



UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL POLITÉCNICA  
"ANTONIO JOSÉ DE SUCRE"  
VICE-RECTORADO PUERTO ORDAZ  
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSTGRADO  
UNIDAD REGIONAL DE POSTGRADO  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO

**DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD  
DE LOS EQUIPOS ZTE DE LA RED DE TRANSMISIÓN DEL ESTADO BOLÍVAR DE  
CORPORACIÓN DIGITEL C.A.**

**ING. ZIDARY TOMÉ**

**PUERTO ORDAZ, OCTUBRE DE 2014**

**DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD  
DE LOS EQUIPOS ZTE DE LA RED DE TRANSMISIÓN DEL ESTADO BOLÍVAR DE  
CORPORACIÓN DIGITEL C.A.**



UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL POLITÉCNICA  
"ANTONIO JOSÉ DE SUCRE"  
VICE-RECTORADO PUERTO ORDAZ  
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSTGRADO  
UNIDAD REGIONAL DE POSTGRADO  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO

**DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD  
DE LOS EQUIPOS ZTE DE LA RED DE TRANSMISIÓN DEL ESTADO BOLÍVAR DE  
CORPORACIÓN DIGITEL C.A.**

**ING. ZIDARY TOMÉ**

Trabajo de Grado presentado ante la Dirección de Investigación y Postgrado del Vicerrectorado Puerto Ordaz como parte de los requisitos para optar al Título de Especialista en Gerencia de Mantenimiento.

**TUTOR: ING. JORGE CRISTANCHO M.Sc**

**PUERTO ORDAZ, OCTUBRE 2014**

Tomé, Zaidary

**DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD DE LOS EQUIPOS ZTE DE LA RED DE TRANSMISIÓN DEL ESTADO BOLÍVAR DE CORPORACIÓN DIGITEL C.A. (2014)**

66 Páginas

Trabajo de Grado

Universidad Nacional Experimental Politécnica “Antonio José de Sucre”, Vicerrectorado Puerto Ordaz, Dirección de Postgrado Investigación y Postgrado, Especialización En Gerencia de Mantenimiento. Tutor: Ing. Jorge Cristancho M.Sc.

Bibliografía Pág. 58

1) Plan. 2) Mantenimiento. 3) Equipos ZTE. 4). Confiabilidad 5) Digitel.



UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL POLITÉCNICA  
"ANTONIO JOSÉ DE SUCRE"  
VICE-RECTORADO PUERTO ORDAZ  
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSTGRADO  
UNIDAD REGIONAL DE POSTGRADO  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO

### ACTA DE EVALUACIÓN

En mi carácter de tutor del Trabajo de Grado presentado por la **Ingeniero Zaidary Tomé**, portadora de la cédula de identidad número: **16.614.814**, para optar al grado académico de: **Especialista en Gerencia de Mantenimiento**. Titulado: **DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD DE LOS EQUIPOS ZTE DE LA RED DE TRANSMISIÓN DEL ESTADO BOLÍVAR DE CORPORACIÓN DIGITEL C.A.**, considero que dicho trabajo reúne los requerimientos y méritos suficientes para ser sometido a la evaluación por parte del jurado examinador.

En la ciudad de Puerto Ordaz a los 20 días del mes de Octubre de dos mil catorce.

---

Ing. Jorge Cristancho M.Sc.  
C.I 3.007.904



UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL POLITÉCNICA  
"ANTONIO JOSÉ DE SUCRE"  
VICE-RECTORADO PUERTO ORDAZ  
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSTGRADO  
UNIDAD REGIONAL DE POSTGRADO  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO

## ACTA DE APROBACIÓN

Quienes suscriben, Miembros del jurado evaluador designados por la comisión de Estudios de Postgrado de la Dirección de Investigación y Postgrado de la Universidad Nacional Experimental Politécnica "Antonio José de Sucre" Vice-Rectorado Puerto Ordaz, para examinar el Trabajo de Grado presentado por la Ingeniero: **Zaidary Tomé**, portadora de la cédula de identidad número: **V.- 16.391.141**. Titulado: **DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD DE LOS EQUIPOS ZTE DE LA RED DE TRANSMISIÓN DEL ESTADO BOLÍVAR DE CORPORACIÓN DIGITEL C.A.**, el cual es presentado para optar al grado académico de **Especialista en Gerencia de Mantenimiento**, consideramos que dicho trabajo cumple con los requisitos exigidos para tal efecto y por tanto lo declaramos: **APROBADO**

En la ciudad de Puerto Ordaz a los 31 días del mes de Octubre de dos mil catorce.

---

Ing. Scandra Mora, M.Sc  
C.I.: 12186538  
Presidenta

---

Ing. Dario Silva, M.Sc  
C.I.: 3023615  
Miembro Principal

---

Ing. Jorge Cristancho, M.Sc  
C.I.: 3007904  
Miembro Principal

## **DEDICATORIA**

*A **Dios**, por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.*

*A **mis Padres**, por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo.*

*A **mi hija**, quien me prestó el tiempo que le pertenecía para terminar y quien ha sido mi mayor motivación para nunca rendirme en los estudios y poder llegar a ser un ejemplo de vida para ella. ¡TE AMO!*

*A **mi esposo**, quien me brindó su amor, su comprensión, su estímulo, su apoyo y su paciente espera para que pudiera terminar el grado.*

## **AGRADECIMIENTO**

Le agradezco a Dios, porque me acompaña y guía a lo largo de mi vida y de mi carrera profesional, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes y experiencias y sobre todo de felicidad.

A mi familia fuente de apoyo constante e incondicional en toda mi vida y más aún en mis duros años de carrera profesional y mi reciente carrera de vida como madre. En especial quiero expresar mi más grande agradecimiento a mi madre, ya que sin su ayuda hubiera sido imposible culminar con la especialización. TE AMO MAMÁ.

A mi esposo, gracias por tu paciencia y comprensión, hoy hemos alcanzado un triunfo más porque los dos somos uno y mis logros son los tuyos.

A mis hijos, cada vez que los veo, le doy gracias a Dios por estos dos hermosos regalos de vida que me dio, al mismo tiempo siento más ganas de trabajar fuertemente y seguir con el objetivo de alcanzar mis metas. Ustedes son mi principal inspiración. LOS AMO.

Me gustaría agradecer sinceramente a mi tutor de Tesis, Ing. Jorge Cristancho M.Sc, por su dedicación, sus conocimientos, sus orientaciones, su manera de trabajar, su persistencia, su paciencia y motivación han sido fundamentales para mi formación en la especialización.

A todos de nuevos, GRACIAS.

Tomé, Zaidary. (2014). **DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD DE LOS EQUIPOS ZTE DE LA RED DE TRANSMISIÓN DEL ESTADO BOLÍVAR DE CORPORACIÓN DIGITEL C.A.** Trabajo de Grado. Universidad Nacional Experimental Politécnica “Antonio José de Sucre”, Vicerrectorado Puerto Ordaz, Dirección de Investigación y Postgrado, Unidad Regional de Postgrado, Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Tutor: Ing. Jorge Cristancho M.Sc.

## **RESUMEN**

El presente trabajo de grado tuvo por propósito el desarrollo de plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad de los equipos ZTE de la red de transmisión del Estado Bolívar de CORPORACIÓN DIGITEL C.A. A través del estudio se describieron los equipos que conforman el Sistema GSM de Digitel, así como las conexiones de las estaciones, a fin de conocer los principios básicos de funcionamiento y las fallas frecuentes de los mismos, Se identificaron los componentes de los equipos ZTE, haciendo énfasis en los de mayor criticidad, los cuales resultaron ser BBU y RRU, Se utilizó el formato Análisis de Modos y Efectos de Fallas de Criticidad (FMECA), para la identificación de funciones, modos de fallas de los equipos, las variables involucradas en este formulario son: severidad de la falla, probabilidad de ocurrencia y modo de detección, El mantenimiento actualmente aplicado para estos equipos es el correctivo, lo cual hace más propenso a fallas al sistema y a paradas por intervenciones correctivas, lo cual es una debilidad organizacional, Se calculó la confiabilidad del sistema, el cual resultó ser 44,14%, dejando evidenciada la situación problemática que incentivó la realización del presente estudio, En base a la aplicación de los pasos de la metodología RCM, se logró diseñar el plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para los equipos ZTE, el cual está conformado por la función, actividades de mantenimiento, duración, RRHH, Unidad Responsable, Equipos, Frecuencia.

Palabras Claves: 1) Confiabilidad. 2) ZTE. 3) Digitel. 4). Plan 5) Mantenimiento.

## ÍNDICE

CAPÍTULO	Página
ACTA DE EVALUACIÓN.....	v
ACTA DE APROBACIÓN.....	vi
DEDICATORIA.....	vii
AGRADECIMIENTOS.....	viii
RESUMEN.....	ix
INTRODUCCIÓN.....	1
<b>1 EL PROBLEMA.....</b>	<b>3</b>
<b>1. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN</b>	
1.1 Objetivo General.....	4
1.2 Objetivos específicos.....	5
1.3 Justificación de la Investigación.....	
<b>2 MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>8</b>
2.1 Revisión de La Literatura.....	8
2.2 Bases Teóricas.....	10
<b>3 MARCO METODOLÓGICO.....</b>	<b>25</b>
3. 1 Tipo de Estudio.....	25
3.2 Población Y Muestra.....	26
3.3 Instrumentos de Recolección de Información.....	26
3.4 Procedimientos.....	27
3.5 Sistema de Variables.....	28
<b>4 RESULTADOS.....</b>	
4.1 Análisis de la situación actual de los equipos ZTE de la red de transmisión del estado bolívar de corporación DIGITEL C.A.....	31
4.2 Identificación de los componentes de los ZTE que acarrean mayor relevancia en el sistema de transmisión, aplicando un análisis de criticidad.....	40
4.3 Confiabilidad del Sistema ZTE.....	49
4.4 Diseño de un plan de mantenimiento proponiendo el tipo y la frecuencia de las actividades de mantenimiento.....	51
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>56</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>57</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>58</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>60</b>

## ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

<b>Tabla</b>		<b>Página</b>
1	Causas de falla funcionales.....	19
2	Detección de las fallas funcionales.....	20
3	Ocurrencia de la falla.....	21
4	Severidad de la falla.....	21
5	Formato.....	22
6	Operacionalización de las Variables.....	30
7	Radio Base Station (RBS) .....	35
8	Índice de Severidad del Fallo (S) .....	42
9	Índice de Ocurrencia (O) .....	43
10	Índice de No Detección (ND) .....	44
11	AMFEC para los Subsistemas RRU.....	45
12	AMFEC para los Subsistemas BBU.....	46
13	Frecuencia de modos de Fallas de los eventos .....	48
14	Probabilidad.....	48
15	Confiabilidad del subsistema RRU.....	49
16	Tareas efectivas por las causas predominantes de falla para RRU	50
17	Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para RRU.....	52
18		

<b>Figura</b>		<b>Página</b>
1	Sistema GSM/EDGE/UMTS convencional.....	32
2	Red ZTE SDR BTS .....	32
3	Estructura física R8860.....	34
4	Conexión de Estaciones parte 1 .....	36
5	Conexión de Estaciones parte 2.....	36
6	Conexión de Estaciones parte 3.....	37
7	Conexión de Estaciones parte 4.....	37
8	Conexión de Estaciones parte 5.....	38
9	Conexión en Estación.....	39
10	Árbol Lógico de Decisión para RRU.....	47

## **INTRODUCCIÓN**

El RCM está reconocido como una evaluación sistemática para identificar las acciones de mantenimiento aplicables (desde el punto de vista técnico) y efectivas (por su impacto económico), para desarrollar u optimizar el programa de mantenimiento. Consisten en la utilización de técnicas de monitoreo a condición, búsqueda de fallos y monitoreo por tiempo, que se aplican en ese orden progresivo para buscar los métodos menos invasivos sobre el estado técnico de los componentes objeto del mantenimiento.

La metodología de RCM 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 optimización se logra priorizando esfuerzos sobre la base de la aplicación del Principio de Pareto en profundidad, y dentro de diversos niveles de análisis de contribuyentes a la seguridad de la instalación e indisponibilidad de los sistemas. La aplicación del mantenimiento correctivo nunca se descarta y queda como opción para los equipos críticos en caso de fallos, y como política preferente de mantenimiento para los componentes con bajo efecto sobre la seguridad de la instalación y la indisponibilidad de los sistemas.

Esta metodología es aplicable en cualquier organización equipos y maquinarias, es por esto que la Gerencia de Operaciones y Mantenimiento de la empresa Corporación Digitel, CA., en Región Guayana comprendida por los estados: Bolívar, Monagas y Delta Amacuro busca planificar y programar los trabajos de mantenimiento basados en el análisis de la confiabilidad de los equipos, para así maximizar sus capacidades operativas y reducir los costes operativos, específicamente en los nuevos equipos de transmisión de ZTE, que

se implementaron para traer a la región la tecnología de tercera generación (3G).

Por tal motivo, se planteó en este trabajo como propósito principal determinar la confiabilidad de los equipos de transmisión de ZTE, para así entender las funciones que debe prestar cada equipo y encontrar el motivo de interrupción de dichas funciones por causa de una falla y su prevención, esto ayudando a evitar que se sigan realizando mantenimientos correctivos y comenzar a realizar planes de mantenimientos.

Para la realización del estudio se recolectó la información de los historiales de falla y mantenimiento de los equipos desde su instalación, así como también la documentación de fábrica de dichos equipos. El diseño del plan de mantenimiento se realizó para las 48 RBS (Radio Base Station) ubicadas en el estado Bolívar, que están conformadas por equipos ZTE.

El presente proyecto está conformado por los siguientes capítulos: Por el capítulo 1 en donde se realiza el planteamiento del problema y sus motivaciones. Seguidamente se presenta el capítulo 2 en el cual se desarrolla el marco teórico las investigaciones relacionadas con el tema. En el capítulo 3 se presenta el marco metodológico en cual se describe el procedimiento de investigación, tipo de estudio así como la población y muestra del mismo. El capítulo 4, contiene los resultados, seguidos de las conclusiones, recomendaciones y referencias bibliográficas.

## **CAPÍTULO 1**

### **EL PROBLEMA**

Actualmente la calidad de servicio para las empresas de telecomunicaciones es de suma importancia, significando un desafío, ya que esto les permite satisfacer a los clientes y mantener la lealtad de los mismos, ofreciendo el servicio que desean y esperan. La demanda de servicio impulsa a las empresas de telecomunicación ir en una constante evolución tecnológica, con la finalidad de ofrecer mayor calidad y eficiencia en los sistemas de comunicación inalámbrica, haciendo más atractiva e influyente el uso de la plataforma que ofrecen.

Corporación Digitel C.A., desde sus inicios, fue la primera empresa de telecomunicaciones en implementar la red GSM (Global System for Mobile) en Venezuela, reemplazando así la primera generación de redes celulares analógicas, para incluir a las comunicaciones los transportes de paquetes de datos a través del GPRS (General Packet Radio Services) y EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution), cubriendo originalmente la región central de Venezuela.

La corporación inició un programa de expansión a nivel nacional de la red, y para el año 2006 ya se encontraban 1070 RBS (Radio Base Station) y 7 Conmutadores principales ubicados en Caracas, Valencia, Puerto La Cruz y Maracaibo, expandiendo así su GPRS/EDGE en el oriente y occidente del país.

A principios del año 2010, Corporación Digitel adquiere la red de tercera generación (3G) WCDMA (Wideband Code División Multiple Access) y HSDPA (High Speed Downlink Packet Access), ofreciendo así a sus clientes un mejor

mercado de productos y servicios de última tecnología, iniciando en modo de prueba en la región central comprendida por los estados Valencia y Caracas.

Ante ésta evolución de tecnología, como parte de la estrategia de la compañía, a mediados del año 2011 en Región Guayana comprendida por los estados Bolívar, Monagas y Delta Amacuro, se realizaron cambios a nivel de equipos de transmisión de Nokia a equipos ZTE, logrando así incorporar la tecnología de la tercera generación en la región y satisfacer a los clientes.

Para lograr una calidad de servicio a los clientes y hacer más eficiente e influyente el uso de la red, el departamento de Operación y Mantenimiento de la Red de Región Guayana, se encarga de mantener y/o maximizar la disponibilidad de los equipos de transmisión de la red PDH, BSC y RNC. Sin embargo, actualmente sólo realiza mantenimientos correctivos de los nuevos equipos de transmisión, es decir, se atienden las fallas reportadas por el Centro de Monitoreo (NOC), O&M de Acceso y O&M Conmutación de datos, entre otros. Por esto es de vital importancia la gestión del mantenimiento de estos equipos, para lograr mejorar la eficiencia y eficacia en el funcionamiento.

Desde la migración de la tecnología de los equipos Nokia a la tecnología ZTE, el departamento de Operaciones y Mantenimiento, el cual está constituido por un coordinador de operaciones y cinco especialistas de operaciones, no han establecido planes de mantenimiento centrado a los equipos de transmisión ZTE para comenzar a realizar planes de mantenimientos.

Para la realización del estudio se recolectó información de los historiales de falla y mantenimiento de los equipos de transmisión ZTE desde su instalación, así como también la documentación de fábrica de dichos equipos, para evaluar los subsistemas que lo comprende. Para el diseño del plan de mantenimiento se tomará como muestra 48 RBS (Radio Base Station), de las

96 RBS existentes actualmente en Región Guayana. Estas 48 RBS están ubicadas en el estado Bolívar, que están conformadas por equipos ZTE.

En el siguiente trabajo el estudio que se propone se desarrollará como una investigación documental y con diseño no experimental, constituido por dos fases: En la primera fase se basará en una investigación evaluativa, aplicando herramientas estadísticas para apreciar la confiabilidad de los equipos ZTE, y poder determinar el nivel de operatividad de dichos equipos, a fin de tomar en cuenta las acciones de mantenimiento que se requiere para asegurar que los equipos tengan la mayor continuidad operacional. En la segunda fase del trabajo será de tipo aplicado, ya que se fundamentará en los resultados obtenidos del estudio de confiabilidad de los equipos ZTE. Además de tomar en cuenta los planes de mantenimiento existentes de otros equipos, que serán adecuados por actividad y frecuencia dependiendo del estudio.

Por lo tanto surge las siguientes interrogantes: ¿Cómo se determinará la operatividad de los equipos ZTE?, ¿Cómo se determinará la efectividad de los equipos ZTE?, ¿Cuál será la propuesta del mantenimiento que se le debe realizar a los equipos ZTE?

## **1. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

Con el desarrollo del presente estudio se propuso lograr los siguientes objetivos.

### **1.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar un plan de mantenimiento basado en el estudio de la confiabilidad de los equipos ZTE de la red de transmisión del estado Bolívar de Corporación Digitel C.A.

### 1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar a través de referencias bibliográficas, documentación teórica y técnica el procedimiento a seguir.
- Analizar la situación actual de los equipos ZTE de la red de transmisión del estado Bolívar de Corporación Digitel C.A.
- Identificar los componentes de los equipos ZTE que acarrear mayor relevancia en el sistema de transmisión, aplicando un análisis de criticidad.
- Realizar un análisis de las actividades que se ejecutan actualmente a los equipos para evaluar su eficiencia de acuerdo con los resultados del estudio.
- Sugerir el diseño de un plan de mantenimiento proponiendo el tipo y la frecuencia de las actividades de mantenimiento que deben realizarse en los equipos de acuerdo al estudio obtenido.

### 1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Con el desarrollo de esta investigación se entendieron las funciones de los equipos de transmisión de ZTE y se evaluaron en cada subsistemas su confiabilidad, para realizar un plan de mantenimiento efectivo y factible, basándose en técnicas de mantenimiento avanzada, y dar paso a una planificación adaptada a las nuevas realidades y tecnologías, de tal forma que las acciones a ejecutar representen una solución a la problemática en estudio. Lo ante expuesto, repercutirán los siguientes aspectos:

- **Técnico:** se implementó las acciones de mantenimiento más adecuadas, es decir, aquellas que garanticen una disminución de las frecuencias de las fallas.

- **Económico:** representó una disminución de los costos de mantenimiento, ya que se aumenta la rentabilidad operativa de los equipos de transmisión ZTE, y se alcanzará una mayor utilización de la vida útil de los equipos.
- **Académico:** en este trabajo se presentó una estrategia para llevar a cabo la clasificación de la filosofía del mantenimiento adecuada al contexto del trabajo en estudio, representando así una base novedosa para otros proyectos similares.

## **CAPÍTULO 2**

### **MARCO TEORICO**

En el presente capítulo se realiza una revisión de literatura en que se apoya la investigación, así como también se presentan las bases teóricas fundamentales de este trabajo.

#### **2.1 REVISIÓN DE LA LITERATURA**

La percepción del mantenimiento ha venido evolucionando al paso de los tiempos, desde ser una simple función de arreglar y reparar los equipos para asegurar la producción, hasta ser un pensamiento actual del mantenimiento con función de prevenir, corregir y revisar los equipos en fin de optimizar el costo global. La historia del mantenimiento acompaña el progreso técnico-industrial en estos tiempos.

Al comienzo del siglo XIX, se realizaban sólo mantenimientos de rupturas, en el cual se les realizaban las reparaciones a los equipos al tener una agotada vida útil, luego, ya para finales del siglo XIX, con la automatización de las empresas, surge la necesidad de las primeras reparaciones, obteniendo así el mantenimiento una importancia secundaria dentro de las empresas, y lo realizaba el mismo personal de operación o producción. Con la venida de la segunda guerra mundial y la formación de la producción en serie, creada por la Ford-Motor Company, se crearon equipos que efectuaran los mantenimientos a los equipos en el menor tiempo posible, surgiendo así el mantenimiento correctivo. Fue hasta la década de los años 30, que surge la necesidad de aumentar la rapidez de la producción, las empresas se esforzaron no sólo en

corregir las fallas, sino evitarlas, donde el personal técnico pasó a desarrollar el mantenimiento preventivo.

A mediados de los años 50, con el inicio de la industria electrónica los gerentes de mantenimiento observaron que el tiempo de parada de los equipos para diagnosticar la falla, era mayor que la ejecución de la reparación, creando así un departamento llamado Ingeniería de Mantenimiento, conformados por un equipo de especialistas como órgano de asesoramiento para la producción, que se encargarían de planear, controlar y analizar las causas-efectos de las fallas. Al pasar de los años y observando el incremento de las fallas se desarrolla el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC) iniciando su trabajo al principio del año 1960, teniendo como objetivo principal ayudar a las industrias a establecer políticas para detectar la falla antes de que ocurra, obteniendo así respuestas efectivas y niveles adecuados de seguridad y confiabilidad.

La ingeniería de mantenimiento pasa a desarrollar a mediados del año 1966, criterios de predicción o previsión de fallas, optimizando así los equipos para la ejecución del mantenimiento, asociados a métodos de planeamiento y control de mantenimiento (PCM). Con el desarrollo de las computadoras a mediados de los años 80's, se redujo los inconvenientes de la dependencia de la disponibilidad humana y equipo, de esta forma se comienza a procesar la información mediante una computadora central, convirtiendo al PCM en un órgano de asesoramiento de supervisión general de producción.

En 2009, **TILLERO** realizó un estudio que tuvo como objetivo, elaborar un plan de mantenimiento basado en la filosofía que más se adaptaba al Taladro de Servicios a Pozos H-643, perteneciente a PDVSA en el distrito San Tomé, obteniendo un porcentaje máximo de 73% correspondiente a la filosofía de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC), indicando que es la que más se adaptaba al contexto indicando, y elaborando así un plan de mantenimiento de los equipos críticos, con sus respectivas tareas y frecuencias.

En 2009, **SALAZAR**, realizó un estudio que tuvo como objetivo, diseñar un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para sistemas de aire en planta de extracción de líquidos de gas natural en la planta de extracción de San Joaquín en Anzoátegui, determinando modos de falla y efecto de falla a los componentes críticos del sistema, proporcionando información relevante para la elaboración del plan de mantenimiento.

La analogía de los estudios explicados anteriormente con el trabajo propuesto en la presente investigación, se plantea la implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad, en donde se propondrá mantener la función que realiza cada componente que constituyen a los equipos ZTE de transmisión y evitando la ocurrencia de fallas operacionales, logrando así disminuir el mantenimiento correctivo y llegar a optimizar la gestión de mantenimiento, garantizando una mayor disposición y confiabilidad de los equipos a un menor costo operativo.

## **2.2 BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1 DEFINICIÓN DE MANTENIMIENTO**

Mantenimiento es el conjunto de acciones que se dedica a la conservación de un dispositivo ó equipo en producción, para asegurar que éste se encuentre en constante funcionamiento por el mayor tiempo posible para cumplir un servicio determinado. “El Objetivo del Mantenimiento es conservar todos los bienes que componen los eslabones del sistema directa e indirectamente afectados a los servicios, en las mejores condiciones de funcionamiento, con muy buen nivel de confiabilidad, calidad y al menor costo posible” (Torres, 2005, p.19)

## 2.2.2 FINALIDAD DEL MANTENIMIENTO

Hoy en día las industrias y empresas, se encuentran en constante competitividad, obligándose a alcanzar un alto nivel de producción con niveles de calidad en un tiempo determinado. Estableciendo así la importancia del mantenimiento. “La finalidad del Mantenimiento entonces es conseguir el máximo nivel de efectividad en el funcionamiento del sistema productivo y de servicios con la menor contaminación del medio ambiente y mayor seguridad para el personal al menor costo posible” (Torres, 2005, p.19). Implicando lo antes expuesto: conservar el sistema de servicio y producción en funcionamiento con el mejor nivel de confiabilidad, reducir las fallas, aplicar las leyes y normas de seguridad en el trabajo, disminuir la degradación del ambiente, y reducir los costos a su mínima expresión.

## 2.2.3 VARIABLES DEL MANTENIMIENTO

Para entender la manera en que actúa el mantenimiento, es necesario que analicemos sus variables que implica en el desempeño de los sistemas:

- **Fiabilidad**, asociada con la probabilidad, en el cual puede variar entre 0 (indicando falla) y 1(indicando buen funcionamiento). “La fiabilidad es la probabilidad de que las instalaciones, máquinas o equipos, se desempeñen satisfactoriamente sin fallar, durante un período determinado, bajo condiciones específicas” (Torres, 2005, p.20)
- **Disponibilidad**, depende de la frecuencia de fallas, y el tiempo de duración al reanudar el servicio. “La disponibilidad es la proporción de tiempo durante la cual un sistema o equipo estuvo en condiciones de ser usado” (Torres, 2005, p.20).
- **Mantenibilidad**, es el modo que identifica a un equipo, máquina en cuanto a la facilidad de su mantenimiento. “La Mantenibilidad es la probabilidad de que una máquina, equipo o un sistema pueda ser reparado a una condición específica en un período de tiempo dado, en tanto su

mantenimiento sea realizado de acuerdo con ciertas metodologías y recursos determinados con anterioridad". (Torres, 2005, p.20).

- **Calidad**, ocupando como lugar primordial destacado, en cuanto a la calidad ofrecida en los productos y servicios. Por tal motivo es indispensable en el mantenimiento evitar fallas, restablecer los sistemas en el menor tiempo posible, dejándolo en óptimas condiciones de operar a los niveles de producción y calidad exigida.
- **Seguridad**, descrita en este caso al personal, sistemas, máquinas, instalaciones y equipos, con mucha importancia, con miras a dar cumplimiento a demandas pactadas.
- **Tiempo**, factor relevante en la entrega y el cumplimiento de los plazos previstos, variable importante en el mantenimiento.

#### 2.2.4 OBJETIVOS DEL MANTENIMIENTO

- Maximizar la Producción: Asegurar la óptima disponibilidad y fiabilidad de los sistemas, equipos, instalaciones y máquinas, reparando las averías en el menor tiempo posible.
- Minimizar los Costos, para este objetivo, se debe: reducir las fallas, aumentar la vida útil de las máquinas e instalaciones, tener un manejo óptimo de stock de repuesto y manejarse dentro de costos anuales regulares.
- Calidad Requerida: mantener la calidad requerida luego de alguna reparación en los equipos e instalaciones, mantener el funcionamiento regular de la producción sin inconvenientes, disminuir las fallas que afecten la calidad del servicio.
- Conservación de la energía: mantener en buen estado las instalaciones auxiliares, disminuir los paros y puesta en marcha continuos, controlar el rendimiento de los equipos.

- Conservación del medio ambiente: mantener protegidos aquellos equipos o instalaciones que puedan producir fugas contaminantes, evitar las averías en equipos e instalaciones correctoras de poluciones.
- Higiene y Seguridad: adiestrar al personal sobre normas para evitar accidentes, asegurar que los equipos funcionen de forma adecuada y mantener las protecciones de seguridad en los equipos para evitar los accidentes.
- Implicación de Personal: implementar el TP, involucrando a todo el personal de la empresa, implicar a los trabajadores en las técnicas de calidad.

## **2.2.5 TIPOS DE MANTENIMIENTO**

El mantenimiento está clasificado por tipos, dependiendo de la forma, objetivo y oportunidad en que se realice el mantenimiento, entre los más importante tenemos:

### **2.2.5.1 MANTENIMIENTO CORRECTIVO**

El mantenimiento correctivo, tal como su nombre lo menciona, es el que va reparando averías a medida que se van produciendo. Este tipo de mantenimiento tiene mucha desventaja, ya que el usuario detecta la avería al momento que necesita el equipo. “El Mantenimiento Correctivo es la intervención necesaria para poder solucionar un defecto, o una falla ya ocurrida, en éste caso con las instalaciones, máquinas o equipos operan con deficiencia o directamente no funciona” (Torres, 2005, p.124).

El objetivo de toda empresa es disminuir las intervenciones del mantenimiento correctivo, ya que se realiza al momento de presentarse la falla, dañando uno varios componentes, que si se hubiese detectado la falla con antelación.

### **2.2.5.2 MANTENIMIENTO MODIFICATIVO**

Son las acciones que lleva a cabo el mantenimiento, para modificar las características de las instalaciones, maquinas o equipos, logrando de esta manera mayor fiabilidad o mantenibilidad de los mismos. “Este mantenimiento también tiene como objetivo el de realizar una reforma parcial en una máquina, equipo o sistema con el fin de obtener un mejor rendimiento de la misma de acuerdo a los requerimientos del tipo de trabajo que se desea realizar” (Torres, 2005, p.126).

Este tipo de mantenimiento no es muy común de realizar, por los costos y el tiempo que ocupa realizar trabajos de esta naturaleza.

### **2.2.5.3 MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

Según Torres (2005) indica:

*El mantenimiento preventivo es la ejecución planificada de un sistema de inspecciones periódicas, cíclicas y programadas y de un servicio de trabajos de mantenimiento previsto como necesario, para aplicar a todas las instalaciones, máquinas o equipos, con el fin de disminuir los casos de emergencias y permitir un mayor tiempo de operación en formas continúa (p.130)*

De acuerdo a lo antes expuesto, el mantenimiento preventivo reduce al mínimo la probabilidad de fallas y evita las degradaciones de las instalaciones, sistemas y equipos.

### **2.2.6 MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD**

El propósito básico en la gestión del mantenimiento es incrementar los activos a bajos costes, iniciando desde la ejecución, permitiendo que dichos activos funcionen de manera eficiente y confiable dentro del contexto

operacional, es decir que el mantenimiento debe estar centrado en la Confiabilidad Operacional. Actualmente esta meta puede ser alcanzada con la metodología de Gestión del Mantenimiento llamado Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (M.C.C. o RCM) Améndola (2005) expresa:

*El MCC o RCM sirve de guía para identificar las actividades de mantenimiento con sus respectivas frecuencias a los activos más importantes de un contexto operacional. Esta no es una fórmula matemática y su éxito se apoya principalmente en el análisis funcional de los activos de un determinado contexto operacional realizado por un equipo de trabajo multidisciplinario. El equipo desarrolla un sistema de gestión de mantenimiento flexible, que se adapta a las necesidades reales de mantenimiento de la organización, tomando en cuenta, la seguridad personal, el ambiente, las operaciones y la razón coste/beneficio. (p.2)*

Esto nos indica que el MCC es una metodología que nos permite identificar las políticas de mantenimiento, garantizando así el cumplimiento requerido por los procesos de producción.

Se encuentran 3 interrogantes claves, que se deben responder antes de profundizar la metodología del MCC que son:

1. ¿Qué es el MCC?
2. ¿Por qué se necesita el MCC?
3. ¿Qué se busca con el MCC?

Améndola (2005) define el concepto del MCC como:

*Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad es una metodología utilizada para determinar sistemáticamente, que debe hacerse para asegurar que los activos físicos continúen haciendo lo requerido por el usuario en el contexto operacional presente. Un aspecto clave en el MCC es reconocer que el mantenimiento asegura que un activo continúe cumpliendo su misión de forma eficiente en el contexto operacional. La definición de este concepto se refiere a cuando el valor del estándar de funcionamiento deseado sea igual, o se encuentre dentro de los límites estándar de ejecución asociado a su*

*capacidad inherente (de diseño) o a su confiabilidad inherente (de diseño). (p.4)*

Un equipo multidisciplinario de trabajo es el que se encarga de incrementar la confiabilidad operacional de un sistema, identificando los requerimientos del mantenimiento según la importancia y la criticidad de los activos, partiendo de la función que cumple cada uno de ellos dentro del contexto operacional, y finalizando con un análisis de la posible consecuencia derivada de la falla que se asocia a cada uno de los fallos funcionales.

### **2.2.6.1 APLICACIÓN DEL MCC**

#### **2.2.6.1.1 Metodología**

La metodología aplicada, se propone a través del análisis de las 7 preguntas, que nos ayudará a identificar las necesidades reales del mantenimiento de los activos en su contexto operacional:

1. ¿Cuál es la función del activo?
2. ¿De qué manera pueden fallar?
3. ¿Qué origina la falla?
4. ¿Qué pasa cuando falla?
5. ¿Importa si falla?
6. ¿Se puede hacer algo para prevenir las fallas?
7. ¿Qué pasa si no podemos prevenir la falla?

#### **2.2.6.1.2 Herramientas Claves**

Dentro las herramientas claves se encuentran:

- **AMEF** (Análisis de los modos de fallos): herramienta que nos permitirá identificar los efectos o consecuencias de los modos de

fallos de cada activo en su contexto operacional. A partir de éste análisis se obtienen las respuestas de las preguntas del 1 al 5.

- **Árbol Lógico de Decisión:** herramienta que permite seleccionar de forma óptima las actividades del mantenimiento según la filosofía del MCC. Con éste método se responden las preguntas 6 y 7.

### 1.2.6.1.3 Definición del contexto operacional

Para definir el contexto operacional es importante definir la unidad del proceso y sistema que se mencionarán a continuación:

- **Unidad de Proceso:** se define como una agrupación lógica de sistemas que funcionan unidos para suministrar un servicio. (Améndola, 2005, p. 28)
- **Sistemas:** conjunto de elementos interrelacionados dentro de las unidades del proceso, que tienen una función específica. (Améndola, 2005, p. 28)

## 2.2.7 OBJETIVOS DEL FMECA

Estos se logran con la aplicación de la metodología del análisis de fallas, sus efectos y consecuencias son los siguientes:

- A. Revisión sistemática del modo de falla del componente.
- B. Determinar el efecto que la falla tiene sobre las otras partes del sistema
- C. Calcular la probabilidad de falla.
- D. Establecer programas de prueba.
- E. Determinar cómo reducir la tasa de falla del sistema.
- F. Identificar y reducir los efectos adversos que pueden ocurrir por la falla.

### **2.2.7.1 Palabras guías del FMECA para identificación de la falla**

- A. NO: No hay flujo, temperatura, fuerza, etc., cuando lo normal es que exista.
- B. MAS DE: Cuando hay exceso de flujo, temperatura, etc, con respecto a la normal.
- C. MENOS DE: Cuando falta flujo, presión, etc., con respecto a lo normal.
- D. PARTE DE: Cuando hay cambio en la composición.
- E. MAS QUE: Cuando se toman en cuenta las impurezas en el aire.
- F. OTRAS: Cuando se toman en cuenta los aspectos que no pertenecen a la operación normal del sistema.

### **2.2.6.2 Función y falla funcional.**

La función primaria acompañada del desempeño esperado de un sistema en términos literarios sería: verbo – objeto – desempeño. Por ejemplo la función primaria de un equipo de aire acondicionado es acondicionar un área de trabajo de acuerdo a las necesidades.

La falla se define como la incapacidad de un equipo para cumplir la función a un estándar de rendimiento que el usuario desea. Por ejemplo la falla funcionales de un sistema de aire presurizado el cual tiene la función de presurizar un área interna específica de trabajo en relación con el área externa para evitar la contaminación interna del aire, su falla funcionales pueden ser completamente incapaz de presurizar el área permitiendo la contaminación parcial o total de dicha área.

### **2.2.6.3 Causas de falla funcionales**

Se llama causa de falla a cualquier evento que produce una falla funcional. Una forma de visualizarla más claramente es mediante el uso de una tabla con

la información estructurada como lo indica la tabla siguiente.

**Tabla 1. Causas de falla funcionales**

Nº	FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL	Nº	CAUSA
1	Transferir agua desde tanque "A" hasta tanque "B" a no menos de 800 Lts/min.	A	No transfiere nada de Agua	1	Falla de Rodamiento
				2	Impeler trabado
				3	Falla Acople
				4	Falla de motor
				5	Válvula trabada
		B	Transfiere menos de 800 Lts/Min	1	Impeler desgastado
				2	Succión parcialmente Bloqueada
				3	Etc...

Fuente: Cantariño (2005)

#### 2.2.6.4 Detección de las fallas funcionales

A cada falla funcional identificada se le debe atribuir sus causas potenciales y efectos potenciales sobre el equipo, de acuerdo al conocimiento y experiencia que tenga el grupo multidisciplinario de trabajo acerca del modo de fallas del equipo. Se sugiere la siguiente tabla para determinar el medio de detección

**Tabla 2. Detección de las fallas funcionales**

DETECCIÓN	PTS	COMENTARIO	OBSERVADO
<b>Certera</b>	1	Método de Detección Probado y Disponible	Si el valor cae entre dos valores elegir el mayor
<b>Muy Alta</b>	2	Método de Detección Probado y Disponible	Si el equipo de trabajo `presenta discordancia siga estos consejos: 1.- Si el desacuerdo es en categorías adyacentes trabaje con el promedio de los números. 2.- Si el desacuerdo es en categorías no adyacentes debe tratar de lograrse un consenso.
<b>Alta</b>	3	Posibilidad de simular o modelar	
<b>Moderadamente Alta</b>	4	Posibilidad de ensayos en prototipos	
<b>Media</b>	5	Ensayos en la Producción misma	
<b>Baja</b>	6	Ensayos en sistemas de producción similares	
<b>Leve</b>	7	Ensayos sobre producto y prototipos	
<b>Muy Leve</b>	8	Ensayos de durabilidad en componentes instalados	
<b>Remota</b>	9	Técnicas poco confiables	
<b>Casi Imposible</b>	10	Ninguna técnica disponible	

Fuente: Cantariño (2005)

#### 2.2.6.5 Ocurrencia de la falla

Para asignar estos valores el equipo de trabajo debe guiarse por tablas normalizadas, de forma similar para detección de fallas, en la siguiente tabla se muestran los valores considerados.

**Tabla 3. Ocurrencia de la falla**

OCURRENCIA	PTS	COMENTARIO	OBSERVACIONES
<b>Certera</b>	10	La Falla Ocurre casi siempre	Si el valor cae entre dos valores elegir el mayor
<b>Muy Alta</b>	9	Muy Alto número de fallas	Si el equipo de trabajo presenta discordancia siga estos consejos: 1.- Si el desacuerdo es en categorías adyacentes trabaje con el promedio de los números. 2.- Si el desacuerdo es en categorías no adyacentes debe tratar de lograrse un consenso.
<b>Alta</b>	8	alto número de fallas	
<b>Moderadamente Alta</b>	7	Ocurrencia de Fallas Moderada	
<b>Media</b>	6	Medianamente ocurren Fallas	
<b>Baja</b>	5	Ocasionalmente ocurren Fallas	
<b>Leve</b>	4	Pocas Veces Ocurren Fallas	
<b>Muy Leve</b>	3	Muy pocas veces ocurren Fallas	
<b>Remota</b>	2	Rara vez ocurren Fallas	
<b>Casi Imposible</b>	1	Nunca ha ocurrido una Falla	

Fuente: Cantariño (2004)

#### 2.2.6.6 Severidad de la falla

La forma como se estima la severidad de la falla se especifica en la siguiente tabla.

**Tabla 4. Severidad de la falla**

SEVERIDAD	PTS	COMENTARIO	OBSERVACIONES
<b>Sin Efectos</b>	1	No hay efectos	Si el valor cae entre dos valores elegir el mayor
<b>Muy Leve</b>	2	Efectos marginal	Si el equipo de trabajo presenta discordancia siga estos consejos: 1.- Si el desacuerdo es en categorías adyacentes trabaje con el promedio de los números. 2.- Si el desacuerdo es en categorías no adyacentes debe tratar de lograrse un consenso.
<b>Sin Efectos</b>	3	Leve efecto en la producción o rendimiento	
<b>Menor</b>	4	Menor efecto en la producción o rendimiento	
<b>Moderado</b>	5	Moderado efecto en la producción o rendimiento	
<b>Significante</b>	6	Falla parcial, degradación del producto	
<b>Mayor</b>	7	Producto severamente afectado con sistema en función segura	
<b>Extrema</b>	8	Producto y sistema inoperante	
<b>Seria</b>	9	Riesgo potencial, Producto y Sistema Inoperante	
<b>Riesgo</b>	10	Falla súbita con efecto en la seguridad Fuera de Normas.	

Fuente: Cantariño (2004)

### 2.2.6.7 Formato FMECA

Una vez aplicada el análisis de las causas de fallas, se debe ponderar el efecto de cada una, para lo cual se recomienda el uso del formato. Este debe indicar el nombre del sistema, subsistema y equipo. La ponderación es el producto de la severidad por la ocurrencia por detección. Las fallas funcionales de mayor impacto son las que resultan con mayor ponderación y son objeto de estudio. El modelo se muestra a continuación.

**Tabla 5. Formato**

Equipo: MC-645							
Sistema: PMH							
Subsistema: Correa CJ-34							
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	CAUSA	SEV	OCU	MÉTODO DETECCIÓN	DET	TOTAL
1.- Transportar mineral a no menos de 80 ton/hr a una velocidad de 2 m/seg.	1) No transporta mineral	A) Disparo motor principal	6	4	Visual	5	120
	2) Transporta menos de 80 Ton/hr	A) Campo motor principal dañado	6	6	Instrumento	7	252
		B) Correa desalineada	8	4	Visual	6	192
	3) Transporta mas de 80 ton/hr	A) Velocidad excesiva	4	7	Balanza	8	224

Fuente: Cantariño (2004)

### 2.2.6.8 Árbol lógico de decisiones RCM

El árbol lógico de decisión es una herramienta que permite seleccionar de forma óptima las actividades de mantenimiento según la filosofía del RCM. En forma general, el esquema propuesto a utilizar para conducir el RCM. Se resume en el siguiente diagrama de bloques, que detalla los siguientes pasos:

La aplicación de un árbol lógico de decisión es un proceso sistemático y homogéneo para la selección de la estrategia de mantenimiento más adecuada para impedir la causa que provoca la aparición de un determinado modo de fallo correspondiente a un componente del sistema objeto del análisis. Para la construcción de este árbol lógico de decisiones (ALD) se deberán definir previamente los criterios a considerar y sus prioridades correspondientes. A si por ejemplo, se podrá dar prioridad a la prevención del fallo frente a su corrección, a la aplicación de técnicas de mantenimiento basadas en la condición operativa del equipo frente a actividades periódicas de mantenimiento o considerar aspecto tales como la evidencia de los fallos para los operadores cuando dicho fallos ocurran.

Teniendo como resultado que esta tarea será el conjunto de actividades de mantenimiento recomendado para cada equipo. Se definirá el contenido concreto de las actividades específicas que deben realizarse y su frecuencia de ejecución correspondientes. Esto puede resultar de utilidad para la elaboración de plantillas en la que se recoja toda la información disponible sobre el mantenimiento de los equipos que integran el sistema de aire presurizado, con el fin de establecer las apropiadas tareas y frecuencias de ejecución en forma sistemática y homogénea, en función de aspecto tales como la actividad del equipo, su frecuencia de uso o las específicas condiciones ambientales de su entorno operativo, entre otros.

El análisis por árboles de fallos (AAF), es una técnica deductiva que se centra en un suceso accidental particular (accidente) y proporciona un método para determinar las causas que han producido dicho accidente. El hecho de su gran utilización se basa en que puede proporcionar resultados tanto cualitativos mediante la búsqueda de caminos críticos, como cuantitativos, en términos de probabilidad de fallos de componentes.

### **2.2.6.9 Funciones de los equipos y sistemas**

Todos los sistemas tienen componentes de todo tipo desde los de mucha importancia hasta los de menor importancia, pero independientemente cada uno cumple una función o funciones específicas dentro del sistema. La pérdida parcial o total de estas funciones afectará en cierta manera el sistema.

Como resultado de esto el proceso de RCM, comienza definiendo las funciones y los estándares de comportamiento funcional asociados a cada elemento de los equipos en su contexto operacional. Cuando se establece el funcionamiento deseado de cada elemento, el RCM pone un gran énfasis en la necesidad de cuantificar los estándares de funcionamiento siempre que sea posible. Estos estándares se extienden a la producción, calidad del producto, servicio al cliente, problemas del medio ambiente, costo operacional y seguridad.

## **2.3 PREGUNTAS DE LA INVESTIGACIÓN**

Con esta investigación, se espera dar respuesta a las siguientes preguntas:

1. ¿Cómo se determinará la operatividad de los equipos ZTE?
2. ¿Cómo se determinará la efectividad de los equipos ZTE?
3. ¿Cuál será la propuesta del mantenimiento que se le debe realizar a los equipos ZTE?

## **CAPÍTULO 3**

### **MARCO METODOLÓGICO**

En este capítulo se explica cómo se efectúa el desarrollo mediante la definición del tipo de estudio a realizarse, la población o muestra con la que se trabaja, los instrumentos a utilizar y finalmente la descripción de cada una de las fases que permitieron dar respuesta al planteamiento problemático realizado.

#### **3.1 TIPO DE ESTUDIO**

“Las investigaciones descriptivas utilizan criterios sistemáticos que permiten poner de manifiesto la estructura y el comportamiento de los fenómenos en estudio, proporcionando de este modo información sistemática y comparable con la de otras fuentes”.(Sabino, 2002. p. 43) Este trabajo se basa en este tipo de investigación, debido que para desarrollar el siguiente estudio, se deberá recolectar y observar el fenómeno en un contexto natural con el propósito de resolver el problema planteado en este trabajo, considerando las fallas e intervenciones durante el período a evaluar.

La información recolectada para el desarrollo de la investigación en estudio fue tomada de la realidad, donde se pudo aplicar observación directa del funcionamiento del equipo y las variables que lo afectan; en función de este tipo de datos a obtener es permitido categorizar este diseño como una investigación de campo debido a que “en los diseños de campo los datos de interés se recogen de forma directa de la realidad, mediante el trabajo concreto del investigador y su equipo”. (Sabino, 2002. p. 64). Cabe resaltar que en este

diseño de investigación de campo fue de tipo aplicada, ya que se resolvió el planteamiento del problema de la investigación.

### **3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA**

Sabino (2002) indica:

*En el caso de que nuestro universo esté compuesto por un número relativamente alto de unidades será prácticamente imposible, por razones de tiempo y de costos, y porque no es en realidad imprescindible, examinar cada una de las unidades que lo componen. En vez de realizar esa fatigosa tarea procederemos a extraer una muestra de ese universo, o sea un conjunto de unidades, una porción del total, que nos represente la conducta del universo en su conjunto. (p. 83)*

Definido esto, dentro la Región Guayana de Corporación Digitel, C.A., comprendida por los estados Monagas, Bolívar y Delta Amacuro, se encuentra una población o universo total de 96 RBS (Radio Base Station), de las cuales se tomarán como muestra representativa, sólo las estaciones del estado Bolívar, conformadas sólo por 48 RBS, en las cuales se encuentran los equipos de transmisión de ZTE. Sabino (2002) indica:

*Lo que se busca emplear en una muestra es que, observando una porción relativamente reducida de unidades, se obtengan conclusiones semejantes a las que lograríamos si estudiáramos el universo total. Cuando una muestra cumple con esta condición, es decir, cuando nos refleja en sus unidades lo que ocurre en el universo, la llamamos muestra representativa (p. 83).*

### **3.3 INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN**

Los instrumentos que se utilizaron para la recolección de datos para el diseño de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad de los equipos

ZTE de la red de transmisión del estado Bolívar de Corporación Digitel C.A. serán:

- Informe de Fallas: se utilizaron los informes de fallas de los equipos de transmisión de ZTE, que acontecen desde hace un año en la empresa.
- Catálogos y Manuales: se utilizaron los catálogos y manuales de los equipos ZTE, para conocer sus especificaciones técnicas, así como su funcionamiento y utilidad.
- Historial del equipo a través del NetNumen (monitoreo de la red ZTE): Se utilizó el registro de incidencias de los equipos ZTE a través del monitoreo de la red.
- Red de Internet, Bibliotecas y otras fuentes: Se utilizó la red de internet para investigar los últimos acontecimientos del mantenimiento, que se pueda aplicar a la investigación. También se utilizaron las bibliotecas y/u otras fuentes de información para buscar teorías relacionadas con el trabajo a desarrollar.
- Paquetes Computarizados: se utilizaron los paquetes de computación como lo son: Word, Excel, Power Point, entre otros, para la realización del trabajo a desarrollar.

### **3.4 PROCEDIMIENTOS**

Para realizar el siguiente trabajo de investigación, fue necesario realizar los pasos a continuación:

- a) Ubicar la información técnica y los informes de fallas en el período a evaluar de los equipos de Transmisión de ZTE.
- b) Analizar los informes y la información técnica.
- c) Realizar mesas de trabajos con los especialistas, supervisores, coordinadores y gerente del Departamento de Operaciones y Mantenimiento.

- d) Realizar el FMECA y aplicar la técnica de análisis de modo de falla, efecto de falla y criticidad de falla.
- e) Jerarquizar los eventos con mayor ponderación.
- f) Elaborar el árbol de falla de los equipos de transmisión de ZTE.
- g) Ponderar las fallas de los equipos de transmisión de ZTE.
- h) Determinar la frecuencia de los eventos principales.
- i) Elaborar tabla de las causas y las probabilidades de ocurrencias de los eventos principales.
- j) Discutir los resultados con el personal compuesto en la mesa de trabajo.
- k) Diseñar un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad de los equipos de transmisión de ZTE.
- l) Redactar conclusiones.
- m) Redactar recomendaciones.

### **3.5 SISTEMA DE VARIABLES**

Los elementos que se medirá, controlará y evaluará, dentro de la investigación del siguiente trabajo son los siguientes:

1. Investigar a través de referencias bibliográficas, documentación teórica y técnica, los procedimientos a seguir para realizar el cálculo de confiabilidad en los sistemas, para ser aplicado en el análisis de este trabajo en estudio.
2. Identificar la causa-raíz de las fallas de los equipos ZTE, mediante el levantamiento de información del historial de fallas y las técnicas aplicadas para su solución.
3. Evaluar la eficiencia de los equipos ZTE de acuerdo a las actividades que se ejecutan y analizar los resultados con el estudio antes realizado.

4. Proponer el tipo de frecuencia de mantenimiento para desarrollar un plan de mantenimiento para los equipos ZTE de la red de transmisión del estado Bolívar

## Operacionalización de las Variables

**Tabla 6. Operacionalización de las Variables**

<b>Objetivo General: Diseñar un plan de mantenimiento basado en el estudio de la confiabilidad de los equipos ZTE de la red de transmisión del estado Bolívar de Corporación Digitel C.A.</b>				
<b>Objetivos Específicos</b>	<b>Variables</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Ítems</b>
Investigar a través de referencias bibliográficas, documentación teórica y técnica el procedimiento a seguir.	Describir a través de referencias bibliográficas, documentación teórica y técnica, los procedimientos a seguir para realizar el cálculo de confiabilidad en los sistemas	¿Cómo funciona el sistema de transmisión de los equipos ZTE?	Funcionamiento del sistema de los equipos de transmisión ZTE, para medir su confiabilidad	1
Identificar los componentes de los equipos ZTE que acarrear mayor relevancia en el sistema de transmisión, aplicando un análisis de criticidad.	Describir los subsistemas de los equipos ZTE, mediante manuales operativos, para emplearle un análisis de criticidad.	¿Cómo funcionan los subsistemas de transmisión de los equipos ZTE?	Funcionamiento de los subsistemas de los equipos de transmisión ZTE, para obtener su criticidad	2
Realizar un análisis de las actividades que se ejecutan actualmente a los equipos para evaluar su eficiencia de acuerdo con los resultados del estudio.	Evaluar la eficiencia de los equipos ZTE de acuerdo a las actividades que se ejecutan y analizar los resultados con el estudio de confiabilidad antes realizado.	¿Cuál es la eficiencia de los equipos ZTE?	Resultado de análisis de criticidad, confiabilidad de los equipos ZTE	3
Sugerir el diseño de un plan de mantenimiento proponiendo el tipo y la frecuencia de las actividades de mantenimiento que deben realizarse en los equipos de acuerdo al estudio de confiabilidad obtenido.	Proponer el tipo de frecuencia de mantenimiento para desarrollar un plan de mantenimiento para los equipos ZTE de la red de transmisión del estado Bolívar	¿Cuál será la propuesta del diseño del plan de mantenimiento para los equipos ZTE?	Diseño del Plan de mantenimiento para los equipos ZTE	5

Fuente: Elaborado por la autora (2014)

## **CAPÍTULO 4**

### **RESULTADOS**

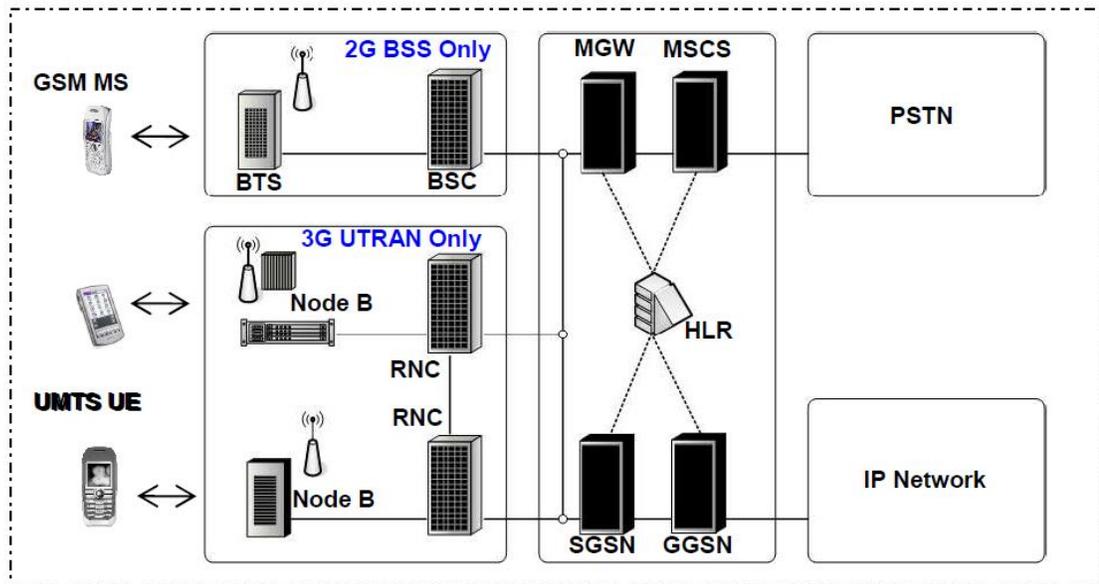
#### **4.1 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LOS EQUIPOS ZTE DE LA RED DE TRANSMISIÓN DEL ESTADO BOLÍVAR DE CORPORACIÓN DIGITEL C.A**

Para lograr una calidad de servicio el Departamento de Operación y Mantenimiento de la Red de Región Guayana, se encarga de mantener y/o maximizar la disponibilidad de sus equipos ZTE. Pero actualmente sólo realiza mantenimientos correctivos reportados por el Centro de Monitoreo, O&M de Acceso y O&M Conmutación de datos.

Dicho departamento está constituido por:

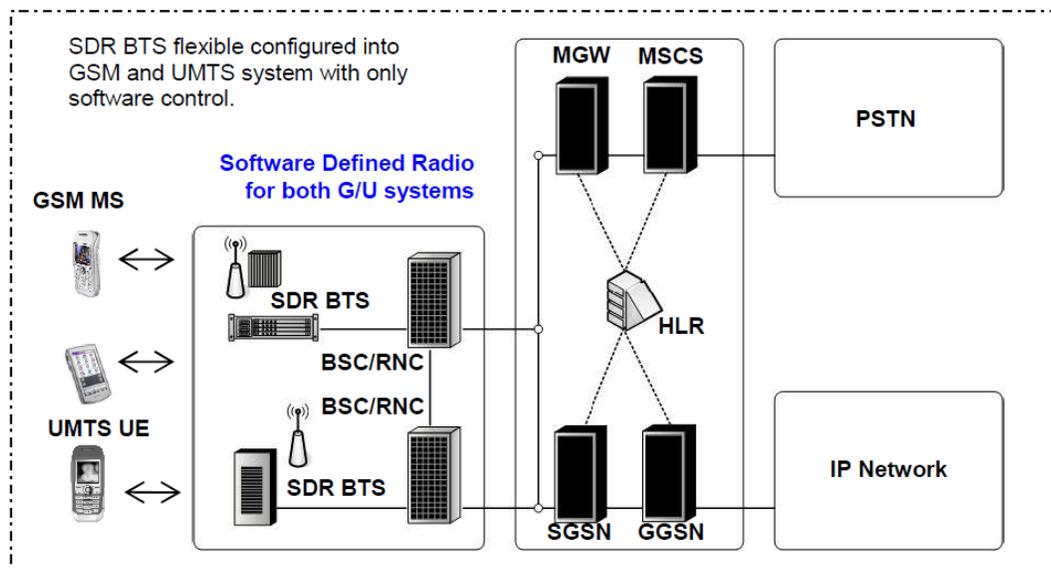
- Coordinador de Operaciones de Región Guayana de Corporación Digitel C.A.
- (5) Especialistas de Operaciones de Región Guayana de Corporación Digitel C.A.

En principio la empresa Corporación Digitel C.A. utilizaba el sistema GSM/EDGE/UMTS que consta de Core Network (CN), el subsistema de red de radio (GERAN/UTRAN) y de la estación móvil/equipo de usuarios (MS/UE). Dicho subsistema incluye 2 elementos de red, estaciones base y BSC/RNC. El 2G/3G BTS convencional conecta al elemento de red BSC/RNC a través de la interfaz Abis/Iub. La siguiente figura muestra el sistema GSM/EDGE/UMTS convencional.



**Figura 1. Sistema GSM/EDGE/UMTS convencional.**

En la figura anterior existen GPRS / EDGE y UTRAN, los cuales son dos redes de radio separadas. Cuando Digitel C.A., introduce ZTE 2G/3G de estación base de modo dual, las redes de radio 2G / 3G se reúnen en uno y esto disminuyo el costo de la construcción de la red en gran medida. La red integrada GSM / UMTS se muestra en la siguiente figura.



**Figura 2. Red ZTE SDR BTS**

Esta nueva red de la empresa Digitel C.A., posee un núcleo BBU (B8200) y una serie de RRU (R8840 / R8860). Las BS8700 se basan en la plataforma MicroTCA ZTE unificado y la adopción de tecnología de MCPA parte de radio, que es el nuevo tipo de BTS móviles ZTE. Esta plataforma revolucionaria BTS compatible con todo tipo de tecnología de acceso inalámbrico donde pueden incluirse GSM, UMTS, CDMA2000 y WiMAX. El BS8700 se puede dividir en dos tipos de combinaciones BTS distribuidas que conectan con diferentes RRU (R8840 y R8860), de acuerdo con diferentes modos de redes y escenarios de cobertura.

- B8200 + R8840: el modo macro Individual Nodo B distribuido, utilizado principalmente para UMTS exteriores e interiores 2100m cobertura monomodo.
- B8200 + R8860: el modo macro Dual Node B distribuido, utilizado principalmente para el G / U 850/900/1800 la cobertura en interiores y exteriores de modo dual / 1900M.

Por tanto, el B8200 proporciona interfaces lub/Abis con varios tipos de interfaz física, tales como E1/T1, STM-1, FE y GE para conectar con RNC/BSC y las interfaces CPRI para conectar con RRU. B8200 es compatible con la transmisión IP y el transporte híbrido. B8200 ofrece con un máximo de 12 pares de interfaces ópticas CPRI a RRU, a razón de 1.25 Gbps. Además el B8200 y RRU estrella apoyo, cadena, bucle y mezclar las redes. En las redes de la estrella, 12 interfaces ópticas se pueden conectar a 12 RRU. En las redes de la cadena y lazo, RRU puede conectar en cascada hasta 4 grados.



**Figura 3. Estructura física R8860**

La red de Guayana cuenta con 96 Radio Base Station (RBS), de las cuales se estudiarán 48 RBS que están conformadas por equipos ZTE. A continuación se muestran la conexión de estas estaciones (RBS) y de cómo se encuentran conectadas.

**Tabla 7. Radio Base Station (RBS)**

1	Cerro Roberto	26	Guri
2	Alta Vista	27	Soledad
3	Ciudad Guayana	28	Paseo Simón
4	Villa Asia	29	Paseo Gaspari
5	Italo Pto	30	El Perú
6	Orinokia Indoor	31	Av. España
7	Ucab	32	Perimetral
8	Empresa Básica	33	Buena Vista
9	Caroni	34	Hipodromo
10	Barsanti	35	Fuente Luminosa
11	Sidor Muelle	36	Andres Bello
12	Cerro Upata	37	Bolívar Centro
13	Upata Centro	38	Vista Hermosa
14	Upata	39	Marhuanta
15	Ceciamb	40	Chirica
16	Aeropuerto Guayana	41	Via Upata
17	Orinoquia 1	42	Veinticinco De Marzo
18	Core 8	43	Dalla Costa
19	Cerro Quemao	44	Calle Ramírez
20	Centro Industrial Caroní	45	Redoma El Dorado
21	Villa Granada	46	Urb. Orinoco
22	Alta Vista Dos	47	Hotel Intercontinental
23	Las Palmas	48	La Américas
24	Palma Este		
25	Palma Oeste		

Fuente: Departamento de Operación y Mantenimiento (2014)

Dichas conexiones se pueden apreciar de una mejor forma a continuación:

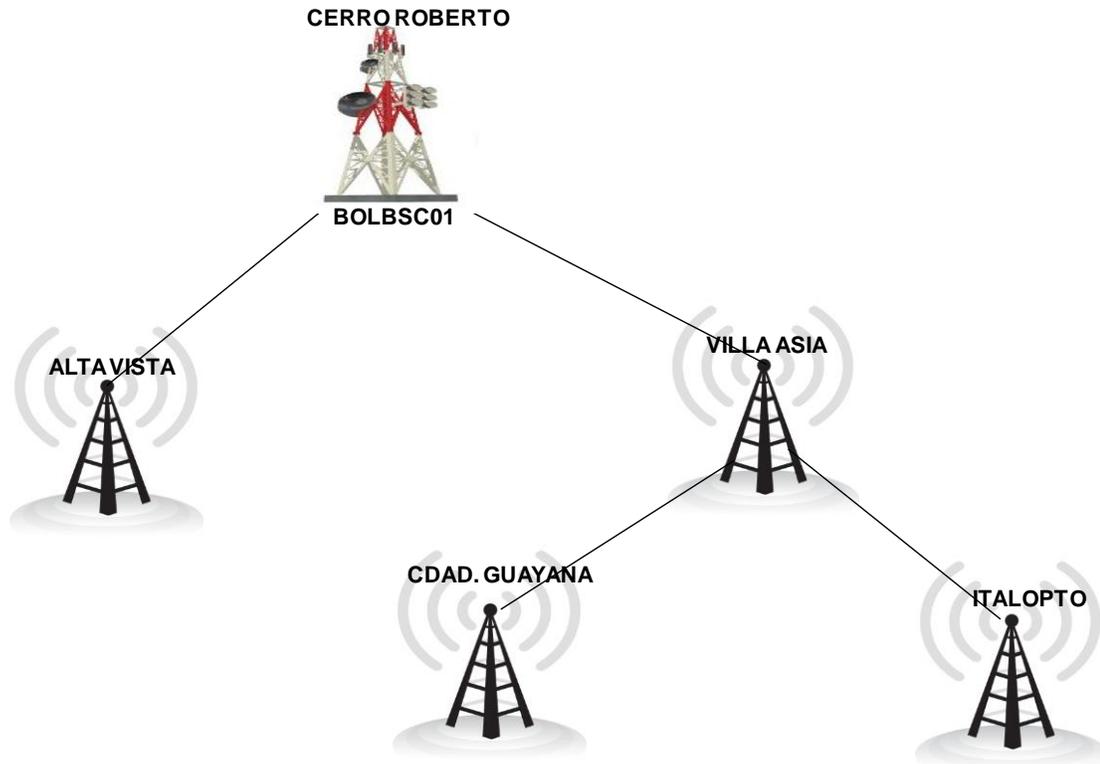


Figura 4. Conexión de Estaciones parte 1

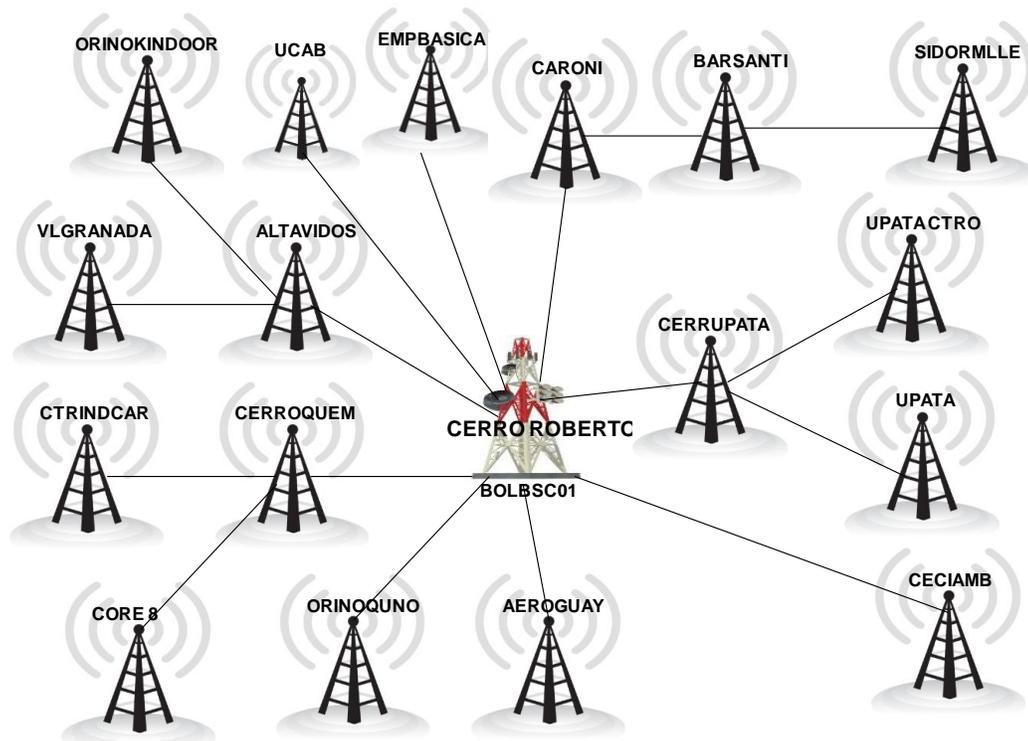


Figura 5. Conexión de Estaciones parte 2

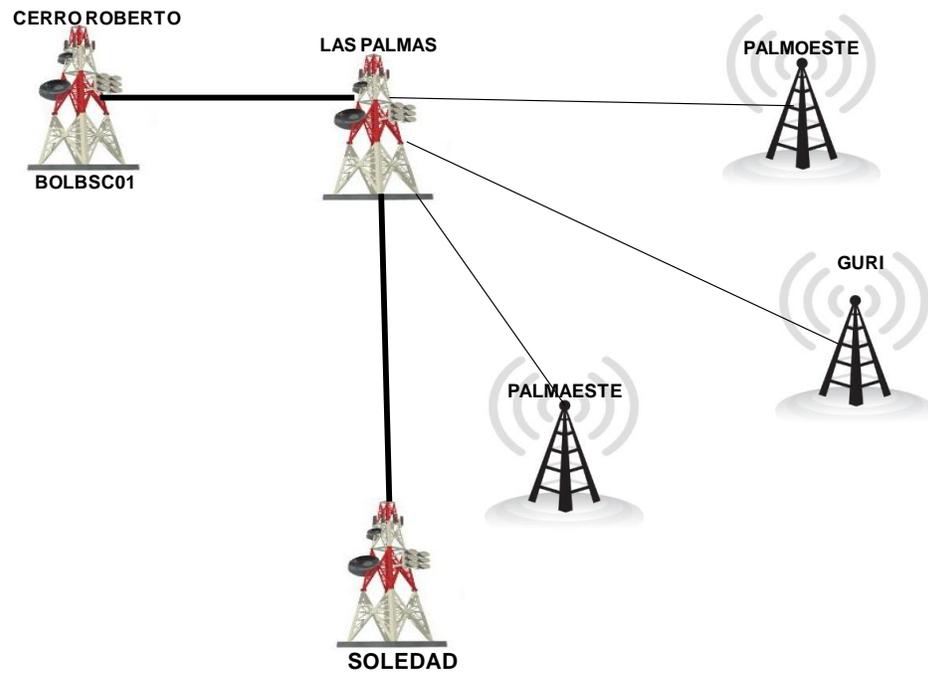


Figura 6. Conexión de Estaciones parte 3

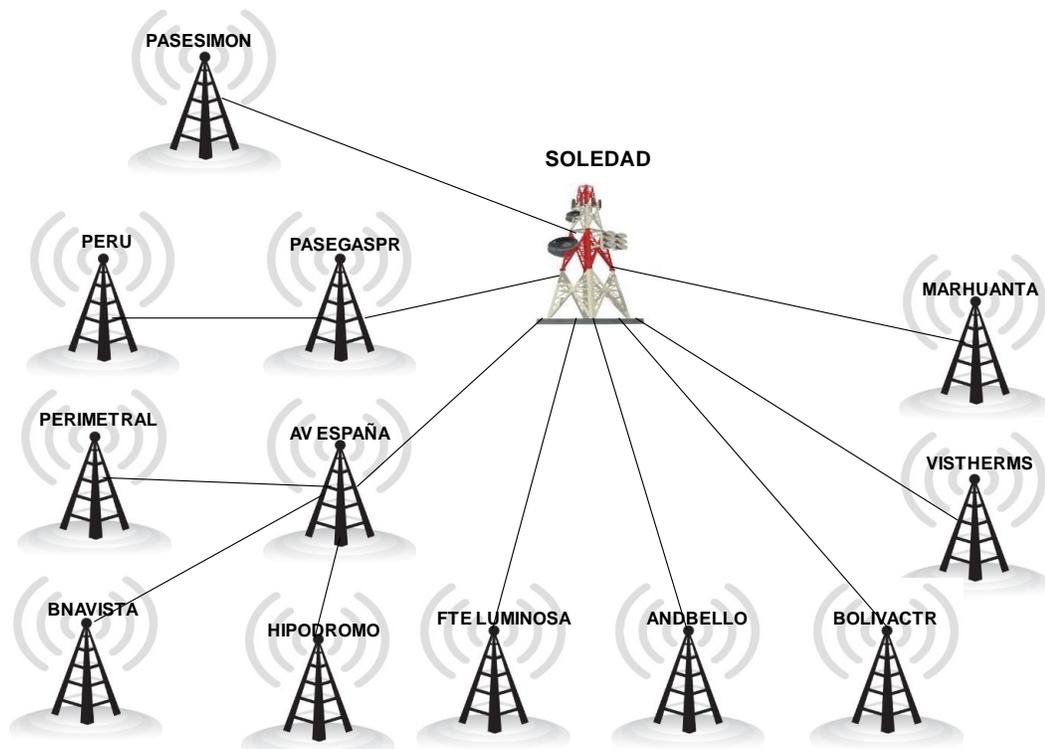
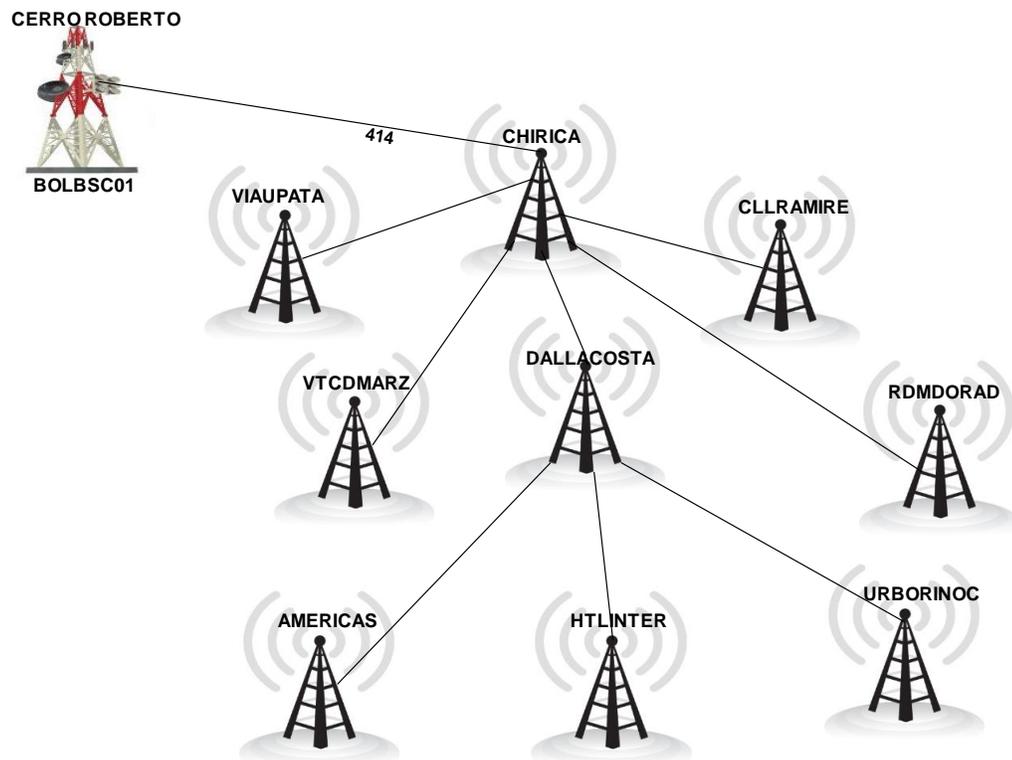
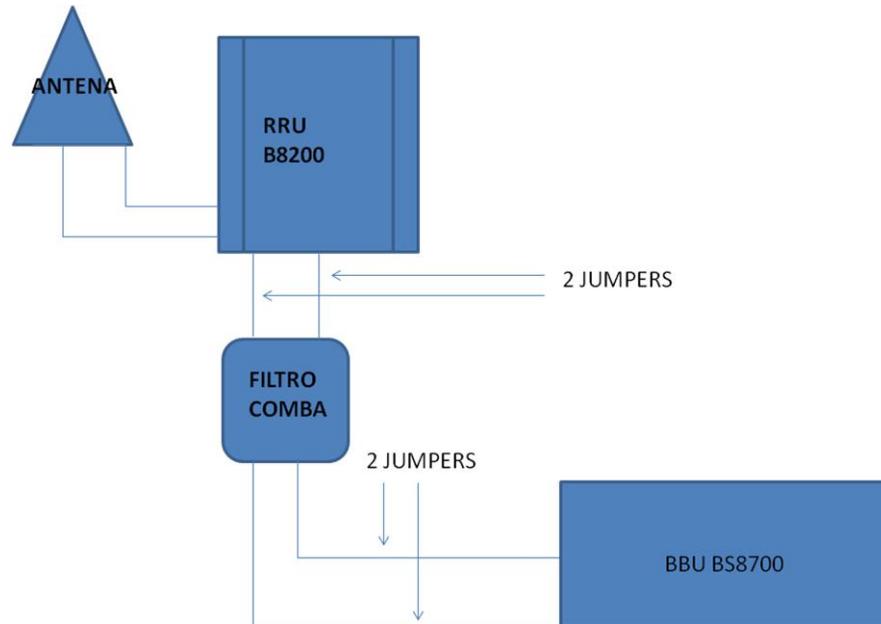


Figura 7. Conexión de Estaciones parte 4



**Figura 8. Conexión de Estaciones parte 5**

Actualmente en la Región se tienen instalados los equipos ZTE, éstos están compuestos por una BBU y las RRU. Las fallas frecuentes desde la instalación de los equipos de Transmisión ZTE son actualmente las RRU instaladas en 2G (B8200), debido a que están poseen filtros externo (filtros COMBA) colocando 4 posibles puntos de fallas (JUMPERS Y CONECTORES), debido a que ellas se conectan al filtro con jumpers. Cada Jumpers contiene conectores que deben estar en buenas condiciones: Vulcanizados y bien conectados, ya que al momento de entrar agua en ellos se dañan los Jumpers y los puntos terminales de las RRU o Filtro Comba para este caso.



**Figura 9. Conexión en Estación**

Para la tecnología GSM (2G) se colocaron las RRU B8200 y para el sistema UMTS (3G) se colocaron las RRU 8840 ó 8860. En el año 2011, como todo proyecto nuevo en implementación y por motivos de contar con varias contratistas de instalación en la Región, las principales fallas ocurrieron por mal vulcanizado, tener conectores llenos de agua por su mala instalación, dañando así los conectores de las RRU y los filtros Comba. Luego de poder solucionar estos casos en las estaciones, se detectó que las RRU B8200 presentaban inconveniente con el valor del VSWR muy elevados, deteriorando así la calidad del servicio ofrecido al cliente en GSM.

Actualmente dentro de la muestra de las 48 estaciones en Región Guayana se encuentran aún activas en 15 estaciones con 3 sectores (cada sector es una RRU), por lo general las RBS contienen 3 sectores GSM (2G) y 3 sectores UMTS(3G), estas estaciones son: Alta Vista 1, Alta Vista 2, Orinokia Indoor, Aeropuerto Guayana, Ceciamb, Dalla Costa, Chirica, Via Upata, Upata, 25 de Marzo, Paseo Simon, Andres Bello, Paseo gaspari, Soledad, Marhuanta.

Cada vez que surgen alarmas en los sectores donde están instaladas las RRU B8200, se procede a realizar el cambio a RRU8840 ó 8860, pudiendo lograr así la mejora en la calidad de servicio ofrecido al cliente. Aparte de esta gran falla de las RRU, también se han encontrado pocas fallas en los elementos de la BBU (BS8700), para ello se han cambiado tarjetas SA, CC board y de FAN. Las tarjetas SA son las que nos muestran las alarmas en cada estación, a veces se quedan inhibidas por temas de calor atmosféricos, por lo cual se procede a realizar su reemplazo.

Las tarjetas CC, son las tarjetas controladoras, se quedan inhibidas por temas de energías, cada estación tiene una autonomía de aproximadamente 2 horas al momento de fallar la energía DC, las fallas de energías en las zonas son más de 3 horas. Los FAN son afectados por inconvenientes atmosféricos, (elevadas temperaturas, exceso de suciedad ambiental, polvo) entre otras

#### **4.2 IDENTIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES DE LOS ZTE QUE ACARREAN MAYOR RELEVANCIA EN EL SISTEMA DE TRANSMISIÓN, APLICANDO UN ANÁLISIS DE CRITICIDAD.**

Antes de iniciar con la aplicación de esta metodología, es importante mencionar que el mantenimiento por sí sólo no puede desempeñar el funcionamiento deseado que es aumentar la capacidad incorporada. En tales casos, se deben modificar los elementos de forma que pueda realizar el funcionamiento deseado, y encontrar un proceso para determinar lo que se debe hacer para asegurar que los elementos físicos, en este caso el sistema ZTE, continúe desempeñando las funciones deseadas desde el punto de vista operacional; tal es el caso del RCM, porque reconoce que el mantenimiento no puede hacer más que asegurar que los elementos físicos continúan consiguiendo su capacidad incorporada.

En esta sección se presentan los resultados obtenidos de acuerdo con un orden establecido por la metodología RCM.

Para la identificación de funciones, modos de fallas o fallas de los equipos, se utilizó un formato Análisis de Modos y Efectos de Fallas y Criticidad (AMFEC), el cual es una herramienta de análisis de confiabilidad efectiva y a menudo un precursor para un exitoso Modelo de confiabilidad.

Para desarrollar este paso, con base en las variables establecidas, se colocó a cada modo de falla un valor en función de la opinión del personal involucrado en la operación y mantenimiento de los ZTE. Las variables involucradas son: Severidad de la falla, Probabilidad de ocurrencia y Modo de detección. Para cada una de estas variables, se tiene establecido una ponderación, que se determina de la forma siguiente:

El Índice de severidad (S): Escala que permite definir el nivel de severidad o de impacto que podría generar la ocurrencia de un modo de fallo. El Índice de ocurrencia (O): Escala que permite definir el nivel de ocurrencia de cada modo de falla en un determinado activo y Índice de no detección (ND): Es la probabilidad de no detectar el fallo antes de que se produzca. Los mismos se presentan a continuación:

**Tabla 8. Índice de Severidad del Fallo (S)**

<b>Índice de Severidad del Fallo (S)</b>		<b>Valores</b>
<b>Escasa</b>	La falla del Equipo podría no causar problemas de seguridad o al medio ambiente del área circundante.	1
	La falla del Equipo no afecta a la especificación del producto o su rendimiento.	
	No hay tiempo de interrupción de la línea productiva.	
<b>Baja</b>	La falla del Equipo podría causar algunos problemas leves de seguridad o al medio ambiente del área circundante.	2-3
	La falla del Equipo afectará levemente la especificación del producto o su rendimiento.	
	El tiempo de interrupción de la línea productiva debido a la falla del Equipo es de menos de 15 minutos	
<b>Moderada</b>	La falla del Equipo podría causar algunos problemas de seguridad o al medio ambiente del área circundante.	4-5-6
	La falla del Equipo podría causar un volumen moderado de producción fuera de especificación o afectar moderadamente el rendimiento.	
	El tiempo de interrupción de la línea productiva debido a la falla del Equipo puede ser desde 15 minutos hasta 1 hora máximo.	
<b>Alta</b>	La falla del Equipo podría causar algunos problemas de seguridad o al medio ambiente del área circundante.	7-8
	La falla del Equipo podría causar un volumen moderado de producción fuera de especificación o afectar moderadamente el rendimiento.	
	El tiempo de interrupción de la línea productiva debido a la falla del Equipo puede ser desde 1 hora hasta 4 horas máximo.	
<b>Muy Alta</b>	La falla del Equipo podría causar serios problemas de seguridad o al medio ambiente del área circundante.	9-10
	La falla del Equipo podría causar un volumen de producción importante fuera de especificación o afectar seriamente el rendimiento.	
	El tiempo de interrupción de la línea productiva debido a la falla del Equipo puede ser de 4 horas o más.	

**Tabla 9. Índice de Ocurrencia (O)**

<b>Índice de Ocurrencia (O)</b>		<b>VALOR</b>
<b>Escasa</b>	Probabilidad de que ese Modo de Fallo, se produzca por esa causa.	1
	Esta establecido Mantenimiento predictivo	
	Experiencia no concurrente o muy remota	
<b>Baja</b>	Probabilidad de que ese Modo de Fallo, se produzca por esa causa.	2-3
	Establecido Mantenimiento preventivo y Auto Control	
	Experiencia no concurrente o muy remota	
<b>Mediana</b>	Probabilidad de que ese Modo de Fallo, se produzca por esa causa.	4-5
	Establecido Mantenimiento preventivo y Auto Control no eficaz	
	Experiencias concurrentes	
<b>Alta</b>	Probabilidad de que ese Modo de Fallo, se produzca por esa causa.	6-7-8
	No hay establecido Auto Control	
	Experiencias concurrentes	
<b>Muy Alta</b>	Probabilidad de que ese Modo de Fallo, se produzca por esa causa.	9-10
	No hay establecido Mantenimiento preventivo y Auto Control	
	Experiencias concurrentes	

**Tabla 10. Índice de No Detección (ND)**

Índice de No Detección (ND)		VALOR
<b>Remota</b>	Posibilidad de que el fallo no sea detectado	1
	Controles están concebidos para detectarlo pero puede pasar desapercibido	
	Puede ser reparado sin afectación a la producción	
<b>Poca</b>	Posibilidad de que el fallo no sea detectado	2 – 3
	Controles están concebidos para detectarlo pero puede pasar desapercibido	
	Puede ser reparado afectando la producción	
<b>Mediana</b>	Posibilidad de que el fallo no sea detectado	4 - 5 – 6
	Existen controles para detectarlo, pero no se aplican	
	Puede ser reparado afectando la producción	
<b>Alta</b>	Posibilidad de que el fallo no sea detectado, es posible su detección.	7 – 8
	Controles no están concebidos para detectarlos, pero el defecto puede detectarse	
	Puede ser reparado afectando la producción	
<b>Muy Alta</b>	Posibilidad de que el fallo no sea detectado, es posible su detección.	9 – 10
	Controles no están concebidos para detectarlos y con toda seguridad el defecto pasa	
	Puede ser reparado afectando la producción	

Es importante mencionar que los ZTE están compuestos por dos subsistemas, los cuales son:

- RRU, entre ellos destacan B8200 y 8860
- BBU, para estos se encuentran los BS8700

A continuación se muestran los formatos de AMFEC de los equipos en estudio considerados de acuerdo con la criticidad, donde se describen: las funciones, modo de fallas, los efectos, la severidad, la ocurrencia, el método de detección y el puntaje total, es importante destacar que este puntaje es el número prioritario de riesgo (NPR), que resulta de multiplicar la severidad por la

ocurrencia y la detección, y se encuentran abreviadas (S), (O) y (D) y en función a lo descrito anteriormente se realizaron las siguientes consideraciones.

**Tabla 11. AMFEC para los Subsistemas RRU**

FUNCION	MODO DE FALLA	CAUSA	EFFECTO	S	O	METODO DETECCION ACTUAL	D	TOTAL
Es una unidad de la banda base basada en la plataforma definida software de (SDR) de la radio de ZTE. Esta unidad tiene capacidad grande y puede apoyar toda clase de tecnologías inalámbricas del acceso simultáneamente, incluyendo el G/M, UMTS, CDMA, WiMax y LTE.	Daño filtros COMBA.	Deterioro de cables de puente	Daño de terminales de las RRU	7	7	Visual	7	343
	Daño de Jumpers	Mal vulcanizado	Daño de los puntos terminales de las RRU	8	8	Visual	7	448
	Niveles altos en VSWR	Falta de Revisión periódica	Falla de electrónica de los equipos, deteriorando así la calidad del servicio ofrecido al cliente en GSM	6	8	Visual	7	336
	Afectación de base de datos	No se realiza el respaldo de la base de datos en horas de bajo tráfico	Perdida de Almacenamiento por separado el respaldo de datos	7	6	Ninguna	7	294

Fuente: Elaborado por la autora (2014)

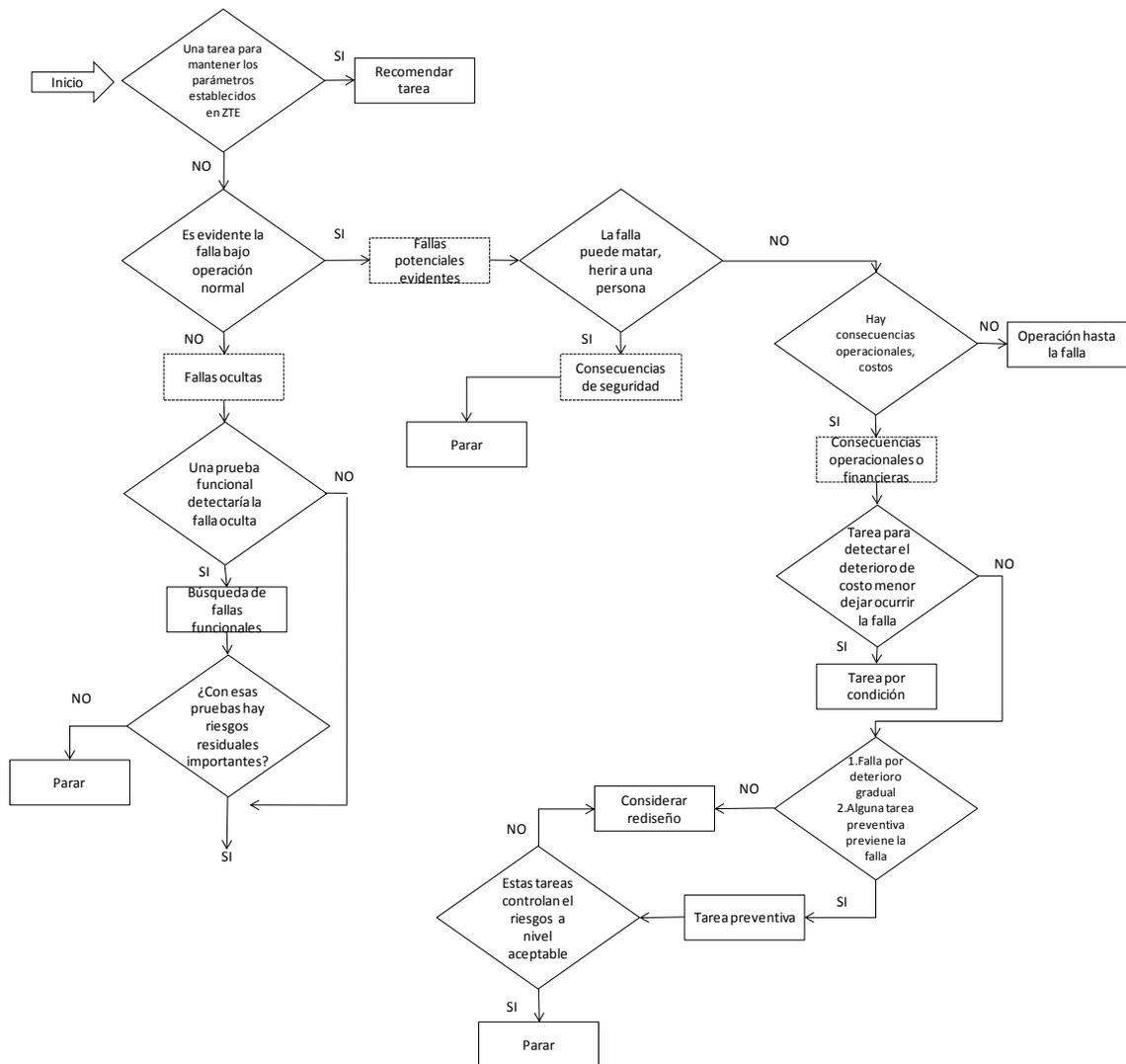
**Tabla 12. AMFEC para los Subsistemas BBU**

FUNCION	MODO DE FALLA	CAUSA	EFECTO	S	O	METODO DETECCION ACTUAL	D	TOTAL
Unidad que tiene capacidad de apoyar toda clase de tecnologías inalámbricas del acceso simultáneamente.	Daño de FAN.	Problema de la calefacción.	Subida de la temperatura de BBU	2	1	Visual	1	2
	Daño de tarjetas SA	Calor atmosféricos	No son transmitidas las alarmas en cada estación, quedando inhibidas	3	1	Visual	1	3
	Daño de CC board	Tema de energía, las fallas de energías en las zonas son más de 3 horas	No controla el sistema.	2	1	Visual	1	2

Fuente: Elaborado por la autora (2014)

Los NPR con rangos más impactantes los posee el subsistema RRU, los cuales proporcionaron indicadores altos en función a sus causas de los modos de fallas. A estos altos números de NPR se les proporcionó prioridad para acciones de mantenimiento, para prevenir la causa o por emplear mejores controles de detección.

Siguiendo con la metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad, se desarrolló el árbol lógico de decisiones, ALD, con la finalidad de corregir los modos de falla que tienen mayor impacto en la operatividad en el subsistema RRU. Aplicando estos criterios se obtuvo lo siguiente:



**Figura 10. Árbol Lógico de Decisión para RRU**

En siguientes tablas se presentan los resultados de los modos de fallas y su frecuencia, donde ocurren los eventos obtenidos en el árbol de fallas, los mismos se obtuvieron a través del análisis de las variables del RRU.

**Tabla 13. Frecuencia de modos de Fallas de los eventos**

EVENTO	DESCRIPCIÓN	FUENTE DE INFORMACIÓN	FRECUENCIA ( $\lambda$ ) VECES/MES
E <sub>1</sub>	Afectación de base de datos	Reporte de inspector mayor	0,0332
E <sub>2</sub>	Daño filtros COMBA	Basa de datos de inspección	0,0167
E <sub>3</sub>	Niveles altos en VSWR	Basa de datos de inspección	0,0014
E <sub>4</sub>	Daño de Jumpers	Basa de datos de inspección	0,5944

Fuente: Elaborado por la autora (2014)

Todos los eventos evaluados ocurren en un espectro de tiempo continuo de espacio y tiempo, se considera que la distribución de probabilidad de ocurrencia de fallas se calcula con la ecuación  $P(E_1) = 1 - e^{-\lambda t}$ , donde  $\lambda$  es la tasa de falla representada por la frecuencia de falla en veces/mes el resultado obtenido se presenta en la siguiente tabla.

**Tabla 14. Probabilidad**

EVENTO	FALLA	FRECUENCIA ( $\lambda$ ) VECES/MES	Probabilidad de Ocurrencia ( $1 - e^{-\lambda t}$ )
E <sub>1</sub>	Afectación de base de datos	0,0332	0,0326
E <sub>2</sub>	Daño filtros COMBA	0,4615	0,3697
E <sub>3</sub>	Niveles altos en VSWR	0,0014	0,0014
E <sub>4</sub>	Daño de Jumpers	0,5944	0,4480

Fuente: Elaborado por la autora (2014)

Los modos de fallas de Mayor probabilidad de ocurrencia del subsistema RRU son la E<sub>2</sub> Daño filtros COMBA y E<sub>4</sub> Daño de Jumpers. Estas fallas determinan la probabilidad de falla de los componentes principales del sistema en estudio.

### 4.3 CONFIABILIDAD DEL SISTEMA ZTE

La confiabilidad de los componentes del sistema ZTE es dependiente del tiempo, con lo cual indica que la confiabilidad se determina por la función de distribución de modos fallas basado en la disminución de falla del subsistema RRU: la probabilidad de falla del subsistema RRU está dada por el evento Daño filtros COMBA  $E_2$  y Daño de Jumpers la determina el evento Falla de tensión  $E_4$

Teniendo en cuenta que los eventos que causan las fallas son excluyentes, puesto que ambos pueden ocurrir y que además pueden o no ocurrir de forma simultánea. Se determino la confiabilidad del subsistema para el lapso del tiempo en el cual se hizo el estudio, mediante la regla de la adición, utilizando la probabilidad de ocurrencia de fallas de los eventos  $E_5$  Daño filtros COMBA y  $E_7$  Daño de Jumpers.

**Tabla 15. Confiabilidad del subsistema RRU**

<b>EVENTO DE FALLA</b>	<b>Probabilidad de falla(<math>1 - e^{-\lambda t}</math>)</b>	<b>Confiabilidad <math>R = (e^{-\lambda t})</math></b>	<b>Confiabilidad del subsistema RRU <math>R_s = R_1 \cdot R_2</math></b>
Daño filtros COMBA	36,97%	69,09%	44,14%
Daño de Jumpers	44,80%	63,89%	

Fuente: Elaborado por la autora (2014)

Se puede observar que la confiabilidad del subsistema RRU es de 44,14% por tanto, es necesario seleccionar las tareas efectivas para aumentar este porcentaje. Es responsabilidad del Departamento establecer programas de seguimiento efectivo para cumplir todas las tareas planteadas más adelante. Es por ello que se consideraron como causa predominante de falla, los modos de falla que obtuvieron puntuaciones totales críticos en la matriz, en este caso fue para el subsistema RRU y para ello se proponen las siguientes tareas de mantenimiento.

Cabe mencionar que para determinar las tareas de mantenimiento asociadas a cada modo de falla establecido, fue necesaria la realización de entrevista no estructurada al personal que trabajan con estos equipos de estudios.

**Tabla 16. Tareas efectivas por las causas predominantes de falla para RRU**

Subsistema	Función	Tareas Efectivas
RRU	Es una unidad de la banda base basada en la plataforma definida software de (SDR) de la radio de ZTE. Esta unidad tiene capacidad grande y puede apoyar toda clase de tecnologías inalámbricas del acceso simultáneamente, incluyendo el G/M, UMTS, CDMA, WiMax y LTE.	Inspección de cables de puentes
		Inspección de puntos terminales de las RRU.
		Observar el estatus de los indicadores en el tablero
		Verificar el suministro de energía AC
		Para evitar la afectación de las operaciones del sistema el respaldo de la base de datos debe realizarse en horas de bajo tráfico. Almacene por separado el respaldo de datos mensual y semanal.
		Verificar el cambio de pieza correspondiente al registro
		Verificar si la caja de alarmas está trabajando adecuadamente
		Consultar la alarma actual en el iOMCR
		Activar la función de escaneo de virus
		Verificar si la hora del servidor coincide con la hora local, si no es modifíquela
		Verificar sistemas operativos Windows, dirigirse a Panel de Control > Fecha/hora), así asegura exactitud en las horas de los archivos de alarmas
		Verificar el sistema de ventilación
		Verificar si los aterramientos PGND, GND, +5 V GND, la barra y los cables de aterramiento de la DDF están conectados de forma segura y fiable.
Medir la resistencia de la tierra usando un equipo de medición de resistencias de suelo.		

Fuente: Elaborado por la autora (2014)

Para establecer el formato RCM, se deben indicar estas tareas de mantenimiento asociadas a cada una de las posibles fallas mas criticas, además del perfil del cargo del personal que desarrollará dichas tareas y la frecuencia de ejecución para desarrollarla.

#### **4.4 DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PROPONIENDO EL TIPO Y LA FRECUENCIA DE LAS ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO**

En el plan de mantenimiento, se establece para el subsistema RRU estudiado, las actividades de mantenimiento asociada, la duración de dichas actividades, el personal requerido, la unidad administrativa de la empresa, responsable de la ejecución de las tareas, los equipos y materiales a utilizar para ejecutarlas, así como la cantidad requerida y la frecuencia con que deben realizarse para garantizar la ejecución del plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad que se muestra.

**Tabla 17. Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para RRU**

	Elaborado por: Ing. Zaidary Tomé		<b>SISTEMA DE CORRIENTE</b>				
	Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad- Departamento de Operación y Mantenimiento de la Red de Región Guayana						
<b>Subsistema</b>	<b>Función</b>	<b>Actividades de Mantenimiento</b>	<b>Dur</b>	<b>RRHH</b>	<b>Unidad Resp.</b>	<b>Equipo</b>	<b>Frecuencia</b>
RRU	Es una unidad de la banda base basada en la plataforma definida software de (SDR) de la radio de ZTE. Esta unidad tiene capacidad grande y puede apoyar toda clase de tecnologías inalámbricas del acceso simultáneamente, incluyendo el G/M, UMTS, CDMA, WiMax y LTE.	Inspección de cables de puentes	20 Min	Esp. de Operaciones	MTTO.	SITE MASTER	Diaria
		Inspección de puntos terminales de las RRU.	5 Min	Esp. de Operaciones	MTTO.	SITE MASTER	Mensual
		Observar el estatus de los indicadores en el tablero	45 Min	Esp. de Operaciones	MTTO.	NETNUMEN	Mensual
		Verificar el suministro de energía AC	2 Hr	Esp. de Operaciones	MTTO.	MULTIMETRO	Anual correctivo
		Para evitar la afectación de las operaciones del sistema el respaldo de la base de datos debe realizarse en horas de bajo tráfico.	1 Hr	Esp. de Operaciones	MTTO.	NETNUMEN	Mensual
		Almacene por separado el respaldo de datos mensual y semanal.	1 Hr	Esp. de Operaciones	MTTO.	NETNUMEN	Semestral

Tabla 17. Cont...

	Elaborado por: Ing. Zaidary Tomé		<b>SISTEMA DE CORRIENTE</b>				
	Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad- Departamento de						
<b>Equipo</b>	<b>Función</b>	<b>Actividades de Mantenimiento</b>	<b>Dur</b>	<b>RRHH</b>	<b>Unidad Resp.</b>	<b>Equipo</b>	<b>Frecuencia</b>
RRU	Es una unidad de la banda base basada en la plataforma definida software de (SDR) de la radio de ZTE. Esta unidad tiene capacidad grande y puede apoyar toda clase de tecnologías inalámbricas del acceso simultáneamente, incluyendo el G/M, UMTS, CDMA, WiMax y LTE.	Verificar el cambio de pieza correspondiente al registro	1 Hr	Esp. de Operaciones	MTTO.	NETNUMEN	Mensual
		Verificar si la caja de alarmas está trabajando adecuadamente	15 Min	Esp. de Operaciones	MTTO.	NETNUMEN	Mensual
		Consultar la alarma actual en el iOMCR	10 Min	Esp. de Operaciones	MTTO.	NETNUMEN	Mensual
		Activar la función de escaneo de virus	5 Min	Esp. de Operaciones	MTTO.	NETNUMEN	Mensual
		Verificar si la hora del servidor coincide con la hora local, si no es modifíquela	2hr	Esp. de Operaciones	MTTO.	NETNUMEN	Mensual
		Verificar sistemas operativos Windows	1hr	Esp. de Operaciones	MTTO.	NETNUMEN	Diario

Tabla 11. Cont...

	Elaborado por: Ing. Zaidary Tomé		<b>SISTEMA DE</b>				
	Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad- Departamento de						
<b>Equipo</b>	<b>Función</b>	<b>Actividades de Mantenimiento</b>	<b>Dur</b>	<b>RRHH</b>	<b>Unidad Resp.</b>	<b>Equipo</b>	<b>Frecuencia</b>
RRU	Es una unidad de la banda base basada en la plataforma definida software de (SDR) de la radio de ZTE. Esta unidad tiene capacidad grande y puede apoyar toda clase de tecnologías inalámbricas del acceso simultáneamente, incluyendo el G/M, UMTS, CDMA, WiMax y LTE.	Verificar el sistema de ventilación	20 min	Técnico electricista	MTTO.	DESTORNILLADOR, SOPLADOR, PAÑUELO SINTÉTICO,	Diario
		Verificar si los aterramientos PGND, GND, +5 V GND, la barra y los cables de aterramiento de la DDF están conectados de forma segura y fiable.	25 min	Técnico electricista	MTTO.	MULTÍMETRO	Mensual
		Medir la resistencia de la tierra usando un equipo de medición de resistencias de suelo	25 min	Técnico electricista	MTTO.	MEGGER	Mensual

Como se mencionó anteriormente el mantenimiento por sí sólo no puede desempeñar el funcionamiento deseado que es aumentar la capacidad incorporada. Se sabe que en la empresa, NO EXISTE un plan de mantenimiento vigente para estos equipos, por lo tanto se propuso un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para determinar lo que debe hacerse con la finalidad de asegurar que los elementos físicos de los equipos, desempeñen las funciones deseadas desde el punto de vista operacional, conservando un balance óptimo entre su costo. Dicho plan se elaboró en función a la criticidad obtenida en esta investigación, tomando en cuenta la importancia de los mismos, además disminuirán los mantenimientos correctivos, debido a que existe mayor uso de tareas basadas en la confiabilidad, lo que trae como consecuencia la disminución de los costos de mantenimiento.

## **CONCLUSIONES**

De los resultados obtenidos con el trabajo realizado se ha llegado a las siguientes conclusiones:

1. Se describieron los equipos que conforman el Sistema GSM de Digitel, así como las conexiones de las estaciones, a fin de conocer los principios básicos de funcionamiento y las fallas frecuentes de los mismos.
2. Se identificaron los componentes de los equipos ZTE, haciendo énfasis en los de mayor criticidad, los cuales resultaron ser BBU y RRU
3. Se utilizó el formato Análisis de Modos y Efectos de Fallas de Criticidad (FMECA), para la identificación de funciones, modos de fallas de los equipos, las variables involucradas en este formulario son: severidad de la falla, probabilidad de ocurrencia y modo de detección.
4. El mantenimiento actualmente aplicado para estos equipos es el correctivo, lo cual hace más propenso a fallas al sistema y a paradas por intervenciones correctivas, lo cual es una debilidad organizacional.
5. Se calculó la confiabilidad del sistema, el cual resultó ser 44,14%, dejando evidenciada la situación problemática que incentivó la realización del presente estudio.
6. En base a la aplicación de los pasos de la metodología RCM, se logró diseñar el plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para los equipos ZTE, el cual está conformado por la función, actividades de mantenimiento, duración, RRHH, Unidad Responsable, Equipos, Frecuencia.

## **RECOMENDACIONES**

Mediante el análisis previo de la situación planteada se pueden llegar a las siguientes recomendaciones:

1. Implantar el plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para los equipos estudiados.
2. Establecer una comparación de los resultados obtenidos de la aplicación de la filosofía de mantenimiento actualmente utilizada y el plan basado en la metodología RCM propuesto para evaluar los efectos e impactos en la confiabilidad y disponibilidad de los equipos.
3. Establecer jornadas de capacitación de los tópicos del mantenimiento centrado en la confiabilidad al personal que lleva a cabo la planificación y ejecución de las actividades de mantenimiento de los equipos.
4. Dar a conocer a través de charlas, folletos, correos electrónicos, entre otros, las distintas etapas que conforman el desarrollo del mantenimiento centrado en la confiabilidad.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Améndola, L. (2005). Libro Modelos Mixtos de Confiabilidad. S.L: SiteLourival

Guía del PMBOK (2009). Guía de los fundamentos para la dirección de Proyectos. 4ta Edición. Project Management Institute, INC.

Sabino, C. (2002). El proceso de Investigación. Editorial Panapo de Venezuela.

Salazar, C (2009). *Diseño de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (MCC) para sistemas de aire en plantas de extracción de líquidos del gas natural*. Trabajo de grado de Especialización. UDO. Venezuela

Tillero, E (2009). *Elaboración de un plan de Mantenimiento basado en la filosofía actual que más se adapte al sistema de taladro de servicios a pozos H-643*. Trabajo de grado de Especialización. UDO. Venezuela

Torres, L. (2005). Libro de Mantenimiento. Su Implementación y gestión. Argentina: Universitas.

Smith, R. (2003). El impacto del Mantenimiento en la producción- La Historia de Alcatel. EUA – North Charleston.

Mora, Alberto (2000). *¿Indicadores de Gestión y Operación del Mantenimiento?*, Revista- Mantenimiento industrial- Nov-Dic Montevideo – Uruguay.

Moubray, J. (1997). Mantenimiento centrado en Confiabilidad, Traducido del libro Reliability-centred Maintenance por José Mora Editorial Cabañas. 1da. Ed. Colombia- Medellín

Smith, A.M. (1993). "Reliability-centred Maintenance" Editorial McGraw-Hill.

Bunny, Snelock (1999) "RCM (+) Training Manual", Editorial The Woodhouse Partnership Limited, Inglaterra.

Cantariño, Jaime (2005) "Mantenimiento Predictivo"

**ANEXOS**

**ANEXO A**

**Sistema de Monitoreo NETNUMEN de la alarmas en las estaciones**

NetNumen Unified Management System - Client - ztome @ 10.193.235.21

System Topology Fault Performance Configuration Maintenance Security Statistics Favorite Window Help Total: 125/1118 35/382 47/590 20/115 23/31

Management NE Tree Statistic Alarm Monitoring Active Alarms: RNC14NESOMCB

Enter the keyword to filter

Alarm Monitoring

Severity: All ACK State: All Visibility: Visible BSC11BO... Total:30 Critical:20 Major:2 Minor:8 Warning:0

No.	R.	ACK State	Severity	NE	Location	Alarm Code	Raised Time
1		Unacknowledged	Minor	VENTICINCODEMARZO1(17)	Ground Resource Manag...	The temperature at the air intake is abnormal(198092042)	2014-10-17 10:49
2		Acknowledged	Major	VENTICINCODEMARZO1(17)	Ground Resource Manag...	Environmental temperature is high(198096401)	2014-10-17 10:49
3		Acknowledged	Critical	GUARICONG01(47)	Ground Resource Manag...	FALLA COMUN DE RECTIFICADORES(198092573)	2014-10-16 17:53
4		Acknowledged	Critical	PALMAOESTE1(41)	Ground Resource Manag...	FALLA COMUN DE RECTIFICADORES(198092573)	2014-10-16 15:29
5		Acknowledged	Critical	CHIRICA1(12)	Ground Resource Manag...	BAJO COMBUSTIBLE(198092571)	2014-10-15 00:37
6		Acknowledged	Critical	EMBOTELLADORCARONI(45)	Ground Resource Manag...	FALLA COMUN DE RECTIFICADORES(198092573)	2014-10-10 22:34
7		Acknowledged	Critical	EMPRESASBASICAS1(37)	Ground Resource Manag...	FALLA COMUN DE RECTIFICADORES(198092573)	2014-10-10 21:05
8		Acknowledged	Critical	ALTAVISTA1(23)	Ground Resource Manag...	FALLA COMUN DE RECTIFICADORES(198092573)	2014-10-09 09:30
9		Acknowledged	Critical	SANFELIXCENTRO1(55)	Ground Resource Manag...	FUEGO Y HUMO(198092579)	2000-01-01 19:01
10		Acknowledged	Critical	SABANITA1(58)	Ground Resource Manag...	Link Broken Between OMM and NE(198098003)	2014-10-03 00:42
11		Acknowledged	Minor	SABANITA1(58)	Ground Resource Manag...	Disable PA(198092245)	2014-10-02 11:30
12		Acknowledged	Minor	SABANITA1(58)	Ground Resource Manag...	Disable PA(198092245)	2014-10-02 11:30
13		Acknowledged	Minor	SABANITA1(58)	Ground Resource Manag...	Disable PA(198092245)	2014-10-02 11:30
14		Acknowledged	Minor	SABANITA1(58)	Ground Resource Manag...	Disable PA(198092245)	2014-10-02 11:30
15		Acknowledged	Minor	SABANITA1(58)	Ground Resource Manag...	Disable PA(198092245)	2014-10-02 11:30
16		Acknowledged	Minor	SABANITA1(58)	Ground Resource Manag...	Disable PA(198092245)	2014-10-02 11:30
17		Acknowledged	Critical	SABANITA1(58)	Ground Resource Manag...	FALLA URGENTE ENERGIA DC(198092588)	2014-10-02 11:30
18		Acknowledged	Critical	SABANITA1(58)	Ground Resource Manag...	FALLA DE AC EN LOS RECTIFICADORES(198092572)	2014-10-01 23:36
19		Acknowledged	Critical	SABANITA1(58)	Ground Resource Manag...	BAJO VOLTAGE DC(198092597)	2014-10-01 23:36
20		Acknowledged	Critical	SIDORMILEL1(38)	Ground Resource Manag...	FALLA COMUN DE RECTIFICADORES(198092573)	2014-09-21 16:58

History Alarms

No.	ACK State	Severity	NE	Location	Alarm Code	Raised Time	NE Type	Alarm Type
15	Unacknowledged	Critical	AVORINOCOMON1(34)	Ground Resource Manag...	FALLA EN AIRE ACONDICION...	2014-10-16 12:16:34	ME(SDRII)	Equipment
16	Unacknowledged	Critical	AVORINOCOMON1(34)	Ground Resource Manag...	Link Broken Between OMM an...	2014-10-16 12:49:39	ME(SDRII)	Communic
17	Unacknowledged	Minor	AVORINOCOMON1(34)	Ground Resource Manag...	1588 clock link fault(19809224...	2014-10-16 12:49:02	ME(SDRII)	Communic
18	Unacknowledged	Minor	AVORINOCOMON1(34)	Ground Resource Manag...	1588 clock source unavailable...	2014-10-16 12:50:39	ME(SDRII)	Equipment
19	Unacknowledged	Minor	VILLAGRANADA1(20)	Ground Resource Manag...	The temperature at the air inta...	2014-10-16 09:52:11	ME(SDRII)	Environmen
20	Acknowledged	Major	VILLAGRANADA1(20)	Ground Resource Manag...	Environmental temperature is ...	2014-10-16 09:52:05	ME(SDRII)	Environmen

zte\_sfelce has logged in.

NetNumen Unified Management System - Client - ztome @ 10.193.235.21

System Topology Fault Performance Configuration Maintenance Security Statistics Favorite Window Help Total: 111/1107 40/390 30/573 20/115 21/29

Management NE Tree Statistic Alarm Monitoring Active Alarms: RNC14NESOMCB

Enter the keyword to filter

Alarm Monitoring

Severity: All ACK State: All Visibility: Visible VILLAGRANA... Total:0 Critical:0 Major:0 Minor:0 Warning:0

No.	R.	ACK State	Severity	NE	Location	Alarm Code	Raised Time
-----	----	-----------	----------	----	----------	------------	-------------

History Alarms

No.	ACK State	Severity	NE	Location	Alarm Code	Raised Time	NE Type	Alarm Type
15	Unacknowledged	Critical	AVORINOCOMON1(34)	Ground Resource Manag...	FALLA EN AIRE ACONDICION...	2014-10-16 12:16:34	ME(SDRII)	Equipment
16	Unacknowledged	Critical	AVORINOCOMON1(34)	Ground Resource Manag...	Link Broken Between OMM an...	2014-10-16 12:49:39	ME(SDRII)	Communic
17	Unacknowledged	Minor	AVORINOCOMON1(34)	Ground Resource Manag...	1588 clock link fault(19809224...	2014-10-16 12:49:02	ME(SDRII)	Communic
18	Unacknowledged	Minor	AVORINOCOMON1(34)	Ground Resource Manag...	1588 clock source unavailable...	2014-10-16 12:50:39	ME(SDRII)	Equipment
19	Unacknowledged	Minor	VILLAGRANADA1(20)	Ground Resource Manag...	The temperature at the air inta...	2014-10-16 09:52:11	ME(SDRII)	Environmen
20	Acknowledged	Major	VILLAGRANADA1(20)	Ground Resource Manag...	Environmental temperature is ...	2014-10-16 09:52:05	ME(SDRII)	Environmen

zte\_sfelce has logged in.

**ANEXO B**

**Sistema de monitoreo de transmisión de los enlaces PDH a través del  
NR8000**



INNTT-10.104.193.107

ZTE中兴

Home >> Home

Expand All

- ☐ Home
- ☐ Alarm
- ☐ Configure
- ☐ Radio Link
- ☐ TDM
- ☐ ETH
- ☐ Performance
- ☐ Maintenance
- ☐ Security
- ☐ Inventory
- ☐ Log
- ☐ Language

PM	1	RCUA	5	RMUB
	2	RTUA	6	
	3		7	
RPU	4		8	

3	ODU
4	ODU
5	ODU
6	ODU
7	ODU
8	ODU

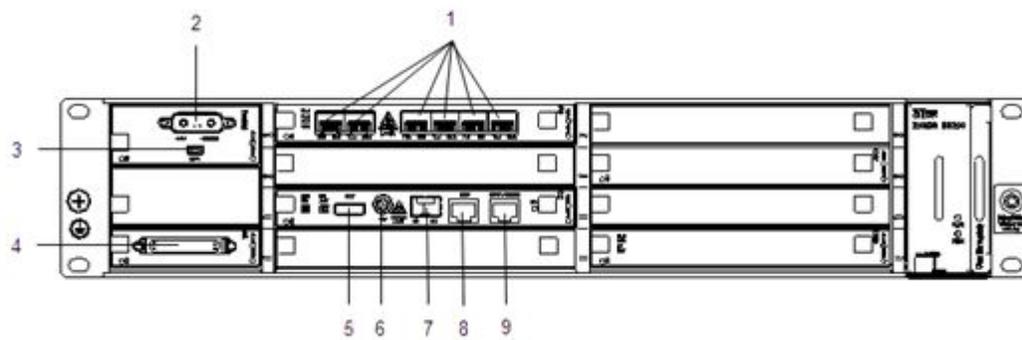
**Device Alarm**

Critical Alarm	0
Major Alarm	0
Minor Alarm	0
Warning	0

ZTE® and ZXMW NR8000 Series are Trade Mark of ZTE Corporation

## **ANEXO C**

### **Descripción del equipo B8200**



1. Baseband - RF optical interface
2. Power interface
3. Debugging serial interface
4. Input/output dry-contact interface/ E1/T1 interface / Serial port communication interface
5. Interface for external receiver
6. GPS antenna feeder interface /BITS clock interface
7. Iub/Abis optical interface
8. Iub/Abis electrical interface
9. Debugging network interface