudará, además, a que el personal de mantenimiento se implique en el MCC.

Personal de producción

Igual que en el apartado anterior, la consulta al personal de producción nos ayudará a identificar los fallos que más interfieren con la operación de la planta.

Diagramas lógicos y diagramas funcionales

Estos diagramas suelen contener información valiosa, incluso fundamental, para determinar las causas que pueden hacer que un equipo o un sistema se detengan o se disparen sus alarmas. Los equipos suelen estar protegidos contra determinados fallos, bien mostrando una alarma como aviso del funcionamiento incorrecto, bien deteniéndolos o impidiendo que se pongan en marcha si no se cumplen determinadas condiciones. El estudio de la lógica implementada en el sistema de control puede indicarnos posibles problemas que pudiera tener la instalación. (SANCHEZ, 2016)

2.5.4.4 FASE 3: DETERMINACIÓN DE LOS MODOS DE FALLO

Una vez determinados todos los fallos que se pueden presentar en un sistema, un elemento o uno de los componentes significativos que lo componen, deben estudiarse los modos de fallo. Podríamos definir “**modo de fallo**”, como la “**causa primaria de un fallo**”, o como las circunstancias que acompañan un fallo concreto.

Es aconsejable estudiar modos de fallo y causas primarias de estos fallos, y no seguir profundizando. De esta forma, perderemos una parte de la información valiosa, pero a cambio, lograremos realizar el análisis de fallos de toda la instalación con unos recursos razonables y en un tiempo también razonable. Recordemos que, según Pareto, el 20% de las causas son responsables del 80% de los problemas. (SANCHEZ, 2016)

2.5.4.5 FASE 4: ANÁLISIS DE LA GRAVEDAD DE LOS FALLOS, ANÁLISIS DE CRITICIDAD

El siguiente paso es determinar los efectos de cada modo de fallo y, una vez determinados, clasificarlos según la gravedad de las consecuencias.

MCC clasifica las consecuencias de las fallas en cuatro grupos:

- Consecuencias de las fallas no evidentes (ocultas): Las fallas que no son evidentes no tienen impacto directo, pero exponen a la organización a otras fallas con consecuencias serias, a menudo catastróficas. Un punto fuerte del MCC es la forma en que trata las fallas que no son evidentes, primero reconociéndolos como tales, en

segundo lugar otorgándoles una prioridad muy alta y finalmente adoptando un acceso simple, práctico y coherente con relación a su mantenimiento.

- Consecuencias en la seguridad y el medio ambiente: Una falla tiene consecuencias sobre la seguridad si puede afectar físicamente a alguien. Tiene consecuencias sobre el medio ambiente si infringe las normas gubernamentales relacionadas con el medio ambiente. MCC considera las repercusiones que cada falla tiene sobre la seguridad y el medio ambiente, y lo hace antes de considerar la cuestión del funcionamiento. Pone a las personas por encima de la problemática de la producción.
- Consecuencias Operacionales: Una falla tiene consecuencias operacionales si afecta la producción (capacidad, calidad del producto, servicio al cliente o costos industriales en adición al costo directo de la reparación). Estas consecuencias cuestan dinero, y lo que cuesten sugiere cuanto se necesita gastar en tratar de prevenirlas.
- Consecuencias que no son operacionales: Las fallas evidentes que caen dentro de esta categoría no afectan ni a la seguridad ni a la producción, por lo que el único gasto directo es el de la reparación.

La primera pregunta a responder en cada modo de fallo es, pues: ¿qué pasa si ocurre?

Una sencilla explicación lo que sucederá será suficiente. A partir de esta explicación, estaremos en condiciones de valorar sus consecuencias para la seguridad y el medio ambiente, para la producción y para el mantenimiento.

Consideraremos tres posibles casos: que el fallo sea crítico, que el fallo sea importante o que sea tolerable.

Para que un fallo sea crítico, debe cumplir alguna de estas condiciones:

- Que pueda ocasionar un accidente que afecte a la seguridad o al medioambiente, y que existan ciertas posibilidades de que ocurra.
- Que suponga una parada de planta o afecte al rendimiento o a la capacidad de producción
- Que la reparación del fallo más los fallos que provoque este (fallos secundarios) sea superior a cierta cantidad.

Para que un fallo sea importante: No debe cumplir ninguna de las condiciones que lo hagan crítico. Y debe cumplir:

- Que pueda ocasionar un accidente grave, aunque la probabilidad sea baja
- Que pueda suponer una parada de planta, o afecte a la capacidad de producción y/o rendimiento, pero que probabilidad de que ocurra sea baja
- Que el coste de reparación sea medio

Para que un fallo pueda ser considerado tolerable, no debe cumplir ninguna condición que le haga ser crítico o importante, y además, debe tener poca influencia en seguridad y medioambiente, no afecte a la producción de la planta y tenga un coste de reparación bajo.

2.5.4.6 FASE 5: DETERMINACIÓN DE LAS MEDIDAS PREVENTIVAS

Determinados los modos de fallo del sistema que se analiza y clasificados estos modos de fallo según su criticidad, el siguiente paso es determinar las medidas preventivas que permiten bien evitar el fallo bien minimizar sus efectos. Desde luego, este es el punto fundamental de un estudio MCC.

Las medidas preventivas que se pueden tomar son de cinco tipos: tareas de mantenimiento, mejoras, formación del personal, modificación de instrucciones de operación y modificación de instrucciones de mantenimiento. Es aquí donde se ve la enorme potencia

del análisis de fallos: no sólo se obtiene un conjunto de tareas de mantenimiento que evitaren estos fallos, sino que además se obtendrán todo un conjunto de otras medidas, como un listado de modificaciones, un plan de formación, una lista de procedimientos de operación necesarios. Y todo ello, con la garantía de que tendrán un efecto muy importante en la mejora de resultados de una instalación. (SANCHEZ, 2016)

Tareas de mantenimiento

MCC reconoce categorías más importantes de tareas preventivas, como siguen:

- Tareas “A Condición”: La necesidad continua de prevenir ciertos tipos de falla, y la incapacidad creciente de las técnicas tradicionales para hacerlo, han creado los nuevos tipos de prevención de fallas. La mayoría de estas técnicas nuevas se basan en el hecho de que la mayor parte de las fallas dan alguna advertencia de que están a punto de ocurrir. Estas advertencias se conocen como fallas potenciales, y se definen como las condiciones físicas identificables que indican que va a ocurrir una falla funcional o que está en el proceso de ocurrir.
- Tareas de Reacondicionamiento Cíclico y de Sustitución Cíclica: Los equipos son revisados o sus componentes reparados a frecuencias determinadas, independientemente de su estado en ese momento. Si la falla no es detectable con tiempo suficiente para evitar la falla funcional entonces la lógica pregunta si es posible reparar el modo de falla del ítem para reducir la frecuencia (índice) de la falla. Algunas fallas son muy predecibles aún si no pueden ser detectadas con suficiente tiempo. Estas fallas pueden ser difíciles de detectar a través del monitoreo por condición a tiempo para evitar la falla funcional, o ellas pueden ser tan predecibles que el monitoreo para lo evidente no es una garantizado. Con frecuencia es difícil de determinar la frecuencia de las labores. Para ello es suficiente con reconocer que la historia de la falla es un determinante principal. (SANCHEZ, 2016)

Determinación de la frecuencia de las tareas de mantenimiento

Una vez determinadas las tareas, es necesario determinar con qué frecuencia es necesario realizarlas. Existen tres posibilidades para determinar esta frecuencia:

- Si tenemos datos históricos que nos permitan conocer la frecuencia con la que se produce el fallo, podemos utilizar cualquier técnica estadística que nos permita determinar cada cuanto tiempo se produce el fallo si no actuamos sobre el equipo.
- Si disponemos de una función matemática que permitan predecir la vida útil de una pieza, podemos estimar la frecuencia de intervención a partir de dicha función. Suele ser aplicable para estimar la vida de determinados elementos, como los alabes de una turbina de gas, los cojinetes o rodamientos de un equipo rotativo o la vida de una herramienta de corte.
- Si no disponemos de las informaciones anteriores, la determinación de la frecuencia con la que deben realizarse las tareas de mantenimiento propuestas debe hacerse en base a la opinión de expertos. Es la más subjetiva, la menos precisa de las formas de determinar la frecuencia de intervención, y sin embargo, la más utilizada. No siempre es posible disponer de información histórica o de modelos matemáticos que nos permitan predecir el comportamiento de una pieza.

2.5.4.7 FASE 6: OBTENCIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO

Determinadas las medidas preventivas para evitar los fallos potenciales de un sistema, el siguiente paso es agrupar estas medidas por tipos (tareas de mantenimiento, mejoras, procedimientos de operación, procedimientos de mantenimiento y formación), lo que luego nos facilitara su implementación. El resultado de esta agrupación será:

Plan de Mantenimiento. Era inicialmente el principal objetivo buscado. El plan de mantenimiento lo componen el conjunto de tareas de mantenimiento resultante del análisis

de fallos. Puede verse que aunque era el objetivo inicial de este análisis, no es el único resultado útil.

Lista de mejoras técnicas a implementar. Tras el estudio, tendremos una lista de mejoras y modificaciones, que es conveniente realizar en la instalación. Es conveniente depurar estas mejoras, pues habrá que justificar económicamente ante la Dirección de la planta y los gestores económicos la necesidad de estos cambios.

Actividades de formación. Las actividades de formación determinadas estarán divididas normalmente en formación para personal de mantenimiento y formación para personal de operación. En algunos casos, es posible que se sugiera formación para contratistas, en tareas en que estos estén involucrados.

Lista de Procedimientos de operación y mantenimiento a modificar. Habremos generado una lista de procedimientos a elaborar o a modificar que tienen como objetivo evitar fallos o minimizar sus efectos. Como ya se ha comentado, habrá un tipo especial de procedimientos, que serán los que hagan referencia a medidas provisionales en caso de fallo. (SANCHEZ, 2016)

2.5.4.8 FASE 7: PUESTA EN MARCHA

Ya hemos visto que tras el estudio de MCC se obtienen una serie de medidas preventivas, entre las que destaca el Plan de Mantenimiento a desarrollar en la instalación. Pero una vez obtenidas todas estas medidas y agrupadas de forma operativa, es necesario implementarlas. (SANCHEZ, 2016)

Determinado el nuevo plan de mantenimiento, hay que sustituir el plan anterior por el resultante del estudio realizado. Es conveniente repasarlo una vez más, por si se hubieran olvidado tareas.



CAPÍTULO III
CONTEXTO
OPERACIONAL
RBS 4G-LTE

CAPÍTULO III CONTEXTO OPERACIONAL RBS 4G-LTE

3.1 CONFORMACIÓN DE UNA ESTACIÓN RADIO BASE (RBS)

Una (RBS Estación Radio Base), está conformada por varios elementos los cuales de acuerdo a la clasificación de la empresa TELECEL S.A. y su empresa de mantenimiento STS Bolivia Ltda. Se tiene los siguientes Subsistemas: (STS Bolivia, 2016)

- Subsistema NODO B
- Subsistema RADIO FRECUENCIA
- Subsistema ENERGÍA ELÉCTRICA
- Subsistema TRANSPORTE
- Subsistema INFRAESTRUCTURA

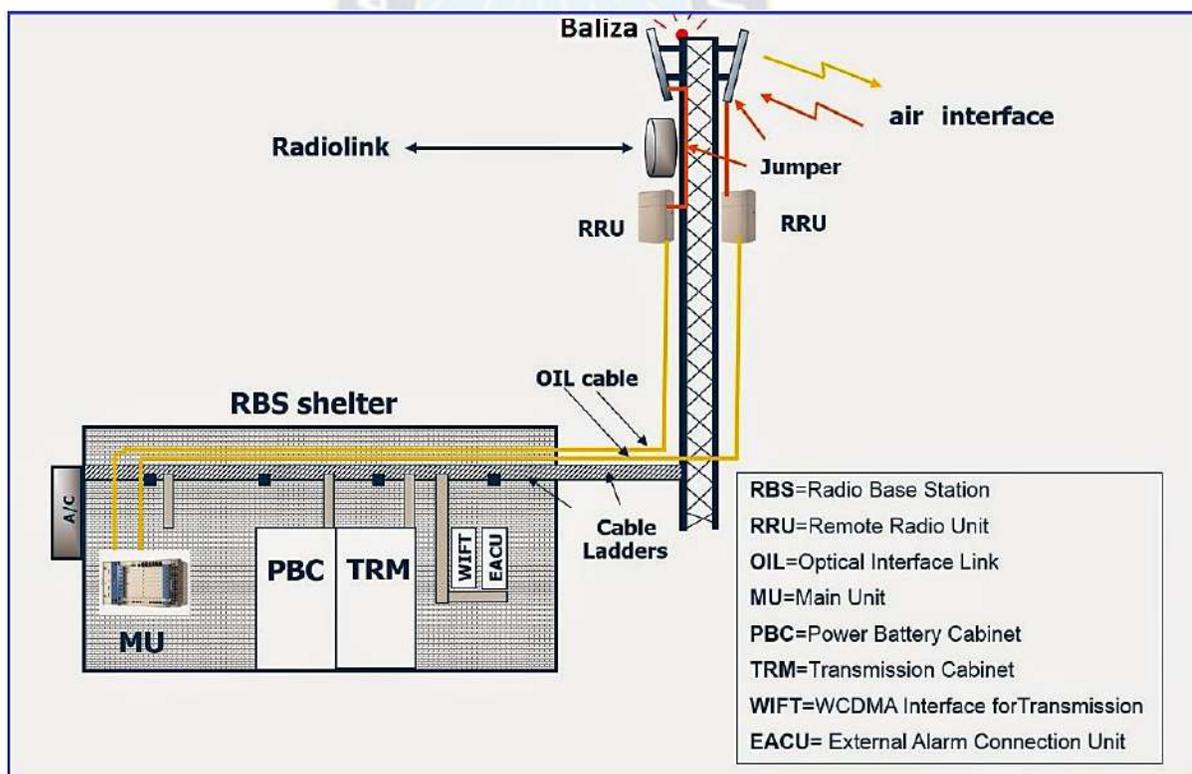


Figura 3.1. Elementos de una Estación Radio Base Genérica

Fuente: www.telecom-world.net

Cada Subsistema está compuesto por equipos y/o elementos:

- SUBSISTEMA: NODO B
 - 1 Equipo BBU 3900
- SUBSISTEMA: RADIO FRECUENCIA
 - 3 Equipos RRU 3908
 - 3 ANTENAS SECTORIALES
- SUBSISTEMA: ENERGÍA ELÉCTRICA
 - 1 Sistema de Acometida Eléctrica
 - 1 Tablero Principal de Energía Eléctrica (A.C.) Monofásica
 - 1 Tableros Secundario de Energía Eléctrica (A.C.) Monofásica
 - 3 Rectificadores
 - 1 Banco de baterías
 - 1 Sistema de Tierra
- SUBSISTEMA: TRANSPORTE
 - 1 Antena para Radio enlace por Microondas
 - 1 Equipo Convertidor de RF
 - 1 Equipo Enlace Óptico por Fibra óptica (ATN 910)
- SUBSISTEMA: INFRAESTRUCTURA
 - 1 Sistema Aire acondicionado
 - 1 Sistema de Señalización (Baliza)
 - 1 Sistema de Iluminación interna y externa

A continuación una descripción de cada uno de los Subsistemas que conforman el sistema de la Estación Radio Base de Telecomunicaciones genérica del tipo 4G-LTE.

3.1.1 SUBSISTEMA NODO B

Conformada principalmente por el equipo (BBU Unidad Banda Base), para la tecnología 4G- LTE, se utiliza el modelo BBU 3900 del fabricante Huawei.

3.1.1.1 BBU UNIDAD BANDA BASE

Una Unidad de Banda Base o BBU (Base Band Unit) es una unidad que procesa la señal en banda de base, es decir, antes de la modulación en la banda original (voz, datos, video) en los sistemas de Telecomunicaciones. Una RBS de Telecomunicaciones 4G-LTE típica, esencialmente consiste en la unidad de procesamiento de banda base (BBU) y la unidad de procesamiento de RF (unidad de radio remota - RRU). (HUAWEI, 2016)



Figura 3.2. Unidad Banda Base BBU 3900

Fuente: www.e.huawei.com

La BBU es la responsable del envío y/o recepción de la información en la Estación Radio Base, se podría interpretar como el cerebro de esta. Una BBU tiene las siguientes características: diseño modular, pequeño tamaño, bajo consumo de energía y se puede implementar fácilmente.

En la BBU, se realiza todo el procesado en banda base (asignación, codificación y decodificación).

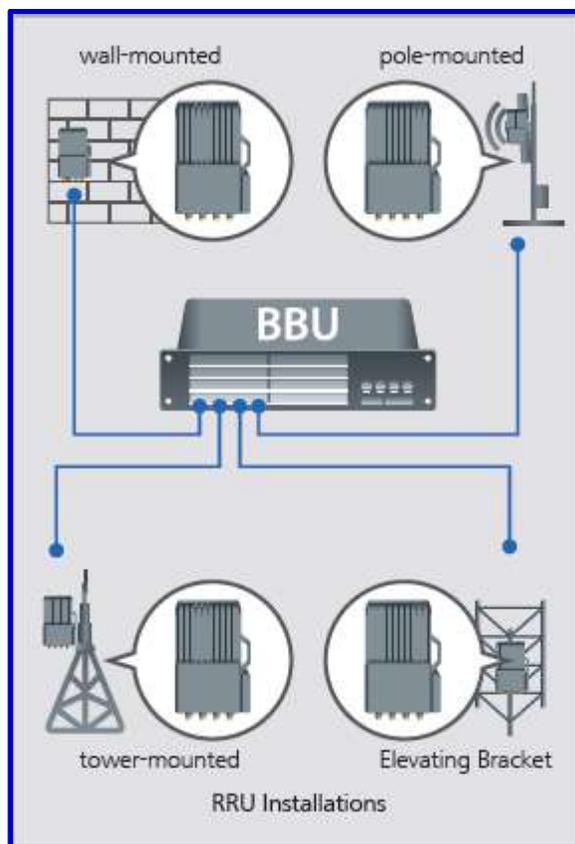


Figura 3.3. Conexión entre la BBU y las RRU's

Fuente: www.e.huawei.com

En recepción, la señal de radio proveniente de los móviles de los usuarios, es recibida por la antena pasiva¹ o activa² en la frecuencia de la red, se transmite a la RRU donde es acondicionada, tanto en amplitud como en frecuencia y convertida a dominio digital.

La señal digital en banda base es transmitida a la BBU donde es gestionada para ser transmitida hacia la red de telefonía móvil. En el proceso inverso, el RRU recibe la información de la BBU entramada mediante protocolos como pueden ser el CPRI, este se encarga de desentramarla, realizar el procesado digital y convertirla a señal analógica.

¹ Antena pasiva es aquella que no precisa de alimentación ni amplificador, pues la Ganancia de las mismas surge de forma natural en la captación del campo electromagnético, captan señal al estar conectadas a masa.

² Antenas activa, consiste en la incorporación de un pequeño amplificador en el mismo dipolo de la antena, para que la ganancia aumente.

Una vez en dominio analógico, se le aplica un procesado de adaptación en una etapa RF, donde la señal se verá amplificada en potencia y desplazada a la frecuencia que opera la red. De este modo, la señal estará lista para ser transmitida por la antena pasiva o activa.

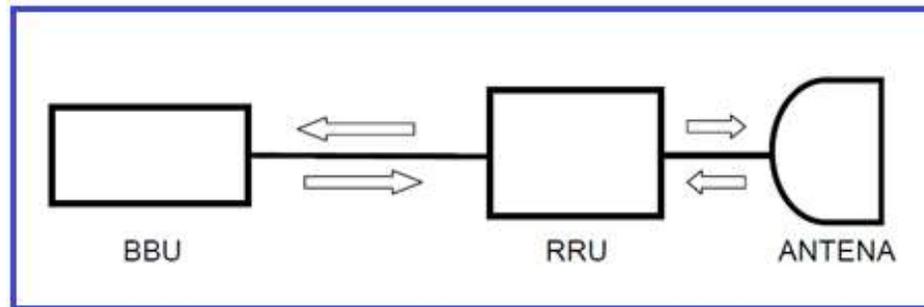


Figura 3.4. Interconexión entre BBU, RRU y Antenas

Fuente: www.e.huawei.com

La unidad BBU ejecuta las siguientes funciones:

- Provee puertos de comunicación entre la BBU y la MME (Mobility Management Entity) o la OSS (Operation & Support System) para la transmisión de datos.
- Provee canales de mantenimiento entre la BBU y la Terminal de Mantenimiento Local (Local Maintenance Terminal - LMT) para manejar y monitorear la radio base.
- Proporciona puertos E1's, que apoyan protocolos IP y ATM.
- Provee la interfaz para la comunicación entre la BBU y la RRU.
- Provee puertos de conexión local para configuración vía software.
- Procesa señales de banda base de uplink y downlink.
- Maneja el sistema entero de la radio base en términos de Operación y Mantenimiento (O&M).
- Provee sistema de reloj.

La BBU gestiona todos los recursos de la radio base, traficando las llamadas entrantes y salientes, así como la descarga de datos de los móviles que operan en el área que controla. (HUAWEI, 2016)

PUERTOS BBU 3900			
Slot 16	Slot 0	Slot 4	Slot 18
	Slot 1	Slot 5	
	Slot 2	Slot 6	Slot 19
	Slot 3	Slot 7	

TARJETAS BBU 3900			
FAN	USCub11/LBBP	USCub11/LBBP	UPEU/UEIU
	USCub2x/USCub1x/LBBP	USCub2x/USCub1x/LBBP	
	LBBP	UMPT/LMPT	UPEU
	LBBP	UMPT/LMPT	

Figura 3.5. Puertos y Tarjetas de una BBU 3900

Fuente: www.e.huawei.com

3.1.1.2 PRINCIPALES TARJETAS DE LA BBU 3900

Las Tarjetas UMPT/LMPT tienen las siguientes funciones:

- Provee de operación y funciones como la gestión de configuración, gestión de equipos, monitoreo de desempeño, procesamiento y conexiones de canal de señalización³ de O & M de la OMC.
- Proporciona el tiempo de referencia.
- Procesamiento de señales y gestión de recursos a otros consejos BBU.
- Proporciona puertos USB, puertos de transmisión, y puertos de mantenimiento para proveer transmisión de la señal y ejecutar actualizaciones automáticas de software

³ Establece comunicación entre el equipo y la central de operación y mantenimiento OMC para informar del estado de procesamiento de datos que realiza el equipo o funcionamiento en general del equipo.

Prioridad	Tipo de Tarjeta	Nombre de Tarjeta	¿Es Obligatorio?	Máxima cantidad	Secuencia de asignación según prioridad (Izquierda mas prioritario que derecha)					
					Slot 7	Slot 6	-	-	-	-
1	Tarjeta Principal de Control en modo LTE FDD	UMPTb	SI	2	Slot 7	Slot 6	-	-	-	-
		UMPTa2 or UMPTa6								
		LMPT								
2	Tarjeta Satelital (Satellite-card)	USCUB22	No	1	Slot 5	Slot 1	-	-	-	-
		USCUB14	No	1	Slot 5	Slot 4	Slot 1	Slot 0	-	-
		USCUB11								
3	Tarjeta de Procesamiento de Banda Base en modo LTE FDD	LBBPd	SI	6	Slot 3	Slot 0	Slot 1	Slot 2	Slot 4	Slot 5
		LBBPc								
4	Tarjeta Universal para interconexiones en Cascada	UCIUa	No	1	Slot 4	Slot 5	Slot 0	Slot 1	-	-

Figura 3.6. Prioridad de las tarjetas en la BBU 3900

Fuente: www.e.huawei.com

La tarjeta LBBP

El LBBP (LTE Unidad de Proceso de banda base) es una tarjeta de la BBU3900 obligatorio que procesa las señales de banda base.

- El LBBP tiene las siguientes funciones:
- CPRI proporciona puertos para la comunicación entre BBU y RFU.
- Procesos señales de banda base en el uplink y downlink. (HUAWEI, 2016)

3.1.2 SUBSISTEMA RADIO FRECUENCIA

Conformada principalmente por el equipo (RRU Unidad de Radio Remota), para los sistemas 4G-LTE, se usa el modelo RRU 3908 del fabricante Huawei, y las antenas sectoriales que se las conoce también como el sistema radiante, de las cuales se hace una descripción más adelante en el apartado **3.1.2.4**.

3.1.2.1 RRU UNIDAD DE RADIO REMOTA

RRU es una unidad de Radio Remota (Remote Radio Unit). Es un módulo que acondiciona las señales que recibe y/o emite la Estación Radio Base, a modo de que estas estén preparadas en los formatos con los que trabajan cada etapa interna de la Radio Base.



Figura 3.7. Unidad de Radio Remota RRU 3908

Fuente: www.e.huawei.com

La RRU 3908 realiza principalmente las siguientes funciones:

Las funciones de la RRU 3908 son:

- Proporciona puertos CPRI para comunicación con la BBU 3900.
- Cuando se ejecuta en modo UMTS, la RRU 3908 envía directamente las señales de banda base a la antena para la transmisión a través del dúplex de RF.
- La RRU 3908 procesa las señales RF de uplink recibidas de la antena a través de la "Down-conversion", amplificación, conversión A/D, digital Down-conversion, filtrado, control de ganancia automática (AGC) y luego transmite las señales a la BBU 3900.
- La RRU 3908 soporta control de potencia y detección de VSWR.
- La RRU 3908 soporta la sintonización de frecuencias.
- La RRU 3908 soporta la generación y recuperación de reloj y detección de alarmas en el puerto CPRI. (HUAWEI, 2016)

La RRU principalmente se encarga de acondicionar la señal para que la antena pasiva pueda realizar su función. Durante la fase de Downlink, se realizan las funciones de procesamiento de la señal digital recibida de la BBU, para conseguir la conversión de la

señal digital al dominio analógico, para después montar estas señales de RF a la banda de frecuencia de transmisión que opera la red.

Por el otro lado, en fase de Uplink, la RRU recibe las señales de RF de la antena, para después mediante una etapa conversión de señal llamado down-converting, estas señales que están montadas a la frecuencia que opera la red móvil, se transformen a señales de Frecuencia Intermedia (Intermediate Frequency - IF) con las que puede trabajar internamente el hardware de la radio base. Después vienen etapas de procesamiento de esta señal, empezando con una etapa de conversión del dominio analógico al digital, para posteriormente realizar un filtrado adaptado y un control automático de ganancia digital (Digital Automatic Gain Control - DAGC). Ocurrido esto y ya en el dominio digital, los transmite a la BBU.

Otra de las funciones que realiza el RRU, es multiplexar las señales del receptor (Receiver - Rx) y del transmisor (Transmitter - Tx). Esto permite que las señales Tx y Rx compartan el mismo camino a la antena pasiva. También en el RRU se encuentra una etapa de amplificación a la salida, debido a que la señal de radio debe tener la suficiente potencia para que la antena alcance sus rangos de radiación.

El RRU, al inicio de la recepción de la señal proveniente de los móviles de los usuarios, se comienza con una etapa analógica en RF que está compuesta por un LNA (Low Noise Amplifier) o Amplificador de Bajo Ruido, etapa necesaria puesto que la señal de radio que proviene de los móviles es de baja potencia. Por ello, los LNA amplifican esta señal a los niveles necesarios para su procesamiento por la etapa digital, introduciendo el menor ruido posible. En el proceso inverso, cuando los datos salen de la Estación Radio Base hacia los móviles, internamente en el RRU después de la conversión del dominio digital al analógico de la información, se utiliza una etapa RF con amplificadores PA (Amplificador de Potencia), puesto que el objetivo es amplificar la potencia de la señal de salida lo máximo posible. El poder del PA puede ser de 20 [W] o 40 [W], dependiendo el modelo de la RRU.

Otra parte importante en la etapa previa a la antena lo constituye un duplexor encargado de separar las señales de transmisión y recepción. Este filtro en la interfaz de RF está entre la RRU y la antena. Esto filtra las señales Tx y Rx para evitar la interferencia. Los datos se transmiten desde la BBU hasta la RRU los cuales se ubican cerca de las antenas. Las características específicas de una RRU pueden diferir en base al número de portadoras y bandas de frecuencia que soporta. (ESPINOZA, 2016)

3.1.2.2 CONEXIÓN ENTRE BBU Y RRU

La BBU y la RRU actualmente se conectan mediante F.O., se sustituyó los Feeder con la utilización de ese medio de transporte de luz, dado que las pérdidas por atenuación de la señal en el cable coaxial que se usaba antes son mucho mayores que las pérdidas en una fibra óptica.

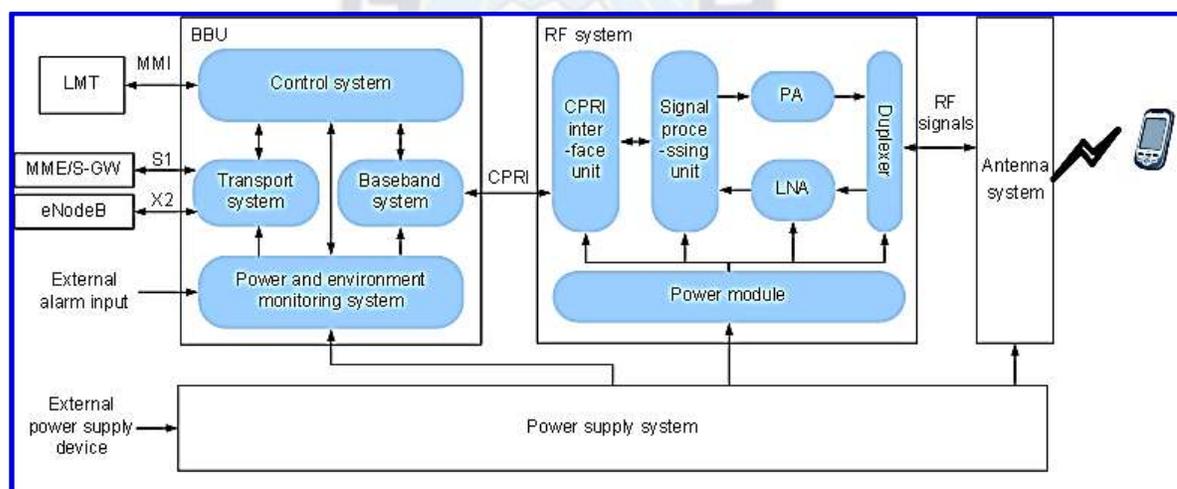


Figura 3.8. Estructura lógica de la BBU 3900 y la RRU 3908

Fuente: www.e.huawei.com

El cable de fibra óptica le ha dado una amplia simplicidad en el montaje de esta última con respecto al Feeder de cable coaxial.

3.1.2.3 CONEXIÓN ENTRE BBU Y RRU CON FIBRA ÓPTICA

La fibra óptica es un sistema de transmisión opto-eléctrico, es decir que involucra manipulación tanto de energía eléctrica como lumínica en el proceso de transmisión.

La señal producida por los distintos equipos de transmisión de datos (routers, switches, etc.) es de tipo eléctrico. Esta señal debe ser convertida en una señal lumínica para poder ser transmitida a través de una fibra óptica, para luego ser reconvertida a pulsos eléctricos y así poder ser comprendida por el dispositivo destino.

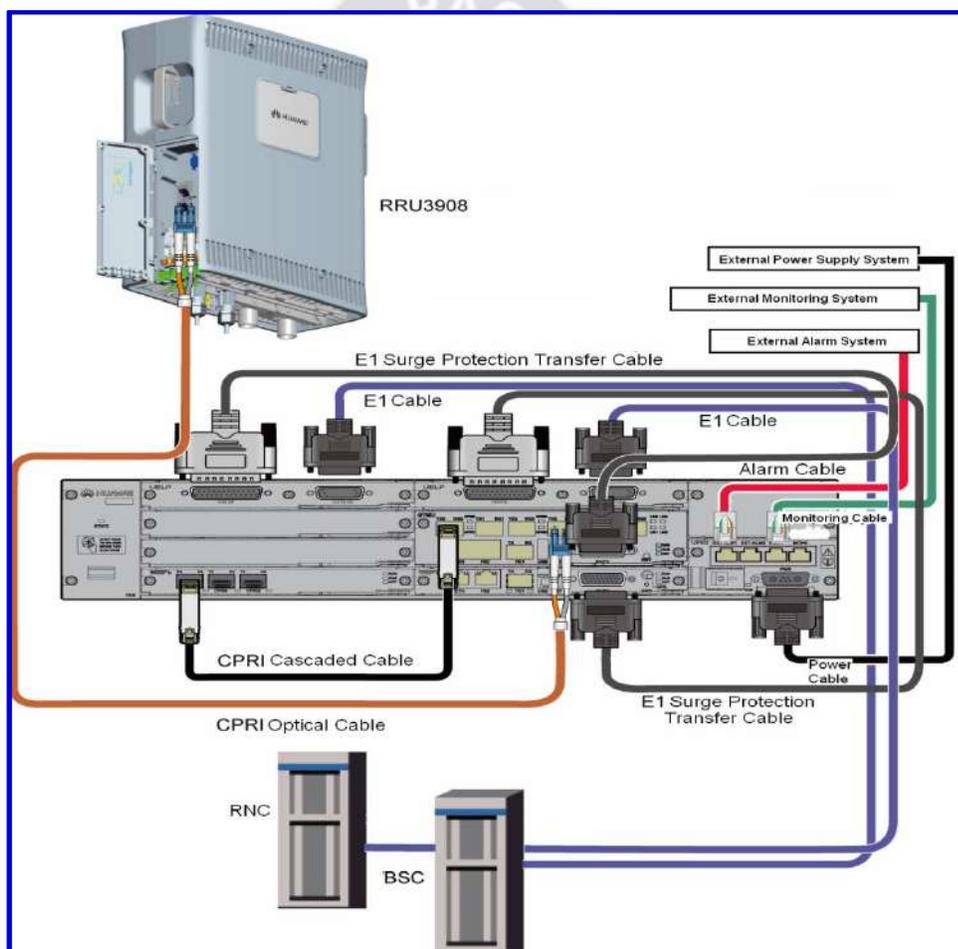


Figura 3.9. Conexión entre la BBU y RRU

Fuente: www.e.huawei.com

Este medio de transmisión permite conexiones de alto ancho de banda a mayores distancias debido a que la señal portadora (el haz de luz) sufre menos atenuación y es inmune al ruido electromagnético.

Es una pieza compleja compuesta básicamente de 2 elementos:

- Núcleo de vidrio o silicio, que es propiamente medio que actúa como una guía de onda que transmite la luz entre los puntos conectados.
- Su diámetro varía en función a la cantidad de haces de luz, que propagara, teniendo de los tipos monomodo y multimodo.
- Revestimiento o blindaje, compuesto por material similar al núcleo pero con diferentes propiedades ópticas, lo que asegura que el haz de luz quede confinado o contenido dentro del núcleo. Su diámetro estándar es de 125 micrones.

En las Estaciones Radio Bases de Telecomunicaciones usan cables de fibra óptica, ya prefabricadas con una longitud adecuada a la distancia que existe desde la BBU hasta las RRU y acorde a las medidas comerciales, siendo las de 50, 100 y 150 metros las mayormente usadas. Estas fibras ópticas son del tipo monomodo. En este tipo de fibra se transmite un solo haz de luz por el interior de la fibra. La fibra Monomodo utiliza un sistema muy simple, debido a que sólo permite un modo de propagación; un único haz de luz directa y más intensa, esto mediante el uso de un láser de alta intensidad. Con ello se logran alcanzar grandes distancias (hasta 300 km) y transmitir a elevadas tasas de información (decenas de Gb/s). (ESPINOZA, 2016)



Figura 3.10. Transmisión por una Fibra Óptica Monomodo
Fuente: www.lafibraoptica Peru.com

Cada enlace de fibra consta de un transmisor en un extremo de la fibra y de un receptor en el otro. La mayoría de los sistemas operan transmitiendo en una dirección a través de una fibra y en la dirección opuesta a través de otra fibra para así tener una transmisión bidireccional.

Ante ello, la mayoría de los sistemas utilizan un transceiver (transceptor) que incluye tanto un transmisor como un receptor en un sólo módulo. El transmisor toma un impulso eléctrico y lo convierte en una salida óptica a partir de un diodo láser.

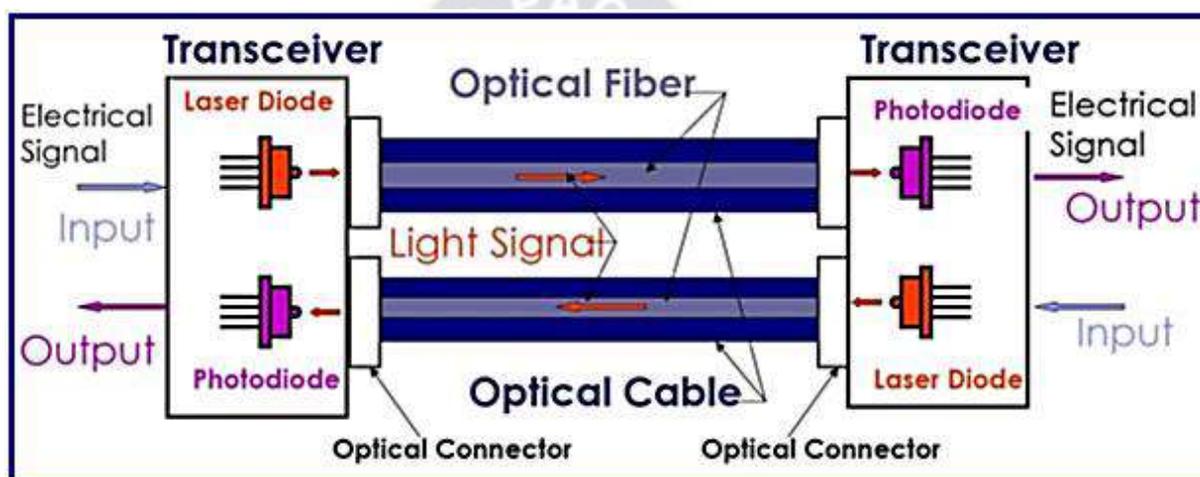


Figura 3.11. Conversión de la Señal Óptica a Eléctrica en un Transceiver

Fuente: www.lafibraoptica.com

La luz en la parte del transmisor, se acopla a la fibra con un conector y se transmite a través de la red de cables de fibra óptica. La luz del final de la fibra se vuelve a acoplar ahora a la parte receptor, donde un detector convierte luz en una señal eléctrica que luego se acondiciona de forma tal que pueda utilizarse en el equipo receptor.

Los láseres son los más usados debido a que se pueden acoplar fácilmente a las fibras monomodo, lo que los hace ideales para transmisiones de alta velocidad en larga distancia. Con el uso de fibra óptica con sus respectivos transceiver, como medio de comunicación entre los módulos que se encargan de la transmisión y recepción en el sitio, se aumenta la velocidad de transferencia interna de datos, debido a que los láser tienen una capacidad de ancho banda muy elevada. (ESPINOZA, 2016)

3.1.2.4 ANTENAS SECTORIALES

Por lo general en una Estación Radio Base se instalan varias antenas de transmisión y recepción. Para obtener la mejor relación ganancia de señal y cobertura se divide el área de acción en sectores que son atendidos por antenas separadas.

Para tener una cobertura de 360° (como una antena omnidireccional) y un largo alcance (como una antena direccional) se deben instalar, tres antenas sectoriales de separadas en 120° . Esto es la técnica de trisectorización, que consiste en dividir la radio base en tres zonas, denominadas sectores, que a efectos prácticos funcionan como células independientes. Por regla, el sector con dirección más cercana al norte magnético será el sector 1 y de este como referencia los otros dos sectores irán sucesivamente conforme a la dirección de las manecillas de un reloj. (ESPINOZA, 2016)

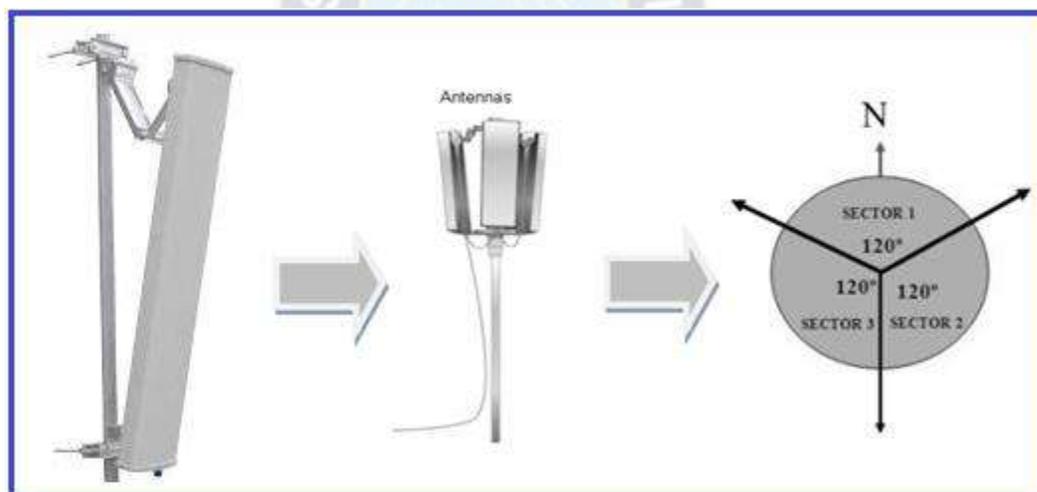


Figura 3.12. Antenas y Disposición Física en una Radio Base
Fuente: www.vmasdigital.com

La antena pasiva se compone de un radomo que actúa como protector de la antena, fabricado en materiales que alteran lo menos posible la señal radiada. Actualmente, acostumbra a usarse radomos de resina con fibras de vidrio que proporcionan altos valores de rigidez con espesores muy pequeños. Internamente, un bastidor metálico de aluminio hace las funciones de plano de masa, aislando los elementos radiantes de los cables. En la parte trasera de la antena se disponen los cables de alimentación que distribuyen la señal a

los elementos radiantes y el desfasador. Este último, se compone de estructuras que distribuyen la señal por medio de líneas de transmisión y crean desfases progresivos en las señales aplicadas a los elementos radiantes para conformar un haz de radiación con diferentes ángulos de inclinación denominado (Tilt). El mecanismo para realizar el desfase suele estar patentado y difiere en función del fabricante.

El Tilt en una antena es una de las principales optimizaciones del sistema se basa en el ajuste correcto de la inclinación de la antena, o pendiente de la antena con relación a un eje. Con el Tilt, se dirige la radiación más abajo (o más arriba), concentrando la energía en la nueva dirección que se deseé. Por lo tanto el foco del patrón de radiación en las antenas que conforman los sitios se le da una inclinación descendente a modo de que toda la potencia de radiación en la antena se utilice en espacios físicos útiles para los usuarios, es decir dirigir la señal hacia los demandantes del servicio.

Cuando la antena está inclinada hacia abajo se llama downtilt, que es el uso más común. Si el inclinación es hacia arriba (casos muy raros y extremos), se le llama uptilt. Con el downtilt se consigue:

- Reducir interferencia, puesto que reduce la radiación hacia una RBS cercana.
- Concentrar la radiación dentro del área de servicio de la radiobase.

Hay dos formas de darle de manejar el Tilt de una antena:

- Tilt Mecánico:

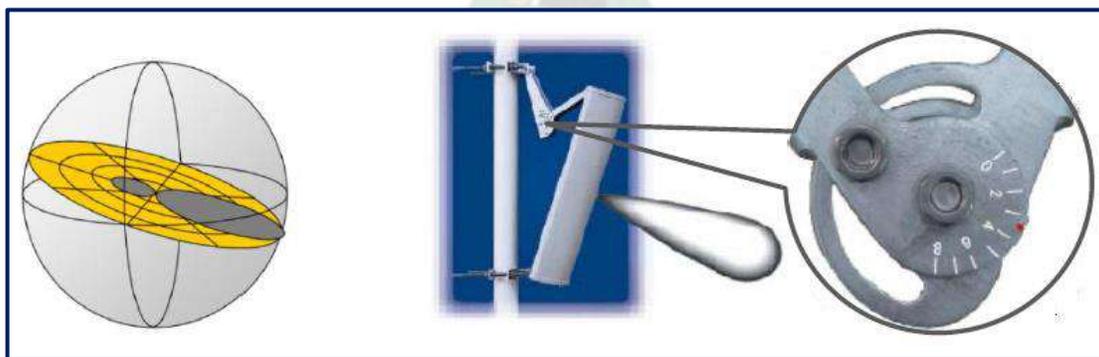


Figura 3.13. Patrón de Radiación Tilt Mecánico

Fuente: Implementación y comisionamiento de una DBS 3900 (MOLLO, 2015)

Esta se logra efectuando una inclinación física de toda la antena a través de accesorios específicos en la misma, sin cambiar la fase de la señal de entrada. Por ello, la dispersión

frontal de la señal radiada en la antena sectorial se va hacia abajo y la que se presenta en la parte trasera de la misma va hacia arriba.

El tilt mecánico hace que:

- El lóbulo principal esté antes del horizonte.
- El lóbulo posterior apunta hacia arriba.
- A $\pm 90^\circ$ no hay tilt.

Analogía: es como si el patrón de radiación apoyara en un disco.

- Tilt Eléctrico



Figura 3.14. Patrón de Radiación Tilt Eléctrico

Fuente: Implementación y comisionamiento de una DBS 3900 (MOLLO, 2015)

Se obtiene de la modificación de las características de la fase de señal modificando internamente la posición de cada elemento radiante de la antena, pero sin mover la posición física de la antena. Esto ocasiona que el foco del patrón de radiación se modifique internamente en la antena.

El Tilt eléctrico sirve para:

- Que el lóbulo principal apunte debajo del horizonte.
- Que el lóbulo opuesto también apunte debajo del horizonte.
- A $\pm 90^\circ$ también el tilt está abajo del horizonte.

Analogía: Es como el patrón de radiación apoyara a un cono.

3.1.3 SUBSISTEMA ENERGÍA ELÉCTRICA

Conformada principalmente por la Acometida, Tableros principal y secundarios, Rectificadores de Tensión (AC/DC) y el sistema de respaldo de energía eléctrica en caso de cortes de energía eléctrica por parte de la distribuidora en nuestro caso (DELAPAZ), a continuación una descripción de los elementos mencionados:

3.1.3.1 ACOMETIDA Y TABLEROS

La alimentación en (AC Corriente Alterna), a la estación, llega mediante una acometida que por lo general es monofásico 220 V, hacia el tablero principal de distribución de energía eléctrica en el cual se encuentran los dispositivos de seguridad en caso de fallas a la hora de alimentar los equipos necesarios.

Dentro de este tablero se tiene los térmicos que controlan diferentes funciones como ser la baliza, el rectificador, los aires acondicionados, iluminación exterior e interior; el APM. Se tiene algunos térmicos de reserva para uso futuro.

En el tablero se encuentra el controlador de aires acondicionados que consta de un temporizador y sus respectivos contactores para cada aire. También tiene en algunas estaciones su protector de transcientes. (MAMANI, 2016)

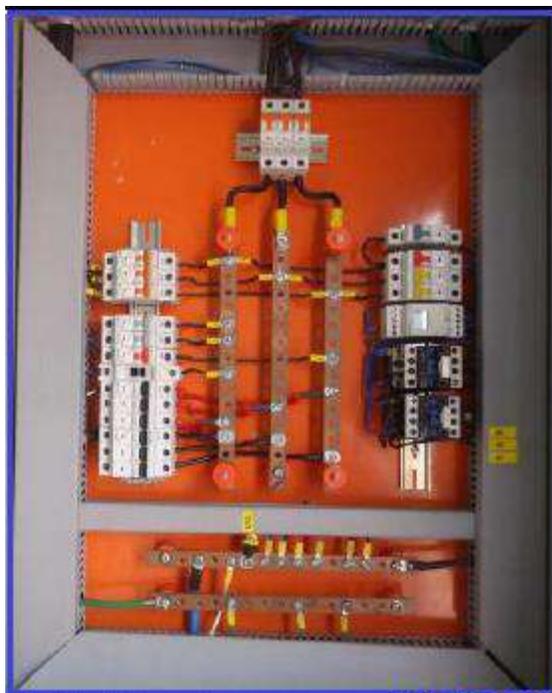


Figura 3.13. Tablero de distribución de una RBS

Fuente: STS Bolivia Ltda. (Empresa de mantenimiento para TELECEL S.A.)

3.1.3.2 RECTIFICADORES

Los rectificadores se encargan de convertir la tensión y corriente alterna AC, en tensión y corriente (DC Corriente Directa), ya que los diferentes equipos de la Estación Radio Base funcionan con alimentación DC, con diferentes niveles de tensión, e incluso tensiones negativas de -48 V. Dentro de este subsistema se tienen de dos tipos los rectificadores PS24600/75 y los rectificadores PS48300/1800. Los rectificadores PS24600/75 proporcionan un voltaje de 24V y trabajan con las BTS312. Los rectificadores PS48300/1800 proporcionan un voltaje de 48V positivos y negativos y trabajan con las BTS3012.

La alimentación de energía eléctrica AC hacia este gabinete de rectificadores es de 220V fase- fase y tierra, y proviene de la red de distribución de la distribuidora en nuestro caso (DELAPAZ), también la salida de los rectificadores se usa para cargar los bancos de

batería y que estos puedan actuar como respaldo cuando se presente una falla en la red de distribución. (MAMANI, 2016)



Figura 3.14. Rectificadores para RBS

Fuente: STS Bolivia Ltda. (Empresa de mantenimiento para TELECEL S.A.)

3.1.3.3 TIERRA

La parte de Tierra tiene como principal misión proteger los equipos de los diferentes subsistemas, verificando que todos los equipos estén aterrados al sistema de tierra de la estación, ya sea equipos Indoor y equipos Outdoor.

Los equipos generalmente están expuestos a descargas atmosféricas por lo que deben ser protegidos mediante sistemas de puestas a tierra. Estas descargas pueden llegar a los equipos por varios medios, lo cual puede causar serios efectos o inclusive puede averiar los equipos instalados.

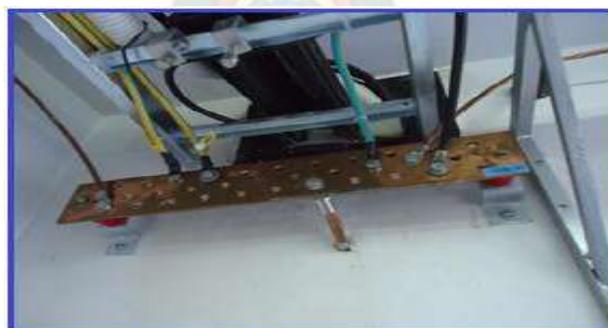


Figura 3.15. Barra de Tierra

Fuente: STS Bolivia Ltda. (Empresa de mantenimiento para TELECEL S.A.)

Las descargas eléctricas inciden sobre las torres, antenas, cables coaxiales y gabinetes propiamente dichos. El sistema de tierras proporcionará un camino por el cual se descargara esta energía sin causar daños en los equipos instalados. Para proteger los equipos se debe instalar un circuito alternativo para este tipo de descargas que provea una baja impedancia, este circuito alterno debe ser de tipo equipotencial para asegurar que todos los equipos tengan un mismo nivel de potencial.

Se debe verificar que todo equipo tenga su conexión al sistema de tierra, que los cables de tierra están bien conectados a la barra de cobre, si las conexiones están sueltas, se debe de ajustar. Si la barra de cobre no brilla se debe de soltar los cables de tierra, lijar la barra de cobre hasta que quede limpio y brillante para después pintarlo, después se debe conectar los cables de tierra.

En el sitio en donde se instalara la BTS se debe medir la resistividad del terreno para diseñar el sistema de tierras a instalar. El valor recomendado para equipos electrónicos en general debe ser menor a 5 ohmios, este valor se aplica a cualquier instalación de BTS de cualquier marca es una norma internacional IEEE Standar 80-2000.

Este valor se mide utilizando un equipo llamado Medidor de tierras, donde se dispone de tres cables (rojo, amarillo y verde), de los cuales el verde se conecta a la barra de cobre MGB (Barra principal de tierra) o LGB (barra local de tierra), y los cables rojo y amarillo se lo clava en la tierra a través de una jabalina, se debe de tener por lo menos 60 grados de separación entre ambos cables al inicio del equipo y no debe existir cruces entre ellos. Una vez realizada toda esta conexión se enciende el equipo y se coloca al valor de ohmios y se verifica la lectura. (MAMANI, 2016)

3.1.3.4 RESPALDO DE ENERGÍA - BANCO DE BATERÍAS

Los bancos de baterías que dependiendo de la estación se pueden tener uno o dos. Estas baterías vienen de diferentes voltajes y diferente duración pero al conformar el banco de

baterías el voltaje que proporcionan es normalizado y depende del tipo de rectificador empleado en la estación.

Si el rectificador que se tiene es el PS24600/75 el voltaje de cada banco es de 24V; éste voltaje es el ideal ya que realizando las medidas el banco nos proporciona 26,75V. Si el rectificador que se tiene es el PS48300/1800 el voltaje de cada banco es de 48V; éste voltaje es el ideal ya que realizando las medidas el banco nos proporciona 53,5V.



Figura 3.16. Banco de Baterías

Fuente: STS Bolivia Ltda. (Empresa de mantenimiento para TELECEL S.A.)

El número de celdas puede variar en un banco de baterías, ya que depende del voltaje de cada batería. Se tienen batería de 2V (2,23V práctico) y 12V (13,23V práctico). Por ejemplo si se tiene un rectificador PS48300/1800 y se dispone de baterías de 12V, entonces se tendrá un banco con 4 celdas conectadas en serie, ya que 12V por 4 dan 48V. (MAMANI, 2016)

Para calcular el tiempo que respaldarán o tiempo de autonomía, cuando no exista energía comercial se debe tomar en cuenta su amperaje por hora y el consumo de corriente del rectificador, como se ve en la siguiente ecuación:

$$\text{Tiempo de Autonomia (horas)} = \frac{\text{Capacidad (Amperios * hora)}}{\text{Consumo Corriente del Rectificador (Amperios)}}$$

Por ejemplo para un banco de baterías de marca 6-GFM-160C de 160 AH de 12V, que alimenta un rectificador PS48300/1800 con un consumo de corriente de 18 A, se tiene:

$$\text{Tiempo de Autonomia(horas)} = \frac{160 (\text{Amperios * Hora})}{18 (\text{Amperios})}$$

$$\text{Tiempo de Autonomia(horas)} = 8.8 \text{ horas}$$

3.1.4 SUBSISTEMA TRANSPORTE

Este subsistema transmite y recibe los datos desde la RBS (Estación Radio Base) hasta el RBC (Concentrados de Radio Bases), por lo general actualmente se usa el medio físico por excelencia FIBRA ÓPTICA, sin embargo y como respaldo de ese medio, se sigue instalando el medio inalámbrico de Radio enlace por microondas, a continuación una descripción de los elementos mencionados: (MAMANI, 2016)

3.1.4.1 TRANSPORTE MEDIANTE FIBRA ÓPTICA

La conexión entre las RBS y las RBC son por medio de cables de Fibra Óptica, los cuales hoy en día son los medios físicos de comunicación más usados en la transmisión y recepción de datos.

Las redes utilizan fibra óptica principalmente en su red troncal. Una red óptica pasiva conocida como PON (Passive Optical Network) permite eliminar todos los componentes activos existentes entre el servidor y el cliente introduciendo en su lugar componentes

ópticos pasivos o divisores ópticos, debido a que toda la infraestructura necesaria es pasiva (sin amplificadores, repetidores, etc.), a excepción de los extremos (central y usuario).



Figura 3.17. Transporte de Datos mediante ATN 910

Fuente: STS Bolivia Ltda. (Empresa de mantenimiento para TELECEL S.A.)

Las redes PON cuentan con una variada gama de protocolos y estándares. Las dos tecnologías que actualmente lideran el mercado son las denominadas EPON (Ethernet PON) y GPON (Gigabit Passive Optical Network). GPON, es la tecnología de acceso mediante fibra óptica con arquitectura punto a multipunto más utilizada en la actualidad.

Los principales objetivos de GPON son ofrecer mayor ancho de banda, mayor eficiencia de transporte para servicios IP, y una especificación completa adecuada para ofrecer todo tipo de servicios.

Las redes GPON son redes ópticas que destacan principalmente por dos características, por un lado toda la infraestructura extremo a extremo está basada en elementos ópticos pasivos, y por otro lado permiten la transmisión y recepción de una inmensa cantidad de datos a través de una sola fibra. Para guiar el tráfico por la red, se ocupa un dispositivo esencial que es el divisor óptico conocido como splitter. Esto permite compartir una misma fibra entre varios usuarios. La empresa TELECEL S.A. en Bolivia, todavía trabaja con las tecnologías SDH y PDH, para la mayoría de sus usuarios, sin embargo ya utiliza la tecnología GPON para clientes corporativos. (MAMANI, 2016)

3.1.4.2 TRANSPORTE MEDIANTE RADIO ENLACE

Para poder comunicarse con un usuario que se encuentra a miles de kilómetros, es necesario que la Estación Radio Base que le ofrece cobertura esté conectada a la Red Móvil para establecer así un enlace. Por ello, surge la necesidad de asignar en la red de telefonía móvil, los recursos de transmisión necesarios en cada Estación Radio Base que se pretenda integrar la red Móvil. Para ello uno de los medio de transmisión usados es el enlace por Microondas.

Un radio enlace o enlace es el conjunto de equipos de transmisión y recepción necesarios para el envío vía ondas radioeléctricas (microondas) de una señal entre dos puntos de una red distantes entre sí y entre los que debe existir una línea de visión directa (LOS – Line of Sight).



Figura 3.20. Radio enlace por microondas

Fuente: STS Bolivia Ltda. (Empresa de mantenimiento para TELECEL S.A.)

Estas ondas de radio van de una antena parabólica a otra. Como resultado de sus propiedades electro-físicas, se pueden usar las microondas para transmitir señales por el aire, con relativamente baja potencia. Para crear un circuito de comunicaciones, se transmiten señales de microondas a través de una antena enfocada a otra antena en una siguiente estación de la red, misma que actúa como un receptor que captura la señal transmitida, para luego ser amplificadas y retransmitidas nuevamente hasta llegar al punto de la red que es su destino.

Una de las ventajas de los radioenlaces es la rapidez de implementación de equipos y el ahorro que se tiene comparando con la obra civil que habría que llevar a cabo para la transmisión cableada, sea aérea o por ductos bajo tierra. (MAMANI, 2016)

3.1.5 SUBSISTEMA INFRAESTRUCTURA

Este subsistema conformado por la Iluminación tanto interior como exterior, sistema de baliza y aire acondicionado, a continuación una descripción de los elementos mencionados:

3.1.5.1 ILUMINACIÓN INTERIOR Y EXTERIOR

En este subsistema se encuentra la iluminación interior de la caseta si se trata de una Estación Radio Base Indoor (Shelter) y la iluminación exterior de la caseta, es decir, las luminarias que tiene colocadas en sus paredes y en algunos casos los postes de luz que se tiene para iluminar todo el predio.



Figura 3.21. Iluminación interior y exterior

Fuente: STS Bolivia Ltda. (Empresa de mantenimiento para TELECEL S.A.)

3.1.5.2 BALIZA

Consta por lo general de dos domos en la parte más alta de la torre y en torres más altas también se dispone en la mitad de la torre; los cuales se iluminan sólo por las noches permaneciendo apagadas en el día.

La alimentación de la baliza se encuentra en el tablero de distribución, en el cual se encuentra un térmico que alimenta a un pequeño circuito que controla el funcionamiento de la baliza que normalmente es un pequeño tablero cuyo circuito consta de un térmico por donde circulan las fases AC, de las cuales una fase pasa directamente hasta la baliza y la otra entra a una fotocélula y dependiendo de ésta conecta la otra fase a la baliza.



Figura 3.18. Baliza

Fuente: STS Bolivia Ltda. (Empresa de mantenimiento para TELECEL S.A.)

El funcionamiento de la fotocélula no es nada más que el de un circuito que se abre y se cierra a través de un sensor LDR (Resistencia Dependiente de Luz), al variar el valor de su resistencia. La fotocélula consta de tres pines de los cuales uno es de alimentación por el que va una fase (color blanco), el otro es la entrada de la otra fase (color negro) y el otro es la salida de la fase (color rojo). Si es de día el valor de la resistencia del sensor LDR es baja produciendo que el circuito se mantenga abierto que a la vez deja sin alimentación a la baliza; cuando llega la noche el valor de la resistencia aumenta hasta un valor más grande

produciendo que el circuito se cierre alimentando a la baliza produciendo el encendido del mismo. (MAMANI, 2016)

3.1.5.3 AIRE ACONDICIONADO

Consta normalmente de dos aires acondicionados acomodados de tal forma que mantenga la caseta a temperatura ambiente, en el caso de la ciudad de La Paz y El Ato la temperatura de funcionamiento se los aires acondicionados debe estar a los 17°. El funcionamiento de los aires lo controla un temporizador y dos contactores los cuales se encuentran en el tablero de distribución. Se debe de programar el tiempo de activación de cada aire en el temporizador de acuerdo al ambiente externo e interno de la caseta, si es muy caliente o frío.



Figura 3.19. Aire Acondicionado

Fuente: STS Bolivia Ltda. (Empresa de mantenimiento para TELECEL S.A.)

El temporizador posee un reloj interno el cual funciona las 24 horas y de acuerdo a su programación cierra un interruptor por el cual deja pasar energía eléctrica hacia el contactor, haciendo que el contactor se cierre (el cual se encontraba abierto) y forme un circuito continuo hasta el aire acondicionado produciendo el funcionamiento del mismo. Cuando ya funcionó la hora programada el temporizador abre el interruptor haciendo que el contactor se abra y deje sin alimentación al aire acondicionado.

3.2. MANTENIMIENTO ACTUAL DE LAS RBS DE TELECEL S.A.

El mantenimiento actual que se realiza es el PREVENTIVO en cada RBS de TELECEL S.A., este se realiza bimestralmente, asignando un número de radio bases a cada uno de los grupos, cada grupo realiza el mantenimiento a una radio base por día, con un cronograma de actividades planificadas con anterioridad, en caso de falla de equipos u otros elementos se procede a realizar el mantenimiento CORRECTIVO, para lo cual se cuenta con grupos de emergencia, conformado por cuatro técnicos. (STS Bolivia, 2016)

3.2.1. ACTIVIDADES PREVENTIVAS

Para el mantenimiento de las RBS cada grupo cuenta con tres técnicos para que realicen mantenimiento en las áreas de: de transmisión, energía e infraestructura. Considerando que El área de transmisión contiene a los subsistemas: NODO B, RADIO FRECUENCIA Y TRANSPORTE.

El técnico de transmisión es el encargado las siguientes tareas generales: revisar el correcto funcionamiento de los equipos ATN 910, BBU 3900, RRU 3908 y sistema radiante, conformado por las antenas sectoriales, Planillas de este mantenimiento en al Anexo 2.

- Revisar el estado de alarmas y puertos de comunicación de la ATN 910.
- Revisar el estado de alarmas y puertos de comunicación de la BBU 3900.
- También se debe revisar la BBU 3900, verificar que todas las tarjetas estén en un buen funcionamiento y tomar nota de las alarmas que presenta, en caso de haberlas estas serán solucionadas y si está fuera del alcance informar a la central.
- Revisar el estado de alarmas y puertos de comunicación de la RRU 3908.
- Revisar el estado de las antenas y sus puertos de comunicación.
- Verificar que todos los feeder estén bien vulcanizados y pasarlos con cinta aislante en caso de ser necesario.
- Tomar nota del azimut de cada antena y los tilt's mecánicos de cada antena sectorial.

- Revisar los enlaces que tiene la celda y verifica los radios de cada enlace con el software adecuado.
- Que el radio no debe presentar alarmas en caso que ésta presente alguna alarma se debe tratar de eliminarlo y con más urgencia cuando la alarma es de primer grado.
- Revisar la parte de transporte de datos hacia la BSC (Estación Base Controladora), cuyos cables de comunicaciones estén bien conectados y peinados con su respectivo etiquetado esto para poder ver por qué flujo viene cada radio base ya que esto nos facilitara el trabajo cuando alguna radio base este fuera de servicio y tengamos que revisar su flujo hasta la BSC que lo controla.

El técnico de energía es el encargado las siguientes tareas generales: revisar la correcta instalación del sistema eléctrico, en los tableros eléctricos, alimentación a los rectificadores y equipos, sistema de tierra. (STS Bolivia, 2016)

- Revisar los tableros de energía y tomar datos del voltaje y corriente consumidos y si encuentra una anomalía dar solución.
- Revisar la alimentación a los equipos de la RBS.
- Revisar el buen funcionamiento de los rectificadores.
- Revisar el funcionamiento de las baterías de respaldo.
- Verificar que todos los equipos tengan su tierra dirigida a la barra de cobre y que la estación cuente con su sistema de tierra.
- Verificar que los cables de energía vayan por la escalerilla y no fuera de ella, deben de estar bien peinados y sin cruces.
- Realizar cada dos bimestres la carga y descarga de baterías, esto para controlar el tiempo de respaldo en caso de corte de energía.
- Realizar mantenimiento al grupo electrógeno, en caso de que la RBS, cuente con ese sistema de respaldo.

El técnico de infraestructura es el encargado las siguientes tareas generales: revisar la correcta instalación del sistema eléctrico, en los tableros eléctricos, alimentación a los rectificadores y equipos, sistema de tierra.

- Verificar el funcionamiento de los aires acondicionados y su limpieza.
- Verificar que todas las antenas (microondas, sectoriales, 4G) estén bien aseguradas.
- Verificar si el sistema de baliza funciona adecuadamente.
- Verificar que tenga pararrayos y su cable de cobre hasta el sistema de tierra.
- Verificar que toda la iluminación interior y exterior funcione adecuadamente.
- Realizar la limpieza de los equipos.
- Verificar que la estación no tenga problemas de obras civiles.

3.2.2. MANTENIMIENTO CORRECTIVO

El mantenimiento correctivo se realiza con dos grupos especializados para emergencias.

GRUPO DE EMERGENCIA RBS, este grupo se encarga cuando existen fallas dentro de la radio base sin considerar el transporte mediante fibra óptica, realizando acciones en los equipos que puedan causar que el sitio este fuera de servicio, por lo general y de acuerdo a informes, se tiene las principales fallas:

- BBU 3900 Falla de funcionamiento.
- RRU 3908 Falla de funcionamiento.
- ATN 910 Falla de funcionamiento.

Las causas de las fallas de funcionamiento pueden ser diferentes, desde la falta de alimentación a los equipos, falla de las tarjetas de funcionamiento, etc., Se adjunta la planilla de emergencia en el anexo 3.

GRUPO DE EMERGENCIA DE ENLACE POR FIBRA ÓPTICA, este grupo se encarga cuando existe corte de fibra óptica, que es el medio de transporte de datos por excelencia

actualmente, entre dos RBS, o cuanto el enlace de una RBS está fallando o cortado con la RBC.

Este tipo de fallas son causadas generalmente por causas externas, como cables de fibra óptica instalados de forma aérea, los cuales están propensos a los accidentes por lo general de tránsito, cuando se chocan los postes en los que están instalados o por vehículos de alto tonelaje que rompen los cables aéreos que cruzan las calles o avenidas, provocando que el o los sitios conectados por ese medio estén fuera de servicio, se adjunta planilla de emergencia por falla de Fibra Óptica en el anexo 4. (STS Bolivia, 2016)



CAPÍTULO IV
MARCO
PRÁCTICO
ESTUDIO PREVIO
A LA APLICACIÓN
DEL MCC



CAPÍTULO IV MARCO PRÁCTICO- ESTUDIO PREVIO A LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DEL MCC

En anteriores capítulos se vio teóricamente la metodología del MCC, y el proceso de aplicación, así como la conformación del sistema de una Estación Radio Base tipo con tecnología 4G-LTE, el objetivo de este capítulo es dar a conocer la obtención de información para aplicar la metodología MCC y como se ha evaluado la ponderación de los equipos críticos, es decir a que equipos se va a dedicar esencialmente la atención, para implementar sobre ellos primeramente el análisis MCC, también se realizara un análisis de confiabilidad inicial sin la aplicación del MCC.

4.1 DATOS RECOPIRADOS ESTACIONES RADIO BASES

Para la realización de este trabajo se recolectó datos del número de 20 RBS, de la ciudad de La Paz y la ciudad de El Alto, correspondientes a la Empresa (TELECEL S.A.), los cuales son:

Tabla 4.0.1. *Estaciones Radio Base Empresa TELECEL S.A.*

N°	Estaciones Radio Base La Paz	N°	Estaciones Radio Base El Alto
1	PLAZA GARITA DE LIMA	11	SANTIAGO PRIMERO
2	PLAZA SAN PEDRO	12	BALLIVIAN
3	GRAN PODER	13	FABRICA DE VIDRIOS
4	LA PORTADA	14	VILLA ADELA YUNGUYO
5	MECAPACA	15	VILLA SANTIAGO SEGUNDO
6	ALTO SEGUENCOMA	16	AMACHUMA
7	MALLASILLA	17	AV. CHACALTAYA
8	CALLE BUSTAMENTE	18	CAMINO A VIACHA
9	ELOY SALMON	19	16 DE JULIO
10	COSSMIL	20	CEJA HOTEL

FUENTE: STS Bolivia Ltda.

Tabla 4. 0.2. Fallos y Promedio de Fallos en la Gestión 2016

TABLA DE FALLAS DE 20 ESTACIONES RADIO BASES GESTIÓN 2016						
N°	Estación Radio Base	SUBSISTEMAS DE RBS				
		NODO B	RADIO FRECUENCIA	ENERGÍA ELÉCTRICA	TRANSPORTE	INFRAESTRUCTURA
1	PLAZA GARITA DE LIMA	3	2	3	3	1
2	PLAZA SAN PEDRO	4	5	2	2	0
3	GRAN PODER	2	3	4	2	0
4	LA PORTADA	4	4	2	3	0
5	MECAPACA	1	6	5	1	1
6	ALTO SEGUENCOMA	2	1	2	1	1
7	BALLIVIAN	1	4	4	3	0
8	CALLE BUSTAMENTE	3	2	6	1	2
9	ELOY SALMON	2	4	1	2	0
10	VILLA ADELA YUNGUYO	2	2	5	1	1
11	SANTIAGO PRIMERO	1	2	3	2	2
12	MALLASILLA	1	4	3	4	0
13	PASANKERI 2	2	1	2	2	1
14	COSSMIL	1	6	4	1	2
15	VILLA SANTIAGO SEGUNDO	3	3	4	2	2
16	AMACHUMA	1	5	2	3	2
17	AV. CHACALTAYA	2	2	1	2	2
18	AV. GAMARRA	1	1	1	2	1
19	16 DE JULIO	1	0	1	1	1
20	CEJA HOTEL	2	4	3	2	1
PROMEDIO DE FALLOS		1,95	3,05	2,9	2	1

Nota. La tabla 2. Refleja el número de fallos de las 20 RBS, en la gestión 2016.

FUENTE: STS Bolivia Ltda.

Para realizar un análisis previo a la metodología MCC, realizaremos el análisis de confiabilidad en función a los datos obtenidos de las 20 RBS.

Tabla 4. 0.3. *Datos Para Análisis de Confiabilidad sin MCC*

DATOS PARA ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD SIN MCC				
SUBSISTEMA	Numero Componentes/equipos del Subsistema	Promedio Numero Fallas	Tiempo Operativo (días/año)	Tiempo NO Operativo (días/año)
NODO B	1	1.95	363	0.5
RADIO FRECUENCIA	6	3.05	362	2
ENERGÍA ELÉCTRICA	8	2.90	363	2
TRANSPORTE	3	2.00	361	2
INFRAESTRUCTURA	3	1.00	364	0.5
TOTAL SISTEMA	21	10.9	359	7

FUENTE: STS Bolivia Ltda.

4.2 CONFIABILIDAD DEL SISTEMA DE LA RBS SIN MCC

4.2.1. TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS (MTBF)

$$MTBF = \frac{N^{\circ} \text{ Equipos} * \text{Tiempo Operativo}}{N^{\circ} \text{ Fallas}} = \frac{21 * 359 \text{ Dias}}{10.9 \text{ Fallas}}$$

$$MTBF = 691.65 \frac{\text{Dias}}{\text{Falla}}$$

4.2.2. TIEMPO MEDIO PARA LA REPARACIÓN (MTTR)

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo NO operativo}}{N^{\circ} \text{ Fallas}} = \frac{7 \text{ Dias}}{10.9 \text{ Fallas}}$$

$$MTTR = 0.64 \frac{\text{Dias}}{\text{Falla}}$$

4.2.3. DISPONIBILIDAD

$$DISPONIBILIDAD = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{186.15 \frac{\text{Dias}}{\text{Falla}}}{(186.15 + 0.64) \frac{\text{Dias}}{\text{Falla}}}$$

$$DISPONIBILIDAD = 0.99 = 99\%$$

4.2.4. TASA DE FALLA

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{691.65 \frac{\text{Dias}}{\text{Falla}}}$$

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} = 0.0014 \frac{\text{Falla}}{\text{Dias}}$$

4.2.5. CONFIABILIDAD

$$R_{(t)} = e^{-(\lambda * t)} = e^{-(0.0014 * 359)}$$

$$R_{(t)} = 0.5951 = 59.51\%$$

4.2.6. PROBABILIDAD DE FALLO

$$F_{(t)} = 1 - R_{(t)} = 1 - 0.5951$$

$$F_{(t)} = 0.4049 = 40.49\%$$

Realizando el mismo proceso de análisis matemático para todos los subsistemas de la Estación Radio Base 4G-LTE y utilizando la aplicación computacional (Excel de Microsoft Office), se tiene la siguiente tabla de resultados antes de la implementación del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad:

Tabla 4.4. *Análisis de Confiabilidad, Sistema y Subsistemas de una RBS sin MCC*

ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD SIN MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD										
SUBSISTEMA	Numero Elementos	Numero Fallas	Tiempo Operativo (días/año)	Tiempo NO Operativo (días/año)	MTBF	MTTR	DISPONIBILIDAD	TASA DE FALLO λ	CONFIABILIDAD $R(t)\%$	PROBABILIDAD FALLA $F(t)\%$
NODO B	1	1,95	363	0,5	186,15	0,26	0,9986	0,0054	14,23%	85,77%
RADIO FRECUENCIA	6	3,05	362	2	712,13	0,66	0,9991	0,0014	60,15%	39,85%
ENERGÍA ELÉCTRICA	8	2,9	363	2	1.001,38	0,69	0,9993	0,0010	69,59%	30,41%
TRANSPORTE	3	2	361	2	541,50	1,00	0,9982	0,0018	51,34%	48,66%
INFRAESTRUCTURA	3	1	364	0,5	1.092,00	0,50	0,9995	0,0009	71,65%	28,35%
SISTEMA	21	10,9	359	7	691,65	0,64	0,9991	0,0014	59,51%	40,49%

FUENTE: Elaboración propia.

En la tabla podemos hacer algunas consideraciones como: el tiempo de análisis es de un año entero, 365 días, los cuales los sistemas de las Estaciones Radio Bases, deben de estar funcionando, el tiempo No operativo es realmente bajo en comparación al tiempo operativo, esto se debe a que los servicios de Telecomunicaciones son servicios básicos, y están controlados y sancionados en caso de cortes de servicio, por la (ATT, Autoridad de Transporte y Telecomunicaciones), por lo que la operadora, no pueden darse el lujo de no estar en funcionamiento, y la intervención debe ser rápida por parte de la empresa de mantenimiento.

4.3 ANÁLISIS DE FALLOS POR GRAFICA DE PARETO

Pareto sirve para conseguir el mayor nivel de mejora con el menor esfuerzo posible, es pues una herramienta de selección que se aconseja aplicar en la fase inicial de evaluación de fallos, que corresponde al enfoque de identificar o centrar la atención en el 20% de los elementos que provocan el 80% de los problemas, en vez de extenderse a toda la población se cuantifican las mejoras que se alcanzaran solucionando los problemas alcanzados.

A continuación se incluye la tabla de Pareto, el cual permite facilitar el estudio comparativo de numerosas fallas del sistema, el número de fallas es el promedio de las fallas de las 20 RBS, analizadas anteriormente.

Tabla 4.5. *Tabla de Análisis por Método de Pareto*

Elemento/Equipo funcional	Fallas/Año	Frecuencia acumulada	Porcentaje de falla	Porcentaje acumulado de falla
RRU 3908	3	3	27%	27%
DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN ELÉCTRICA	3	6	27%	53%
BBU 3900	2	8	18%	71%
ENLACE POR F.O.	2	10	18%	88%
ANTENAS	0,5	10,5	4%	93%
RECTIFICADORES	0,3	10,8	3%	96%
AIRE ACONDICIONADO	0,2	11	2%	97%
BALIZA	0,1	11,1	1%	98%
TIERRA	0,1	11,2	1%	99%
MICROONDAS	0,1	11,3	1%	100%

FUENTE: Elaboración propia.

Una vez desarrollada la tabla de Pareto se puede realizar la Gráfica de Pareto, que nos muestra de una manera más entendible, los equipos o elementos del sistema que provocan la mayor cantidad de fallas.

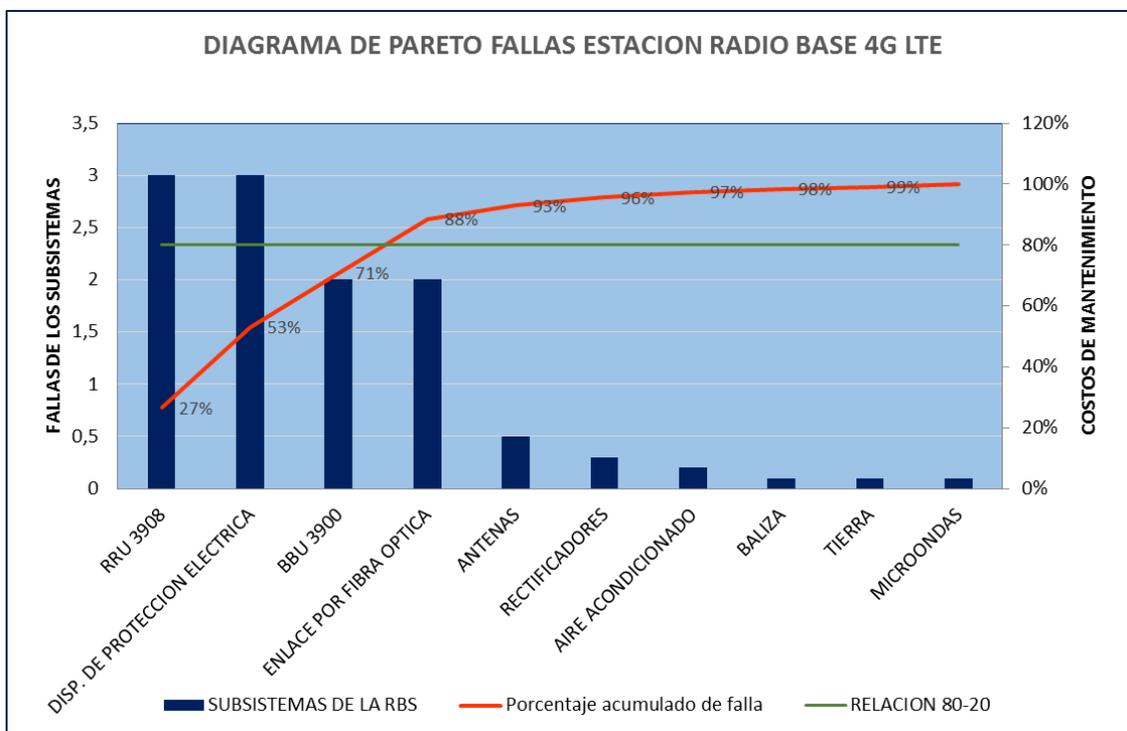


Figura 4.1. Gráfica de Pareto aplicado a RBS

FUENTE: Elaboración propia.

De acuerdo a la Gráfica de Pareto observamos que los Elementos/Equipos que nos dan más frecuencia de Fallas justamente están entre los subsistemas de RADIO ENLACE, Y ENERGÍA ELÉCTRICA, los cuales se basan en datos proporcionados por la empresa de mantenimiento de TELECEL S.A.,

CAPÍTULO V
APLICACIÓN DE
LA
METODOLOGÍA
DEL MCC



CAPÍTULO V APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DEL MCC PARA RBS 4G-LTE

Para poder aplicar la Metodología del MCC en cualquier ámbito se necesitan de dos aspectos fundamentales:

5.1 PROCESO METODOLÓGICO DEL MCC

El proceso de la metodología MCC se basa en las siete preguntas explicadas anteriormente:

- 1 ¿Cuál es la Función del activo (F)?
- 2 ¿Cuál es la Falla Funcional (FF)?
- 3 ¿Cuál el Modo de Falla (MF)?
- 4 ¿Qué Efecto produce el Modo de Falla?
- 5 ¿Qué Consecuencia produce el Modo de Falla?
- 6 ¿Qué acción de mantenimiento se puede hacer para prevenir la falla?
- 7 ¿Qué sucede si no puede prevenirse la falla?

5.2 SISTEMA DEFINIDO DE UNA RBS 4G - LTE

Haciendo un resumen de los subsistemas que componen el sistema de una Estación Radio Base con tecnología 4G-LTE, se tiene lo siguiente

SISTEMA: Estación Radio Base de Telecomunicaciones 4G-LTE. (RBS TIPO).

Está compuesta por los siguientes Subsistemas:

- **SUBSISTEMA:** NODO B
- **SUBSISTEMA:** RADIO FRECUENCIA
- **SUBSISTEMA:** ENERGÍA ELÉCTRICA
- **SUBSISTEMA:** TRANSPORTE
- **SUBSISTEMA:** INFRAESTRUCTURA

5.3 ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLOS (AMEF)

Tabla 5.0.1. MCC, Hoja de Registro Análisis de Modos y Efectos de Fallos (AMEF) – SUBSISTEMA NODO B.

MCC: Hoja de Registro Análisis de Modos y Efectos de Fallos (AMEF)				SUBSISTEMA NODO B BBU 3900		
N°	Función (F)	N°	Fallo Funcional (FF)	N°	Modo de Fallo (MF)	Efecto de Fallo (EF)
1	Controlar, Transmitir y Procesar la señal de transmisión de datos hacia la Red Móvil	1	La BBU 3900 no funciona de manera adecuada en el control, transmisión y procesamiento de datos hacia la Red Móvil	1	Tensión de alimentación a la BBU 3900 inadecuado	No existe Tx/Rx de datos hacia la Red Móvil
				2	Tensión de alimentación a la tarjeta LMPT dentro del BBU inadecuado	No existe Tx/Rx de datos hacia la Red Móvil
				3	La tarjeta LMPT está dañada	No se pueden procesar los datos de transmisión de la Red Móvil
				4	El software de la BBU 3900 está defectuoso	No se pueden procesar los datos de transmisión de la Red Móvil
				5	Puertos Tx/Rx de datos estas dañados	No se puede detectar la señal Tx/Rx de la Red Móvil
				6	No funciona el FAN de la BBU 3900	La Tx a la ATN 910 es deficiente.
2	Procesar la señal banda base en Uplink y Downlink entre la BBU 3900 Y RRU 3908	1	Procesamiento defectuoso de la señal Banda Base	1	Tensión de alimentación a la BBU 3900 inadecuado	No se puede procesar la señal banda base entre la BBU Y RRU
				2	Tensión de alimentación a la tarjeta LBBP inadecuado	No se puede procesar la señal banda base entre la BBU Y RRU
				3	Tarjeta LBBP dañada	No se puede procesar la señal banda base entre la BBU Y RRU
				4	El módulo óptico de Tx/Rx está dañado	No se puede detectar la señal óptica entre BBU 3900 y RRU 3908

N°	Función (F)	N°	Fallo Funcional (FF)	N°	Modo de Fallo (MF)	Efecto de Fallo (EF)
2		1		5	El módulo de Banda Base tiene falla de hardware	No detecta la señal banda base entre BBU 3900 y RRU 3908
				6	Puertos CPRI de comunicación entre BBU 3900 Y RRU 3908 con falla	No se puede detectar la señal óptica entre BBU 3900 y RRU 3908
				7	Cable óptico de comunicación entre BBU 3900 y RRU 3908 defectuoso	No existe comunicación entre BBU 3900 y RRU 3908
3	Verificar la Estación Radio Base en términos de Operación y Mantenimiento (O&M).	1	No se puede verificar la RBS en términos de Operación y Mantenimiento mediante la BBU 3900	1	Sistema de verificación de O & M de la BBU3900 defectuoso	La operación y Mantenimiento mediante la BBU3900 es inoperante
				2	Puerto USB de tarjeta LBBP defectuosos	No existe acceso a la operación y Mantenimiento de la RBS mediante la BBU3900
				3	Puerto TST de tarjeta LBBP defectuoso	No existe acceso a la operación y Mantenimiento de la RBS mediante la BBU 3900
				4	Puerto RJ-45 de tarjeta LBBP defectuoso	No existe acceso a la operación y Mantenimiento de la RBS mediante la BBU 3900
4	Alimentar con diferentes niveles de tensión de acuerdo a las tarjetas que se instalan en la BBU 3900 con tensiones adecuadas.	1	No alimenta con tensiones adecuadas a las diferentes tarjetas que conforman la BBU3900	1	Tensión de alimentación a la BBU3900 inadecuado	No se tiene funcionamiento del equipo
				2	Tensión de alimentación a la tarjeta UPEU inadecuado	No se tiene funcionamiento de la tarjeta
				3	Tarjeta UPEU dañada	No se puede alimentar a las otras tarjetas
				4	Puertos de salida de la tarjeta defectuosos	No se puede alimentar a las otras tarjetas

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.0.2. MCC, Hoja de Registro Análisis de Modos y Efectos de Fallos (AMEF) – SUBSISTEMA RADIO FRECUENCIA.

MCC: Hoja de Registro Análisis de Modos y Efectos de Fallos (AMEF)				SUBSISTEMA RADIO FRECUENCIA RRU 3908 y antenas sectoriales		
N°	Función (F)	N°	Fallo Funcional (FF)	N°	Modo de Fallo (MF)	Efecto de Fallo (EF)
1	Transmitir y Recibir las señales de Radio Frecuencia de las unidades terminales (Teléfonos móviles y otros que soportan la tecnología)	1	No Transmite ni Recepciona las señales de Radio Frecuencia hacia y desde las terminales remotas como los teléfonos celulares	1	Sujeción de la antena a la estructura de la RBS, defectuosa	La Tx/Rx no está en óptimas condiciones
				2	Puertos de conexión ANT-TX/RX de la antena defectuosos	La comunicación entre la antena y la RRU no está en óptimas condiciones
				3	Jumper's de conexión en mal estado	La comunicación entre la antena y la RRU es intermitente
				4	Vulcanizado de Jumper's de conexión defectuoso	La comunicación entre la antena y la RRU es intermitente
				5	Cable Feeder entre RRU y antena, defectuoso	La comunicación entre la antena y la RRU es intermitente
				6	Duplexor defectuoso	Tx y Rx de la señal inadecuada.
				7	Tilt eléctrico, incorrecto	Tx y Rx de la señal inadecuada.
				8	Tilt mecánico, incorrecto	Tx y Rx de la señal inadecuada.
				9	Azimut de la antena, incorrecto	Tx y Rx de la señal inadecuada.
2	Acondicionar la señal de Radio Frecuencia de Uplink y Downlink del subsistema radiante a señal banda base	1	No puede acondicionar la señal de Radio Frecuencia que recibe del sistema radiante	1	Voltaje a la RRU 3908 inadecuado	La RRU 3908 no funciona
				2	Cable de Alimentación de energía hacia la RRU 3908 dañado	La RRU 3908 no funciona
				3	Puerto de conexión de Radio frecuencia dañado	La comunicación entre la antena y la RRU es intermitente
				4	Cable de comunicación de Radio Frecuencia dañado	La comunicación entre la antena y la RRU es intermitente

N°	Función (F)	N°	Fallo Funcional (FF)	N°	Modo de Fallo (MF)	Efecto de Fallo (EF)
2		1		5	Jumper's de conexión en mal estado	La comunicación entre la antena y la RRU es intermitente
				6	Vulcanizado de jumper de conexión defectuoso	La comunicación entre la antena y la RRU es intermitente
				7	Tarjeta de Acondicionamiento de la Señal dañada	La señal recibida no puede ser acondicionada
				8	Tarjeta Amplificadora de señal dañada	La señal no puede ser amplificada para su radiación
				9	VSWR elevado en el Cable Feeder entre la RRU 3908 y la antena	Existe pérdida de potencia y deficiencia en la señal
3	Comunicar la banda base de Uplink y Downlink entre la BBU 3900 y la RRU 3908, mediante comunicación óptica entre los interfaces CPRI	1	No puede establecer comunicación de datos entre la BBU 3900 y la RRU 3908	1	Tensión de alimentación a la RRU 3908 inadecuado	La RRU 3908 no funciona
				2	Cable de Alimentación de energía dañado	La RRU 3908 no funciona
				3	Tarjeta de distribución de tensión interna en la RRU 3908 dañada	No se puede alimentar de manera correcta a las tarjetas de la RRU
				4	Puerto CPRI óptico de conexión de banda base dañado	No existe conexión entre la RRU y la BBU
				5	Cables de fibra óptica para comunicación de banda base dañados	No existe conexión entre la RRU y la BBU
				6	Módulos ópticos de conversión óptico a eléctrico dañados	No existe conexión entre la RRU y la BBU

N°	Función (F)	N°	Fallo Funcional (FF)	N°	Modo de Fallo (MF)	Efecto de Fallo (EF)
4	Proporcionar puertos para la comunicación con la BBU 3900 y la RRU 3908.	1	Los puertos de comunicación hacia la BBU 3900 Y RRU 3908 no funcionan	1	Tensión de alimentación a la RRU 3908 inadecuado	La RRU 3908 no funciona
				2	Cable de Alimentación de energía dañado	La RRU 3908 no funciona
				3	Tarjeta interfaz para la comunicación hacia la antena, dañada.	La comunicación entre la BBU Y RRU en intermitente
				4	Puertos CPRI para la conexión a cable óptico, dañado.	La comunicación entre la BBU Y RRU en intermitente
5	Controlar la inclinación del patrón de radiación de la señal de radio emitida por la antena	1	No controla la inclinación del patrón de radiación de la subsistema radiante	1	Tarjeta de control de inclinación de radiación defectuosa	No se puede controlar la inclinación remota de las antenas
				2	Puertos RET dañados de la RRU o de la antena	No existe comunicación entre la RRU y la antena para el RET
				3	Cable RET defectuoso	No existe comunicación entre la RRU y la antena para el RET
				4	Vulcanizado defectuoso en las conexiones del cable RET	La comunicación entre la RRU y la antena para el RET puede fallar

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.0.3. MCC, Hoja de Registro Análisis de Modos y Efectos de Fallos (AMEF) – SUBSISTEMA ENERGÍA ELÉCTRICA.

MCC: Hoja de Registro Análisis de Modos y Efectos de Fallos (AMEF)				SUBSISTEMA ENERGÍA ELÉCTRICA Acometida y tableros, rectificadores, tierra, banco de baterías		
N°	Función (F)	N°	Fallo Funcional (FF)	N°	Modo de Fallo (MF)	Efecto de Fallo (EF)
1	Proveer de energía eléctrica en Corriente Alterna al tablero principal de la Estación Radio Base (RBS)	1	La Estación Radio Base no tiene Energía Eléctrica	1	No hay energía eléctrica de la red de distribución	La radio base no funciona
				2	El Fusible del tablero de medición principal está abierto	No se puede alimentar con energía Eléctrica a la RBS
				3	El Termo magnético principal a detectado una sobre corriente y esta defectuoso	La Estación Radio Base debe usar su sistema de respaldo.
2	Alimentar las diferentes cargas eléctricas en Corriente Alterna con niveles de tensión adecuados	1	Las cargas eléctricas en corriente alterna no tienen alimentación de energía eléctrica	1	El conductor eléctrico que alimenta una carga específica está dañado	La carga eléctrica en alterna no funciona
				2	La conexión en el terminal del equipo es defectuoso	La carga eléctrica en alterna no funciona
				3	Existe un corto circuito entre el tablero secundario y la carga eléctrica	La carga eléctrica en alterna no funciona
				4	El Termo magnético al que está conectada la carga está abierto	La carga eléctrica en alterna no funciona

N°	Función (F)	N°	Fallo Funcional (FF)	N°	Modo de Fallo (MF)	Efecto de Fallo (EF)
3	Rectificar la Corriente Alterna en Corriente Continua para alimentar las cargas en DC con niveles de tensión adecuados.	1	No rectifica la Corriente Alterna en Corriente Continua	1	No llega alimentación de energía eléctrica al rectificador	El rectificador no funciona
				2	Nivel de tensión inadecuado al ingreso del Rectificador	El rectificador funciona de manera inadecuada
				3	Equipo Rectificador defectuoso	Las cargas DC no tienen energía.
				4	Ventilador (FAN) del gabinete rectificador, defectuoso	El rectificador funciona de manera inadecuada
				5	Protección contra transientes no instalado adecuadamente	El rectificador funciona de manera inadecuada
4	Proporcionar seguridad a los equipos y personal cuando existen fallas de energía eléctrica o descargas atmosféricas	1	No brinda seguridad a los equipos y el personal técnico cuando se presentan problemas de descargas eléctricas.	1	Termo magnéticos en mal estado	Equipos arruinados o personal con accidentes eléctricos
				2	Sistema de tierra con elevado nivel de resistencia.	Equipos arruinados o personal con accidentes eléctricos
				3	Conexiones defectuosas de los conductores al sistema de tierra	Equipos arruinados o personal con accidentes eléctricos
				4	Conductores del sistema de tierra defectuosos	Equipos arruinados o personal con accidentes eléctricos
5	Dar respaldo de energía eléctrica, para que la RBS, siga funcionando.	1	No funciona el respaldo de energía eléctrica.	1	Circuito de transferencia a energía de respaldo defectuoso	La RBS no funciona hasta que se restablezca la CA convencional
				2	Banco de baterías con nivel de tensión inadecuado	La RBS no funciona hasta que se restablezca la CA convencional
				3	Conexión de los conductores del sistema de respaldo defectuoso	La RBS no funciona hasta que se restablezca la CA convencional
				4	Conductores del sistema de respaldo hacia la carga defectuosos.	La RBS no funciona hasta que se restablezca la CA convencional

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.0.4. MCC, Hoja de Registro Análisis de Modos y Efectos de Fallos (AMEF) – SUBSISTEMA TRANSPORTE.

MCC: Hoja de Registro Análisis de Modos y Efectos de Fallos (AMEF)				SUBSISTEMA TRANSPORTE Radio enlace Microondas y Enlace Óptico Fibra óptica		
N°	Función (F)	N°	Fallo Funcional (FF)	N°	Modo de Fallo (MF)	Efecto de Fallo (EF)
1	Establecer el transporte de datos mediante Radio Enlace	1	No establece transporte de datos entre la Estación Radio Base y la Red Móvil mediante el Radio Enlace	1	Alimentación de energía a los equipos de radio enlace inadecuado	Los equipos y la antena no funcionan
				2	Equipo de Radio enlace defectuoso	En radio enlace no funciona
				3	Antena de microondas defectuosa	No existe tráfico de datos a la RBC
				4	Antena de microondas mal sujeta a la estructura de la RBS	El tráfico de datos no es óptimo
				5	Línea de vista inadecuada	El tráfico de datos no es óptimo
				6	Cable entre Downconverter y la antena dañado	El tráfico de datos no es óptimo
				7	Configuración del software de la antena de microondas inadecuada	El tráfico de datos no es óptimo
2	Establecer el transporte de datos mediante Radio Enlace	1	No establece transporte de datos entre la Estación Radio Base y la Red Móvil mediante el enlace óptico	1	Alimentación de energía eléctrica al equipo ATN 910 inadecuado	El equipo ATN 910 no funciona
				2	Equipo ATN 910 defectuoso	El equipo ATN 910 no funciona
				3	Modulo óptico del equipo ATN 910 defectuoso	El tráfico de datos no es óptimo
				4	Conectores de fibra óptica defectuosos	El tráfico de datos no es óptimo
				5	Cable de fibra óptica defectuoso	El tráfico de datos no es óptimo
				6	Atenuación en cable de F.O.	El tráfico de datos no es óptimo

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.0.5. MCC, Hoja de Registro Análisis de Modos y Efectos de Fallos (AMEF) – SUBSISTEMA INFRAESTRUCTURA.

MCC: Hoja de Registro Análisis de Modos y Efectos de Fallos (AMEF)				SUBSISTEMA INFRAESTRUCTURA Iluminación interior y exterior, Baliza, Aire Acondicionada		
N°	Función (F)	N°	Fallo Funcional (FF)	N°	Modo de Fallo (MF)	Efecto de Fallo (EF)
1	Proporcionar niveles de iluminación adecuados, para realizar trabajos de operación y mantenimiento, tanto en la parte interior como exterior.	1	No proporciona los niveles adecuados de iluminación en la Estación Radio Base	1	No hay alimentación de energía eléctrica por parte del distribuidor	La Estación radio Base no tiene iluminación interior ni exterior
				2	La carga eléctrica lumínica esta quemada	No hay iluminación donde la carga lumínica esta quemada
				3	Los conductores que alimentan las cargas están defectuosos	No hay iluminación donde los conductores son defectuosos
				4	La conexión de los conductores hacia las cargas es defectuosa	La Estación radio Base no tiene iluminación interior ni exterior
				5	Los termo magnéticos del sistema de iluminación están dañados	La Estación radio Base no tiene iluminación interior ni exterior
2	Señalizar por la noche la infraestructura de la Estación Radio Base para ubicar su posición y alimentación de energía eléctrica.	1	La señalización no funciona de manera adecuada	1	No hay alimentación de energía eléctrica por parte del distribuidor	La Estación radio Base no tiene señalización de Baliza
				2	La Baliza esta quemada	La Estación radio Base no tiene señalización de Baliza
				3	Los conductores eléctricos que alimentan la Baliza están defectuosos	La Estación radio Base no tiene señalización de Baliza
				4	La conexión de los conductores hacia la Baliza es defectuosa	La Estación radio Base no tiene señalización de Baliza
				5	Los termo magnéticos del sistema de iluminación están dañados	La Estación radio Base no tiene señalización de Baliza

N°	Función (F)	N°	Fallo Funcional (FF)	N°	Modo de Fallo (MF)	Efecto de Fallo (EF)
3	Mantener niveles adecuados temperatura para el correcto funcionamiento de los equipos	1	No mantiene los niveles adecuados de temperatura	1	No hay alimentación de energía eléctrica por parte del distribuidor	El sistema de aire acondicionado no funciona y los equipos pueden calentar
				2	Los equipos de aire acondicionado están defectuosos	El sistema de aire acondicionado no funciona y los equipos pueden calentar
				3	Los conductores eléctricos que alimentan los equipos de aire acondicionado están defectuosos	El sistema de aire acondicionado no funciona y los equipos pueden calentar
				4	La conexión de los conductores hacia los equipos de aire acondicionado es defectuosa	El sistema de aire acondicionado no funciona y los equipos pueden calentar
				5	Los termo magnéticos del sistema de aire acondicionado están dañados	El sistema de aire acondicionado no funciona y los equipos pueden calentar

Fuente: Elaboración propia.

5.4 ANÁLISIS DE LOS EFECTOS DE LOS MODOS DE FALLOS Y CRITICIDAD (FMECA)

Hasta este punto, se ha finalizado el “Análisis Funcional”. Conocidos los efectos de los modos de fallo, se procede a evaluar la criticidad de los mismos, es decir, el impacto que su aparición conlleva sobre las áreas de:

- **Seguridad**
- **Calidad**
- **Medio Ambiente**
- **Producción**
- **Frecuencia**
- **Mantenibilidad**
- **Detección**

Se da comienzo al análisis de FMECA (Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis).

La naturaleza y severidad de las consecuencias de los modos de fallos deben ser los aspectos que gobiernen la selección de las actividades de mantenimiento a ejecutar sobre los activos a mantener. En el caso de modos de fallos altamente críticos, se deberán considerar actividades para prevenir la aparición de los mismos o actividades que permitan anticipar dicha aparición.

El criterio de evaluación de criticidad considerado será el siguiente:

$$\text{Criticidad} = \text{Impacto operacional} + \text{Ocurrencia}$$

Dónde:

- **Impacto operacional** = Seguridad + Medio ambiente + Calidad + Producción
- **Ocurrencia** = Frecuencia + Mantenibilidad + Detección

Para la evaluación de esta criticidad, nos basamos en la valoración definida de cada una de las situaciones que a continuación se presentan en las tablas de valores siguientes:

Tabla 5.6. *Ponderación de Seguridad*

Seguridad	Analiza el impacto del modo de fallo en la seguridad de los trabajadores (riesgo de accidentes debido a fallo)	Código (S)
Efecto	Descripción	Valor
Ninguno	La ocurrencia del fallo no tiene ningún efecto	0
Bajo	La ocurrencia del fallo puede crear riesgos sin baja o accidente	1
Medio	La ocurrencia del fallo puede crear baja o indisponibilidad temporal	2
Alto	La ocurrencia del fallo puede provocar muerte o indisponibilidad permanente	3

Fuente: Artículo (Sistema para evaluar la confiabilidad – María C. Gasca).

Tabla 5.7. *Ponderación de Medio Ambiente*

Medio Ambiente	Analiza el impacto del modo de fallo en el medio ambiente (riesgo de accidentes medioambientales debido a fallos)	Código (MA)
Efecto	Descripción	Valor
Ninguno	Sin efectos	0
Bajo	No tiene ningún efecto medio ambiental	1
Medio	Puede causar impacto interno de parámetros o especificaciones legales	2
Alto	Puede causar impacto externo de parámetros o especificaciones legales	3

Fuente: Artículo (Sistema para evaluar la confiabilidad – María C. Gasca).

Tabla 5.8. *Ponderación de Calidad*

Calidad	Analiza el impacto del modo de fallo en la calidad final del producto	Código (C)
Efecto	Descripción	Valor
Ninguno	No causa ningún efecto	0
Bajo	Puede causar un reproceso de la producción	1
Medio	Puede causar disconformidades con posibilidad de rechazo de un lote	2
Alto	Puede causar rechazo directamente por parte del consumidor final	3

Fuente: Artículo (Sistema para evaluar la confiabilidad – María C. Gasca).

Tabla 5.9. *Ponderación de Producción*

Producción	Analizar el impacto del modo de fallo en la producción	Código (P)
Efecto	Descripción	Valor
Ninguno	No causa ningún efecto	0
Bajo	Puede crear paradas de <30 minutos	1
Medio	Puede crear paradas entre (30 y 120) minutos	2
Alto	Puede crear paradas > 120 minutos o rechazo > 2%	3

Fuente: Artículo (Sistema para evaluar la confiabilidad – Maria C. Gasca).

Tabla 5.10. *Ponderación de Frecuencia*

Frecuencia	Analiza con qué frecuencia el modo de fallo ocurre en el equipo	Código (Fr)
Efecto	Descripción	Valor
Ninguno	0 – 1 Fallos por año	0
Bajo	1 < Fallos por año < 5	1
Medio	5 < Fallos por año < 10	2
Alto	Fallos por año > 10	3

Fuente: Artículo (Sistema para evaluar la confiabilidad – Maria C. Gasca).

Tabla 5.11. *Ponderación de Mantenibilidad*

Mantenibilidad	Analiza la dificultad para reparar, el tiempo necesario para la reparación	Código (M)
Efecto	Descripción	Valor
Ninguno	Tiempo de restauración < 30 minutos	0
Bajo	30 minutos ≤ Tiempo de restauración < 2 horas	1
Medio	2 horas ≤ Tiempo de restauración < 4 horas	2
Alto	Tiempo de restauración ≥ 4 horas	3

Fuente: Artículo (Sistema para evaluar la confiabilidad – Maria C. Gasca).

Tabla 5.12. *Ponderación de Detección*

Detección	Analiza la dificultad de detectar diferentes tipos de fallo antes de que ocurran	Código (D)
Efecto	Descripción	Valor
Ninguno	El fallo es fácilmente detectable por el operador con una inspección visual y no es necesario un plan de mantenimiento	0
Bajo	El fallo puede ser detectado por el operador durante la revisión de las tareas del Mantenimiento preventivo (MP)	1
Medio	El fallo sólo puede ser detectado a través de una intervención técnica de inspección o mantenimiento predictivo	2
Alto	El fallo no puede ser detectado a través de las técnicas conocidas	3

Fuente: Artículo (Sistema para evaluar la confiabilidad – Maria C. Gasca).

De esta forma obtenemos un valor de criticidad para cada modo de fallo, con el cual se puede obtener una buena aproximación cuantitativa del impacto de cada uno sobre el sistema de estudio.

Una vez obtenidos los valores de criticidad para cada modo de fallo, nos basaremos en el siguiente Diagrama de flujo el cual representa el camino a seguir en función a los resultados obtenidos anteriormente y la selección de las posibles alternativas a realizar:

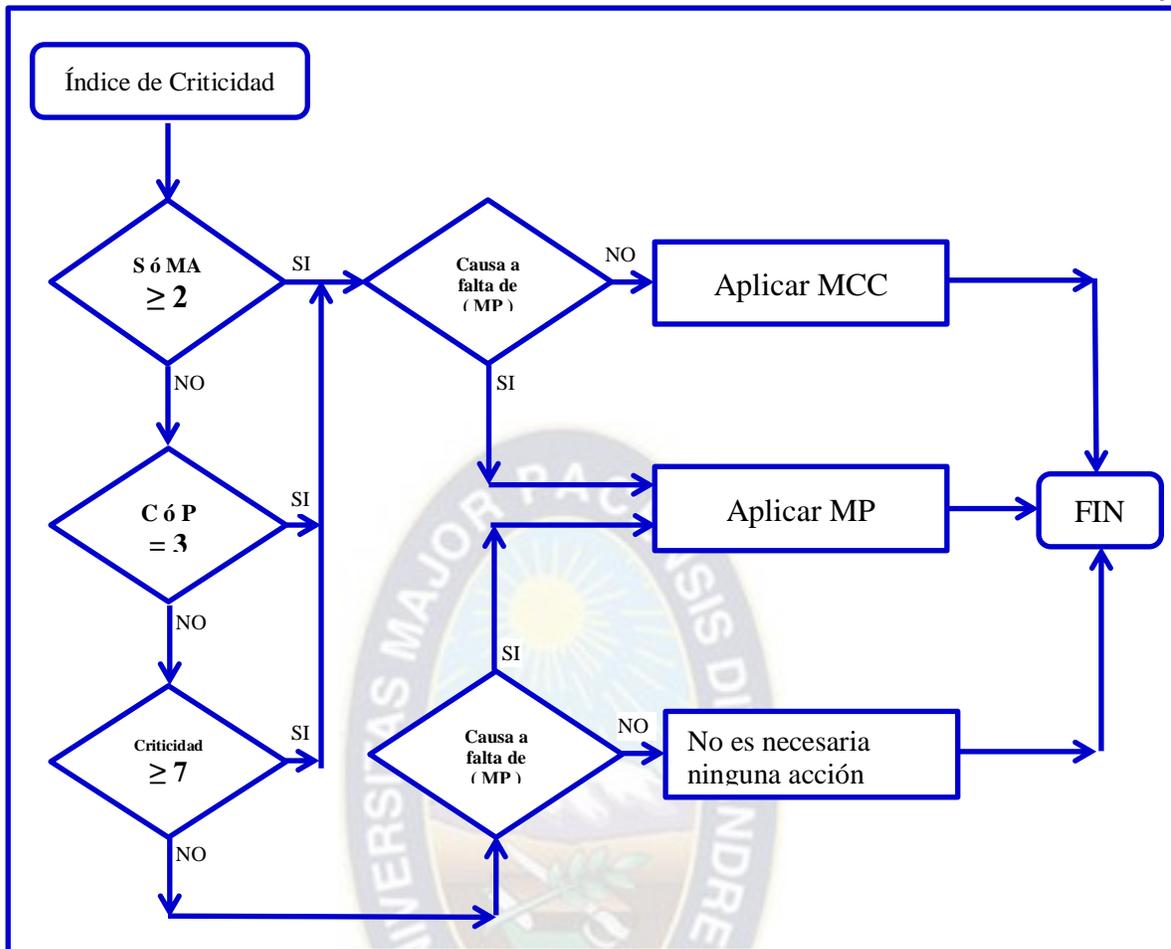


Figura 5.1. Flujograma para Análisis de Resultados de (FMECA)

Fuente: Metodología RCM – Marín Alcaide

Dentro de la realización de las hojas del FMECA se ha llevado a cabo un proceso de análisis y recopilación de información para obtener las principales causas que dan origen a la aparición de cada modo de fallo.

Este estudio resulta de gran utilidad para la posterior selección de la política de mantenimiento a escoger según el resultado saliente del árbol de decisión MCC. Se trata de profundizar aún más en el origen del modo de fallo con el objetivo de recabar la mayor cantidad de información relacionada, de forma que la acción resultante para evitar el fallo sea lo más efectiva posible.

A continuación tablas que reflejan el análisis de los modos de fallos, efectos de fallos y en función a la recopilación de información contrastada con el impacto operacional y la ocurrencia obtenemos valores de CRITICIDAD.

Dónde:

- F : Función del activo
- FF : Falla Funcional
- MF : Modo de Fallo
- S : Seguridad
- MA : Medio ambiente
- C : Calidad
- P : Producción
- Fr : Frecuencia
- M : Mantenibilidad
- D : Detección
- MCC : Mantenimiento Centrado en Confiabilidad
- MP : Mantenimiento preventivo
- NA : No aplica ninguna acción de mantenimiento

Tabla 5.13. MCC, Hoja de Registro de Análisis de Modos, Efectos de fallos y Criticidad – SUBSISTEMA NODO B

MCC: Hoja de Registro Análisis de Modos, Efectos de Fallos y Criticidad (FMECA)							SUBSISTEMA NODO B BBU 3900						
Información de Referencia			Impacto				Ocurrencia			Criticidad	Acción a Aplicar		
F	FF	MF	S	MA	C	P	Fr	M	D		MCC	MP	NA
1	1	1	0	0	3	1	1	1	0	6	MCC		
		2	0	0	3	1	1	1	0	6	MCC		
		3	0	0	3	2	1	2	0	8	MCC		
		4	0	0	3	2	0	1	1	7	MCC		
		5	0	0	3	2	0	1	0	6	MCC		
		6	0	0	2	2	1	0	0	5	MP		
2	1	1	0	0	3	1	1	0	0	5	MP		
		2	0	0	3	1	1	0	0	5	MCC		
		3	0	0	3	2	0	1	0	6	MCC		
		4	0	0	3	2	0	1	1	7	MCC		
		5	0	0	3	2	0	1	1	7	MCC		
		6	0	0	3	1	1	0	0	5	MCC		
		7	0	0	3	1	1	1	0	6	MCC		
3	1	1	0	0	0	0	2	1	1	4	MP		
		2	0	0	0	0	1	1	0	2	MP		
		3	0	0	0	0	0	1	0	1	MP		
		4	0	0	0	0	0	1	0	1	MP		
4	1	1	0	0	1	1	1	1	0	4	MP		
		2	0	0	1	1	1	1	0	4	MP		
		3	0	0	1	1	0	1	0	3	MP		
		4	0	0	1	1	0	1	0	3	MP		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.14. MCC, Hoja de Registro de Análisis de Modos, Efectos de fallos y Criticidad –
SUBSISTEMA RADIO FRECUENCIA.

MCC: Hoja de Registro Análisis de Modos, Efectos de Fallos y Criticidad (FMECA)							SUBSISTEMA RADIO FRECUENCIA RRU 3908 y Antenas sectoriales						
Información de Referencia			Impacto				Ocurrencia			Criticidad	Acción a Aplicar		
F	FF	MF	S	MA	C	P	Fr	M	D		MCC	MP	NA
1	1	1	0	0	2	1	0	0	1	4	MP		
		2	0	0	2	1	1	1	0	5	MP		
		3	0	0	2	1	1	1	1	6	MP		
		4	0	0	2	1	1	1	1	6	MP		
		5	0	0	3	1	1	1	1	7	MCC		
		6	0	0	2	1	1	1	1	6	MP		
		7	0	0	2	1	1	1	1	6	MP		
		8	0	0	2	1	0	1	1	5	MP		
2	1	1	0	0	3	1	0	0	0	4	MCC		
		2	0	0	3	1	0	0	0	4	MCC		
		3	0	0	3	1	0	1	0	5	MCC		
		4	0	0	3	2	1	1	1	8	MCC		
		5	0	0	2	1	1	1	1	6	MP		
		6	0	0	2	1	0	1	1	5	MP		
		7	0	0	3	2	0	1	0	6	MCC		
		8	0	0	3	2	0	1	0	6	MCC		
		9	0	0	2	1	1	1	1	6	MP		
3	1	1	0	0	3	1	0	0	0	4	MCC		
		2	0	0	3	1	0	0	0	4	MCC		
		3	0	0	3	1	0	1	1	6	MCC		
		4	0	0	3	1	1	1	0	6	MCC		
		5	0	0	3	1	1	1	0	6	MCC		
		6	0	0	3	1	1	1	0	6	MCC		
4	1	1	0	0	3	1	0	0	0	4	MCC		
		2	0	0	3	1	0	0	0	4	MCC		
		3	0	0	3	2	0	1	0	6	MCC		
		4	0	0	3	2	1	1	0	7	MCC		
5	1	1	0	0	1	1	0	1	1	4	MP		
		2	0	0	1	1	0	1	1	4	MP		
		3	0	0	1	1	0	0	1	3	MP		
		4	0	0	1	1	1	1	1	5	MP		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.15. MCC, Hoja de Registro de Análisis de Modos, Efectos de fallos y Criticidad –
SUBSISTEMA ENERGÍA ELÉCTRICA.

MCC: Hoja de Registro Análisis de Modos, Efectos de Fallos y Criticidad (FMECA)							SUBSISTEMA ENERGÍA ELÉCTRICA Acometidas, tableros, rectificadores, tierra y banco de baterías						
Información de Referencia			Impacto				Ocurrencia			Criticidad	Acción a Aplicar		
F	FF	MF	S	MA	C	P	Fr	M	D		MCC	MP	NA
1	1	1	0	0	3	2	0	1	0	6	NA		
		2	0	0	3	1	0	1	1	6	MCC		
		3	0	0	3	1	1	0	1	6	MCC		
2	1	1	0	0	1	1	1	1	1	5	MP		
		2	0	0	1	1	0	0	1	3	MP		
		3	0	0	2	2	1	1	1	7	MCC		
		4	0	0	2	2	1	1	1	7	MCC		
3	1	1	0	0	3	2	1	1	0	7	MP		
		2	0	0	3	2	1	1	0	7	MCC		
		3	0	0	3	2	1	1	0	7	MCC		
		4	0	0	1	1	1	1	0	4	MP		
		5	0	0	1	1	0	1	1	4	MP		
4	1	1	1	0	1	1	1	1	1	6	MP		
		2	1	0	1	1	0	2	1	6	MP		
		3	1	0	1	1	1	1	1	6	MP		
		4	1	0	1	1	0	2	1	6	MP		
5	1	1	0	0	3	2	0	1	1	7	MP		
		2	0	0	3	2	0	1	1	7	MP		
		3	0	0	3	2	0	1	1	7	MP		
		4	0	0	3	2	0	1	1	7	MP		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.0.1. MCC, Hoja de Registro de Análisis de Modos, Efectos de fallos y Criticidad –
SUBSISTEMA TRANSPORTE.

MCC: Hoja de Registro Análisis de Modos, Efectos de Fallos y Criticidad (FMECA)							SUBSISTEMA TRANSPORTE Radio enlace Microondas y enlace por F.O.						
Información de Referencia			Impacto				Ocurrencia			Criticidad	Acción a Aplicar		
F	FF	MF	S	MA	C	P	Fr	M	D		MCC	LI	NA
1	1	1	0	0	3	1	0	1	0	5	MCC		
		2	0	0	3	1	0	1	0	5	MCC		
		3	0	0	3	1	0	2	0	6	MCC		
		4	0	0	2	1	1	1	1	6	MP		
		5	0	0	2	1	1	1	0	5	MP		
		6	0	0	2	1	1	1	0	5	MP		
		7	0	0	2	1	1	1	0	5	MP		
2	1	1	0	0	3	1	1	1	1	7	MCC		
		2	0	0	3	1	0	1	1	6	MCC		
		3	0	0	3	1	1	1	0	6	MCC		
		4	0	0	2	1	1	1	0	5	MP		
		5	0	0	3	1	1	1	0	6	MCC		
		6	0	0	2	1	1	1	1	6	MP		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.17. MCC, Hoja de Registro de Análisis de Modos, Efectos de fallos y Criticidad – SUBSISTEMA INFRAESTRUCTURA.

MCC: Hoja de Registro Análisis de Modos, Efectos de Fallos y Criticidad (FMECA)							SUBSISTEMA INFRAESTRUCTURA Baliza, Aire acondicionado e Iluminación						
Información de Referencia			Impacto				Ocurrencia			Criticidad	Acción a Aplicar		
F	FF	MF	S	MA	C	P	Fr	M	D		MCC	LI	NA
1	1	1	0	0	2	1	0	1	0	4	NA		
		2	0	0	1	1	1	1	0	4	MP		
		3	0	0	1	1	1	1	0	4	MP		
		4	0	0	1	1	1	1	1	5	MP		
		5	0	0	1	1	1	1	1	5	MP		
2	1	1	0	0	1	1	1	1	0	4	NA		
		2	0	0	1	0	2	0	1	4	MP		
		3	0	0	1	0	1	1	1	4	MP		
		4	0	0	1	0	1	1	1	4	MP		
		5	0	0	1	1	1	1	1	5	MP		
3	1	1	0	0	1	1	1	1	1	5	NA		
		2	0	0	2	1	1	1	1	6	MP		
		3	0	0	2	1	1	1	1	6	MP		
		4	0	0	2	1	1	1	1	6	MP		
		5	0	0	1	1	1	1	1	5	MP		

Fuente: Elaboración propia.

5.5 ANÁLISIS DE LAS CONSECUENCIAS DE LOS MODOS DE FALLOS

Una vez finalizado el análisis de modos de fallo y de su efecto, se procede a la selección del tipo de mantenimiento que ayude a prevenir la aparición de cada uno de los modos de fallo identificados anteriormente, a partir del árbol lógico de decisión MCC. Tras seleccionar el tipo de actividad de mantenimiento, y con ayuda del análisis de causas de los modos de fallo, se procede a especificar la acción/es de mantenimiento asociada a ejecutar.

El primer paso para seleccionar las actividades de mantenimiento, consiste en identificar las consecuencias que generan los modos de fallo.

Estas consecuencias pueden ser debidas a:

- Consecuencias del fallo oculto
- Consecuencias para la seguridad o el medio ambiente
- Consecuencias operacionales
- Consecuencias no operacionales

En el MCC, la selección de políticas de mantenimiento está gobernada por la categoría de consecuencias a la que pertenece la falla.

- Para fallas con consecuencias ocultas, la tarea óptima es aquella que consigue la disponibilidad requerida del dispositivo de protección.
- Para fallas con consecuencias de seguridad o medio ambiente, la tarea óptima es aquella que consigue reducir la probabilidad de la falla hasta un nivel tolerable.
- Para fallas con consecuencias económicas (operacionales y no operacionales), la tarea óptima es aquella que minimiza los costos totales para la organización.

Esta operación de identificar los tipos de consecuencias, se puede considerar como previa a la ejecución del árbol de decisión MCC, con el que se profundizará dentro de cada tipo de consecuencia para obtener el mejor plan de mantenimiento que se pueda aplicar.

A continuación se muestra el Árbol de decisión del MCC, basado en los tipos de consecuencias que ocasionar los modos y efectos de fallos.

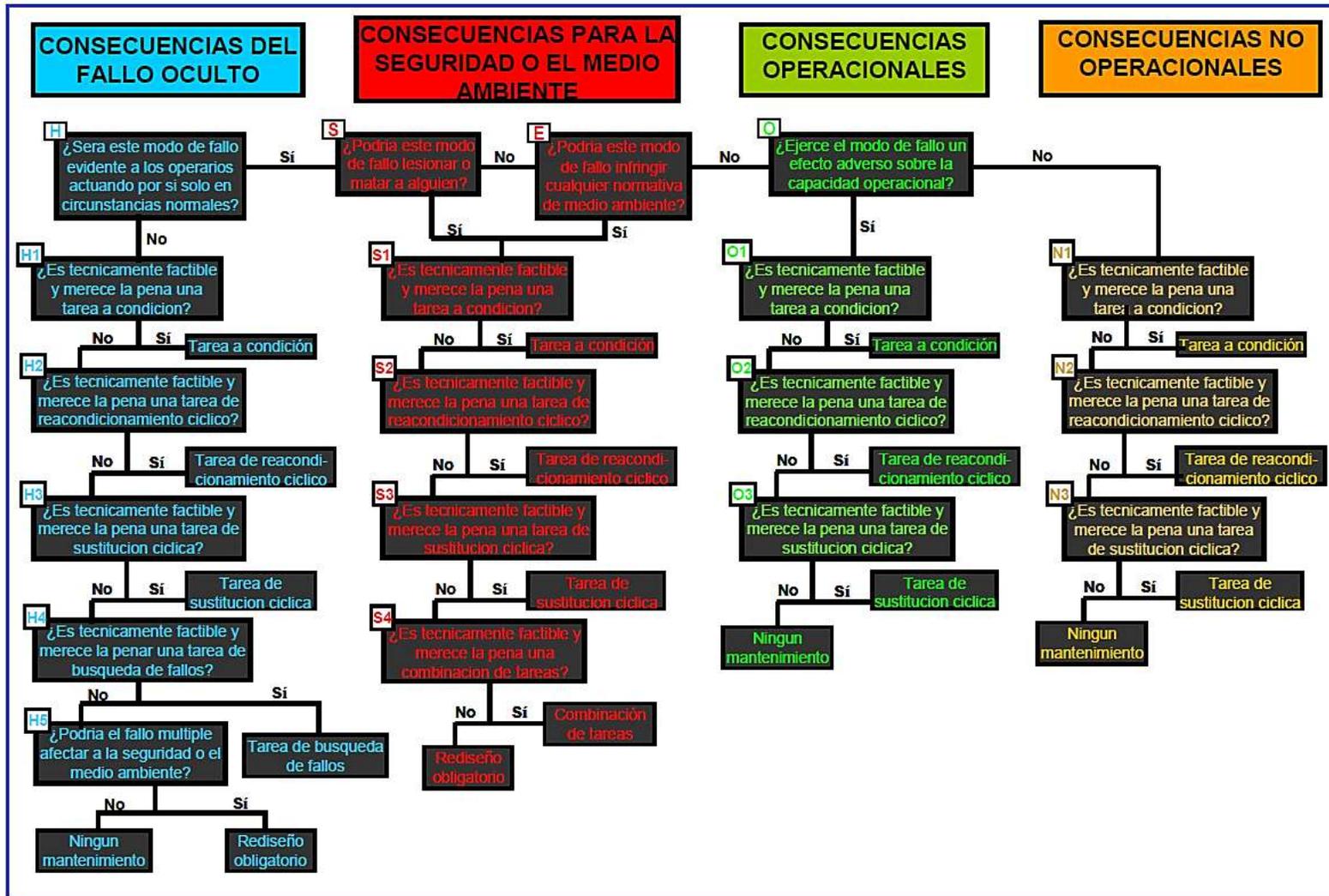


Figura 5.2. Árbol de decisión de MCC
 Fuente: Metodología RCM – Marín Alcaide

5.6 EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS

Tabla 5.18. MCC, Hoja de Decisión - Evaluación de las Consecuencias - SUBSISTEMA NODO B

MCC: Hoja de Decisión							Subsistema NODO B BBU 3900									
Información de Referencia			Evaluación de las consecuencias				Proceso de Selección			Acciones por Defecto			Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del MCC	Tareas Propuestas	Frecuencia	Condición del Equipo
F	FF	MF	H	S	E	O	H1	H2	H3	H4	H5	S4				
							S1	S2	S3							
							O1	O2	O3							
							N1	N2	N3							
1	1	1	Si	No	No	Si	No	Si					Reacondicionamiento Cíclico	Verificar la alimentación Eléctrica al BBU	Trimestral	En Marcha
		2	Si	No	No	Si	No	Si					Reacondicionamiento Cíclico	Verificar la alimentación a la tarjeta LMPT	Trimestral	En Marcha
		3	Si	No	No	Si	No	No	Si				Sustitución Cíclica	Sustitución de Tarjeta LMPT	Anual	Parada
		4	Si	No	No	Si	Si						Tarea a condición	Verificar el Sistema Operativo de la BBU	Trimestral	En Marcha
		5	Si	No	No	Si	No	No	Si				Sustitución Cíclica	Sustitución de los puertos Tx/Rx	Semestral	Parada

F	FF	MF	H	S	E	O	H1	H2	H3	H4	H5	S4	Actividades de Mantenimiento utilizando MCC	Tareas Propuestas	Frecuencia	Condición del Equipo
							S1	S2	S3							
							O1	O2	O3							
							N1	N2	N3							
2	1	1	Si	No	No	Si	No	Si					Reacondicionamiento Cíclico	Verificar la alimentación Eléctrica al BBU	Trimestral	En Marcha
		2	Si	No	No	Si	No	Si					Reacondicionamiento Cíclico	Verificar la alimentación a la tarjeta LBBP	Trimestral	En Marcha
		3	Si	No	No	Si	No	No	Si				Sustitución Cíclica	Sustitución de Tarjeta LBBP	Anual	Parada
		4	Si	No	No	Si	No	No	Si				Sustitución Cíclica	Sustitución del módulo óptico	Semestral	Parada
		5	Si	No	No	Si	No	No	Si				Sustitución Cíclica	Sustitución del módulo de banda base	Anual	Parada
		6	Si	No	No	Si	No	No	Si				Sustitución Cíclica	Sustitución de los puertos CPRI dañados	Semestral	Parada
		7	Si	No	No	Si	No	No	Si				Sustitución Cíclica	Sustitución de los cables de fibra óptica	Semestral	Parada

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.0.10. MCC, Hoja de Decisión - Evaluación de las Consecuencias - SUBSISTEMA RADIO FRECUENCIA

MCC: Hoja de Decisión										Subsistema RADIO FRECUENCIA RRU 3908						
Información de Referencia			Evaluación de las consecuencias				Proceso de Selección			Acciones por Defecto			Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del MCC	Tareas Propuestas	Frecuencia	Condición del Equipo
F	FF	MF	H	S	E	O	H1	H2	H3	H4	H5	S4				
							S1	S2	S3							
							O1	O2	O3							
							N1	N2	N3							
1	1	5	Si	No	No	Si	No	No	Si				Sustitución Cíclica	Sustitución de Feeder entre antena y RRU	Semestral	Parada
2	1	1	Si	No	No	Si	No	Si					Reacondicionamiento Cíclico	Verificar alimentación a RRU	Trimestral	En Marcha
		2	Si	No	No	Si	No	No	Si				Sustitución Cíclica	Sustitución Cable de Energía a la RRU	Semestral	Parada
		3	Si	No	No	Si	No	No	Si				Sustitución Cíclica	Sustitución Puertos de Radio Frecuencia	Semestral	Parada
		4	Si	No	No	Si	No	No	Si				Sustitución Cíclica	Sustitución del cable de Radio Frecuencia	Semestral	Parada

F	FF	MF	H	S	E	O	H1	H2	H3	H4	H5	S4	Actividades de Mantenimiento utilizando MCC	Tareas Propuestas	Frecuencia	Condición del Equipo
							S1	S2	S3							
							O1	O2	O3							
							N1	N2	N3							
1	1	7	Si	No	No	Si	No	No	Si				Sustitución Cíclica	Sustitución tarjeta de radio frecuencia a banda base	Anual	Parada
		8	Si	No	No	Si	No	No	Si				Sustitución Cíclica	Sustitución tarjeta amplificadora de la señal	Anual	Parada
3	1	1	Si	No	No	Si	No	Si					Reacondicionamiento Cíclico	Verificar la alimentación a la RRU	Trimestral	En Marcha
		2	Si	No	No	Si	No	No	Si				Sustitución Cíclica	Sustitución Cable de Energía a la RRU	Semestral	Parada
		3	Si	No	No	Si	No	No	Si				Sustitución Cíclica	Sustitución de Tarjeta de Tensión Eléctrica en la RRU	Anual	Parada
		4	Si	No	No	Si	No	No	Si				Sustitución Cíclica	Sustitución puertos ópticos CPRI	Semestral	Parada

F	FF	MF	H	S	E	O	H1	H2	H3	H4	H5	S4	Actividades de Mantenimiento utilizando MCC	Tareas Propuestas	Frecuencia	Condición del Equipo
							S1	S2	S3							
							O1	O2	O3							
							N1	N2	N3							
		5	Si	No	No	Si	No	No	Si				Sustitución Cíclica	Sustitución Cables de fibra óptica	Semestral	Parada
		6	Si	No	No	Si	No	No	Si				Sustitución Cíclica	Sustitución módulos ópticos	Anual	Parada
4	1	1	Si	No	No	Si	No	Si					Reacondicionamiento Cíclico	Verificar la alimentación a la RRU	Trimestral	En Marcha
		2	Si	No	No	Si	No	No	Si				Sustitución Cíclica	Sustitución Cable de Energía a la RRU	Semestral	Parada
		3	Si	No	No	Si	No	No	Si				Sustitución Cíclica	Sustitución tarjeta de comunicación BBU y RRU	Anual	Parada
		4	Si	No	No	Si	No	No	Si				Sustitución Cíclica	Sustitución puertos ópticos CPRI	Semestral	Parada

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.21. MCC, Hoja de Decisión - Evaluación de las Consecuencias - SUBSISTEMA ENERGÍA ELÉCTRICA

MCC: Hoja de Decisión										Subsistema de ENERGÍA ELÉCTRICA Tablero principal, rectificadores, tierra, banco de baterías						
Información de Referencia			Evaluación de las consecuencias				Proceso de Selección			Acciones por Defecto			Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del MCC	Tareas Propuestas	Frecuencia	Condición del Equipo
F	FF	MF	H	S	E	O	H1	H2	H3	H4	H5	S4				
							S1	S2	S3							
							O1	O2	O3							
							N1	N2	N3							
1	1	2	Si	No	No	Si	No	No	Si				Sustitución Cíclica	Sustitución del fusible del medidor	Semestral	Parada
		3	Si	No	No	Si	No	Si					Reacondicionamiento Cíclico	Verificar el Termo magnético principal	Semestral	En Marcha
2	1	3	Si	No	No	Si	No	Si					Reacondicionamiento Cíclico	Verificar el tablero secundario de electricidad	Trimestral	En Marcha
		4	Si	No	No	Si	No	Si					Reacondicionamiento Cíclico	Verificar el Termo magnético principal	Trimestral	En Marcha
3	1	2	Si	No	No	Si	No	Si					Reacondicionamiento Cíclico	Verificar la alimentación al Rectificador	Trimestral	En Marcha
		3	Si	No	No	Si	No	No	Si				Sustitución Cíclica	Sustitución del rectificador	Anual	Parada

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.22. MCC, Hoja de Decisión - Evaluación de las Consecuencias - SUBSISTEMA TRANSPORTE

MCC: Hoja de Decisión										Subsistema TRANSPORTE Radio Enlace Microondas – Enlace por F.O.						
Información de Referencia			Evaluación de las consecuencias				Proceso de Selección			Acciones por Defecto			Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del MCC	Tareas Propuestas	Frecuencia	Condición del Equipo
F	FF	MF	H	S	E	O	H1	H2	H3	H4	H5	S4				
							S1	S2	S3							
							O1	O2	O3							
							N1	N2	N3							
1	1	1	Si	No	No	Si	No	Si					Reacondicionamiento Cíclico	Verificar alimentación a equipos microondas	Semestral	En Marcha
		2	Si	No	No	Si	No	No	Si				Sustitución Cíclica	Sustitución equipo de microondas	Anual	Parada
		3	Si	No	No	Si	No	No	Si				Sustitución Cíclica	Sustitución antena de microondas	Anual	Parada
2	1	1	Si	No	No	Si	No	Si					Reacondicionamiento Cíclico	Verificar alimentación a equipo ATN 910	Semestral	En Marcha
		2	Si	No	No	Si	No	No	Si				Sustitución Cíclica	Sustitución equipo ATN 910	Anual	Parada
		3	Si	No	No	Si	No	No	Si				Sustitución Cíclica	Sustitución modulo óptico	Anual	Parada
		5	Si	No	No	Si	No	No	Si				Sustitución Cíclica	Sustitución Cable de fibra óptica	Anual	Parada

Fuente: Elaboración propia.

5.7 ACTIVIDADES, TAREAS Y FRECUENCIA

Tabla 5.23. MCC, Actividades, Tareas y Frecuencias - SUBSISTEMA NODO B

N°	Codificación MCC AMEF			Mantenimiento MCC Subsistema NODO B		Frecuencia del Mantenimiento MCC				
	F	FF	MF	Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del MCC	Acción de Mantenimiento a ejecutar	Semanal	Mensual	Trimestral	Semestral	Anual
1	1	1	4	Tarea a condición	Verificar el Sistema Operativo de la BBU					
2	1	1	1	Reacondicionamiento Cíclico	Verificar la alimentación Eléctrica al BBU					
3	2	1	1							
4	1	1	2	Reacondicionamiento Cíclico	Verificar energía a tarjeta LMPT					
5	2	1	2	Reacondicionamiento Cíclico	Verificar la alimentación a la tarjeta LBBP					
6	1	1	5	Sustitución Cíclica	Sustitución de los puertos Tx/Rx					
7	2	1	4	Sustitución Cíclica	Sustitución del módulo óptico					
8	2	1	6	Sustitución Cíclica	Sustitución de los puertos CPRI dañados					
9	2	1	7	Sustitución Cíclica	Sustitución de los cables de fibra óptica					
10	1	1	3	Sustitución Cíclica	Sustitución de Tarjeta LMPT					
11	2	1	3	Sustitución Cíclica	Sustitución de Tarjeta LBBP					
12	2	1	5	Sustitución Cíclica	Sustitución del módulo banda base					

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.0.14. *MCC, Actividades, Tareas y Frecuencias –
SUBSISTEMA RADIO FRECUENCIA*

N°	Codificación MCC AMEF			Mantenimiento MCC Subsistema RADIO FRECUENCIA		Frecuencia del Mantenimiento MCC				
	F	FF	MF	Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del MCC	Acción de Mantenimiento a ejecutar	Semanal	Mensual	Trimestral	Semestral	Anual
1	2	1	1	Reacondicionamiento Cíclico	Verificar la alimentación a la RRU					
2	3	1	1							
3	4	1	1							
4	1	1	5	Sustitución Cíclica	Sustitución de Feeder entre antena y RRU					
5	2	1	2	Sustitución Cíclica	Sustitución Cable de Energía a la RRU					
6	2	1	3	Sustitución Cíclica	Sustitución Puertos de Radio Frecuencia					
7	2	1	4	Sustitución Cíclica	Sustitución del cable de Radio Frecuencia					
8	3	1	2	Sustitución Cíclica	Sustitución Cable de Energía a la RRU					
9	3	1	4	Sustitución Cíclica	Sustitución puertos ópticos CPRI					
10	3	1	5	Sustitución Cíclica	Sustitución Cables de fibra óptica					

N°	F	FF	MF	Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del MCC	Acción de Mantenimiento a ejecutar	Semanal	Mensual	Trimestral	Semestral	Anual
11	4	1	2	Sustitución Cíclica	Sustitución Cable de Energía a la RRU					
12	4	1	4	Sustitución Cíclica	Sustitución puertos ópticos CPRI					
13	3	1	6	Sustitución Cíclica	Sustitución módulos ópticos					
14	1	1	7	Sustitución Cíclica	Sustitución tarjeta de radio frecuencia a banda base					
15	1	1	8	Sustitución Cíclica	Sustitución tarjeta amplificadora de la señal					
16	3	1	3	Sustitución Cíclica	Sustitución de Tarjeta de Tensión Eléctrica en la RRU					
17	4	1	3	Sustitución Cíclica	Sustitución tarjeta de comunicación BBU y RRU					

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.25. MCC, Actividades, Tareas y Frecuencias –
SUBSISTEMA – ENERGÍA ELÉCTRICA

N°	Codificación MCC AMEF			Mantenimiento MCC Subsistema ENERGÍA ELÉCTRICA		Frecuencia del Mantenimiento MCC				
	F	FF	MF	Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del MCC	Acción de Mantenimiento a ejecutar	Semanal	Mensual	Trimestral	Semestral	Anual
1	2	1	3	Reacondicionamiento Cíclico	Verificar el tablero secundario de electricidad					
2	2	1	4	Reacondicionamiento Cíclico	Verificar el Termo magnético principal					
3	3	1	2	Reacondicionamiento Cíclico	Verificar la alimentación al Rectificador					
4	1	1	2	Sustitución Cíclica	Sustitución del fusible del medidor					
5	1	1	3	Reacondicionamiento Cíclico	Verificar el Termo magnético principal					
6	3	1	3	Sustitución Cíclica	Sustitución del rectificador					

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.26. *MCC, Actividades, Tareas y Frecuencias – SUBSISTEMA –TRANSPORTE*

N°	Codificación MCC AMEF			Mantenimiento MCC Subsistema TRANSPORTE		Frecuencia del Mantenimiento MCC				
	F	FF	MF	Actividad de mantenimiento utilizando el árbol lógico de decisión del MCC	Acción de Mantenimiento a ejecutar	Semanal	Mensual	Trimestral	Semestral	Anual
1	1	1	1	Reacondicionamiento Cíclico	Verificar alimentación a equipos microondas					
2	2	1	1	Reacondicionamiento Cíclico	Verificar alimentación a equipo ATN 910					
3	1	1	2	Sustitución Cíclica	Sustitución equipo de microondas					
4	1	1	3	Sustitución Cíclica	Sustitución antena de microondas					
5	2	1	2	Sustitución Cíclica	Sustitución equipo ATN 910					
6	2	1	3	Sustitución Cíclica	Sustitución modulo óptico					
7	2	1	5	Sustitución Cíclica	Sustitución Cable de fibra óptica					

Fuente: Elaboración propia.

5.8 PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD

Tabla 5.27. Plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad

PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RBS 4G-LTE)												
N°	SUBSISTEMA	Codificación MCC (AMEF)			Equipo / Dispositivo	Actividad de MCC	Acción de MCC a ejecutar	Empresa encargada de MCC	Unidad Responsable empresa STS Ltda.	Equipo Necesario para MMC	Tiempo de acción de MCC en minutos	Frecuencia de MCC
		F	FF	MF								
1	NODO B	1	1	4	BBU 3900	Tarea a condición	Verificar el Sistema Operativo de la BBU	STS Ltda.	Radio Bases	Laptop y aplicación informática	20	Trimestral
2	NODO B	1	1	1	BBU 3900	Reacondicionamiento Cíclico	Verificar la alimentación de Energía Eléctrica al equipo BBU 3900	STS Ltda.	Radio Bases	Multímetro, herramientas menores	20	Trimestral
		2	1	1								
3	RADIO FRECUENCIA	2	1	1	RRU 3908	Reacondicionamiento Cíclico	Verificar la alimentación de Energía Eléctrica al equipo BBU 3900	STS Ltda.	Radio Bases	Multímetro, herramientas menores	20	Trimestral
		3	1	1								
		4	1	1								
4	NODO B	1	1	2	BBU 3900	Reacondicionamiento Cíclico	Verificar la alimentación de energía eléctrica a la tarjeta LMPT	STS Ltda.	Radio Bases	Multímetro, herramientas menores	30	Trimestral

PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RBS 4G-LTE)												
N°	SUBSISTEMA	Codificación MCC (AMEF)			Equipo / Dispositivo	Actividad de MCC	Acción de MCC a ejecutar	Empresa encargada de MCC	Unidad Responsable empresa STS Ltda.	Equipo Necesario para MMC	Tiempo de acción de MCC en minutos	Frecuencia de MCC
		F	FF	MF								
5	NODO B	2	1	2	BBU 3901	Reacondicionamiento Cíclico	Verificar la alimentación de energía eléctrica a la tarjeta LBBP	STS Ltda.	Radio Bases	Multímetro, herramientas menores	30	Trimestral
6	ENERGÍA ELÉCTRICA	2	1	3	Tablero Secundario	Reacondicionamiento Cíclico	Verificar el tablero secundario de electricidad	STS Ltda.	Electricidad	Multímetro, herramientas menores	30	Trimestral
7	ENERGÍA ELÉCTRICA	2	1	4	Tablero principal	Reacondicionamiento Cíclico	Verificar el Termo magnético principal	STS Ltda.	Electricidad	Multímetro, herramientas menores	30	Trimestral
8	ENERGÍA ELÉCTRICA	3	1	2	Rectificador	Reacondicionamiento Cíclico	Verificar la alimentación al Rectificador	STS Ltda.	Electricidad	Multímetro, herramientas menores	30	Trimestral
9	RADIO FRECUENCIA	1	1	5	RRU 3908 y Antenas Sectoriales	Sustitución Cíclica	Sustitución de Cable F.O. entre Antena y RRU	STS Ltda.	Fibra Óptica	Materiales y Herramientas de F.O.	60	Semestral
		3	1	5								
		2	1	7								

PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RBS 4G-LTE)												
N°	SUBSISTEMA	Codificación MCC (AMEF)			Equipo / Dispositivo	Actividad de MCC	Acción de MCC a ejecutar	Empresa encargada de MCC	Unidad Responsable empresa STS Ltda.	Equipo Necesario para MMC	Tiempo de acción de MCC en minutos	Frecuencia de MCC
		F	FF	MF								
10	RADIO FRECUENCIA	2	1	2	RRU 3908	Sustitución Cíclica	Sustitución Cable de Energía a la RRU	STS Ltda.	Electricidad	Multímetro, herramientas menores	60	Semestral
		3	1	2								
		4	1	2								
11	RADIO FRECUENCIA	2	1	3	RRU 3908 y Antenas Sectoriales	Sustitución Cíclica	Sustitución Puertos de Radio Frecuencia	STS Ltda.	Radio Bases	Site Master, Multímetro, herramientas menores	60	Semestral
		2	1	4								
12	RADIO FRECUENCIA	3	1	4	BBU 3900 Y RRU 3908	Sustitución Cíclica	Sustitución puertos ópticos CPRI	STS Ltda.	Fibra Óptica	Materiales y Herramientas de F.O.	60	Semestral
		4	1	4								
		2	1	6								
13	NODO B	1	1	5	BBU 3900	Sustitución Cíclica	Sustitución de los puertos Tx/Rx	STS Ltda.	Fibra Óptica	Materiales y Herramientas de F.O.	60	Semestral
14	NODO B	2	1	4	BBU 3900	Sustitución Cíclica	Sustitución del módulo óptico	STS Ltda.	Fibra Óptica	Materiales y Herramientas de F.O.	60	Semestral
		3	1	6								

PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RBS 4G-LTE)												
N°	SUBSISTEMA	Codificación MCC (AMEF)			Equipo / Dispositivo	Actividad de MCC	Acción de MCC a ejecutar	Empresa encargada de MCC	Unidad Responsable empresa STS Ltda.	Equipo Necesario para MMC	Tiempo de acción de MCC en minutos	Frecuencia de MCC
		F	FF	MF								
15	ENERGÍA ELÉCTRICA	1	1	2	Tableros de Energía Eléctrica	Sustitución Cíclica	Sustitución del fusible del medidor	STS Ltda.	Electricidad	Multímetro, herramientas menores	30	Semestral
16	ENERGÍA ELÉCTRICA	1	1	3	Tableros de Energía Eléctrica	Reacondicionamiento Cíclico	Verificar el Termo magnético principal	STS Ltda.	Electricidad	Multímetro, herramientas menores	30	Semestral
17	TRANSPORTE	1	1	1	Equipos de Radio enlace microondas	Reacondicionamiento Cíclico	Verificar alimentación a equipos microondas	STS Ltda.	Electricidad	Multímetro, herramientas menores	60	Semestral
18	TRANSPORTE	2	1	1	ATN 910	Reacondicionamiento Cíclico	Verificar alimentación a equipo ATN 910	STS Ltda.	Electricidad	Multímetro, herramientas menores	30	Semestral
19	NODO B	1	1	3	BBU 3900	Sustitución Cíclica	Sustitución de Tarjeta LMPT	STS Ltda.	Radio Bases	Multímetro, herramientas menores	60	Anual
20	NODO B	2	1	3	BBU 3900	Sustitución Cíclica	Sustitución de Tarjeta LBBP	STS Ltda.	Radio Bases	Multímetro, herramientas menores	60	Anual

PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RBS 4G-LTE)												
N°	SUBSISTEMA	Codificación MCC (AMEF)			Equipo / Dispositivo	Actividad de MCC	Acción de MCC a ejecutar	Empresa encargada de MCC	Unidad Responsable empresa STS Ltda.	Equipo Necesario para MMC	Tiempo de acción de MCC en minutos	Frecuencia de MCC
		F	FF	MF								
21	NODO B	2	1	5	BBU 3900	Sustitución Cíclica	Sustitución del módulo de banda base	STS Ltda.	Radio Bases	Multímetro, herramientas menores	60	Anual
22	RADIO FRECUENCIA	1	1	7	RRU 3908	Sustitución Cíclica	Sustitución tarjeta de radio frecuencia a banda base	STS Ltda.	Radio Bases	Multímetro, herramientas menores	60	Anual
23	RADIO FRECUENCIA	1	1	8	RRU 3908	Sustitución Cíclica	Sustitución tarjeta amplificadora de la señal	STS Ltda.	Radio Bases	Multímetro, herramientas menores	60	Anual
24	RADIO FRECUENCIA	3	1	3	RRU 3908	Sustitución Cíclica	Sustitución de Tarjeta de Tensión Eléctrica en la RRU	STS Ltda.	Radio Bases	Multímetro, herramientas menores	60	Anual
25	NODO B	4	1	3	BBU 3900 Y RRU 3908	Sustitución Cíclica	Sustitución tarjeta de comunicación BBU y RRU	STS Ltda.	Radio Bases	Multímetro, herramientas menores	60	Anual
26	ENERGÍA ELÉCTRICA	3	1	3	Rectificador	Sustitución Cíclica	Sustitución del rectificador	STS Ltda.	Radio Bases	Multímetro, herramientas menores	60	Anual

PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RBS 4G-LTE)												
N°	SUBSISTEMA	Codificación MCC (AMEF)			Equipo / Dispositivo	Actividad de MCC	Acción de MCC a ejecutar	Empresa encargada de MCC	Unidad Responsable empresa STS Ltda.	Equipo Necesario para MMC	Tiempo de acción de MCC en minutos	Frecuencia de MCC
		F	FF	MF								
27	TRANSPORTE	1	1	2	Equipos de Radio enlace microondas	Sustitución Cíclica	Sustitución equipo de microondas	STS Ltda.	Radio Bases	Multímetro, herramientas menores	120	Anual
28	RADIO FRECUENCIA	1	1	3	Antena de Radio enlace microondas	Sustitución Cíclica	Sustitución antena de microondas	STS Ltda.	Radio Bases	Multímetro, herramientas menores	90	Anual
29	TRANSPORTE	2	1	2	ATN 910	Sustitución Cíclica	Sustitución equipo ATN 910	STS Ltda.	Fibra Óptica	Materiales y Herramientas de F.O.	60	Anual
30	TRANSPORTE	2	1	3	ATN 910	Sustitución Cíclica	Sustitución modulo óptico	STS Ltda.	Fibra Óptica	Materiales y Herramientas de F.O.	60	Anual
31	TRANSPORTE	2	1	5	ATN 910	Sustitución Cíclica	Sustitución Cable de fibra óptica	STS Ltda.	Fibra Óptica	Materiales y Herramientas de F.O.	60	Anual

Fuente: Elaboración propia.

5.9 CONFIABILIDAD DEL SISTEMA DE LA RBS POST MCC

Se realizara el análisis de la confiabilidad del sistema Post MCC, con datos obtenidos de la entrevista a (10 Técnicos Expertos de Mantenimiento de RBS) de la empresa STS Bolivia Ltda., a quienes previo a la entrevista, se les facilito la propuesta de Plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad para RBS 4G-LTE, desarrollado en el presente trabajo de investigación, se adjunta en el **Anexo 1**, la hoja de preguntas realizadas en la entrevista al personal experto.

En la siguiente tabla se detalla los datos obtenidos en promedio de las 10 entrevistas realizadas a expertos en mantenimiento de Estaciones Radio Base, en funciona a una posible aplicación del Plan de MCC, en un año calendario, de las cuales nos interesa el número en promedio de fallas, el tiempo operativo y NO operativo en el año calendario.

Tabla 5.28. *Datos para análisis de confiabilidad Post MCC*

DATOS ESTIMADOS PARA ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD POST MCC				
SUBSISTEMA	Numero Elementos	Numero Fallas	Tiempo Operativo (días/año)	Tiempo NO Operativo (días/año)
E NODO B	1	1,55	364,75	0,25
RADIO FRECUENCIA	6	2,35	364,50	0,50
ENERGÍA ELÉCTRICA	8	1,90	364,50	0,50
TRANSPORTE	3	1,60	364,30	0,70
INFRAESTRUCTURA	3	0,80	364,75	0,25
SISTEMA	21	8,20	362,80	2,20

FUENTE: Datos obtenidos de la entrevista a expertos en mantenimiento de RBS.

En funciona a los datos se realiza el cálculo de confiabilidad del sistema:

5.9.1. TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS (MTBF) POST MCC

$$MTBF = \frac{N^{\circ} \text{ Equipos} * \text{Tiempo Operativo}}{N^{\circ} \text{ Fallas}} = \frac{21 * 362.8 \text{ Dias}}{8.2 \text{ Fallas}}$$

$$MTBF = 929.12 \frac{\text{Dias}}{\text{Falla}}$$

5.9.2. TIEMPO MEDIO PARA LA REPARACIÓN (MTTR) POST MCC

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo NO operativo}}{N^{\circ} \text{ Fallas}} = \frac{2.2 \text{ Dias}}{8.2 \text{ Fallas}}$$

$$MTTR = 0.27 \frac{\text{Dias}}{\text{Falla}}$$

5.9.3. DISPONIBILIDAD POST MCC

$$DISPONIBILIDAD = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{929.12 \frac{\text{Dias}}{\text{Falla}}}{(929.12 + 0.27) \frac{\text{Dias}}{\text{Falla}}}$$

$$DISPONIBILIDAD = 0.99 = 99\%$$

5.9.4. TASA DE FALLA POST MCC

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{929.12 \frac{\text{Dias}}{\text{Falla}}}$$

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} = 0.0011 \frac{\text{Falla}}{\text{Dias}}$$

5.9.5. CONFIABILIDAD POST MCC

$$R_{(t)} = e^{-(\lambda * t)} = e^{-(0.0011 * 362.8)}$$

$$R_{(t)} = 0.6767 = 67.67\%$$

5.9.6. PROBABILIDAD DE FALLO POST MCC

$$F_{(t)} = 1 - R_{(t)} = 1 - 0.6767$$

$$F_{(t)} = 0.3233 = 32.33\%$$

Realizando el mismo proceso de análisis matemático para todos los subsistemas de la Estación Radio Base 4G-LTE y utilizando la aplicación computacional (Excel de Microsoft Office), se tiene la siguiente tabla de resultados después de la implementación del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, se debe aclarar que los datos del número de fallas son estimados.



Tabla 5.29. Análisis de confiabilidad, sistema y subsistemas de una RBS post MCC

ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD (DATOS ESTIMADOS) POST MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD										
SUBSISTEMA	Numero Elementos	Numero Fallas	Tiempo Operativo (días/año)	Tiempo NO Operativo (días/año)	MTBF	MTTR	DISPONIBILIDAD	TASA DE FALLO λ	CONFIABILIDAD $R(t)\%$	PROBABILIDAD FALLA $F(t)\%$
E NODO B	1	1,55	364,75	0,25	235,32	0,16	0,9993	0,0042	21,22%	78,78%
RADIO FRECUENCIA	6	2,35	364,50	0,50	930,64	0,21	0,9998	0,0011	67,59%	32,41%
ENERGÍA ELÉCTRICA	8	1,90	364,50	0,50	1.534,74	0,26	0,9998	0,0007	78,86%	21,14%
TRANSPORTE	3	1,60	364,30	0,70	683,06	0,44	0,9994	0,0015	58,66%	41,34%
INFRAESTRUCTURA	3	0,80	364,75	0,25	1.367,81	0,31	0,9998	0,0007	76,59%	23,41%
SISTEMA	21	8,20	362,80	2,20	929,12	0,27	0,9997	0,0011	67,67%	32,33%

FUENTE: Elaboración propia.

En la tabla podemos hacer algunas consideraciones como:

- El número de fallas se ha reducido, propio de la implementación del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad
- El tiempo medio entre fallas sea incrementado considerablemente, propio de aplicar la metodología MCC a un sistema.
- La Confiabilidad del sistema y subsistemas ha subido
- La Probabilidad de falla ha bajado.



CAPÍTULO VI
RESULTADOS Y
DISCUSIÓN

CAPÍTULO VI RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 RESULTADOS

En la gestión 2016, se toman como muestra 20 Estaciones Radio Base con tecnología 4G-LTE, que se encuentran instaladas en la ciudad de La Paz y El Alto, estas RBS pertenecen a la empresa de Telecomunicaciones TELECEL S.A., más conocida comercialmente como TIGO.

- Se logró analizar la arquitectura de las Estaciones Radio Base (RBS), con tecnología 4G-LTE, realizando una descripción detallada del sistema completo el cual está compuesto por varios Equipos, Elementos y componentes que se agrupan en 5 subsistemas denominados: NODO B, RADIO FRECUENCIA, ENERGÍA ELÉCTRICA, TRANSPORTE E INFRAESTRUCTURA.
- Se realizó la descripción del mantenimiento convencional (PREVENTIVO Y CORRECTIVO), de la empresa de mantenimiento (STS Bolivia Ltda.), que realiza el mantenimiento a las RBS, 4G-LTE de la operadora TELECEL S.A.
- Se analizó los pasos para poder obtener el valor de confiabilidad del sistema y la probabilidad de falla, con técnicas de mantenimiento tradicional (Preventivo y Correctivo), dichos resultados son los siguientes:

Tabla 6.1. *Valores de Confiabilidad y Probabilidad de Falla sin MCC*

SUBSISTEMAS	CONFIABILIDAD $R(t)\%$	PROBABILIDAD FALLA $F(t)\%$
NODO B	14,23%	85,77%
RADIO FRECUENCIA	60,15%	39,85%
ENERGÍA ELÉCTRICA	69,59%	30,41%
TRANSPORTE	51,34%	48,66%
INFRAESTRUCTURA	71,65%	28,35%
SISTEMA	59,51%	40,49%

FUENTE: Elaboración propia.

- Se describió y explico el procedimiento de la metodología que usa el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad para mejorar el mantenimiento en cualquier área que tenga deficiencias con los mantenimientos tradicionales como el mantenimiento preventivo y correctivo.
- Se aplicó la metodología del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, para poder desarrollar un plan de mantenimiento orientado a mejorar la confiabilidad del sistema.
- Una vez concluido el modelo de Plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad y con datos estimados que se obtuvieron en funciona a una encuesta realizada a 10 técnicos expertos en mantenimiento de Radio Bases de empresa STS Bolivia Ltda., se realizaron los cálculos para establecer si se habría mejorado o no la confiabilidad del sistema de RBS, cuyos resultados son los siguientes:

Tabla 6.2. *Valores de Confiabilidad y Probabilidad de Falla post MCC*

SUBSISTEMA	CONFIABILIDAD $R(t)\%$	PROBABILIDAD FALLA $F(t)\%$
NODO B	21,22%	78,78%
RADIO FRECUENCIA	67,59%	32,41%
ENERGÍA ELÉCTRICA	78,86%	21,14%
TRANSPORTE	58,66%	41,34%
INFRAESTRUCTURA	76,59%	23,41%
SISTEMA	67,67%	32,33%

FUENTE: Elaboración propia.

- Una vez obtenido estos resultados, claramente podemos observar que la confiabilidad del sistema ha subido de un 59.51% a un 67.67% y que la probabilidad de falla ha bajado de un 40.49% a un 32.33%.

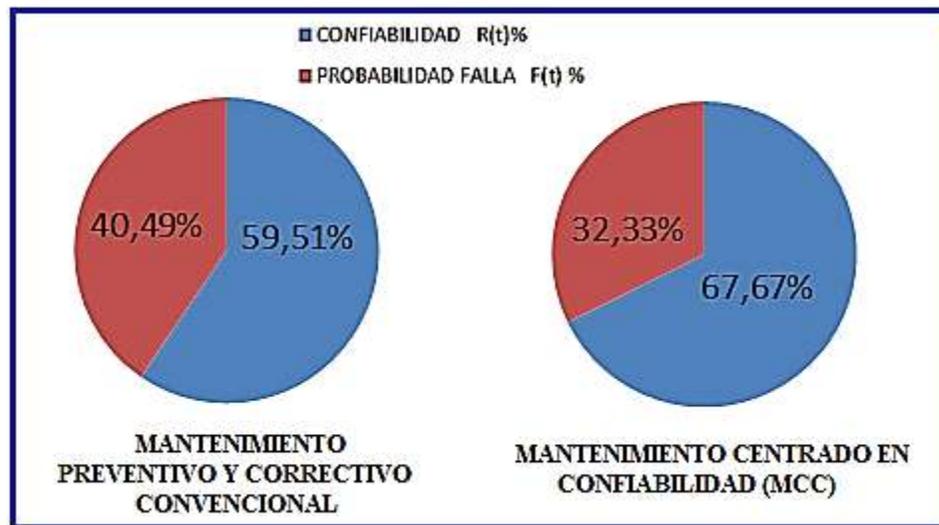


Figura 6.1. Porcentajes de Confiabilidad y Probabilidad de Falla
Fuente: Elaboración propia

6.2 DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

- El acceso a la infraestructura, equipos, etc., de las Estaciones Radio Bases de Telecomunicaciones está restringido para una persona común, sólo se puede tener acceso si es que uno es personal de la empresa TELECEL S.A. o si eres personal de mantenimiento de empresa STS Bolivia Ltda.
- La única manera de poder analizar el sistema y subsistemas si no eres personal de ninguna de las dos empresas es mediante manuales de los fabricantes y reportes de instalación, operación y mantenimiento de las RBS.

- El acceso a la información por parte de las operadoras de Telecomunicaciones es realmente complicado, ya que no se puede obtener de manera fácil, la información obtenida se logró trabajando en la empresa de mantenimiento STS Ltda.
- Existen varias formas matemáticas de obtener la confiabilidad de un sistema o equipo, sin embargo el que se usó en esta investigación, es una de las más entendibles, ya que hay otros procedimientos en los cuales se necesita de matemática más avanzada, lo cual no es necesario ya que se llega al mismo resultado tanto de Confiabilidad, como de Probabilidad de fallo.
- Todos los documentos utilizados en la presente investigación, coinciden con el proceso de la metodología del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, respetando el orden de las 7 preguntas que plantea este tipo de mantenimiento.
- Los resultados obtenidos en este trabajo son los esperados aun cuando se hayan usado datos estimados para la valoración Post MCC, ya que en todos los trabajos que pude obtener como referencia para realizar esta investigación, en los cuales una mayoría ha implementado la metodología del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, siempre se ve mejorada la confiabilidad del sistema, con la reducción de los fallos funcionales y por ende las paradas.

6.3 COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS

El trabajo de investigación realizado para el desarrollo del plan de mantenimiento basado en la metodología del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad y los resultados obtenidos, en función a entrevista a expertos del Área de Mantenimiento, demuestran que “La confiabilidad de los equipos de Telecomunicaciones 4G-LTE, está directamente relacionada con la correcta aplicación del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC)”, a partir de ello aceptamos la Hipótesis como válida.

6.4 RECOMENDACIONES

- Se recomienda la aplicación de la metodología del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad en cualquier Planta, área, equipo, sistema, etc., en la que tenga índices bajos de confiabilidad.
- Se recomienda a las instituciones de formación superior hacer énfasis y capacitar a los profesionales del área y concientizar en el uso de nuevas metodologías de mantenimiento y dejar de lado las tradicionales.
- Se recomienda a las Operadoras de Telecomunicaciones dar acceso a profesionales, para que puedan obtener datos y elaborar planes de mantenimiento con nuevas metodologías como el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.



GLOSARIO DE TÉRMINOS

Activo: Conjunto de ítems de carácter permanente que una empresa o entidad utiliza como medio de producción o servicios.

Análisis de criticidad: Es una metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos en funcionamiento de su impacto global. Con el fin de facilitar la toma de decisiones.

Huawei: Es una empresa multinacional China de alta tecnología especializada en, la investigación y desarrollo (I+D), la producción electrónica, y marketing de equipamiento de comunicaciones; además Huawei provee tipos de soluciones de redes personalizadas para operadores de la industria de telecomunicaciones.

Estación Radio Base: Es una instalación que normalmente se usan para conectar radios de baja potencia, como por ejemplo la de un teléfono móvil, una computadora portátil con una tarjeta WiFi, también sirve como punto de acceso a una red de comunicación fija (como la Internet o la red telefónica) o para que dos o más terminales se comuniquen entre sí.

TELECEL S.A.: Telefónica Celular de Bolivia S.A. filial del grupo empresarial MILLICOM INTERNATIONAL CELLULAR S.A. (MICSA), con sede en Luxemburgo, operando también en Londres y Miami; MILLICOM tiene presencia en 14 países en América Latina y África, permitiendo crear una comunidad TIGO de más de 60 millones de usuarios en telefonía móvil, de los cuales, aproximadamente 1 de 4 comparten datos, tienen acceso a internet y disfrutan de música y videos.

Nodo B: Es la unidad principal de procesamiento, el cerebro del sistema. También se la considera a la Estación Radio Base como Nodo B.

Causa: Es medio por el cual un elemento en particular del proyecto o proceso resulta en un modo de falla.

Ciclo de vida: Tiempo durante el cual un ítem conserva su capacidad de utilización. El período abarca desde su adquisición hasta que es sustituido o es objeto de restauración / rehabilitación.

Confiabilidad: Buena funcionalidad de la maquinaria y equipo dentro de una industria, en definitiva, el grado de confianza que proporcione una planta. También se define como la probabilidad de que un equipo o sistema opere sin falla por un determinado periodo de tiempo, bajo unas condiciones de operación previamente establecidas.

Consecuencias de falla: Es la importancia que se le da al efecto producido por el modo de falla o una falla múltiple.

Consecuencias no operacionales: Una categorías de consecuencias de fallas que afecta adversamente la seguridad, el ambiente o las operaciones y que solo requiere reparación o reemplazo.

Consecuencias operacionales: Una falla tiene consecuencias operacionales si afecta adversamente la producción, capacidad, calidad del producto o servicio.

Contexto operacional: Donde y como está el equipo o sistema desarrollando su función.

Diagnóstico: Dar a conocer las causas de un evento ocurrido en el equipo o máquina o evaluar su situación y su desempeño.

Disponibilidad: Indicador de eficiencia de mantenimiento, que expresa la relación entre el tiempo planeado de producción (TPP) y el tiempo de paradas no programadas (TPNP).

Disponibilidad: Porcentaje de tiempo de buen funcionamiento de una maquina o equipo por ente de toda la industria es decir producción óptima.

Efectos de falla: Lo que pasa si ocurre la falla

Equipo: Unidad compleja de orden superior integrada por conjuntos, componentes y piezas, agrupados para formar un sistema funcional (generador eléctrico, transformador eléctrico). Equivale al término máquina.

Falla o avería: Daño que impide el buen funcionamiento de la maquinaria o equipo.

Falla evidente: Es un modo de falla cuyos efectos se tornan evidentes para el personal de operaciones bajo circunstancias normales.

Falla oculta: Un modo de falla cuyo efecto no es evidente para el personal de operación bajo circunstancias normales.

Fallas funcionales: Incapacidad de un elemento o componente de un equipo para satisfacer un estándar de funcionamiento deseado.

Ficha histórica: Registro de las incidencias, averías, reparaciones y actuaciones en general que conciernen a un determinado ítem. Equivale al término historial.

Función primaria: Es la función que constituye la razón principal por la que el activo físico o sistema es adquirido por el usuario.

Función Secundaria: las funciones que un activo físico o sistema tiene que cumplir, parte de su función primaria, así como aquella necesita cumplir con los movimientos regulados.

Función: Lo que el usuario desea que realice el equipo o sistema.

Gestión de mantenimiento: Actuaciones con las que la dirección de una organización de mantenimiento sigue una política determinada.

Ítem: Sistema, subsistema, instalación, planta, máquina, equipo, estructura, edificio, conjunto, componente o pieza que pueda ser considerada individualmente y que admita su revisión o prueba por separado.

Mantener: Conjunto de acciones para que las instalaciones y máquinas de una industria funcionen adecuadamente.

Mantenibilidad: Facilidad con la que puede realizarse una intervención de mantenimiento. Se puede expresar como la probabilidad de que un ítem averiado puede ponerse de nuevo en un estado operativo en un período de tiempo dado, cuando el mantenimiento se realiza con condiciones determinadas y se efectúa con los medios y procedimientos establecidos.

Mantenimiento Centro en Confiabilidad: es la filosofía de mantenimiento desarrollada para la industria aeronáutica, reforzar la confiabilidad de las empresas.

Mantenimiento correctivo: Son las actividades que se realizan al equipo con la finalidad de restablecer la capacidad de operación, después de que ha fallado.

Mantenimiento preventivo: Consiste en una serie de tareas planeadas preventivas que se llevan a cabo para contrarrestar las causas conocidas de fallas potenciales de dichas funciones.

Mantenimiento Proactivo: Es una filosofía dirigida fundamentalmente a la detección y corrección de las causas que generan el desgaste que conducen a la falla de la maquinaria.

Mejorar: Pasar de un estado a otro que de mayor desempeño de la máquina o equipo.

Modos de falla (Causa de falla): es un evento único que causa una falla funcional.

Plan de mantenimiento: Es un conjunto de acciones a ejecutar (Actividades de mantenimiento preventivo, no correctivo ni de oportunidad) con cierta periodicidad hasta un año para anticiparse a salidas de equipo.

Planificar: Trazar un plan o proyecto de las actividades que se van a realizar en un periodo de tiempo.

Producción: Es un proceso mediante el cual se genera utilidades a la industria.

Reparación: Restitución de un ítem a condición admisible de utilización mediante el arreglo o reposición de las partes dañadas, desgastadas o consumidas.

Seguridad: Asegurar el equipo y personal para el buen funcionamiento de la planta, para prevenir condiciones que afecten a la persona o la industria.

Telecomunicaciones: Es toda transmisión y recepción de señales de cualquier naturaleza, típicamente electromagnéticas, que contengan signos, sonidos, imágenes o, en definitiva, cualquier tipo de información que se desee comunicar a cierta distancia.

Tecnología: Es la ciencia aplicada a la resolución de problemas concretos. Constituye un conjunto de conocimientos científicamente ordenados, que permiten diseñar y crear bienes o servicios que facilitan la adaptación al medio ambiente y la satisfacción de las necesidades esenciales y los deseos de la humanidad.

Tiempo medio de reparación (MTTR): Tiempo medio necesario para reparar un ítem.

Tiempo medio entre fallos (MTBF): Tiempo medio entre averías sucesivas de un ítem reparable. Y es inverso a la tasa de fallos.

BIBLIOGRAFÍA

LIBROS

MOUBRAY, J. (1999). *LIBRO, Mantenimiento Centrado en Confiabilidad*. Buenos Aires - Argentina: Aladon Ltd.

PERALTA, R. (2011). *LIBRO, Principios y Fundamentos de la Ingeniería de Mantenimiento*. La Paz - Bolivia: Grafica Princl.

AMENDOLA, L. (2015). *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM- METODOLOGIA*. ESPAÑA.

TESIS Y PROYECTOS

MENDOZA, C. (2016). *TESIS - Sistema de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad para Motores Electricos de Inducción*. La Paz - Bolivia: Universidad Mayor de San Andres.

ALAVE, E. J. (2016). *TESIS - Desarrollo e implementacion de una metodologia de mantenimiento basado en el riesgo para microcentrales hidroelectricas*. La Paz - Bolivia: Universidad Mayor de San Andres.

ROJAS, J. (2012). *TESIS - Modelo de Plan de Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad para Turbinas Hidraulicas*. La Paz - Bolivia: Universidad Mayor de San Andres.

ESPINOZA, J. G. (2016). *PFC Proceso de implementacion de una radio base para tecnologia LTE*. Mexico: Universidad Autonoma de Mexico.

JIMENES, H. L. (2012). *PFC, Sistema de Supervision y Soporte para Nodos LTE*. Madrid: UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID.

SAEZ, C. A. (2016). *PFC, Integracion de Nuevas Tecnologias en una BTS 3900 Existente*. Madrid: Universidad Autonoma de Madrid - España.

SANCHEZ, B. (2016). *Diseño de un plan de mantenimiento mediante metodología RCM para una línea de valorización de PEBD*. SEVILLA.

TOMÉ, I. Z. (2014). *PFC, Diseño de un Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad*. Puerto Ordaz.

INFORMES

MAMANI, C. B. (2016). *INFORME DE PASANTIA (STS Bolivia Ltda - TELECEL S.A.)*. Universidad Mayor de San Andres: Carrera de Electronica Facultad de Tecnologia.

SAE. (1999). *SAE*. Recuperado el 1999, de SAE: <http://www.sae.org>

STS Bolivia, L. (2016). *Informe de Mantenimiento*. La Paz - Bolivia.

HUAWEI, T. C. (2016). *Capacitacion BBU 3900 LTE*. China: Huawei.

PAGINAS WEB

ALDAKIN. (2018). <http://www.aldakin.com>. Recuperado el 2 de OCTUBRE de 2018, de <http://www.aldakin.com/tipos-de-mantenimiento-industrial-ventajas-inconvenientes/>

ARTICULO CIENTÍFICO

JARAMILLO, M. (15 de 08 de 2017). ARTICULO CIENTIFICO. *Implementación de una Red Movil con tecnologia 4G LTE*. Guallaquil, Ecuador: Red de Repositorios de Acceso abierto al Ecuador.

OTROS DOCUMENTOS

BOLIVIA, C. P. (07 de 02 de 2009). CONSTITUCION POLITICA DEL ESTADO. *CONSTITUCION POLITICA DEL ESTADO*. LA PAZ, BOLIVIA: GASETA OFICIAL DE BOLIVIA.

CORTEZ, J. (2016). PRESENTACION COMUNICACIONES MOVILES 2G-3G-4G-LTE. *TIGO - TECHNOLOGY FACTORY SUPPORT LPZ -RBS*. La Paz: TIGO.

ANEXOS**ANEXO 1 HOJA DE PREGUNTAS – ENTREVISTA A EXPERTOS**

ENTREVISTA A EXPERTOS
EN MANTENIMIENTO DE ESTACIONES RADIO BASE
HOJA DE PREGUNTAS

1. ¿Cuál su opinión respecto a la propuesta de Plan de MCC (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad) para Radio Bases 4G-LTE?
2. ¿De acuerdo a la propuesta de Plan de MCC considera usted que se reducirán los mantenimientos correctivos?
3. ¿De acuerdo a la propuesta de Plan de MCC considera usted que se reducirá la frecuencia de fallos en los equipos?
4. ¿De acuerdo a la propuesta de Plan de MCC considera usted que se debería de implementar, si su respuesta es Positiva, por favor conteste las siguientes preguntas?
5. ¿En qué porcentaje considera usted que se podrá reducir la cantidad de fallas en el periodo de un año, para una Radio Base con tecnología 4G LTE, en el subsistema de NODO B que tiene como equipo principal es la BBU 3900,?
6. ¿En qué porcentaje considera usted que se podrá reducir la cantidad de fallas en el periodo de un año, para una Radio Base con tecnología 4G LTE, en el subsistema de RADIO FRECUENCIA que tiene como equipos principales son la RRU 3908 y las antenas sectoriales?
7. ¿En qué porcentaje considera usted que se podrá reducir la cantidad de fallas en el periodo de un año, para una Radio Base con tecnología 4G LTE, en el subsistema de ENERGÍA ELÉCTRICA que tiene como componentes principales a los Dispositivos eléctricos que conforman los Tableros (Principal y de Distribución), Rectificadores, banco de baterías, sistema de tierra?
8. ¿En qué porcentaje considera usted que se podrá reducir la cantidad de fallas en el periodo de un año, para una Radio Base con tecnología 4G LTE, en el subsistema de TRANSPORTE que tiene como equipos principales, al ATN 910, sistema de Transporte por Microondas y sistema de Transporte por Fibra Óptica?

ANEXO 2 PLANILLA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO STS LTDA.

 FORMULARIO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO 4G					
1. DATOS GENERALES					
Fecha	18-Apr-16	Coordenadas WGS84			
Nombre del Sitio	CARRETERA A LAJA	Longitud	-68,2001572		
Site ID		Latitud	-16,3171787		
Departamento	LA PAZ				
Dirección	CARRETERA A LAJA				
TIPO DE TORRE	AUTOSOPORTADA	ALTURA DE TORRE	60m	TIPO DE INSTALACION	OUTDOOR
2. RF					
SECTOR		A	B	C	
TIPO DE ANTENA		SECTORIAL	SECTORIAL	SECTORIAL	
Altura de Antena (m)					
Azimuth (°)					
Tilt Mecánico (°)					
Tilt Eléctrico (°)					
Modelo de Antena					
Longitud de Jumper (m)					
Tipo de línea de comunicación FO / FEEDER					
Longitud de Feeder (m) / Longitud FO (m)					
Mediciones VSWR					
Tension de alimentacion RRU (-40Vdc a -60 Vdc)		OK	OK	OK	
Antena correctamente sujetas a la estructura (revisar pernos de sujecion)		OK	OK	OK	
Los jumpers de la antena y RRU se encuentran correctamente vulcanizados		OK	OK	OK	
RRU correctamente sujetas a la estructura (revisar pernos de sujecion)		OK	OK	OK	
RRU correctamente aterradas con cable # 6 AWG color verde/amarillo		N/E	N/E	N/E	
Cables de energia correctamente conectados a RRU y gabinete de energia		OK	OK	OK	
Cables de energia y FO/feeder correctamente asegurados en escalerilla		OK	OK	OK	
OBSERVACIONES	LAS RRUS NO ESTAN ATERRADAS CORRECTAMENTE POR NO EXISTIR BAJANTE DE TIERRA				
3. DATOS NODEB					
MODELO DE NODO B	TIPO DE TX	EL COMPARTIMIENTO SE ENCUENTRA SELLADO		TENSION ALIMENTACION BBU	FAN BBU
DBS 3900 / DBS 3800	F.O.	SI		(-40Vdc a -60 Vdc)	OK
TARJETA SLPU INSTALADA	TIPO DE CONECTOR	ATERRAMIENTO BBU	TEMPERATURA BBU	TENSION ALIMENTACION RRU A	FAN GABINETE
NO	SC	OK	26°	(-40Vdc a -60 Vdc)	OK
TARJETA WBBP INSTALADA	No E1s CON CONECTOR	FAN BBU	TEMPERATURA PSUs	TENSION ALIMENTACION RRU B	FAN BB (SOLO APM30H)
SI		OK	24°	(-40Vdc a -60 Vdc)	OK
TARJETA SLPU INSTALADA	No. E1s CONECTADOS	FAN DEL GABINETE	TEMPERATURA BANCO BAT	TENSION ALIMENTACION RRU C	LIMPIEZA
NO		OK	24°	(-40Vdc a -60 Vdc)	OK

			
MANTENIMIENTO ENERGÍA - INFRAESTRUCTURA - TRANSPORTE REPORTE TRABAJOS PREVENTIVOS (F-M-TEL-18)			
RAZÓN DE LA VISITA : MANTENIMIENTO	RED	X	RED - GRUPO
CENTRO DE MANTENIMIENTO :	FECHA DE VISITA : 04/01/2016		PERSONAL CONTACTO TELECEL :
ESTACIÓN : ALTO LIMA	RESPONSABLE STS :		
OBSERVACIONES Y/O ACLARACIONES SOBRE LOS TRABAJOS EJECUTADOS (PARA REVISIÓN DE TELECEL NACIONAL)			
<p>Se procede a la medición de voltaje corriente en Ac y Dc del rectificador</p> <p>Se mide el voltaje de cada celda del banco de baterías</p> <p>Se realiza limpieza los equipos de transmisión , energía y banco de baterías</p> <p>Se obtiene datos de mediciones de recepción y transmisión</p> <p>Se verifica la iluminación interior y exterior</p> <p>Se realiza la descarga y carga del banco de baterías para comprobar su correcto funcionamiento</p>			
LISTA DE PARTES, REPUESTOS E INSUMOS UTILIZADOS			
PROVISTOS POR TELECEL	PROVISTOS POR STS 15 precintos 2 franelas de limpieza 1 cinta aislante 500 gr. de ace		
LISTA DE PARTES, REPUESTOS E INSUMOS A TRAER EN PRÓXIMA VISITA			
PROVISTOS POR TELECEL	PROVISTOS POR STS		
REQUERIMIENTOS ADICIONALES EN ENERGÍA - INFRAESTRUCTURA - TRANSMISIÓN			
PERSONAL TÉCNICO Pts.		NOTAS	
Oscar Quelali			
Wilmer Salazar			
POR STS BOLIVIA Ltda.		POR TELECEL S.A.	
FIRMA	_____	FIRMA	_____
NOMBRE	Wilmer Salazar	NOMBRE	
- SE ADJUNTAN TODOS LOS FORMULARIOS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO			



REPORTE FOTOGRÁFICO MANTENIMIENTO

NOMBRE DEL SITIO

ALTO LIMA

EQUIPOS PRINCIPALES



VISTA SEÑALÉTICA O LLAVE DEL SITIO



VISTA DE LA ANTENA



VISTA DE LOS EQUIPOS BTS 2G/3G



VISTA DEL TABLERO DE DISTRIBUCIÓN



VISTA DEL EQUIPOS 4 - G



VISTA DEL EQUIPOS 3 - G

EQUIPOS PRINCIPALES



VISTA DEL POWER 3-G



VISTA DEL POWER 4-G



VISTA DEL BANCO DE BATERÍAS 3- G



VISTA DE BANCO DE BATERÍAS 4- G



VISTA EQUIPO TX



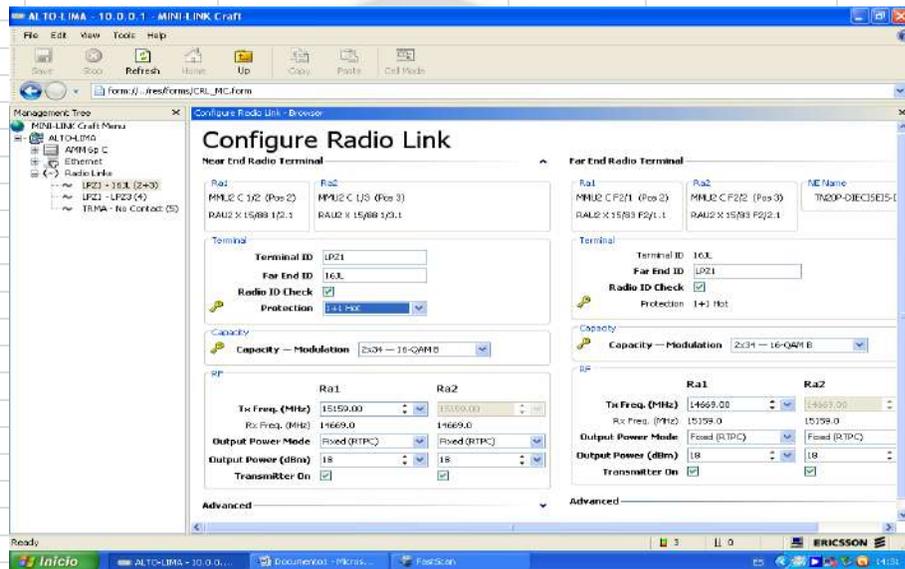
VISTA EQUIPO TX



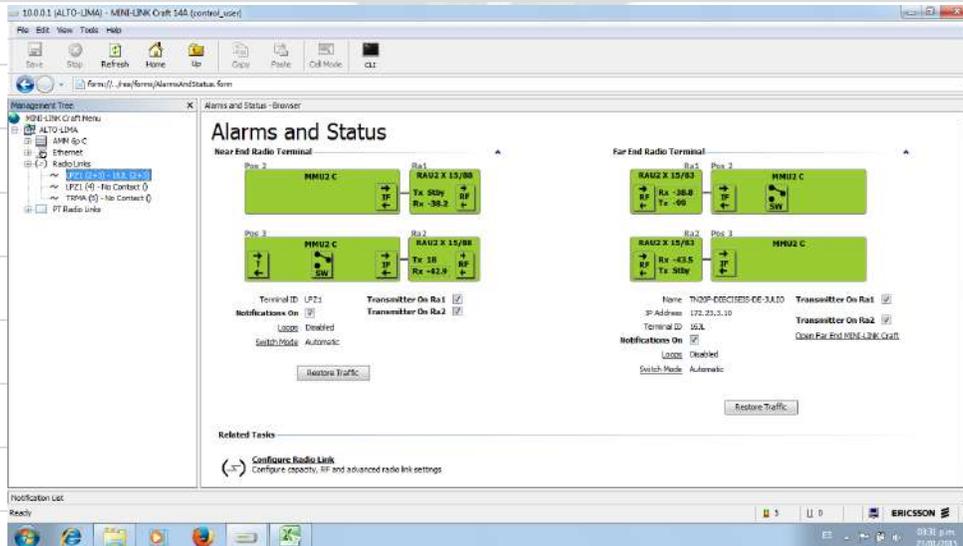
					
MANTENIMIENTO PREVENTIVO A POWER (F-M-TEL -07)					
SUBSISTEMA ENERGIA		APM 200 <input type="checkbox"/>	APM 30 H <input checked="" type="checkbox"/>		
		GSM <input type="checkbox"/>	4G <input checked="" type="checkbox"/>		
PS 24600/75 <input type="checkbox"/>	PS 48300 <input type="checkbox"/>	BTS 3012 A <input type="checkbox"/>			
ESTACION:	ALTO LIMA	FECHA:	04/01/2016		
Nº DE SERIE	21211610183WB2004687	A. FJO:	23039312		
1.- VERIFICACION RECTIFICADORES					
SISTEM					
POWER	ON <input checked="" type="checkbox"/>	OFF <input type="checkbox"/>			
ALARM	ON <input type="checkbox"/>	OFF <input checked="" type="checkbox"/>			
2.- LECTURA Y MEDIDAS AC					
	PSM -A11 (Volt)	Medido (Volt.)	Medido (Amp.)		
PHASE A:		221	21,4		
PHASE B:					
PHASE C:					
3.- LECTURA Y MEDIDAS DC					
	PSM -A11 (Volt)	Medido			
VOLT (Volt.)		53.1			
CURR (Amp.)		16.4			
BATT 1		BATT 2			
VOLT (Volt.)	53.5	VOLT (Volt.)	53.5		
CURR (Amp.)	0	CURR (Amp.)	0		
CAPACITY (Ah.)	100	CAPACITY (Ah.)	100		
RECT-1 (APM)		RECT-2 (APM)		RECT-3 (APM)	
ALARMAS VISUALES		ALARMAS VISUALES		ALARMAS VISUALES	
	ON	OFF		ON	OFF
ALM	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	ALM	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
FAN ALM	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	FAN ALM	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
RUN	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	RUN	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.- INSPECCION DE SISTEMA DE ENERGIA					
LIMPIEZA DE VENTILADORES		OK			
ESTADO CONECTORES		OK			
VERIF. PROTECTOR TRANSCIENTES GABINETE		OK			
ESTADO CABLE AC		OK			
ESTADO CABLE DC		OK			
SUJECION DE RACK		OK			
SUJECION DE SUBRACK		OK			
OBSERVACIONES					
POR TELECEL			POR STS BOLIVIA		
			Osvaldo Copa Luví		

	FORMULARIO DE MANTENIMIENTO TX (F-M-TEL -16)	
MINI-LINK E <input type="checkbox"/>	NEC <input type="checkbox"/>	MINI-LINK TN <input checked="" type="checkbox"/>
1.- DATOS DE IDENTIFICACION		
IDENTIFICACION DEL SALTO:		
ESTACION A: ALTO LIMA COD. ESTACION A: LPZ1 FECHA: 04/01/2016		ESTACION REMOTA B: 16 DE JULIO COD. ESTACION B: 16JL CIUDAD: LA PAZ

2.- PARAMETROS CONFIGURADOS (MINILINK E/ NEC /TN)



3.- POTENCIAS DE TRANSMISION / RECEPCION:



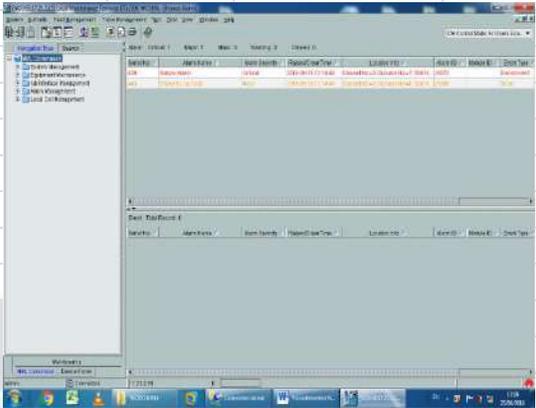
PRUEBAS FUNCIONALES DEL EQUIPO							
PRUEBAS DE CONMUTACION DE RADIOS AUTO/MANUALES							
LADO A:				LADO B:			
TX Select	TX1/TX2	Ok		TX Select	TX1/TX2	Ok	
RX Select	RX1/RX2	Ok		RX Select	RX1/RX2	Ok	
							
FORMULARIO DE MANTENIMIENTO TX (F-M-TEL -16)							
4.- VERIFICACION DE INSTALACION OUT DOOR ANTENAS , RAU's IF's							
ANTENAS - RAU's - IF's							
Diametro Antena				0,60 [m]			
Firmeza				OK			
Etiquetados				OK			
Aterramientos				OK			
Cableado/Peinado				OK			
Vulcanizado conectores				OK			
5.- PRUEBA DE INTERFASE ELECTRICA Y SEGUIMIENTO DE TRIBUTARIOS							
TRIB.	EN BB	NODO B 3-G	SISTEMA GSM	TRIB	EN BB	NODO B 3 G	SISTEMA GSM
1	OK		ALTOLIMA	25			
POR TELECEL				POR STS BOLIVIA LTDA.			

		CHECK LIST FINALIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO DE ESTACIÓN					
ESTACIÓN	ALTO LIMA					HORA DE ENTRADA DE LA ESTACIÓN	09:00
FECHA	04/01/2016					HORA DE SALIDA DE LA ESTACIÓN	17:00
PERSONAL DE CONTACTO DEL "COM"							
						OBSERVACIONES	
1.- VERIFICAR CON EL "COM" SI EXISTEN ALARMAS EXTERNAS							
ALARMA DE CORTE DE ENERGÍA					SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO
ALARMA DE FALLA DE RECTIFICADOR					SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO
ALARMA DE TEMPERATURA ALTA					SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO
ALARMA DE PUERTA ABIERTA					SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO
ALARMA DE HUMEDAD					SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO
ALARMA DE BAJO VOLTAJE					SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO
ALARMA DE ALTO VOLTAJE					SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO
ALARMA DE ROE					SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO
2.- VERIFICAR SI ESTÁN CONECTADAS LAS ALARMAS EXTERNAS							
					SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO
3.- VERIFICAR SI TODOS LOS TÉRMICOS SE ENCUENTRAN ENERGIZADOS							
					SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO
4.- VERIFICAR SI LOS AIRES ACONDIONADOS ESTÁN FUNCIONANDO							
					SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO
5.- VERIFICAR SI NO EXISTE ALARMAS EN LOS EQUIPOS							
ALARMA EN LA RBS					SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO
ALARMA EN ENLACES					SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO
ALARMA DE RECTIFICADORES					SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO
6.- VERIFICAR SI LOS RECTIFICADORES SE ENCUENTRAN FUNCIONADO							
					SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO
7.- VERIFICAR QUE LAS ILUMINACIÓN INTERNA SE ENCUENTRA APAGADA							
					SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO
8.- VERIFICAR SI UNA VEZ CERRADA LA PUERTA DE LA BTS NO TENGA ALARMA							
					SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO
9.- VERIFICAR EN EL GGEE							
VERIFICAR QUE TODOS LOS TÉRMICOS DE LA ATS ESTEN ENERGIZADOS					SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO
VERIFICAR QUE EL GGEE ESTE EN AUTOMÁTICO					SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO
VERIFICAR QUE LAS PUERTAS DEL GGEE ESTEN CERRADAS					SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO
VERIFICAR QUE EL TANQUE DEL GGEE ESTE CON COMBUSTIBLE					SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO
10. VERIFICAR QUE EL INGRESO PRINCIPAL ESTE CERRADO							
					SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO
SUGERENCIAS							
NOMBRE DEL RESPONSABLE DEL GRUPO		Wilmer Salazar			FIRMA		
Vº Bº RESPONSABLE DE ZONA					FIRMA		

ANEXO 3 PLANILLA MANTENIMIENTO CORRECTIVO INTERNO

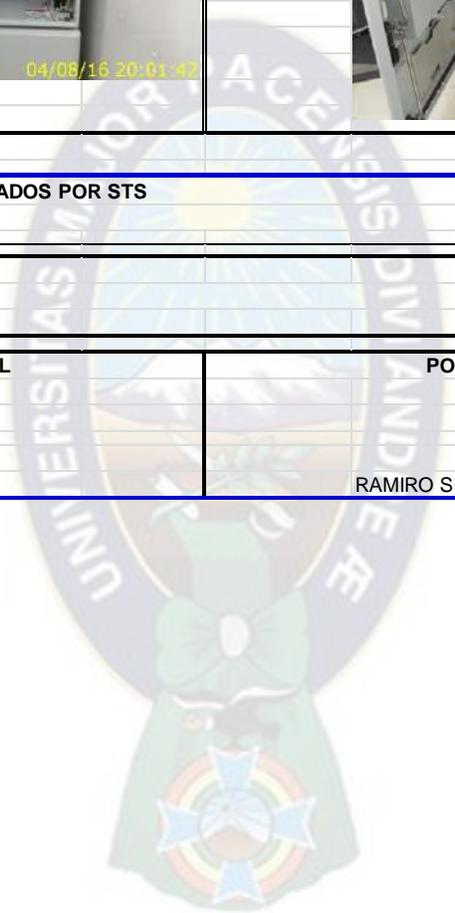
MANTENIMIENTO CORRECTIVO EN LA ESTACIÓN RADIO BASE.

			
INFORME EMERGENCIAS (F-M-TEL-17)			
REGION: REGIONAL LA PAZ		FECHA: 25/09/2016	
ESTACIÓN: SATELITE COSITE		ZONA DE MANTENIMIENTO 1	
NOTIFICACIÓN	INICIO VIAJE	INGRESO AL SITIO	CONCLUSIÓN TRABAJO
25/09/2016 11:30	25/09/2016 12:00	25/09/2016 14:30	25/09/2016 16:00
PERSONAL TELECEL DE TURNO		PERSONAL STS DE TURNO	
JAVIER VALENCIA		RAMIRO SUMI VICTOR HUGO QUELALI	
TIPO DE EMERGENCIA		SERVICIO AFECTADO	
RADIO FRECUENCIA	<input type="checkbox"/>	CORTE DE TRAFICO	<input checked="" type="checkbox"/>
ENERGÍA	<input type="checkbox"/>	CORTE INTERMITENTE	<input type="checkbox"/>
TRANSPORTE	<input checked="" type="checkbox"/>	PELIGRO DE CORTE	<input type="checkbox"/>
NODO B	<input type="checkbox"/>	OTROS	<input type="checkbox"/>
INFRAESTRUCTURA	<input type="checkbox"/>		
DESCRIPCION DE FALLA			
SISTEMA 4G FUERA DE SERVICIO			
DESCRIPCION DE INTERVENCION			
11:30 se recibe el aviso de que la RBS Satellite Cosite se encuentra fuera de servicio en el sistema 4G.			
12:00 se inicia el viaje a la RBS.			
14:30 se llega a la RBS, y se verifica que efectivamente el sistema 3G se encuentra fuera de servicio, debido a que el ATN 910 estaba alarmado, posteriormente se revisa y se realiza un reset a todos los equipos pero estos no reaccionan.			
15:00 se coordina con el personal de turno Telecel para el recojo en almacenes de Ciudad Satellite de un ATN 910 en buen estado para el reemplazo.			
15:45 se reemplaza el ATN 910 dañado por el ATN 910 con código MIC 1392681 y se normaliza el servicio.			
16:00 se informa al personal de turno Tigo, verificando con el COM que no existan alarmas nos retiramos de la estación.			

FOTOGRAFIAS DEL ANTES Y DESPUES DE LA INTERVENCIÓN	
ANTES	DESPUES
	
ANTES	DESPUES
	
REPUESTOS O INSUMOS UTILIZADOS POR STS	
OBSERVACIONES	
POR TELECEL	POR STS BOLIVIA
	RAMIRO SUMI

NOTIFICACIÓN		INICIO VIAJE		INGRESO AL SITIO		CONCLUSIÓN TRABAJO	
04/08/2016		04/08/2016		04/08/2016		04/08/2016	
17:30		18:30		19:50		20:10	
PERSONAL TELECEL DE TURNO				PERSONAL STS DE TURNO			
VICTOR HEREDIA				RAMIRO SUMI VICTOR HUGO QUELALI			
TIPO DE EMERGENCIA				SERVICIO AFECTADO			
RADIO FRECUENCIA		<input type="checkbox"/>		CORTE DE TRAFICO		<input type="checkbox"/>	
ENERGÍA		<input type="checkbox"/>		CORTE INTERMITENTE		<input type="checkbox"/>	
TRANSPORTE		<input type="checkbox"/>		PELIGRO DE CORTE		<input checked="" type="checkbox"/>	
NODO B		<input checked="" type="checkbox"/>		OTROS		<input type="checkbox"/>	
INFRAESTRUCTURA		<input type="checkbox"/>					
DESCRIPCION DE FALLA							
SISTEMA 4G FUERA DE SERVICIO							
DESCRIPCION DE INTERVENCION							
17:30 se recibe el aviso de que la RBS Fabrica de Vidrios presenta alarma de FUERA DE SERVICIO EN EL SISTEMA 4G.							
18:30 se inicia el viaje.							
19:50 se ingresa al sitio. Se encuentra al sistema 3G fuera de servicio.							
20:00 se realiza un reset fisco al sistema 4G.							
20:10 se restablece el servicio, se informa al personal de Turno TIGO y nos retiramos de la estacion.							

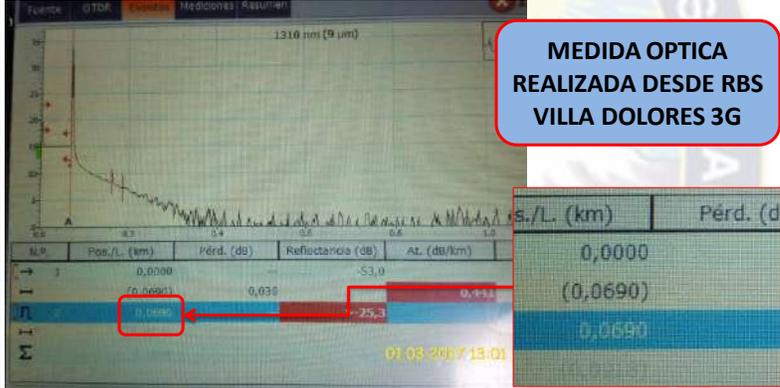
FOTOGRAFIAS DEL ANTES Y DESPUES DE LA INTERVENCIÓN	
ANTES	DESPUES
 <p>04/08/16 20:01:43</p>	 <p>04/08/16 20:07:43</p>
REPUESTOS O INSUMOS UTILIZADOS POR STS	
OBSERVACIONES	
POR TELECEL	POR STS BOLIVIA
	RAMIRO SUMI



ANEXO 4 PLANILLA MANTENIMIENTO CORRECTIVO EXTERNO

POR CORTE DE FIBRA ÓPTICA.

			
INFORME EMERGENCIA TELECEL URBANO EL ALTO			
C.M.: EL ALTO		FECHA DE PRESENTACION INFORME: 28 DE FEBRERO DE 2017	
TRAMO: RBS VILLA DOLORES 4G - RBS 9 DE ABRIL		INTERVENCION: CORRECTIVO	
REPARACIÓN PROVISIONAL: <input type="checkbox"/>		REPARACION DEFINITIVA: <input checked="" type="checkbox"/>	
DESCRIPCION GENERAL DE LA CAUSA QUE MOTIVA A PRESENTAR EL INFORME:			
En fecha 28 de FEBRERO de 2017, el personal de STS. Bolivia Ltda. Regional El Alto, recibe la llamada de parte del personal de TELECEL, solicitando que el grupo del C.M. El Alto salga a la atención de emergencia por corte total de cable F.O. en el tramo RBS Villa Dolores 3G – RBS 9 de Abril, posteriormente se realiza las medidas ópticas con el OTDR en la RBS Villa dolores 3G. Se verifica que el corte se encuentra a 0,0690 Km. Se coordina con el Ing. Diego Bolaños Supervisor de TELECEL.			
DESCRIPCIÓN GENERAL DE TRABAJOS EJECUTADOS EN EL CABLE DE FIBRA ÓPTICA:			
<ul style="list-style-type: none"> - A 0,0690 Km de RBS Villa Dolores 4G, se recupera cable de reserva des de poste adyacente. - Preparacion de cable de F.O. En caja de empalme nueva implementada. - Se realiza las fusiones en las fibras opticas de prioridad, los que estan con trafico. - Trabajos de plex, instalacion de ferreteria duplo, cruceta y tesado de cable de F.O. en poste. - Se continua con la fusion de las fibras opticas restantes y sistemado en bandeja . - Sellado y asegurado de caja de empalme E#X y asegurado en poste. 			
CAUSAS DE LA FALLA:		No PERSONAS QUE INTERVINIERON:	TOTAL DE DIAS:
CORTE TOTAL DE F.O. PROVOCADO POR VEHICULO DE ALTO TONELAJE QUE CIRCULABA POR EL SITIO.		4	1
MATERIALES E INSUMOS UTILIZADOS EN LA INTERVENCION			
MATERIALES PROVISTOS POR TELECEL:		MATERIALES UTILIZADOS POR STS:	
- NUNGUÑO		<ul style="list-style-type: none"> - 1 CAJA DE EMPAME DE 24 F.O - 1 CINTA BULCANIZANTE - 2 MALLAS ALZA - 2 MALLAS RECTAS DE 2/0 - 2 RACK + AISLADOR - 2 GUARDACABOS - 1 CRUCETA DE RESERVA - 2 PERNO "J" - 2 ABRAZADERAS BAP - 24 TUBITOS TERMO-CONTRAIBLES PARA FUSION DE F.O. - 4 MTS DE ALAMBRE DE AMARRE 	
OBSERVACIONES:			
TRABAJO CONCLUIDO DE FORMA DEFINITIVA			
FIRMA:(STS BOLIVIA LTDA.)		FIRMA: (TIGO)	

INFORME FOTOGRÁFICO	
C.M.: EL ALTO	FECHA DE TRABAJO: 28 DE FEBRERO DE 2017
TRAMO: RBS VILLA DOLORES 4G - RBS 9 DE ABRIL	PERSONAL: VICTOR HUGO QUELALI RAMOS - JOSE LUIS CALLE -FREDDY ABAT MAMANI - ROLANDO VASQUEZ
DESCRIPCIÓN FOTOGRÁFICA	FORM 5-2
 <p>Latitud: 16°30'57.94"S Longitud: 68°9'33.72"O</p> <p>PUNTO DEL CORTE TOTAL DE CABLE F.O.</p>	<p>- UBICACIÓN DEL PUNTOS DE TRABAJO A 0,0690Km. DE RBS VILLA DOLORES 4G</p> <p>MATERIAL UTILIZADO</p> <ul style="list-style-type: none"> - 1 CAJA DE EMPALME - 48 TUBITOS TERMOCONTRAIBLES DE F.O. - 4 METROS DE ALAMBRE - 2 ABRAZADERA BAP - 2 PERNO "J" - 2 CRUCETA DE RESERVA - 2 CINTA BULCANIZANTE - 2 MALLA RECTA 2/0 - 2 MALLA DE ALZA - 2 GUARDACABOS
 <p>MEDIDA OPTICA REALIZADA DESDE RBS VILLA DOLORES 3G</p>	<p>- CORTE TOTAL DE F.O. A 0,0690 Km .</p> <p>-MEDIDA OPTICA REALIZADA POR PERSONAL DE STS.</p>
<p>PUNTAS CORTADAS</p> 	<p>- LOS EXTREMOS DEL CABLE DE F.O. CORTADOS, SE IMPLEMENTA UNA CAJA DE EMPALME, AL PUNTO DE TRABAJO.</p>
<p>..... Firma (TIGO)</p>	<p>..... Firma: (STS BOLIVIA LTDA)</p>