



**UNIVERSIDAD
DEL AZUAY**

**DEPARTAMENTO DE POSTGRADOS
MAESTRIA EN GESTION DE MANTENIMIENTO
VERSIÓN 3**

Diseño de un modelo de gestión de mantenimiento basado en condición para la empresa proveedora de servicios de internet (ISP) Mundo Wireless del Cantón Cuenca.

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de
Magister en Gestión de Mantenimiento

Autor: Ing. Carlos Garcia Cumbe.

Director: Ing. Robert Rockwood Iglesias

Cuenca – Ecuador

2021

Agradecimientos

En primer lugar, agradezco a Dios por permitirme seguir creciendo como profesional, a la Universidad del Azuay y a todos los docentes por compartir sus conocimientos y experiencias y en especial al Ing. Robert Rockwood, por su guía y ayuda para la elaboración de este trabajo de titulación.

Dedicatoria.

A mi esposa mi gran apoyo, a mis hijos que son mi inspiración, a mis padres que son un gran ejemplo, gracias por cada consejo y por cada una de sus palabras que me han guiado durante mi vida.

Abstract. - This study reviews the current state of the productive process and proposes the implementation of condition-based maintenance (CBM) for an internet service provider company named “Mundo Wireless” from Cuenca-Ecuador. It is important for this company to develop all its capacities, especially in its maintenance area, which is a fundamental part of its productive process; in this way, it could meet its customers’ expectations. The focus of its current problem is based on the experience of its collaborators, the information of its internal technical records and the existing standards, and above all, the telecommunication’s sector best practices. The implementation of this management model is based on the recommendations of the ISO 17359: 2018 standard which seeks to enhance the quality of service, optimize available resources, and provide quality information that contributes to better decision making. This analysis is performed from a practical approach to the problem.

Keywords – Condition-based maintenance, internet service provider, telecommunications, decision making.

Translated by



Carlos Fernando Garcia Cumbe



Diseño de un modelo de gestión de mantenimiento basado en condición para la empresa proveedora de servicios de internet (ISP) Mundo Wireless del Cantón Cuenca.

Carlos Fernando García Cumbe
Departamento de Postgrados de la Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador
Email: garcinando@gmail.com

Resumen – El presente trabajo realiza una revisión del estado actual del proceso productivo y propone la implementación de un modelo de gestión de mantenimiento basado en condición (CBM) para la empresa proveedora de servicios de internet Mundo Wireless de la ciudad de Cuenca. Para la empresa es muy importante desarrollar todas sus capacidades en especial en el área de mantenimiento que es parte fundamental de su proceso productivo, solo de esta manera se podrá satisfacer las expectativas de sus clientes. El enfoque de su problemática se fundamenta en base a la experiencia de sus colaboradores, a la información de sus registros técnicos internos y a los estándares existentes, y sobre todo a las mejores prácticas para este sector de las telecomunicaciones. La implementación de este modelo de gestión se basa en recomendaciones de la norma ISO 17359:2018 y busca potenciar la calidad del servicio, optimizar los recursos disponibles, brindar información de calidad que contribuya a la toma de decisiones. El análisis se lo realiza desde un enfoque práctico al problema.

Índice de Términos – *Mantenimiento basado en condición, proveedor de servicios de internet, telecomunicaciones, toma de decisiones.*

Abstract. - This study reviews the current state of the productive process and proposes the implementation of condition-based maintenance (CBM) for an internet service Provider company named “Mundo Wireless” from Cuenca-Ecuador. It is important for this company to develop all its capacities, especially in its maintenance area, which is a fundamental part of its productive process; in this way, it could meet its customers’ expectations. The focus of its current problem is based on the experience of its collaborators, the information of its internal technical records and the existing standards, and above all, the telecommunication’s sector best practices. The implementation of this management model is based on the recommendations of the ISO 17359: 2018 standard which seeks to enhance the quality of service, optimize available resources, and provide quality information that contributes to better decision making. This analysis is performed from a practical approach to the problem.

Keywords – *Condition-based maintenance, internet service provider, telecommunications, decision making.*

I. INTRODUCCION

En la actualidad la empresa proveedora de servicios de internet Mundo Wireless se encuentra en un proceso de expansión buscando ampliar su cobertura con la mejor calidad en su servicio. En el mercado actual es muy importante para las empresas que desean competir implementar modelos de gestión que permitan desarrollar una visión a mediano y largo plazo para lograr alcanzar sus objetivos [1].

Tradicionalmente, en nuestro entorno se ha considerado a los modelos de gestión como tareas sin una aplicación práctica y una pérdida de recursos, pero la realidad es que planificar es la mejor manera de optimizar los procesos productivos, organizar la empresa, pero sobre todo ser más eficientes; todo esto se verá reflejado en ventajas competitivas con respecto a los demás competidores [2].

La empresa Mundo Wireless se encuentra en el proceso de implementación de su modelo de gestión mediante su plan de direccionamiento estratégico que le permitirá desarrollar todas sus capacidades, de igual manera el área técnica avanza a la par implementado su proceso de gestión de mantenimiento alineada a su gestión estratégica encaminado a la consecución de su objetivo principal el cual es: “*Mantener la funcionalidad deseada de los activos mantenibles que interviene en el proceso productivo de la empresa con el mayor rendimiento al mejor costo permitiendo satisfacer a todas las partes interesadas*” [3].

En la figura 1. Se observa la topología de red tipo árbol de la empresa Mundo Wireless, que se aplica tanto a la red de fibra óptica como a la red inalámbrica.

Esta última se encuentra estructurada por medio de radio enlaces punto a punto para su red troncal y enlaces punto multipunto para la conexión de última milla con los usuarios, pese a las limitaciones en el ancho de banda, las redes inalámbricas ofrecen una planificación mínima y una gran flexibilidad para cubrir zonas geográficas en las cuales los usuarios se encuentran muy dispersos, o éstas son de difícil acceso para una red cableada.

modelos de gestión de mantenimiento no se ajustan a las necesidades y requerimientos de la empresa en cuanto a los equipos considerados como parte principal de este análisis.

Se realizó una revisión del estado del arte a nivel regional y nacional, pero lamentablemente no se han realizado estudios referentes a la implementación de esta metodología para este tipo de aplicaciones en específico, las publicaciones existentes se refieren a la implementación de tecnologías de comunicación para la adquisición de datos de monitoreo de forma inalámbrica, tanto en línea como fuera de línea realizando el análisis con algoritmos de inteligencia artificial para su diagnóstico, lo cual para las condiciones actuales de la empresa no es viable, la monitorización se realiza aprovechando las herramientas de software inherentes al equipo de radio enlace troncal el cual inyecta tráfico de datos para saturar el enlace con el propósito de medir y capturar su límite de operación. La información que proporciona esta herramienta de software propia del equipo, permite la adquisición de datos en tiempo real, por lo cual se deberá llevar un registro que permitirá evaluar su comportamiento frente a los diversos escenarios que se presentan ya sea por su ubicación geográfica, condiciones atmosféricas y agentes externos que afectan las comunicaciones, permitiendo ser más eficientes mejorando los tiempos de respuesta hacia las diferentes contingencias; pero sobre todo, garantizando la calidad y continuidad del servicio para cubrir las expectativas de los clientes tanto externos como internos de la empresa.

II. PLAN DE MANTENIMIENTO EMPRESA MUNDO WIRELESS.

Para el desarrollo del presente trabajo se partió de las recomendaciones de la norma ISO 17359:2018 [9], la cual ofrece directrices para la implementación de monitorización de estado y diagnóstico de los equipos como se ve en la figura 2.

Además se contó con la participación del personal de la empresa tanto del área gerencial como operativa, este proceso se llevó a cabo inicialmente con la formalización de la empresa y sus departamentos internos, implementación del manual de codificación de equipos basado en las recomendaciones de la norma ISO 14224 [11] y manual de jerarquización por criticidad de equipos, con recomendación de la norma ISO 55000:2014 [12], como se explica posteriormente; en cuanto al área técnica se procedió al análisis la información existente en el archivo histórico de revisiones de fallos generados por reclamos de clientes pertenecientes a los años 2017, 2018, 2019 y como éstos afectan a la calidad del servicio y al prestigio de la empresa [3].

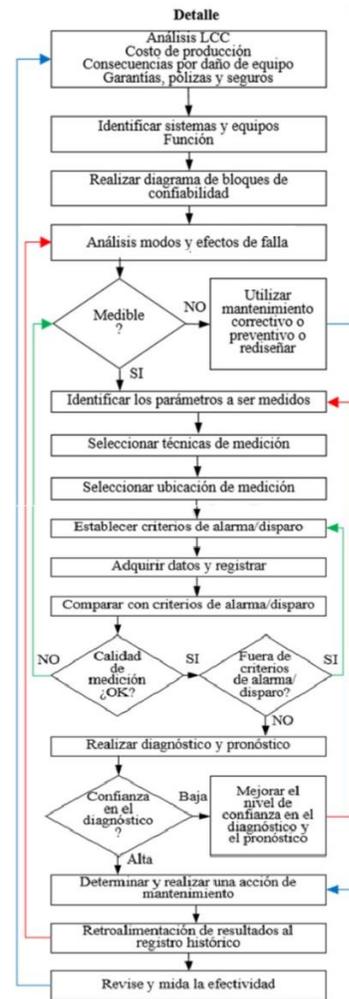


Fig. 2. Diagrama de flujo del procedimiento del monitoreo de condición [9].

Para realizar esta planificación de mantenimiento sobre los equipos mantenibles de la organización se establecen los siguientes criterios por parte del área técnica:

- Actualización constante de los inventarios levantados, con toda la información que éstos requieren.
- Creación de carpeta por equipo que contenga hoja de vida, manuales, así como información de cada intervención realizada en el equipo.
- Revisión completa de ciclos de vida de los equipos, y un análisis de proveedores de los mismos.
- Formación del personal técnico sobre la importancia del cumplimiento de los procesos y parámetros establecidos en la planificación del plan de mantenimiento de la empresa.
- Capacitación al personal para la estandarización de los procesos que se realizan en el área técnica, así como para el registro en las fichas de mantenimiento y órdenes de trabajo realizadas.
- Análisis mensual del cronograma de mantenimiento y verificar su cumplimiento.
- Análisis semestral del modelo de planificación de mantenimiento y evaluación de sus resultados.
- Creación e implementación de un plan de contingencia para casos como pérdida de alimentación eléctrica o desastres

naturales.

- Realizar un monitoreo de las órdenes de trabajo generadas por las quejas del servicio proporcionado a los clientes de la empresa para su respectiva evaluación.

Como siguiente paso se planteó el manual de jerarquización por criticidad de equipos, éste se lo realizó con el método del flujograma de análisis de criticidad [13], evaluando de manera cuantitativa sobre la jerarquía de los equipos que intervienen en el proceso productivo en base a su contexto operacional, las expectativas de la organización, oportunidades y sus partes interesadas por criterios expuestos en recomendación de la norma ISO 55000:2014 [12] la cual brinda los criterios generales de la gestión de activos.

En la figura 3 se muestra un diagrama sobre la valoración que se lleva a cabo en este proceso, el nivel del activo está dado por la ubicación del mismo dentro de la jerarquía establecida por los niveles de la red de la empresa, se valora como el más alto a los equipos que se encuentran dentro del núcleo y más bajo a los equipos asignados como sistemas auxiliares, de la misma manera se evalúa la prioridad del activo en base a sus características de funcionamiento según los criterios expuestos en el diagrama de la figura 3.

Se utiliza esta metodología por tratarse de equipo electrónico que, si bien presenta desgaste y degrada su funcionamiento en el tiempo, no se lo puede analizar como una maquinaria industrial, su contexto operativo se basa en su funcionalidad, rendimiento, y desempeño dentro de la red de comunicación.

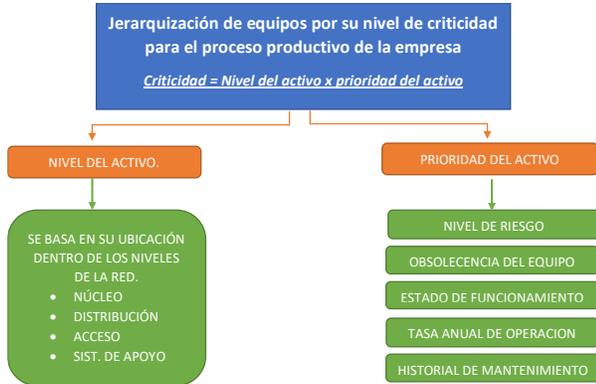


Fig. 3. Estructura para la jerarquización de equipos por su nivel de criticidad.

Este método de jerarquización de los equipos por su criticidad en su contexto operacional nos da como resultado tres grupos, a) equipos críticos los cuales al presentar fallas afectan significativamente a la empresa, b) equipos importantes son los que al fallar la empresa puede asumir las consecuencias, c) los equipos prescindibles que simplemente ocasionan mínimas molestias y pueden ser reemplazados con facilidad [14]. Así de esta manera para los activos mantenibles que no entran en el programa de CBM, se realiza la selección del modelo de mantenimiento según los criterios establecidos por Santiago García Garrido en su Manual práctico para la implantación de sistemas de gestión avanzados de mantenimiento, en el cual si el equipo resulta ser crítico se asigna a mantenimiento

programado, para los equipos importantes se analiza en conjunto el coste de parada y se le aplica mantenimiento programado, y por último si el equipo es prescindible se le aplicará mantenimiento correctivo [14].

Mientras que las frecuencias de intervención de los equipos se encuentran asignadas mediante el análisis de los seis criterios de decisión, expuestos por Luis Felipe Sexto [15]. Así se muestra en la tabla I a continuación.

Tabla I.
Prioridad de los equipos por criterio basado en la experiencia

	JERARQUIZACIÓN POR CRITICIDAD	ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA DE ACTIVIDADES - SEIS CRITERIOS DE DECISIÓN
PRIORIDAD DEL EQUIPO	CRÍTICOS	MANT PROGRAMADO	REVISIÓN C/3 MESES
	IMPORTANTES	MANT PROGRAMADO	REVISIÓN C/6 MESES
	PRESCINDIBLES	CORRECTIVO	REVISIÓN C/12 MESES

Mientras que para los equipos que fueron seleccionados para CBM se aplica el criterio de evaluación de la condición, el cual ayuda a decidir y ajustar las frecuencias de las tareas de mantenimiento, se debe tener en consideración que no todas las fallas pueden detectarse en fases iniciales, y los síntomas que las preceden no suelen ser muy fáciles de detectar en algunos casos, requieren de personal calificado, además de contar con instrumentos que permitan realizar mediciones de los parámetros de la condición de los equipos de manera confiable [15], estos parámetros pueden valorarse por medio de analizadores de espectro los cuales verifican las características de las frecuencias del enlace y de las zonas aledañas. Las condiciones actuales de la empresa no permiten la implementación de este método en especial por su alto costo, la alternativa planteada es el análisis de los anchos de banda de los enlaces troncales punto a punto, siendo esta alternativa factible y económicamente viable gracias a las herramientas software propias de los equipos las cuales entregan parámetros de referencia importantes para su procesamiento.

A estos criterios expuestos se sobrepone que, al realizar monitoreo de la condición de los equipos, es la manera más eficiente de conocer su estado de funcionamiento en tiempo real, siempre y cuando se pueda aplicar adecuadamente [15].

Así en base a la implementación del análisis de los criterios de prioridad y frecuencia de intervención de los equipos se indica en la tabla II, los periodos de referencia para la realización de tareas de mantenimiento, en específico en los activos de la red de comunicación que conforman la columna vertebral del proceso productivo de la empresa Mundo Wireless.

Tabla II.

Frecuencia de actividades de mantenimiento por criticidad

MUNDO WIRELESS & OPTIC		García Villamar Asociados Cia. Ltda.												
Nombre del equipo	Etapas de proceso productivo	Frecuencia de Mto anual	Periodo de planificación											
			MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6	MES 7	MES 8	MES 9	MES 10	MES 12	
CLOUD CORE ROUTER CCR1036 12G-45-EM	Núcleo	3	X				X					X		
CLOUD CORE ROUTER CCR1009 76-1C-15	Núcleo	3	X				X					X		
ROUTER BOARD MIKROTIK 1100 AM	Núcleo	3	X				X					X		
SERVIDOR HP PROLIANT ML30	Distribución	3	X				X					X		
SERVIDOR TIPO CLON GENERICO	Distribución	3	X				X					X		
OLT MAS608T HUAWAI GPON	Acceso	1						X						
ROUTER BOARD MIKROTIK CAPA 2	Acceso	1						X						
UBIQUITI NANOBEAM M5 22dbi 300m	Acceso	2			X							X		
UBIQUITI NANOBEAM M5 16dbi 400mw	Acceso	2			X							X		
UBIQUITI AirFiberSU AF5U	Acceso	2			X							X		
ROUTER BOARD MIKROTIK RB450	Acceso	1						X						
RADIO BASE AP MIKROTIK BASEBOX 5	Acceso	2			X							X		
RADIO BASE AP OMNITIK 5AC 360°	Acceso	2			X							X		
SECTORIAL UBIQUITI AM5G2090-5GHz/Exterior 20dbi/90°	Acceso	1						X					X	
ODF DE DISTRIBUCION	Acceso	2			X									
Inversor de energía	Sst. Aux	1							X					
ups 1.5 kVA on-line	Sst. Aux	1							X					
grupo electrogeno 2.4kVA	Sst. Aux	1							X					
Fusionadora De Fibras Opticas Skl A-80 S	Sst. Aux	1							X					

■ Mayor frecuencia de intervención
■ frecuencia de intervención media
■ Menor frecuencia de intervención

Con las frecuencias establecidas se procede a realizar la planificación de las tareas de mantenimiento a realizar en cada uno de los equipos analizados en el plan de mantenimiento aplicado a la organización, Para facilitar el control de las actividades de mantenimiento se diseñó una hoja de reporte la cual incluye información, como:

Datos del equipo, marca, modelo, serie, código de la empresa, ubicación, nivel de prioridad según su función dentro de la red de la empresa, los cuales facilitan su identificación y seguimiento ya que en la empresa existen equipos idénticos que se encuentran en diferentes niveles de la red.

Las tareas de mantenimiento a realizar por parte del personal del área técnica designado para la ejecución de las tareas, frecuencia de mantenimiento de cada una de ellas, así como un conjunto de observaciones las cuales su principal objetivo es el de facilitar la ejecución de las tareas a realizar, esta estandarización de tareas busca optimizar los tiempos de intervención sobre los equipos y mejorar la planificación de las tareas de mantenimiento.

Como ayuda, las fichas de actividades a realizar cuentan con una sección de observaciones en la cual se indica los puntos centrales a verificar durante las tareas de mantenimiento ya sea limpieza, calibraciones, ajuste, cambios de partes, etc...

Y por último en el caso de ser equipos que se encuentren dentro del modelo de CBM muestran los parámetros que se encuentran siendo monitoreados, así como los ajustes pertinentes para este proceso [3].

Para verificar el cumplimiento del cronograma e implementación del plan de mantenimiento se proponen los siguientes indicadores claves de desempeño (Pis) que deberán analizarse periódicamente para determinar su validez.

A. Indicadores de desempeño y control

1) Cumplimiento del cronograma.

$$CC = \frac{\text{Equipos realizados Mp} \times 100}{\text{Equipos programados para MP}}$$

De esta manera se procederá a realizar ajustes en los cronogramas de ser necesario.

Fuente de información: Programa de mantenimiento.
 Frecuencia de análisis: Mensual.
 Persona responsable: jefe técnico.

2) Confiabilidad.

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo total de funcionamiento}}{\text{Número total de fallos}}$$

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

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

MTBF: Tiempo medio entre fallas.

λ : Tasa de fallas, número de fallas por período de operación.

R(t): Confiabilidad de un equipo en un tiempo t dado.

t: tiempo evaluado.

e: Número Neperiano= 2.718

Al revisar la confiabilidad R(t) del sistema en un período de tiempo se podrá proponer mejoras al plan de mantenimiento.

Fuente de información: Reportes de mantenimiento.
 Frecuencia de análisis: Trimestral.
 Persona responsable: jefe técnico.

3) Mantenibilidad.

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de recuperación}}{\text{Número total de fallos}}$$

Mejorar los tiempos medios de reparación de fallas (MTTR) analizando procesos, y demás características de las tareas realizadas.

Fuente de información: Reportes de mantenimiento.
 Frecuencia de análisis: Trimestral.
 Persona responsable: jefe técnico.

4) Disponibilidad.

$$D = \frac{MTBF \times 100}{MTBF + MTT}$$

Mejorar la disponibilidad de los equipos de comunicación en el caso de ser necesario.

Fuente de información: Reportes de mantenimiento.
 Frecuencia de análisis: Trimestral.
 Persona responsable: jefe técnico.

III. MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIÓN PARA RADIO ENLACE PUNTO A PUNTO.

La Metodología del mantenimiento basado en condición se fundamenta en el diagnóstico de las condiciones operativas de los equipos previa su intervención para ejecución de las tareas de mantenimiento [16], esta metodología según la literatura analizada no ha sido aplicada en un contexto operativo como lo son los ISP's. Para el presente estudio se analizó uno de los enlaces troncales de la red de la empresa Mundo Wireless cuya función específica es la de comunicación de nodos, estos equipos fueron seleccionados por su nivel de criticidad así como por lo característico de su operación, viabilidad de monitoreo, calidad en los parámetros a medir pero sobre todo se busca conseguir un aumento de la disponibilidad y la fiabilidad, prolongar el tiempo de funcionamiento efectivo, maximizar el rendimiento del equipo en su operatividad así como de forma financiera [16]. Mientras que los enlaces sectoriales o punto multipunto por su número elevado de equipos que lo conforman, y dado que el proceso de registros de monitorización se lo lleva a cabo de forma manual presentaría más problemas que beneficios para la empresa, así mismo el resto de equipos críticos de la organización son servidores y *routers*, para los cuales una metodología CBM no es aplicable.

De esta manera, para la implementación del CBM en los equipos seleccionados se partió del análisis de los principales reclamos que se han presentado en la empresa por fallas en el servicio de internet que reportan los abonados [3].

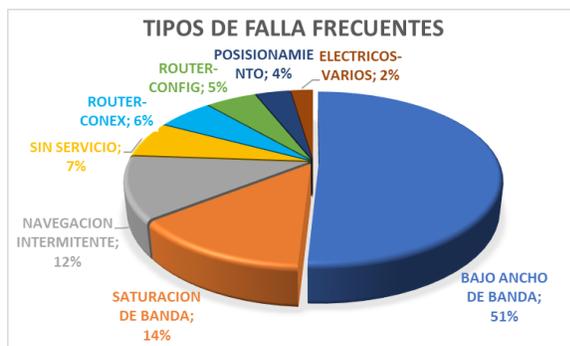


Fig. 4. Resumen de daños reportados en los años: 2017, 2018, y 2019

Se realizaron las siguientes actividades dentro del análisis previo al proceso de implementación del CBM:

- 1) Se recopiló la información existente en cuanto a revisiones generadas por reclamos de los abonados.
- 2) Se procedió a clasificar los motivos de reclamos más frecuentes por parte de los usuarios como se muestra en la figura 4.
- 3) Estos resultados obtenidos se los comparó con el análisis de jerarquización por criticidad aplicado para los equipos del proceso productivo, con esta información se verificó los

activos mantenibles que son parte principal de los reclamos recibidos.

3) Identificación de las fallas con mayor ocurrencia y fallas críticas del sistema.

4) Una vez efectuado este análisis e identificadas las causas tanto internas como externas, y demás elementos que afectan a éstas se procedió a la identificación de parámetros que permitan evaluar los estados de falla antes mencionados.

5) Al tener identificados los parámetros a evaluar se procedió a establecer las tolerancias permitidas, así como los intervalos de medición de los parámetros principales de calidad de los equipos.

Después de los puntos antes mencionados y con la información existente se prosigue con las directrices para los procedimientos generales que se deben seguir para la implementación de un programa de control de la condición de los equipos como lo indica la norma ISO 17359:2018 [9], en la cual se definen los componentes o parámetros a considerar con el monitoreo de la condición con referencia a sus criterios de calidad.

A. Selección del enfoque de diagnóstico y enfoque del modelo de fallas.

Tomando como referencia la norma ISO 13379-1:2012 [10], se realiza un análisis de rutina comparando descriptores actuales de funcionamiento con los valores de referencia, para este caso en particular se usará el enfoque basado en datos de fallos registrados por reclamos de clientes que se muestran en la figura 5.

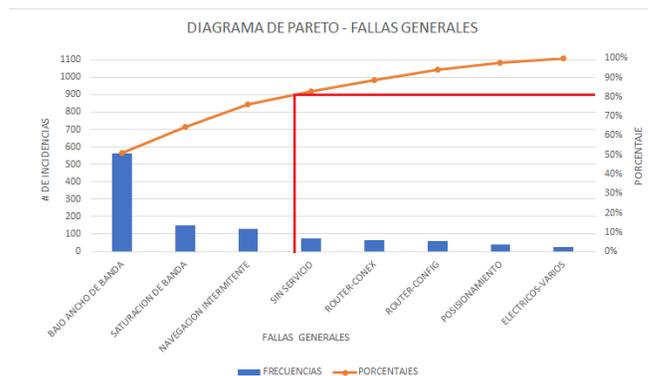


Fig. 5. diagrama de Pareto, fallas frecuentes.

Y mediante un diagrama de Pareto, se puede observar como pocas causas generan la mayor cantidad de problemas siendo estas, bajo ancho de banda, saturación de la banda, navegación intermitente, así se observa en la figura 5, que, una vez identificados los principales reclamos por parte de los abonados, se busca identificar las causas más relevantes que las producen [16].

De los principales reclamos se analiza a detalle el caso del ancho de banda bajo, por tratarse de un fallo que se relaciona directamente con la capacidad de transmisión de los equipos de comunicación del proceso, mientras que los fallos de saturación e intermitencia en el servicio son propios de los equipos de

última milla los cuales se encuentran instalados en la ubicación de los usuarios y en los cuales se aplica mantenimiento correctivo, al momento que los clientes reporten algún fallo.

El análisis de este fallo se lo realiza por medio del diagrama de Ishikawa [16], con el método tradicional de las 4M, en el cual se identifica las causas que ocasionan los fallos mediante la colaboración de los integrantes del área técnica que posean la experiencia suficiente para aportar en este proceso. En la figura 6, se expone las principales causas que se identifican para la ocurrencia del fallo analizado.

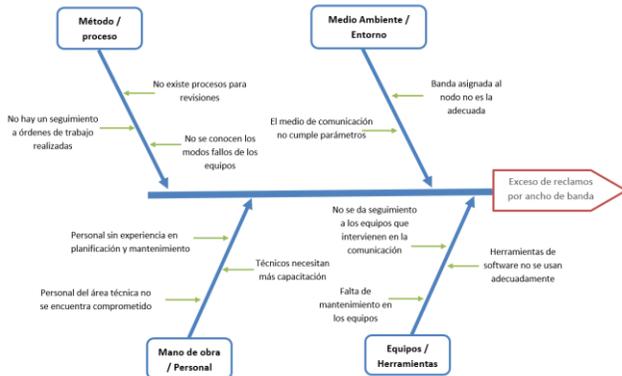


Fig. 6 Análisis causa – raíz

Al realizar el análisis del diagrama de Ishikawa con el grupo de trabajo se evalúa cada una de las causas identificadas en base a los criterios establecidos: a) ¿es un factor que ocasiona el fallo?, b) Si se elimina esta causa, ¿se soluciona el problema?, c) ¿es una solución factible?, d) ¿se puede medir?, e) ¿cuál es su costo?, como siguiente paso se aplica una escala de evaluación que para este caso en particular es de 1 si es de menor aporte y 3 si es de mayor aporte al criterio, de esta manera podemos llevar la opinión del grupo de trabajo de forma cualitativa a una evaluación cuantitativa y así poder discriminar las causas más importantes del fallo.

En la tabla IV se observa el resumen del análisis del diagrama de Ishikawa, en el que se indica la valoración de cada causa con su respectiva evaluación y parámetro de medición.

Tabla III.

Resumen de análisis de Ishikawa con las causas más importantes.

RESUMEN DE DIAGRAMA DE ISHIKAWA			
CAUSAS	VALORACIÓN	MEDICIÓN	
Método / proceso	TOTAL	EVALUACIÓN	PARAMETROS
No se conocen los modos fallos de los equipos	15	Recopilación de fallas registradas en los equipos de comunicación involucrados para evaluación	
No hay un seguimiento a órdenes de trabajo realizadas	15	Verificación de órdenes de trabajo realizadas si fueron efectivas	Analizar órdenes de trabajo generadas vs órdenes de trabajo verificadas si fueron efectivas
Mano de obra / Personal			
Técnicos necesitan más capacitación	14	Evaluación de conocimientos y habilidades adquiridas en las capacitaciones	Capacitaciones realizadas vs capacitaciones programadas
Equipos / Herramientas			
Herramientas de software no se usan adecuadamente	16	Verificar herramientas de software que permitan valorar la calidad del servicio brindado	Herramientas de software que permitan verificar estado de proceso
No se da seguimiento a los equipos que intervienen en la comunicación	17	Revisión y análisis de jerarquías y criticidad de los equipos del proceso	Evaluaciones de operación en intervalos de tiempo programados
Falta de mantenimiento en los equipos	15	Evaluación de los activos mantenibles para elección del modelo de mantenimiento que mejor se ajusta a sus necesidades	Equipos intervenidos vs equipos programados para mantenimiento
Medio Ambiente / Entorno			
Banda asignada al nodo no es la adecuada	15	Evaluar planes de acceso a internet, número de usuarios para determinar ancho de banda necesario	(Mbps) Megabytes por segundo # de usuarios por plan Tipos de planes contratados
El medio de comunicación no cumple parámetros	17	Evaluar y controlar si el canal de acceso es suficiente para el número de usuarios a servir	(Mbps) Megabytes por segundo

El objetivo principal de esta evaluación del diagrama de Ishikawa es el de vincular las causas de las fallas con los equipos considerados críticos y en especial los equipos que pueden ser sometidos a una monitorización de su condición por la factibilidad de medición de sus parámetros de operación que éstos ofrecen, de esta manera se obtiene como resultado que los equipos de comunicación como los enlaces troncales o punto a punto y equipos sectoriales que conforman la última milla son aptos para monitoreo y parte fundamental en las fallas presentadas por parte de los abonados a la red.

La implementación del CBM se aplicará a los enlaces troncales que son aptos para el proceso de monitorización y como se había explicado anteriormente por razones logísticas los equipos sectoriales son excluidos del proceso.

Mientras que para realizar la validación de los síntomas necesarios que preceden a una falla se realiza mediante el enfoque falla/síntoma [10] como se muestra en la figura 7.

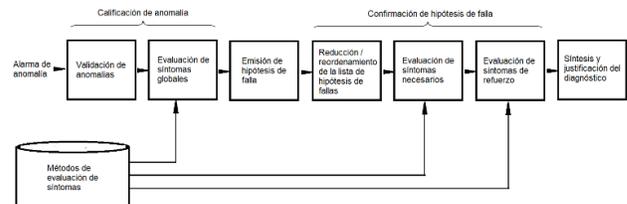


Fig. 7. Enfoque falla/síntoma [6]

Como se indicó anteriormente mediante el diagrama de Ishikawa se analizó respectivamente las fallas, sus causas y equipos; de este modo se pudo vincular las fallas existentes con las variables, que pueden monitorear la calidad y desempeño de los equipos dentro del proceso de la empresa; además, el monitoreo de la condición se centrará en las tareas de diagnóstico buscando detectar el fallo e identificar los síntomas que lo preceden [17], siendo muy importante reducir el tiempo entre la intervención de mantenimiento y la estimación del tiempo de falla mediante el monitoreo de su condición de operación considerando que el diagnóstico principalmente es de tipo pro activo para identificar fallos que degraden el sistema [18].

En el siguiente paso se procede a revisar las variables a monitorear de tal modo que sea factible su medición dentro del proceso. Se recalca la consideración favorable para la implementación del modelo de gestión viene de la mano de los equipos a monitorear, las antenas poseen software propio, el cual se encuentra estrechamente relacionado con los parámetros de desempeño y calidad. Por lo cual permiten diagnosticar su condición de operación en tiempo real, siendo estos parámetros a su vez parte clave de los reclamos reportados por los usuarios del servicio.

IV. PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN DE MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIÓN.

Al tener identificados los equipos o sistemas considerados críticos y que en diferentes etapas serán sujeto de monitoreo, así mismo los equipos o sistemas considerados no críticos son derivados hacia diferentes estrategias preventivas y correctivas según sus necesidades. Para el desarrollo de esta investigación en esta primera etapa de implementación se escogió el enlace entre los nodos Ricaurte y Llaeo por tratarse de un enlace punto a punto troncal en el cual existen reclamos por la calidad del servicio [3]. Los equipos que componen este enlace son de marca Ubiquiti modelo Airfiber de 5 GHz Full Dúplex punto a punto, Gigabit Radio. Los cuales se encuentra soportados en torres de comunicación cumpliendo con los estándares y protocolos de seguridad que se exigen y regulan para su correcto funcionamiento. Las características del enlace troncal se muestran en la figura 8, su ubicación geográfica, línea de vista, zonas de Fresnel, y demás parámetros característicos del enlace.

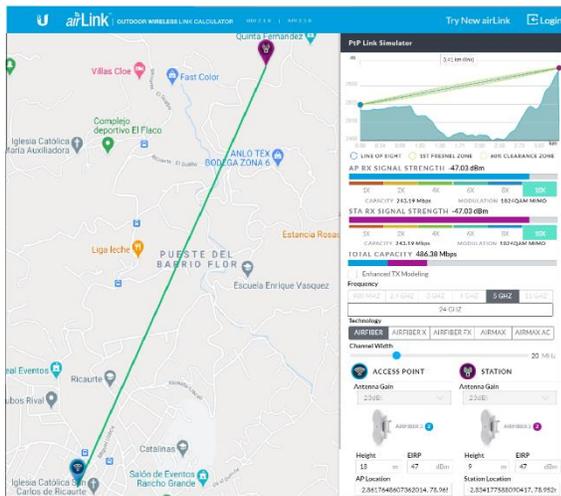


Fig. 8. Captura del Enlace troncal punto a punto.

Los datos analizados en la primera fase de análisis para la implementación del CBM, se basan en parámetros que permiten evaluar el rendimiento y calidad del enlace durante su estado de funcionamiento con el tráfico nominal que por él se trasmite, estas variables fueron revisadas y seleccionados por su contribución a la operación y son de tipo digital que miden el comportamiento del equipo de radio frecuencia frente a las diferentes condiciones de operación, estas variables fueron

escogidas por el área técnica para el monitoreo por tratarse de parámetros específicos que se utilizan obligatoriamente al momento de configurar y ajustar los enlaces punto a punto, los parámetros se muestran en la tabla 4.

Tabla IV.
VARIABLES A SER EVALUADAS.

ENLACE TRONCAL	
Ancho de banda	Mbps
Trafico de clientes	Mbps
# reclamos procedentes	Unidades
# total de clientes x nodo	Unidades

El nodo de Llaeo se compone de 8 antenas sectoriales de 90 grados de cobertura punto a multipunto, las cuales son la estructura de última milla hacia el abonado, cada antena sectorial tiene una capacidad de 20 usuarios por lo tanto este nodo alberga un máximo de 160 clientes, los planes domiciliarios de internet que la empresa ofrece en esta zona rural y de difícil acceso para una red física por lo disperso geográficamente de los domicilios de los clientes son de 3Mbps y 5Mbps de velocidad con una compresión de 4:1, la misma que está determinada por el número de clientes que comparten el canal de acceso a internet asignado en cada plan, es decir, que para el plan de 5Mbps pueden hacer uso del canal hasta 4 usuarios simultáneamente; estas velocidades son bajas en comparación con las que se ofertan en el mercado y es una de las principales desventajas de las redes inalámbricas.

En la tabla V, se muestra el ancho de banda máximo y mínimo entregado al usuario según la compresión de cada plan, estos datos se encuentran estipulados en el contrato de servicio que se firma con los clientes al momento de realizar la instalación del servicio.

Tabla V.
Planes de internet ofertados con su respectiva compresión.

Plan 3Mbps 4:1		Plan 5Mbps 4:1	
Min (Mbps)	Max (Mbps)	Min (Mbps)	Max (Mbps)
0,75	3	1,25	5

Con las velocidades máximas y mínimas de cada uno de los planes se procede a estimar los valores de ancho de banda que se requieren para en el número de usuarios totales del nodo respectivamente a su plan contratado, luego estas velocidades totales se les aplica el factor de coincidencia (FdC) que está dado por el valor total de módems instalados a los usuarios del nodo dividido para el promedio de módems conectados a la red. Evaluado en diferentes intervalos de tiempo. Estos valores se los puede ver en la tabla VI.

Tabla VI. Ejemplo de obtención de valores de referencia para límites superior e inferior de radio enlaces.

Plan 3 Mbps 4:1		Plan 5 Mbps 4:1	
Min (Mbps)	Max (Mbps)	Min (Mbps)	Max (Mbps)
0,75	3,00	1,25	5,00

Clientes 3Mb		Clientes 5Mb	
119	119	41	41
Banda requerida según compartición			
89,25	357	51,25	205
Banda requerida en enlace troncal			
Min (Mbps)		Max (Mbps)	
140,5		562	
F. de Coincidencia (FdC) 0,8			
112,4		449,6	

Estos valores estimados de ancho de banda se los adopta como parámetros de control para medir el ancho de banda requerido por el enlace troncal punto a punto para satisfacer las necesidades de los usuarios, en base a esto se considera que el valor medido en el enlace, debe ser siempre mayor al valor mínimo de ancho de banda estimado, para garantizar la compresión mínima de los abonados, de igual forma para el límite superior de debe garantizar el valor máximo de banda requerido, así se garantizará un canal óptimo de comunicación.

La monitorización de los equipos se lo realiza por medio de descriptores ya que éstos vienen de medidas que ya han sido procesadas y ofrecen mayor selectividad en los datos [10], de este modo se realizó la evaluación de los parámetros de desempeño del nodo con 6 muestras diarias, las cuales al ser promediadas representan al descriptor del día, el período de evaluación inicial corresponde al segundo semestre del 2019, los datos son registrados de manera manual por parte del personal de call center del área técnica de la empresa (Figura 9).



Fig. 9. Ancho de banda medido segundo semestre 2019. (original a color)

En la figura 9 se observa una curva irregular que empieza a disminuir su valor así la red se asemeja a una máquina operativa que inherentemente degrada progresivamente su valor ya sea por el tiempo, agentes externos, etc. generando una disminución de la calidad del servicio prestado [6], se debe realizar acciones de mantenimiento que permitan obtener un nivel óptimo de funcionamiento con un equilibrio costo beneficio.

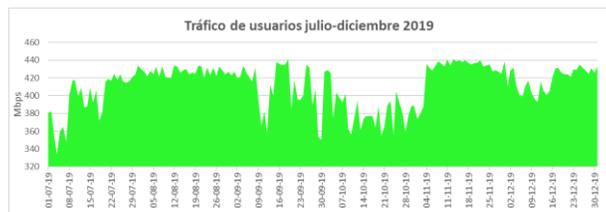


Fig. 10. Tráfico de clientes segundo semestre del 2019. (original a color)

De la misma manera otro parámetro a monitorear viene dado por el consumo total de ancho de banda por parte de los usuarios del nodo (Figura 10), de esta manera se puede comparar los resultados que se van obteniendo y detectar posibles anomalías que se presenten dentro y fuera del enlace troncal.

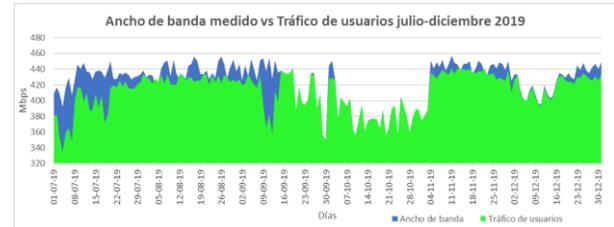


Fig. 11. Comparativa de anchos de banda para el segundo semestre del 2019. (original a color)

Al realizar la comparativa en las curvas de ancho de banda en la figura 11 referente al ancho de banda medido vs tráfico de usuarios de la red, es claro determinar cuando la red se ha degradado y perdido la capacidad necesaria de comunicación para cubrir las necesidades de sus abonados. Y como se había mencionado anteriormente en este estudio el indicador principal que alerta estas deficiencias en el nodo troncal son las quejas recibidas por parte de los clientes lo cual atenta contra los intereses de la empresa y todas sus partes interesadas. Para gestionar estos incidentes según el modelo de mantenimiento actual transcurrió alrededor de un mes en lograr solventar los inconvenientes significando pérdidas económicas, pero sobre todo en la reputación y prestigio de la empresa Mundo Wireless.

En adelante se muestra una evaluación comparativa con respecto a la situación inicial analizada anteriormente y la implementación de modelo de gestión basado en condición que se lleva a cabo desde el primer mes del año 2020.



Fig. 12. Ancho de banda medido primer semestre 2020.

La adquisición de datos se lo realizó con el mismo procedimiento hasta llegar a los descriptores deseados, así en la figura 12 se observa la curva con mayor estabilidad, si se realiza una comparación entre las figuras 9 y 12 la degradación en esta última gráfica no es pronunciada, esto se debe a que se ha intervenido en los parámetros de ajuste y en el caso de ser necesario se realizó un cambio de frecuencia de transmisión en el enlace para conservar su operabilidad en óptimas condiciones.

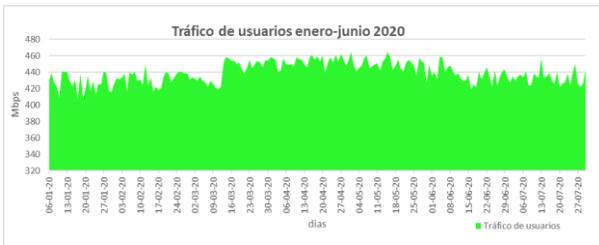


Fig. 13. Tráfico de clientes primer semestre del 2020.

Así mismo, se observa que, al tener un enlace inalámbrico punto a punto más estable, el tráfico de datos por parte de los clientes presenta mayor estabilidad, al garantizar un canal que soporte el tráfico se eliminan un cuello de botella en la red, esto se observa en la figura 13.

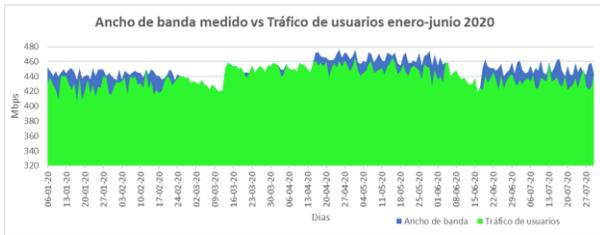


Fig. 14. Comparativa de anchos de banda para el primer semestre del 2019.

En la figura 14, al observar la comparativa se ve las áreas azules las cuales representan el ancho de banda que permite una comunicación más fluida, en este caso en específico se realizó un ajuste general en los equipos ya que repentinamente el consumo de banda aumentó saturando el medio al máximo y en los siguientes meses se pudo estabilizar a valores de referencia. Este aumento considerable se produjo debido al estado de emergencia que se dio en los meses de marzo, abril y mayo del 2020 en la ciudad, siendo una excelente oportunidad para medir y valorar el proceso que se lleva a cabo dentro de la empresa; por consiguiente, al detectarse esta variación se procedió con las acciones de mantenimiento que se designaron para este tipo de equipos, recolectando información sobre las acciones realizadas en registros para posterior retroalimentación que puede ser útil para ayudar en el diagnóstico futuro de este tipo de sucesos [10].

V. RESULTADOS.

Para el análisis de resultados es propicio considerar el corto tiempo que se ha podido monitorear y evaluar la información obtenida, aun así los resultados han sido satisfactorios como se pueden observar a simple vista en las figuras 11 y 14, ya que es una referencia de la optimización del canal de comunicación para la transmisión de una capacidad estable de ancho de banda, en el tiempo de operación de la empresa en el mercado, nunca se había realizado un seguimiento y análisis de los equipos o sistemas críticos de la empresa. El modelo de gestión se establece para optimizar y mejorar la calidad del servicio de internet domiciliario prestado a los usuarios, de tal manera que se define como uno de los principales indicadores de medida para este tipo de enlaces troncales, el porcentaje de quejas que proceden de la pérdida de la capacidad de transmitir de una

manera óptima. Por lo tanto, se ha definido de la siguiente manera:

$$\% \text{ de reclamos procedentes} = \frac{\# \text{ de reclamos procedentes en nodo}}{\# \text{ de usuarios del nodo}} \times 100$$

$$\% \text{ de reclamos procedentes 2019} = \frac{47}{149} \times 100$$

$$\% \text{ de reclamos procedentes 2019} = 31.5\%$$

$$\% \text{ de reclamos procedentes 2020} = \frac{18}{156} \times 100$$

$$\% \text{ de reclamos procedentes 2020} = 12.3\%$$

Según las evaluaciones se muestra una disminución notable de 19,2% en las quejas hacia la empresa por parte de los clientes en este enlace troncal en específico. Además de esto se debe considerar los costos por revisión de servicio que disminuyen y no menos importante considerar la saturación del mercado en cuanto a empresas ISP, lo cual hace que sea difícil conseguir un mercado y evitar perder clientes se convierte en una de las principales estrategias de la empresa.

Para evaluar los resultados del plan a integridad hace falta procesar toda la información en términos de los Pis que se definieron como los indicadores principales de desempeño.

VI. DISCUSIÓN.

Previo a la implementación del modelo de gestión de mantenimiento basado en condición en el primer sistema o equipo crítico, en la empresa se procedió a la formalización de todas las áreas de la empresa. Capacitación del personal y una reestructuración del área técnica según sus habilidades con el fin de mejorar los servicios prestados. La implementación de estos procesos de gestión por cada área se viene dando de forma paralela. Dentro del proceso de evaluación para monitoreo para CBM, se puede encontrar una amplia gama de parámetros que intervienen en la comunicación de los radios enlaces tales como el *Bitrate*, *Delay*, *Jitter*, *packet loss*, potencia de transmisión ganancias de las antenas, etc. Dentro de los principales, pero al momento de analizarlos se requieren conocimientos avanzados en cuanto al manejo de redes y sistemas de comunicación, así como de modelos estadísticos, en la actualidad el personal del área de mantenimiento se encuentra en proceso de capacitación para el correcto manejo y análisis de la información concerniente a los parámetros antes citados, de esta manera se proyecta en este proceso de gestión el desarrollo de sus habilidades y conocimientos. En esta primera fase de implementación los resultados de optimización son aceptables a los costos que se han generado para la implementación de este modelo de gestión.

VII. CONCLUSIONES.

El mantenimiento basado en condición día a día está ganando aceptación, gracias a las diferentes técnicas de diagnóstico, así como a las nuevas tecnologías que permiten medir parámetros que facilitan la implementación de este modelo de gestión, además de ser un enfoque que puede llevarse a muchas áreas como es el caso del análisis dado en

este estudio, en base a esto se resaltan las siguientes conclusiones.

Como punto principal, al conocer la situación actual de la empresa Mundo Wireless se logró optimizar los recursos internos de la empresa, los cuales al ser implementados no generan costos excesivos y al contrario aportan gran valor al proceso productivo, y dado que el CBM no es factible para todos los equipos por razones tanto económicas como técnicas, se desarrolló un plan mantenimiento general para todos los activos de la organización, lo cual permite contar con un esquema de jerarquización por criticidad, permitiendo priorizar los recursos al conocer los equipos críticos, sus modos de causa-raíz de fallo para los más importantes en base a registros creados en esta investigación, permitiendo ser más eficientes y poder competir en el mercado actual.

El modelo propuesto de CBM optimiza de gran manera el sistema de comunicación en el cual fue implementado mejorando la calidad y eficiencia del enlace, disminuyendo las quejas de los clientes en un 19.2% según los registros evaluados, lo cual significa un ahorro aproximado de \$204,3 en costos de operación dentro del área técnica, reflejado en la optimización del tiempo del personal y descongestionando sus tareas permitiéndoles cumplir con sus cronogramas asignados, pero el mayor beneficio está dado por la calidad del servicio entregado y la reputación que la empresa alcanza, esto se verá reflejado en el incremento de sus abonados.

Para evaluar la evolución del CBM se ha definido por parte del área técnica una tolerancia mínima del 75% del valor del límite superior de banda requerida por el enlace, dado por las características de los equipos de comunicación inalámbricos y su variación con respecto a factores externos, esta disminución debe presentarse en un máximo de 5 descriptores seguidos para su intervención. Estos valores de tolerancia fueron asignados de forma arbitraria como parámetros iniciales y de punto de partida los cuales se ajustarán con la experiencia adquirida para no generar falsos positivos comprometiendo las intervenciones sobre los equipos monitorizados.

Al analizar los datos en tiempo real se va creando un registro de la información muy importante sobre el proceso de la empresa que será de mucho valor y ayuda en la toma de decisiones en el futuro.

En relación a las recomendaciones dadas en la norma ISO 17359:2018, se debe de especificar que en esta primera etapa del proceso de implementación del modelo de gestión de CBM, el análisis de los parámetros de monitoreo, alarma, tolerancias, se encuentran dirigidos hacia el diagnóstico de las fallas, la información recabada hasta la fecha no permite realizar tareas de pronóstico de fallas, este tipo de análisis se lo realizará conforme la base de datos creada lo permita, de la misma manera se realizará evaluaciones y ajustes a las técnicas de medición y criterios de alarma según la retroalimentación del análisis de los resultados lo sugieran pertinente.

VIII. RECOMENDACIONES.

El desarrollo del CBM, debe ser fundamentado en el talento humano de la organización, su experiencia y conocimiento optimizan su implementación, fortalecen el proceso productivo creando la mejor experiencia para los clientes de la empresa.

Incentivar al personal de la empresa mediante participación directa en los procesos y toma de decisiones, de esta manera se crea un sentido de pertenencia por parte del personal del área técnica.

Dar prioridad al técnico encargado para realizar la toma de mediciones; de la misma manera facilitar manuales e información referente al desarrollo de sus tareas.

Los equipos destinados para realizar las mediciones de los parámetros de condición deben ser independientes a otras tareas y de fácil acceso para realizar el proceso mencionado.

Al momento de realizar las tareas para el proceso de gestión de mantenimiento de la condición por parte del personal del área técnica, este debe de ser preparado y con conocimientos necesarios para que su aporte sea de valor al equipo de trabajo.

IX. REFERENCIAS

- [1] A. Lago, «Capacitación en Planificación Estratégica. Impulso del Desarrollo Local con Microempresas,» *Observatorio Laboral Revista Venezolana 6(11)*, pp. 97-109 ISSN: 1856-9099, 2013.
- [2] K. B. Montesinos Juella, «Plan estratégico para la empresa Global Cloud,» de *monografía de pregrado*, Cuenca, Azuay, 2018, pp. (3-4).
- [3] Administracion, «Documentacion interna "Empresa Mundo Wireless",» Cuenca, 2020.
- [4] W. Mundo, «Revisión de Competidores ISP, en el área de concesión,» Mundo Wireless, Cuenca, 2019.
- [5] T. Wireman, «Benchmarking best practices in maintenance management,» Industrial Press, 2010.
- [6] J. F. Gómez Fernández y A. Crespo Márquez, «Framework for implementation of maintenance management in distribution,» *Reliability Engineering and System Safety 94(10)*, p. 1639–1649 doi: 10.1016/j.ress.2009.04.003, 2009 .
- [7] A. H.C. Tsag, «Condition-based maintenance: tools and decision making,» *Journal of Quality in Maintenance Engineering, 11(3)*, pp. 3-17. doi: 10.1108/13552519510096350, 1995.
- [8] W. E. Deming, *Calidad, Productividad y Competitividad - La salida de la crisis*, Madrid: Diaz de Santos S. A. ISBN:978-84-87189-22-7, 1989.
- [9] ISO-17359:2018(e), *Condition monitoring and diagnostics of machines - General guidelines*, 2018.
- [10] ISO-13379:2003(e), *Condition monitoring and diagnostics of machines — General guidelines on data interpretation and diagnostics techniques*, 2003.
- [11] ISO 14224:2016, «Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment,» 2016.
- [12] NTE INEN-ISO 55000, «GESTION DE ACTIVOS - ASPECTOS GENERALES, PRINCIPIOS Y TERMINOLOGIA (ISO 55000:2014,IDT),» 2016.
- [13] C. A. Parra Máquez y A. Crespo Márquez, *Ingeniería de Fiabilidad y Mantenimiento aplicada en la Gestión de*

Activos, Sevilla-España: Ingeman ISBN: 978-84-95499-67-7, 2012.

- [14] S. García Garrido, Organización y gestión integral de mantenimiento, Madrid: Ediciones Díaz de Santos, S. A. ISBN: 84-7978-548-9, 2003.
- [15] L. F. Sexto, «¿CÓMO DETERMINAR LA FRECUENCIA DE MANTENIMIENTO? SEIS CRITERIOS TÉCNICOS DE DECISIÓN,» *Mantenimiento en Latinoamérica* 9(2), pp. 6-11. ISSN: 2357-6340, 2017.
- [16] A. Mora Gutiérrez, Mantenimiento Planeación, ejecución y control, México D.F.: Alfaomega Grupo Editor, S.A. ISBN: 978-958-682-769-0, 2009.
- [17] J. Veldman, W. Klingenberg y H. Wortmann, «Managing condition-based maintenance technology A multiple case study in the process industry,» *Journal of Quality in Maintenance Engineering* 13(1), pp. 40-62. doi:10.1108/13552511111116240, 2011.
- [18] P. Ashok y B. James, «Condition based maintenance: a survey,» *Journal of Quality in Maintenance Engineering* 18(4), pp. 384-400. doi:10.1108/13552511211281552, 2012.
- [19] G. General, «Plan de direccionamiento estrategico para la empresa "Mundo Wireless",» Cuenca, 2019.