

**METODOLOGIA DE MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD PARA UN
SISTEMA DE MEDICIÓN DE PRESIÓN REMOTO EN LA EMPRESA DE
ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ**

DANNY ALBERTO GÜIZA GARCÍA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2012**

**METODOLOGIA DE MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD PARA UN
SISTEMA DE MEDICIÓN DE PRESIÓN REMOTO EN LA EMPRESA DE
ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTA**

DANNY ALBERTO GÜIZA GARCÍA

**Monografía presentada para optar al título de:
ESPECIALISTA EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO**

**Director
GERMAN ANDRES SALCEDO AMAYA
ESPECIALISTA EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2012**

DEDICATORIA

A DIOS por iluminar mi camino y darme la sabiduría para vencer las adversidades.

A mi madre, Eddy, por depositar su confianza en mí, y brindarme el cariño y el apoyo con el cual he logrado mis metas.

A mi gran amor, Ángela, por estar siempre a mi lado incondicionalmente.

A todos mis familiares y amigos quienes con su ayuda y compañía realizan un gran aporte en mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al ingeniero German Andres Salcedo Amaya quien dirigió este trabajo y al doctor Luis Alberto Mora Gutiérrez quien apporto valiosa información para el desarrollo de la presente monografía.

TABLA DE CONTENIDO

OBJETIVOS.....	1
INTRODUCCIÓN	2
1. EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ	4
1.1 RESEÑA HISTÓRICA	5
1.2 CICLO DEL AGUA.....	14
1.3 PLAN ESTRATÉGICO	15
1.3.1 Misión	16
1.3.2 Visión.....	16
1.3.3 Objetivos Estratégicos	17
1.3.4 Políticas Corporativas.....	17
1.3.5 Valores Corporativos	18
1.4 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL	19
2. EL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD	21
2.1 HISTORIA DEL RCM.....	21
2.2 MODELOS DE RCM.....	22
2.2.1 Reliability Centered Maintenance, RCM.	22
2.2.2 Organización OREDA.....	22
2.2.3 Norma MIL-STD-2173.....	23
2.2.4 Norma Navair 00-25-403.	23
2.2.5 Asociación ESReDA:	23
2.2.6 Norma SAE.....	24
2.2.7 Red Aladon.....	24

2.2.8	Metodología RCM a utilizar.....	25
2.3	LAS SIETE PREGUNTAS DEL RCM.....	25
2.3.1	Funciones y estándares de funcionamiento.....	26
2.3.2	Fallas Funcionales.....	26
2.3.3	Modos de falla	27
2.3.4	Efectos de las Fallas.....	28
2.3.5	Consecuencias de las Fallas	28
2.3.6	Labores Preventivas	31
2.3.7	Acciones “a falta de”	32
2.4	HOJA DE INFORMACIÓN RCM	33
2.5	HOJA DE DECISIÓN RCM.....	34
2.6	DIAGRAMA DE DECISIÓN RCM.....	34
3.	SISTEMA DE MEDICIÓN DE PRESIÓN REMOTO	36
3.1	DESCRIPCIÓN DEL SMPR.....	36
3.2	EQUIPOS DEL SMPR	40
3.2.1	RTU	40
3.2.2	Modem Celular	41
3.2.3	WI FI Acces Point	42
3.2.4	Transmisor de Presión.....	42
3.2.5	Switch de Nivel de Agua en la Cámara.....	43
3.2.6	Switch de Nivel de Agua en el Gabinete.....	44
3.2.7	Switch de seguridad de ingreso en la cámara	44
3.2.8	Switch sensor de apertura del gabinete.....	44
3.2.9	Batería	45
3.3	DIVISION DEL SMPR EN SUBSISTEMAS	46
3.3.1	Subsistema de Control.....	46

3.3.2	Subsistema de Alimentación.....	46
3.3.3	Subsistema de Comunicación.	46
3.3.4	Subsistema de Instrumentación.....	46
3.3.5	Subsistema de infraestructura civil y gabinete.....	47
4.	APLICACIÓN DEL RCM AL SMPR	48
4.1	HOJAS DE INFORMACION Y DECISIÓN EN SUBSISTEMA DE CONTROL ..	48
4.1.1	Hoja de Información Subsistema Control.....	48
4.1.2	Hoja de Decisión Subsistema Control.....	48
4.2	HOJAS DE INFORMACION Y DECISIÓN SUBSISTEMA ALIMENTACIÓN.....	49
4.2.1	Hoja de Información Subsistema Alimentación.....	49
4.2.2	Hoja de Decisión Subsistema Alimentación.....	49
4.3	HOJAS DE INFORMACION Y DECISIÓN EN SUBSISTEMA DE COMUNICACIÓN	50
4.3.1	Hoja de Información Subsistema Comunicación	50
4.3.2	Hoja de Decisión Subsistema Comunicación	50
4.4	HOJAS DE INFORMACION Y DECISIÓN EN SUBSISTEMA DE INSTRUMENTACIÓN	51
4.4.1	Hoja de Información Subsistema Instrumentación.....	51
4.4.2	Hoja de Decisión Subsistema Instrumentación.....	52
5.	HOJAS DE INFORMACION Y DECISIÓN EN SUBSISTEMA DE INFRAESTRUCTURA CIVIL Y GABINETE.....	53
5.1.1	Hoja de Información Subsistema Infraestructura Civil y gabinete	53
5.1.2	Hoja de Decisión Subsistema Infraestructura Civil y gabinete	54
6.	CONCLUSIONES	55
	BIBLIOGRAFÍA	56

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. SISTEMA MACRO ACUEDUCTO EAAB.....	5
FIGURA 2. PLANTA DE TRATAMIENTO VITELMA.	9
FIGURA 3. CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE SANTA ANA.....	12
FIGURA 4. INTERCEPTOR FUCHA – TUNJUELO.....	13
FIGURA 5. CICLO DEL AGUA.	15
FIGURA 6. ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL DE LA EAAB.....	20
FIGURA 7. PROBABILIDAD CONDICIONAL DE FALLO	31
FIGURA 8. DIAGRAMA DE DECISIÓN RCM	34
FIGURA 9. CAJA DE SMPR.....	36
FIGURA 10. DIAGRAMA LÓGICO DEL PROCESO DE TRANSMISIÓN DE DATOS	38
FIGURA 11. DISTRIBUCIÓN DE DISPOSITIVOS DENTRO DE UNA CÁMARA.	39
FIGURA 12. RTU RUG3	40
FIGURA 13. GPRS CELLULAR DATA MODEM EZ863.....	41
FIGURA 14. ACCESS POINT EKI-1351.....	42
FIGURA 15. TRANSMISOR DE PRESIÓN ROSEMOUNT 2051	43
FIGURA 16. SWITCH DE NIVEL F112S SOWAY	43
FIGURA 17. SWITCH DE INGRESO OSISWITCH TELEMECANIQUE	44
FIGURA 18. SWITCH DE APERTURA.	45
FIGURA 19. BATERIA 6FM100 VISION	45

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. HOJA DE INFORMACIÓN RCM	33
TABLA 2. HOJA DE DECISIÓN RCM.....	34
TABLA 3. HOJA DE INFORMACIÓN SUBSISTEMA CONTROL	48
TABLA 4. HOJA DE DECISIÓN SUBSISTEMA CONTROL.....	48
TABLA 5. HOJA DE INFORMACIÓN RCM SUBSISTEMA ALIMENTACIÓN	49
TABLA 6. HOJA DE DECISIÓN RCM SUBSISTEMA ALIMENTACIÓN	49
TABLA 7. HOJA DE INFORMACIÓN SUBSISTEMA COMUNICACIÓN	50
TABLA 8. HOJA DE DECISIÓN SUBSISTEMA COMUNICACIÓN	50
TABLA 9. HOJA DE INFORMACIÓN SUBSISTEMA INSTRUMENTACIÓN	51
TABLA 10. HOJA DE DECISIÓN SUBSISTEMA INSTRUMENTACIÓN	52
TABLA 11. HOJA DE INFORMACIÓN SUBSISTEMA INFRAESTRUCTURA CIVIL Y GABINETE.....	53
TABLA 12. HOJA DE DECISIÓN SUBSISTEMA INFRAESTRUCTURA CIVIL Y GABINETE	54

RESUMEN

TÍTULO: METODOLOGIA DE MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD PARA UN SISTEMA DE MEDICIÓN DE PRESIÓN REMOTO EN LA EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTA *

AUTOR: Danny Alberto Güiza García**

PALABRAS CLAVES: RCM, SMPR, Mantenimiento,

CONTENIDO: El presente desarrollo tiene por objetivo general presentar la metodología RCM a seguir en un sistema de medición de presión remoto de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, con el fin de que sirva como modelo para ser aplicado en cualquier equipo que lo necesite dentro de la organización.

A través de la búsqueda y recopilación de información de libros, tesis, trabajos de investigación y material de internet confiable acerca del RCM se ilustra la historia, modelos y conceptos fundamentales de la metodología, permitiendo realizar un análisis detallado de la misma.

Se realiza la descripción y análisis del SMPR, mostrando sus funciones y subsistemas, para facilitar el desarrollo de la metodología RCM.

Se presenta la estrategia RCM aplicada al SMPR, a través de las hojas de información y hojas de decisión basadas en el diagrama de decisión RCM que conlleva a definir las labores de mantenimiento planeadas o no, para los modos de falla encontrados durante el desarrollo de la metodología.

Finalmente se presentan las conclusiones, que muestran la consecución de los objetivos planteados al desarrollar la presente monografía y con la que queda a

* Proyecto de Grado

** Facultad Ingeniería Mecánica. Escuela de Ingeniería. Director German Andres Salcedo Amaya

disposición de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá su implementación y realimentación.

ABSTRACT

TITLE: MAINTENANCE METHODOLOGY BASED RELIABILITY FOR MEASURING SYSTEM REMOTE PRESSURE IN EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTA*

AUTHOR: Danny Alberto Güiza García**

KEYWORDS: RCM, SMPR, maintenance.

CONTENT: The present development has the general objective to present the RCM methodology followed in a remote pressure measurement system of the Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, in order to serve as a model to be applied to any equipment that need within the organization.

Through the search and collecting information from books, theses, research papers and reliable internet material about RCM, illustrated history, models and concepts of the methodology, allowing a detailed analysis of it.

It describes and analyzes the SMPR, showing its functions and subsystems to facilitate the development of the RCM methodology.

Present the RCM strategy applied to the SMPR, obtaining the information sheets and sheets of decision based on the diagram of RCM decision which leads to define maintenance work planned or not, for the failure modes found during the development of methodology.

Finally conclusions are presented, that show the attainment of objectives to develop the present monograph.

* Proyecto de Grado

** Facultad Ingeniería Mecánica. Escuela de Ingeniería. Director German Andres Salcedo Amaya

OBJETIVOS

GENERAL:

Presentar la metodología RCM a seguir en un sistema de medición de presión remoto de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá.

ESPECÍFICOS:

- Identificar los fundamentos de la metodología RCM, para generar la documentación necesaria que facilite su interpretación.
- Describir los componentes y características técnicas de los Sistemas de Medición de Presión Remoto, con el fin de distinguir sus funciones y subsistemas.
- Presentar la metodología RCM adecuada al SMPR, evaluando las fallas funcionales y modos de falla que puedan afectar las funciones del sistema, con base en un análisis apropiado estándar.
- Organizar las tareas de mantenimiento planeadas o no, para atender los modos de falla encontrados en la metodología RCM presentada para el SMPR.

INTRODUCCIÓN

Los avances tecnológicos demandan continuos cambios en las técnicas de mantenimiento, llevando a las organizaciones a modificar sus estrategias y metodologías, con el fin de conseguir el éxito en un medio cada vez más globalizado y competido.

La Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá ESP y en particular la Dirección de Servicios de Electromecánica desde su reestructuración en el año 2007 con el Modelo para el Gerenciamiento de activos de la Dirección de Servicios de Electromecánica o MOGADISEL, ha iniciado desde su nivel táctico los trabajos necesarios para encaminar sus labores de mantenimiento hacia la confiabilidad operacional.

La División Táctica de Mantenimiento es entonces la encargada de implementar y controlar las tareas necesarias que permitan la adopción del mantenimiento basado en confiabilidad de los activos asignados a la dirección, teniendo como objetivo velar por mantenerlos en óptimas condiciones de operación. En la actualidad, la Dirección de Servicios de Electromecánica no posee una estrategia que le permita desarrollar planes de mantenimiento basados en una metodología estándar que analice los modos de falla en los sistemas y con la cual pueda mejorar sus indicadores de confiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad y costos.

Uno de los muchos activos responsabilidad de la Dirección de Servicios de Electromecánica son los SMPR (Sistema de Medición de Presión Remoto), que suman cerca de 370 y que están distribuidos en toda la ciudad, representando una gran cantidad de equipos y dispositivos a mantener. Desde que fue asignada la operación y el mantenimiento de los SMPR a la dirección, solo se han realizado trabajos correctivos, que se hacen gracias a un sistema supervisorio que detecta la no comunicación y alarmas del sitio con el centro de supervisión, y que constituyen cerca de un 10% de los sistemas sin funcionalidad diaria.

El presente documento tiene como objetivo general presentar la metodología RCM a seguir en un Sistema de Medición de Presión Remoto, que sirva como guía facilitadora para una posterior implementación. Identifica los fundamentos de la metodología RCM y muestra una breve descripción de los diversos modelos y asociaciones que han surgido a través de la historia reciente. Para facilitar el análisis y presentación del RCM en los SMPR, se presenta un capítulo en el que se documenta y describe el sistema y sus equipos.

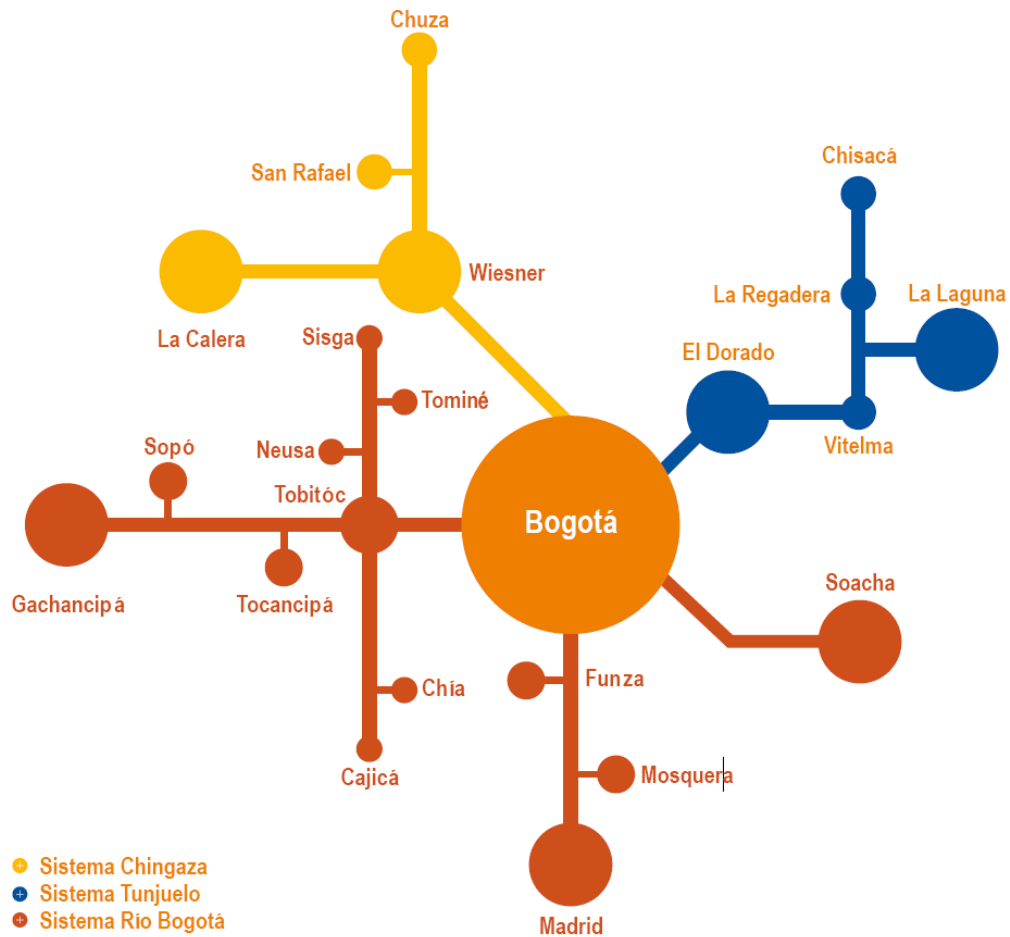
1. EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ

La Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá es en la actualidad la empresa prestadora de servicios de acueducto y alcantarillado más grande del país. Su amplia experiencia le permite abastecer agua de la mejor calidad a cerca de nueve millones de habitantes (que representan cerca de un millón setecientos mil usuarios o abonados en el sistema comercial) y prestar sus servicios a 11 municipios vecinos. En sus 122 años de servicio ha logrado cubrir en un 100 por ciento el servicio de acueducto, un 99 por ciento el servicio de alcantarillado sanitario y un 98 por ciento el alcantarillado pluvial. Mediante el sistema de venta de agua potable en bloque, la EAAB sirve en el norte de la ciudad a los municipios de Cajicá, Chía, Sopó, Tocancipá y Gachancipá, en el oriente al municipio de La Calera, en el occidente a los municipios de Funza, Madrid y Mosquera y en el sur al municipio de Soacha. Adicionalmente presta el servicio bajo esta modalidad a empresas de servicios públicos como Emar, Copjardín, Aguas de la Sabana, Acuapolis, Empresa Colombiana de Servicios Públicos y Gestaguas. En la Figura 1 se muestra un esquema macro del sistema de acueducto de la ciudad.

Por ser una empresa pionera en el empleo de tecnología de punta, los proyectos desarrollados la ubican a la vanguardia en el sector de agua potable y saneamiento básico, contribuyendo con la preservación del medio ambiente. La EAAB es la primera empresa en Colombia en generar Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL) mediante la construcción de la microcentral Santa Ana.

Su liderazgo en el sector le permite ofrecer servicios de gestión empresarial, planeación institucional, consultoría, infraestructura, normalización técnica, catastro de redes, entre muchos procesos que contribuyen al mejoramiento de indicadores y crecimiento de la empresa.

Figura 1. Sistema Macro Acueducto EAAB.



Fuente: Informe de Sostenibilidad EAAB – 2009.

1.1 RESEÑA HISTÓRICA

La historia de la EAAB es la historia de la ciudad y de su gente, con base en un elemento vital e insustituible para la supervivencia de la especie humana; El agua. En la memoria quedan los días en que los bogotanos no podían abastecerse de este precioso recurso, ni mucho menos contar con un sistema de desagüe que les permitiese vivir en un ambiente limpio y sano.

Desde la época en que don Gonzalo Jiménez de Quesada escogió el poblado indígena de Teusaquillo como el sitio más adecuado para la fundación de nuestra ciudad hasta la actualidad, el agua ha estado estrechamente ligada al desarrollo de Bogotá.

A través de los años, la EAAB se ha venido desarrollando a la par con el crecimiento de la ciudad, no solo ampliando la cobertura de acueducto y alcantarillado, sino también incorporando nuevas tecnologías que le han permitido prestar el servicio de forma eficiente y con altos estándares de calidad.

1500

El 6 de Agosto de 1538, el español Gonzalo Jiménez de Quesada fundó Santafé de Bogotá en un sitio próximo al lugar de recreo del Zipa, el cual ofrecía muchas ventajas, entre ellas, abundantes aguas provenientes de montañas cercanas. En el año 1584, el Cabildo ordenó la construcción de la primera fuente de agua llamada El Mono de la Pila, cuyas aguas eran conducidas desde el río San Agustín. La cañería que transportaba el agua se trataba de una acequia a cielo abierto, revestida por lajas de piedra, ladrillo y cal, la cual atravesaba una arboleda de laureles, razón por la cual se llamó el acueducto de Los Laureles. A éste se le incorporaron posteriormente las quebradas Manzanares, San Juanito y los ríos San Francisco y Fucha.

1600

Para la escogencia del sitio en donde se fundó el caserío de Teusaquillo, antiguo nombre de Santafé de Bogotá, no sólo se tuvo en cuenta la abundancia de agua proveniente de los cerros de la ciudad, sino la suave pendiente que desciende hacia el occidente, lo cual en un futuro permitiría trazar las calles en función de un buen drenaje. Las calles siguieron la dirección de la mayor pendiente, y las carreras llevaban el escurrimiento pluvial hacia uno de los dos ríos que flanqueaban la ciudad al norte y al sur, el San Francisco y San Agustín respectivamente.

1700

Acueducto de Agua Nueva

El 30 de Mayo de 1757 se inauguró el acueducto de Agua Nueva, el cual se constituyó como la obra más importante para la provisión de agua de la ciudad a lo largo de su historia colonial. Este acueducto entró a suplir las deficiencias, escasez y vulnerabilidad del de Los Laureles, y su particularidad es que fue el primer acueducto cubierto de la ciudad.

Alcantarillado Colonial

El sistema domiciliario de desagüe era tanto o más primitivo que el de suministro de agua potable. Las viviendas, en general, no contaban con ningún dispositivo de recolección de desechos, y simplemente arrojaban las aguas residuales y las basuras al caño público. La sección transversal de las calles y carreras tenían forma de batea con la parte más honda hacia el centro, por donde corría dicho caño revestido por lajas de piedra. Las basuras y el agua que se acumulaban en épocas de verano mostraban un aspecto repugnante, y solo después de los aguaceros, las calles recobraban algo de limpieza. El agua servida y las basuras eran conducidas a los ríos o pantanos ubicados al occidente de la ciudad.

1800

El crecimiento demográfico de la ciudad que había permanecido estancado desde el período colonial y la influencia ideológica de países europeos por nuevas prácticas higienistas, llevaron a reemplazar el antiguo sistema de acueducto y alcantarillado hasta ahora planteado en la ciudad.

Acueducto Privado

Mediante el acuerdo No 23 de 1886, el municipio de Bogotá concedió a Ramón B. Jimeno y a Antonio Martínez de la Cuadra la autoridad para construir un acueducto de tubería de hierro fundido que suministrara agua potable a domicilio

mediante acometidas. Dos años después se inauguró el primer acueducto con tubería de hierro que se proveía de los ríos San Agustín y San Francisco. Para entonces, el agua no tenía ningún tratamiento específico y solo contaba con cajas desarenadoras.

1900

Acueducto Municipal

A fines del año 1910, el alarmante empeoramiento de los servicios de abastecimiento y las bajas condiciones higiénicas del agua suministrada conllevaron a que el municipio recuperara el acueducto mediante préstamos. Para dar respuesta a las necesidades del servicio de la ciudad, en el año 1914 el municipio empezó la construcción de tanques en zonas altas de la ciudad, instalación y renovación de tuberías, mejoraron las labores de mantenimiento y se inició la instalación de medidores.

En 1916, se adquirieron algunos terrenos ubicados dentro de las hoyas hidrográficas de las fuentes que abastecían el acueducto, con el fin de tener un mayor control sobre estas y así poder llevar a cabo futuras ampliaciones.

En el año 1920, la mortalidad por fiebre tifoidea, atribuida a la mala calidad del agua, condujo a la desinfección del agua mediante el uso de cloro líquido, mejorando drásticamente las condiciones físico-químicas del agua suministrada. A finales de esta década, se constituyó una nueva empresa reuniendo el acueducto con el tranvía.

Por aquella época, el crecimiento de la población, la escasez y racionamientos de agua en períodos de sequía condujeron a la introducción de los embalses y estructuras de retención. Por ello, en el año 1933, se inició la construcción del Embalse La Regadera y la Planta de Tratamiento Vitelma (ver Figura 2), junto con los Embalses de Chisacá y Los Tunjos.

Figura 2. Planta de Tratamiento Vitelma.



Fuente: www.barriosdebogota.com – 2010.

Alcantarillado de la República

El uso domiciliario del agua generó nuevas costumbres en los bogotanos, quienes empezaron a usar aparatos sanitarios y tinas, lo cual conllevó al aumento de vertimiento de aguas residuales a las calles, agravando aún más su aspecto. En el año 1914, una ley del Congreso ordenó que se cubrieran los lechos de los ríos San Francisco y San Agustín, al igual que la construcción de cajas desarenadoras en la parte alta de la ciudad, para evitar que los aguaceros inundaran las calles.

En el año 1948, el urbanista Le Corbusier inició el estudio para el Plan Maestro de Alcantarillado. Este plan implantó normas sobre zonificación y usos del suelo, y adicionalmente, se dió inicio al estudio de colectores troncales y canales para drenaje urbano.

1950

Nace la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá

En el año 1955 se expide un nuevo estatuto legal para la ciudad: el Distrito Especial. A este distrito se incorporaron varias poblaciones vecinas que formaban parte funcional de la ciudad. Los municipios incorporados fueron: Bosa, Engativá, Fontibón, Suba, Usaquén y Usme. Este mismo año, el acueducto se desvinculó del tranvía y se incorporó a dicha empresa el sistema de alcantarillado de la ciudad. La empresa se estableció como una entidad administrativa autónoma, con personería jurídica independiente y patrimonio propio.

El reto principal de esta nueva organización era la ampliación de las redes a la nueva jurisdicción. Por tal razón, se inició la construcción de la planta de tratamiento de Tibitóc, la cual entró a operar el 6 de Agosto de 1959. Inicialmente tenía una capacidad de producción de 3.5 m³/s. Actualmente tiene una capacidad de 10.5 m³/s.

En 1961 se creó la “Corporación Autónoma Regional de la sabana de Bogotá y los valles de Ubaté y Chiquinquirá” CAR, entidad encargada del manejo de los recursos hídricos y demás recursos naturales renovables de la sabana de Bogotá.

1960 en adelante

Sistemas Modernos Acueducto

En el año 1965, la EAAB comenzó las investigaciones hidrológicas y de características físico-químicas de las fuentes de Chingaza previendo el acelerado crecimiento de la ciudad. Por esta época se terminaron varias obras como los tanques de Santa Lucía, Parque Nacional, Alpes, San Dionisio y la estación de bombeo de Usaquén.

En 1972 se iniciaron las obras del proyecto Chingaza, el cual entró al servicio en Noviembre de 1985. En la primera etapa se construyó el Embalse de Chuza,

donde el agua era transportada por túneles hasta la Planta de Tratamiento Francisco Wiesner. A partir de este momento la ciudad superó la alta vulnerabilidad a la que estaba sometida por depender de una sola fuente, el río Bogotá. El sistema Chingaza se complementó con la construcción del Embalse de San Rafael que empezó a funcionar en 1997 con una capacidad máxima de 75 millones de metros cúbicos.

En el año 1985 comenzó la ejecución del programa “Bogotá IV” que buscaba eliminar las restricciones de la red para la prestación adecuada del servicio, especialmente en los cerros alejados de las zonas suroriental y occidental de Usme, Bosa, Soacha, Engativá y Suba.

En el año 1996 se inició la ejecución del Programa Santa Fe I, cuyas obras redujeron la vulnerabilidad del sistema de acueducto y minimizaron el rezago del sistema de alcantarillado.

Entre los años 1994 y 2002, se realizó la implementación del sistema de macromedición para la ciudad de Bogotá, y en ese mismo período se implementó la sectorización de la red de acueducto de la ciudad.

En el año 2001, la Planta de Tratamiento El Dorado inició su operación. Esta planta, localizada al sur de la ciudad, es la más moderna del sistema puesto que se encuentra totalmente automatizada y monitoreada por un sistema supervisorio que permite el control de todas las variables en tiempo real. Fue postulada a Premio Nacional de Ingeniería.

Dentro de los proyectos recientemente concebidos se encuentra la construcción del centro de control Modelia, en el cual se controla, se simula y se supervisa la operación de los principales puntos que hacen parte de la Red Matriz de acueducto y las estaciones de bombeo de acueducto y alcantarillado. Su puesta en operación se dio en el año 2006, y por su magnitud recibió una Mención de Honor en el Premio Nacional de Ingeniería en el año 2007.

Actualmente se encuentra en operación la Central Hidroeléctrica de Santa Ana, la cual fue acreditada como proyecto de Mecanismo de Desarrollo Limpio ante la Organización de las Naciones Unidas. Esta central fue construida entre los años 2000 y 2003 con el objeto de aprovechar la diferencia de altura disponible entre la Planta Wiesner y el tanque de Santa Ana.

Figura 3. Central Hidroeléctrica de Santa Ana.



Fuente: www.acueducto.com.co – 2010.

Sistemas Modernos Alcantarillado

En el año 1960 se realizó un Plan Maestro de Alcantarillado y se definió un distrito sanitario para 6 millones de habitantes. Se decidió mantener el sistema de alcantarillado combinado y adoptar para futuros desarrollos el sistema de alcantarillado separado o semicombinado. Con el fin de evitar la contaminación de los cauces, se diseñaron colectores – interceptores paralelos que conducirían las aguas negras a plantas de tratamiento (lagunas de oxidación ubicadas al final del río Salitre y la otra al final del río Fucha). Entre el año 1967 y 1972 se construyeron las dos primeras etapas de cuatro concebidas, propuestas por el

Plan Maestro de Alcantarillado, con el cual se logró sacar las aguas negras del casco urbano de ese entonces.

En el año 1997 se inició la construcción de la Planta de tratamiento de aguas residuales El Salitre, la cual ayuda a la descontaminación de las aguas residuales de la cuenca del río Salitre, los humedales Torca y la Conejera, contribuyendo al saneamiento del río Bogotá.

En el año 2007 se concluyó la construcción de la Presa Seca Cantarrana, la cual fue concebida para controlar las crecientes del río Tunjuelo y evitar inundaciones que solían afectar a los habitantes de 42 barrios del sur de la ciudad.

Actualmente la EAAB se encuentra ejecutando una de las obras más importantes de la última década. Se trata del Interceptor del río Fucha, el cual captará las aguas residuales de las localidades de Bosa, Kennedy y Fontibón, contribuyendo con la descontaminación del río Fucha, Tunjuelo y el saneamiento del río Bogotá. Esta gigantesca obra mejorará la calidad de vida de más de tres millones de bogotanos que habitan el sector suroccidental de la ciudad.

Figura 4. Interceptor Fucha – Tunjuelo.



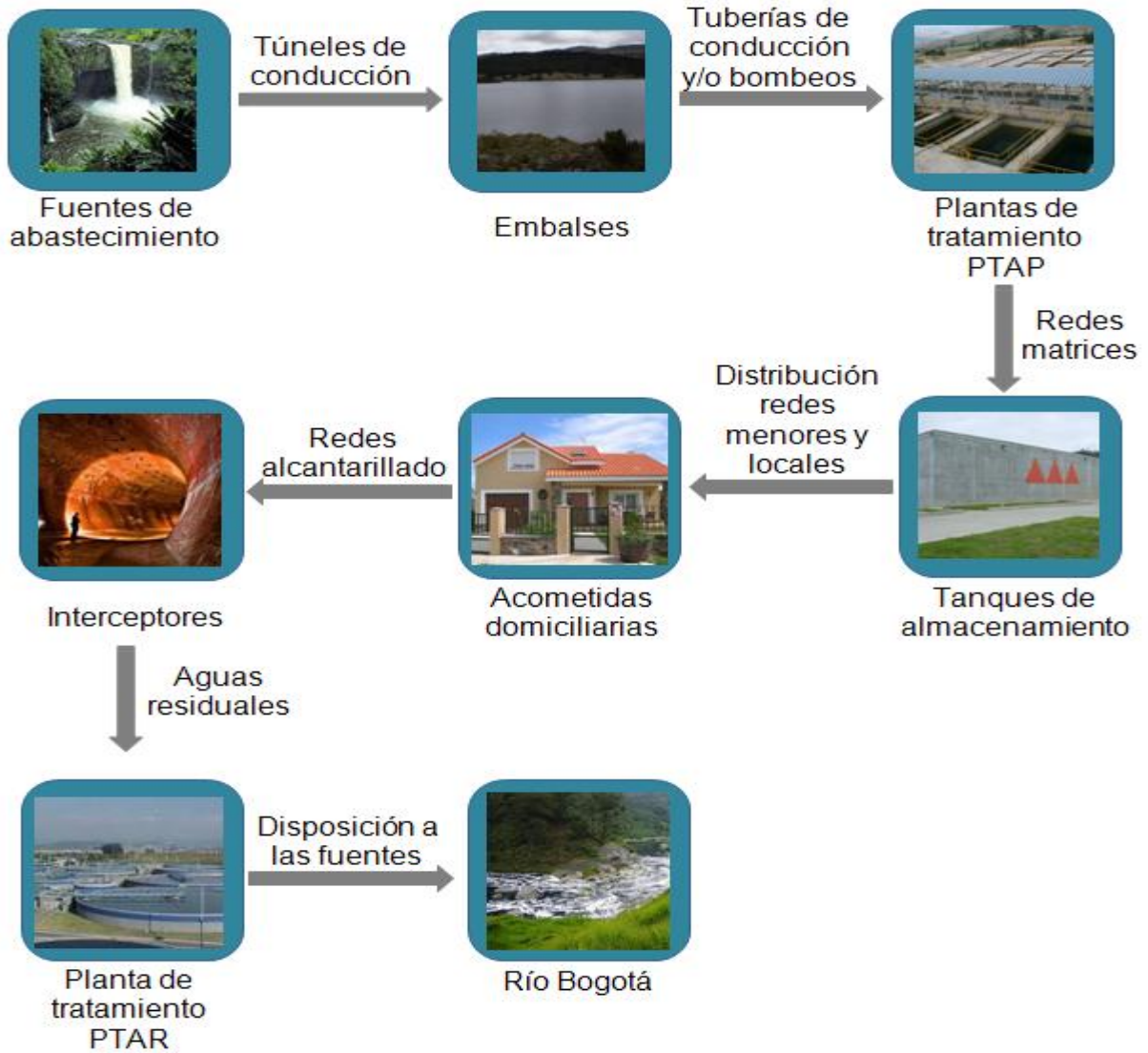
Fuente: www.acueducto.com.co – 2009.

1.2 CICLO DEL AGUA

La Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB) es una empresa que tiene como fin prestar los servicios de Acueducto y Alcantarillado. Para ello, es necesario contar con una infraestructura que permita realizar desde la captación del fluido en las fuentes naturales hasta su retorno al río Bogotá.

La Figura 5 muestra esquemáticamente el recorrido que realiza el agua, iniciando con su captación en las fuentes naturales. El agua captada es almacenada en embalses, los cuales abastecen las plantas de tratamiento de agua potable de la ciudad. En las plantas de tratamiento, el agua es sometida a procesos físico-químicos que aseguran su potabilidad. El agua tratada es conducida a través de túneles o líneas expresas de grandes diámetros a diferentes tanques de la ciudad, o en su defecto, distribuyen el agua por el camino mediante líneas troncales como es el caso de las tuberías de 60" y 78" que salen de la planta de Tibitóc. A estas redes comúnmente se les denomina redes matrices por ser de un diámetro mayor a 12". Desde los tanques y redes troncales se conduce el agua a los usuarios a través de redes menores. Es importante recalcar que el sistema de acueducto cuenta con diferentes mecanismos y accesorios que lo protegen de posibles fallas, como son estructuras de control, estaciones reguladoras de presión, válvulas de sobre velocidad, ventosas, entre otros. Una vez los usuarios utilizan el agua, esta es recolectada a través de colectores que la conducen hacia grandes interceptores. En el caso de las aguas lluvias, el agua que fluye por escorrentía llega a los sumideros para luego recorrer la ciudad por una amplia red de canales. Finalmente, el agua residual captada por los interceptores es conducida a la planta de tratamiento de aguas residuales PTAR El Salitre, y allí, mediante un tratamiento primario, se adicionan químicos con el fin de disminuir la carga orgánica del agua que se entrega al río Bogotá.

Figura 5. Ciclo del agua.



Fuente: Autor del Proyecto.

1.3 PLAN ESTRATÉGICO

La Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, como entidad vinculada al Sector Hábitat de la ciudad, desempeña un rol importante en el cumplimiento del Plan de Desarrollo "Bogotá positiva para vivir mejor 2008-2012". Con el fin de orientar sus acciones con las metas establecidas en el Plan de Desarrollo de la

ciudad, la EAAB presentó el Plan General Estratégico 2008-2012, principal guía empresarial para la prestación eficiente del servicio de acueducto y alcantarillado.

El plan estratégico establece las directrices y acciones estratégicas que deben tener en cuenta los directivos y trabajadores de la institución para cumplir con la misión, visión y objetivos de la misma, orientados por los valores corporativos de vocación de servicio, transparencia, respeto, responsabilidad y excelencia en la gestión. Dichos pasos estratégicos están encaminados a desarrollar una prestación efectiva del servicio de acueducto y alcantarillado, buscando un mejoramiento continuo.

A continuación se describen algunos de los propósitos y pasos estratégicos definidos por el Plan General Estratégico¹ vigente:

1.3.1 Misión

“Somos una empresa pública, comprometida con nuestros usuarios y la sociedad, dedicada a la gestión integral del agua con responsabilidad social y empresarial.”

La EAAB es una empresa pública que reinvierte sus utilidades en actividades que mejoran notablemente las condiciones de vida de sus usuarios y la sociedad; protege el agua y el medio ambiente desde su captación hasta su retorno al río Bogotá. Sus trabajadores contribuyen con el cumplimiento de los objetivos corporativos, haciendo visible su vocación de servicio, sentido de pertenencia y proyectando una imagen institucional favorable.

1.3.2 Visión

“Empresa de todos, con agua para siempre.”

Es una empresa de todos porque hace parte del patrimonio de todos los bogotanos, y porque así mismo tenemos derecho a disponer de agua potable y

¹ Informe de sostenibilidad de la EAAB, 2009.

alcantarillado, servicios esenciales para nuestra vida y seguridad. Para poder garantizar el suministro de este preciado recurso para siempre, la EAAB y los bogotanos debemos estar comprometidos con la protección del medio ambiente, cuidar nuestras cuencas y embalses, y para preservarla, debemos devolverla libre de contaminantes a los ríos y quebradas el agua.

1.3.3 Objetivos Estratégicos

A través de los objetivos estratégicos, la EAAB desarrolla el ciclo de gestión de calidad contemplando las necesidades y expectativas de los usuarios, la vocación de servicio de los trabajadores, la planificación de los procesos y recursos, y finalmente, la medición de su cumplimiento. Los objetivos estratégicos definidos por la EAAB son²:

- **Comunidad:** Ser reconocidos como una empresa amable, justa y generadora de calidad de vida.
- **Ambiental:** Ser líderes en la gestión ambiental.
- **Financiera:** Crecer en el mercado y aumentar la rentabilidad de la empresa con responsabilidad social.
- **Procesos:** Fortalecer el modelo de gestión basado en procesos sencillos, útiles, ágiles e innovadores.
- **Gente:** Desarrollar y mantener un equipo humano comprometido y competente.

1.3.4 Políticas Corporativas

Las políticas corporativas establecidas por la empresa son³:

² Plan General Estratégico de la EAAB, 2008-2012

³ Plan General Estratégico de la EAAB, 2008-2012

- **Imagen Institucional:** Manejar un diálogo amable y positivo haciendo visible su sentido de pertenencia y su vocación de servicio, proyectando una imagen institucional favorable.
- **Gestión Integral de Riesgos:** Implementar un sistema de administración de riesgos en toda la cadena de la gestión integral del agua con el fin de optimizar la eficacia y eficiencia operativa, cumpliendo con la normatividad vigente.
- **Responsabilidad Social Empresarial:** Enmarcar las actuaciones de la EAAB en principios de participación, equidad, inclusión social y responsabilidad ambiental.
- **Desarrollo del talento humano:** Alcanzar los fines de la organización mediante la creación de un ambiente empresarial amable y productivo, basado en el desarrollo de competencias laborales y programas de bienestar que incluyan al trabajador y sus familias.
- **Sostenibilidad financiera:** Desarrollar las funciones y actividades con transparencia, calidad y costos competitivos, sin poner en peligro la suficiencia financiera de la empresa.
- **Calidad:** Mejorar continuamente los procesos de la empresa aplicando las mejores prácticas en la gestión integral del agua.

1.3.5 Valores Corporativos

Con el fin de garantizar la transparencia de la prestación del servicio a la sociedad y estimular la búsqueda de la excelencia en la gestión, la EAAB estableció valores corporativos que guían la conducta de sus funcionarios. Estos son⁴:

- **Vocación del servicio:** Dando respuesta a los requerimientos y necesidades de los usuarios y colaboradores de manera oportuna, amable y efectiva.

⁴ Informa de Sostenibilidad de la EAAB, 2009.

- **Transparencia:** Haciendo uso adecuado de los recursos, construyendo confianza a través de relaciones claras y abiertas.
- **Respeto:** Prestando atención a los aportes de los interesados, cumpliendo las normas y preservando el medio ambiente.
- **Responsabilidad:** Cumpliendo los compromisos adquiridos y asumiendo las consecuencias de los hechos cumplidos.
- **Excelencia en la gestión:** Trabajando en equipo, mejorando día a día y adoptando las mejores prácticas.

1.4 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL

La estructura organizacional de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá está conformada por una Junta Directiva y por una Gerencia General, de la cual se desprenden ocho gerencias corporativas.

- **Junta Directiva:** Está conformada por nueve miembros designados por el Alcalde Mayor de Bogotá, quien la preside. De estos, tres son vocales de control y uno es representante del sector laboral del Distrito. Los miembros de la Junta Directiva, aun cuando ejercen funciones públicas, no adquieren la designación de empleados públicos.
- **Gerencia General y Gerencias Corporativas:** El gerente general asiste a las sesiones de la Junta Directiva, con voz pero sin voto. Le presiden ocho gerencias corporativas que son: Gerencia Corporativa de Planeamiento y Control, Gerencia Financiera, Gerencia Jurídica, Gerencia Corporativa de Gestión Humana, Gerencia Corporativa de Servicio al Cliente, Gerencia Corporativa de Sistema Maestro, Gerencia Ambiental y Gerencia de Tecnología.

El presente estudio se focaliza en las actividades realizadas por la Gerencia de Tecnología, específicamente en la Dirección de Servicios de Electromecánica. Esta área es la encargada de planear, ejecutar y controlar el mantenimiento de los sistemas eléctricos, mecánicos, electrónicos y de comunicaciones de la empresa.

En la Figura 6 se muestra parte del organigrama de la Empresa.

Figura 6. Estructura Organizacional de la EAAB.



Fuente: Informe de Sostenibilidad EAAB – 2009.

2. EL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD

Es una Metodología usada para determinar los requerimientos de mantenimiento de cualquier activo físico en su contexto operacional, es decir, decidir qué se debe hacer para asegurar que los activos físicos, sistemas o procesos continúen haciendo lo que deben hacer.⁵

2.1 HISTORIA DEL RCM

El RCM tiene sus inicios en 1960, cuando la aviación civil Norteamericana crea los MSG⁶, cuya labor era la de examinar todos las labores hechas para mantener las aeronaves operando, ya que los costos eran elevados y los registros de accidentes frecuentes.

A mediados de 1970, el gobierno de los Estados Unidos de América pide a la aviación comercial un reporte acerca del mantenimiento de aeronaves. Stanley Nowlan y Howard Heap de United Airlines, son los encargados de redactar dicho reporte y los titulan “*RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE*”. Es publicado en 1978 y es el resultado de cerca de 20 años de estudio y pruebas de la aviación comercial de los Estados Unidos de América.

Anterior al informe de Nowlan y Heap, se publican en 1968 y 1970 los manuales MSG-1, Evaluación del Mantenimiento y Desarrollo del Programa, y MSG-2, Planeación de Programas de Mantenimiento para Fabricantes / Aerolíneas, respectivamente. En 1980, es publicado el MSG-3, Documento para la Planeación de Programas de Mantenimiento para Fabricantes / Aerolíneas, el cual se basa en el documento de 1978 y al igual que sus antecesores fue patrocinado por la ATA⁷.

⁵ <http://www.thealadonnetwork.com/aboutrcm.shtml> - 24 julio 2010

⁶ Maintenance Steering Groups – Grupos de Dirección de Mantenimiento

⁷ Air Transport Association of America – Asociación de Transportadores Aéreos de USA

El reporte de Nowlan y Heap ha sido utilizado para el desarrollo de diversos modelos de RCM a nivel mundial, no solo en la industria aérea, sino también en el campo militar, minero e industrial.

En 1999 la SAE⁸ da a conocer la norma SAE JA 1011 y en el año 2002 la norma SAE JA 1012, las cuales no intentan ser un manual de procedimientos, sino que muestran una serie de criterios que debe tener una metodología para que pueda ser reconocida como RCM.⁹

2.2 MODELOS DE RCM

Desde 1990 han surgido varias organizaciones y grupos de investigación que han desarrollado diversas versiones del RCM original propuesto en 1978, dando a conocer sus guías, normas y manuales. A continuación se describen algunas de las más reconocidas en el mundo del Mantenimiento.

2.2.1 Reliability Centered Maintenance, RCM.

Primera metodología de RCM publicada en 1978 por Stanley Nowlan y Howard Heap de United Airlines, la cual es altamente utilizada en la industria comercial aérea.

2.2.2 Organización OREDA¹⁰.

En los años 80 una serie de compañías petroleras que operan en el Mar del Norte y del Adriático ponen en marcha un proyecto de colaboración para investigar la confiabilidad de sus equipos en condiciones operativas. La Dirección Noruega del Petróleo inició el Proyecto en 1981 con el objetivo principal de intercambiar datos de confiabilidad entre las empresas participantes y actuar como foro para la coordinación y la gestión de la recopilación de datos dentro de la industria de

⁸ SAE - Society of Automotive Engineers

⁹ <http://confiabilidad.net/articulos/el-camino-hacia-el-rcm/> - 24 julio de 2010

¹⁰ OREDA® - Offshore REliability DAta – Datos de Confiabilidad Costa afuera

petróleo y gas. OREDA ha establecido un banco de datos global de confiabilidad y mantenimiento de una amplia variedad de equipos e instalaciones submarinos, costa afuera y terrestres. Desde 1982 la organización ha publicado 5 ediciones de su manual OREDA Handbook, el cual contiene datos de confiabilidad, en su mayoría de instalaciones costa fuera, utilizados en estudios de confiabilidad y mantenimiento como RCM.¹¹

2.2.3 Norma MIL-STD-2173.

En 1986 el departamento de defensa de los Estados Unidos de América emite la norma, *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Requisitos para aviones navales, sistemas de armamento y equipo de apoyo*, basándose en los manuales MSG-1, MSG-2, MSG-3 y en la norma Navair 00-25-400. Esta norma busca estandarizar los procedimientos de mantenimiento realizados en los diversos aviones, armas y equipos de la fuerza aérea naval.

2.2.4 Norma Navair 00-25-403.

En 1996, el Comando Aéreo Naval de los Estados Unidos actualiza su norma Navair 00-25-400, quitando las especificaciones militares y publicando su *Guía para el Proceso de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para la aviación Naval*. En el 2001 y 2003 es actualizada la norma, para buscar aprovechar las mejoras desarrolladas por la norma SAE JA 1011 de 1999.

2.2.5 Asociación ESReDA¹².

Asociación Europea establecida en 1992 para promover la investigación, aplicación y entrenamiento en confiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y

¹¹ <http://www.oreda.com/> - 25 julio de 2010

¹² ESReDA - European Safety, Reliability and Data Association – Asociación Europea de Confiabilidad, Mantenibilidad y Datos

seguridad¹³. En su manual *Handbook on maintenance management*, da a conocer su metodología RCM, en la que destaca el análisis FMECA¹⁴ para identificar componentes críticos, riesgos, e indicadores para RCM.

2.2.6 Norma SAE.

La norma SAE JA 1011, llamada *Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)*, fue publicada en 1999 y buscó dar a conocer los criterios mínimos para que una metodología pueda ser llamada RCM. En el año 2002 es publicada la norma SAE JA 1012, que amplifica y clarifica los conceptos y términos clave de la anterior norma.

2.2.7 Red Aladon.

Es una red mundial de expertos en seguridad, cuyos miembros están certificados por Ivara como profesionales en la prestación de Ivara RCM2 e Ivara MTA-dos, metodologías avanzadas que ofrecen enfoques basados en trabajo en equipo para desarrollar una estrategia de confiabilidad para los activos físicos de una organización. John Moubray, fundador de Aladon, publicó su libro RCM II en 1992 y ha sido reconocido como un texto clásico sobre la formulación de estrategias de gestión de activos físicos. Es un requisito previo para cualquier persona seriamente involucrada en la aplicación de RCM y de inmenso valor para gerentes de mantenimiento y para personas que estén preocupadas por la confiabilidad, productividad, seguridad e integridad ambiental de los activos físicos.¹⁵

¹³ <http://www.esreda.org/> - 25 septiembre de 2012

¹⁴ FMECA - *Failure Mode effect criticality Analysis* – Análisis de Modos de Falla y evaluación de Consecuencias.

¹⁵ <http://www.thealadonnetwork.com/aboutrcm.shtml> - 25 septiembre de 2012

2.2.8 Metodología RCM a utilizar

Todas las metodologías RCM conservan el mismo objetivo, mas no conservan las mismas técnicas y pasos, por lo que se hace necesario seleccionar una metodología que garantice los mejores resultados y que posea una basta experiencia en el mundo del mantenimiento. En la presente monografía se utiliza el método elaborado por John Moubray, fundador de la Red Aladon, basado en su libro RCM II. Esta metodología cumple a satisfacción con la norma SAE JA 1011 y posee mas de 30 años de experiencia en mas de 2000 compañías alrededor del mundo.

2.3 LAS SIETE PREGUNTAS DEL RCM

El RCM determina que debe hacerse para que los activos físicos en la empresa continúen realizando las funciones deseadas, es por esto que se hace necesario identificar los elementos que se incluirán en el análisis. La función de un equipo y sus estándares de funcionamiento pueden determinarse de muchas formas, observando dónde y cómo se está usando, así como por manuales de fabricante y procedimentales dentro de su contexto operacional. El equipo de trabajo implicado en el RCM debe plantearse una serie de preguntas asociadas a cada uno de los elementos seleccionados en la revisión:

- 1. ¿Cuáles son las funciones y estándares de funcionamiento asociados al activo en el actual contexto operacional?**
- 2. ¿De qué forma puede fallar?**
- 3. ¿Qué causa que falle?**
- 4. ¿Qué sucede cuando falla?**
- 5. ¿Qué ocurre si falla?**
- 6. ¿Qué se puede hacer para prevenir o predecir las fallas?**

7. ¿Qué sucede si no puede prevenirse la falla?

A continuación se amplía con mayor detalle cada una de las siete preguntas del RCM respectivamente:

2.3.1 Funciones y estándares de funcionamiento

El definir las funciones de un equipo dentro de su contexto operacional hace que sea posible clarificar los objetivos mismos del mantenimiento dentro de los estándares de comportamiento funcional. La pérdida total o parcial de la función es delimitada por los niveles de rendimiento requeridos o para los cuales fue adquirido el equipo dentro de un sistema.

Las funciones se dividen en dos tipos, primarias y secundarias:

Funciones primarias: son aquellas que por su grado de importancia y de fácil reconocimiento detallan cuantitativamente al equipo, definiendo estándares de rendimiento y describiendo el objetivo por el cual fueron adquiridos.

Funciones secundarias: son funciones menos obvias que las principales y están relacionadas con factores como seguridad, medio ambiente, control, confort, apariencia, protección, economía y eficiencia. Es de gran importancia su identificación, ya que su fallo puede acarrear consecuencias igual de graves que la falla de una función principal.

2.3.2 Fallas Funcionales

Con frecuencia un activo puede cumplir con más de una función, por lo que el término falla funcional se aplica con mayor claridad al momento de identificar a qué función corresponde cada fallo. Al fallar una de sus funciones no necesariamente significa que el activo falló en su totalidad y se hace necesario investigar que produjo la falla de la función.

La falla funcional se define como la incapacidad de un elemento o componente de un equipo para satisfacer un estándar de funcionamiento deseado. Las funciones

tienen regularmente más de un fallo funcional asociado y deben ser plenamente identificados para ser registrados de forma independiente.

2.3.3 Modos de falla

Una vez identificadas las diversas fallas funcionales se procede a analizar los hechos o eventos razonables que pueden ocasionarlos. Los eventos razonables son aquellos que han ocurrido en la misma clase de equipo y funcionando en el mismo contexto operativo, así como averías que estén siendo prevenidas y fallos que aun no habiendo ocurrido todavía, tengan probabilidad de acontecer.

La mayoría de las listas tradicionales de modos de falla incorporan fallas causadas por el deterioro o desgaste por uso normal. Sin embargo, para que todas las causas probables de fallas en los equipos puedan ser identificadas y resueltas adecuadamente, esta lista debe incluir fallas causadas por errores humanos y errores de diseño.

Los modos de fallo pueden clasificarse en tres categorías, según se produzca alguna de las siguientes circunstancias:

- La capacidad cae por debajo del rendimiento deseado: Las principales causas son el deterioro, fallos de lubricación, suciedad, desmontaje de piezas o errores humanos.
- El nivel del rendimiento requerido supera la capacidad inicial después de que el equipamiento se haya puesto en servicio, exponiéndolo a sobrecargas y produciendo un deterioro prematuro.
- El equipo no es capaz de hacer lo que se espera de él desde el principio : Esta exigencia rara vez afecta al equipo entero, sino que suele hacerlo a una o a dos funciones de uno o dos de sus componentes, pero acaba alterando las operaciones del equipo completo.

2.3.4 Efectos de las Fallas

Este paso consiste en registrar cada efecto de falla que corresponde a lo que sucedería si los modos de fallas llegasen a presentarse, obteniendo la información necesaria para ayudar al análisis de las consecuencias de las fallas que es la siguiente pregunta.

Es muy importante saber diferenciar entre efectos de fallas y consecuencias de las mismas. Los primeros responden a la pregunta ¿qué sucede?, sin entrar en valoraciones, mientras que las consecuencias responden a preguntas del tipo ¿cuáles son las repercusiones? o ¿en qué medida importa?

El listado de las fallas debe contener lo siguiente:

- Cuáles son las evidencias, si es que hay alguna, de que se ha producido un fallo.
- En qué medida representa una amenaza para la seguridad o el medio ambiente, si es que la representa.
- De qué modo afecta a la producción o a las operaciones, si es que afecta de alguna manera.
- Qué daños físicos causaría el fallo, si es que se produciría alguno.
- Qué puede hacerse para reparar la avería.

2.3.5 Consecuencias de las Fallas

Una vez examinados los pasos anteriores, se procede a analizar cómo y cuánto importa cada falla, para proceder a dar el tratamiento indicado, es decir, si se necesita tratar de prevenirlas y en qué medida debe ser el esfuerzo para encontrar las fallas. Los esfuerzos para evitar o reducir las consecuencias de un fallo serán proporcionales a la gravedad de los mismos. Si el fallo puede herir o matar a una persona, o si puede afectar al medio ambiente o interferir seriamente con la producción, se invertirán todos los recursos disponibles para evitarlo. Mientras que

si las consecuencias del fallo son leves, es posible que se prefiera no tomar medidas y se decida simplemente corregirlo cuando aparezca.

RCM clasifica las consecuencias de las fallas en cuatro grupos:

- **Consecuencias de las fallas no evidentes.**

Las fallas ocultas no tienen impacto directo, pero exponen a la organización a otras posibles fallas múltiples con consecuencias graves y catastróficas. Un punto fuerte del RCM es la forma en que trata las fallas que no son evidentes, primero reconociéndolas como tales, en segundo lugar otorgándoles una prioridad muy alta y finalmente adoptando un acceso simple, práctico y coherente con relación a su mantenimiento.

- **Consecuencias en la Seguridad y el Medio Ambiente.**

Una falla tiene consecuencias sobre la seguridad si puede afectar físicamente a alguien. Tiene consecuencias sobre el medio ambiente si infringe las normas gubernamentales relacionadas con el medio ambiente. RCM considera las repercusiones que cada falla tiene sobre la seguridad y el medio ambiente, y lo hace antes de considerar la cuestión del funcionamiento. Pone a las personas por encima de la problemática de la producción.

El concepto medio ambiente debe entenderse como un término amplio, que implica el bienestar de la sociedad y que se ha convertido en un requisito de primer orden, que toda empresa debe cumplir para seguir operando.

La seguridad implica que toda actividad tiene asociado un riesgo, y para poder estimarlo adecuadamente debe responderse a tres preguntas:

- ¿Qué sucedería si aconteciese el evento bajo consideración?
- ¿Qué probabilidad existe de que ocurra dicho evento?
- ¿Es asumible el riesgo en caso de que suceda?

- **Consecuencias Operacionales.**

Una falla tiene consecuencias operacionales si afecta la producción (capacidad, calidad del producto, servicio al cliente o costos industriales en adición al costo directo de la reparación). Estas consecuencias cuestan dinero, y lo que cuesten sugiere cuánto se necesita gastar en tratar de prevenirlas.

En general, los fallos que tienen implicaciones sobre las operaciones, afectan a:

- **Resultado total:** Sucede cuando el equipo deja de funcionar completamente o cuando funciona, pero lo hace ineficientemente. En estas circunstancias, se produce, bien un aumento en los costes de producción debido a la necesidad de realizar horas extras, bien pérdidas en las ventas si la empresa tiene implantado un sistema de jornadas por turnos.
- **La calidad del producto:** Si la maquinaria no puede seguir mantenimiento el nivel de calidad exigido en la fabricación o si el fallo provoca daños en el material, se obtendrán piezas defectuosas y habrá que rehacerlas, con el consiguiente aumento en los costes.
- **El servicio ofrecido al cliente:** Los fallos operativos pueden provocar retrasos en la entrega de pedidos que, si se repiten con asiduidad, pueden resultar en una pérdida de confianza por parte del cliente.
- **El incremento de los costes operativos:** Además de los costes directos inherentes a la propia reparación, las averías pueden causar incrementos del consumo energético e incluso, pueden obligar a tener que cambiar a alternativas más costosas.

- **Consecuencias No Operacionales.**

Los fallos pertenecientes a este grupo no afectan al medio ambiente, ni a la seguridad ni a la producción, sólo involucran el gasto de la reparación, por lo que su consecuencia se verá evidenciada económicamente.

Si una falla tiene consecuencias significativas en cualquiera de las anteriores categorías, se hace importante intentar prevenirlas. Si por el contrario las consecuencias no son significativas, entonces no tiene sentido realizar labores de mantenimiento preventivo que no sean rutinas sencillas de lubricación y servicio.

2.3.6 Labores Preventivas

Ante la pregunta **¿Qué se puede hacer para prevenir o predecir las fallas?**, se debe evaluar si se puede aplicar algún método de mantenimiento preventivo eficaz, evaluando también de la criticidad del activo dentro del sistema. Durante la segunda generación del Mantenimiento se creía que los equipos tenían un comportamiento similar al de la *figura 7* en el que cada cierto periodo de tiempos los componentes debían ser reemplazados o reparados sin importar su estado.

Figura 7. Probabilidad condicional de fallo



Fuente: ALADON. Curso de formación de 3 días en RCM – 1998

Este pensamiento es aplicable en la actualidad solo para cierto tipo de equipos sencillos y para algunos elementos complejos con modos de falla dominantes, debido a la evolución de la maquinaria y al avance de las técnicas de gestión del mantenimiento. El reconocimiento de este hecho ha contribuido a que algunas organizaciones abandonen esta idea de mantenimiento sistemático para equipos

que realmente tengan consecuencias significativas y sea solo empleado en equipos sin gran importancia.

RCM muestra tres clases de labores de mantenimiento preventivo: tareas cíclicas “a condición”, tareas de reacondicionamiento cíclico y tareas de sustitución cíclica. Las dos últimas pertenecen a lo que se conoce en el mantenimiento habitual con el nombre de mantenimiento preventivo, mientras que la primera corresponde al mantenimiento predictivo.

- **Tareas a Condición:** la mayor parte de los fallos dan alguna advertencia de que van a ocurrir o de que ya están en proceso de presentarse por lo que se conocen como fallos potenciales y se definen como las condiciones físicas identificables que indican que va a ocurrir una falla funcional o que está en el proceso de ocurrir.

Las nuevas técnicas son usadas para determinar el tiempo de ocurrencia de los fallos potenciales para así poder evitar los verdaderos fallos funcionales. Se conocen como tareas a condición por el hecho de que los equipos se dejan funcionando a condición de que sigan cumpliendo con su función.

- **Tareas de reacondicionamiento cíclico y de Sustitución cíclica:** consisten en la reparación periódica o remplazo periódico de elementos que basándose en la observación se prevén pueden fallar cada determinado tiempo sin tener en cuenta el estado actual del elemento.

2.3.7 Acciones “a falta de”

El RCM define la acción por defecto a tomar siempre y cuando sea posible, dependiendo de las consecuencias de la falla por medio de un proceso de selección de acuerdo a las siguientes acciones por defecto.

- Las acciones para prevenir las fallas de funciones no evidentes, solo deben ser aplicadas para los casos en que las fallas ocasionen fallas múltiples y su riesgo se reduzca a un nivel bajo aceptable. En el caso de no ser posible

encontrar una acción sistemática se debe realizar una tarea de búsqueda de fallas no evidentes comprobando de manera periódica la ocurrencia de la falla y si esta comprobación no reduce el riesgo a un nivel bajo aceptable, se debe rediseñar el componente.

- Las acciones para prevenir fallas con consecuencias de medio ambiente o seguridad, solo deben aplicarse en el momento en que el riesgo se reduzca a un nivel muy bajo o lo haga desaparecer por completo, de lo contrario el componente debe ser rediseñado.
- Las acciones para prevenir fallas con consecuencias operacionales deben ser aplicadas para cuando los costos de reducción de riesgo sean inferiores a los costos operacionales y de reparaciones en los mismos periodos de tiempo, si lo anterior no se puede realizar, el equipo debe ser rediseñado.
- Para fallas con consecuencias no operacionales, se aplica el mismo criterio que para las fallas operacionales.

2.4 HOJA DE INFORMACIÓN RCM

En esta hoja de trabajo se registra la información concerniente a las cuatro primeras preguntas y contiene las funciones primarias y secundarias relacionadas con un número, las fallas funcionales acompañadas de una letra, los modos de fallas registradas numéricamente y los efectos de las fallas.

Tabla 1. Hoja de información RCM

HOJA DE TRABAJO DE INFORMACIÓN RCM II	SISTEMA		FACILITADOR	FECHA	HOJA
	SUBSISTEMA				DE
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLO	EFECTO DE LOS FALLOS	

Fuente: ALADON. RCM2, Curso de formación de tres días en Reliability centred maintenance.

2.5 HOJA DE DECISIÓN RCM

Se divide en siete partes que comprenden:

- Tres columnas correspondientes a la hoja de información con F, FF y FM que equivalentes respectivamente a funciones, fallas funcionales y modos de falla.
- Cuatro columnas de evaluación de las consecuencias de los fallos H, S, E, y O correspondientes a fallos no evidentes, de seguridad, de medio ambiente y operacionales.
- Tres columnas de decisión de selección de tareas para las cuatro consecuencias.
- Tres columnas que indican las tareas propuestas, frecuencia y quien las realiza.

Tabla 2. Hoja de decisión RCM

HOJA DE TRABAJO DE INFORMACIÓN RCM II		SISTEMA										FACILITADOR	FECHA	HOJA	
		SUBSISTEMA												DE	
Referencia de información	Evaluación de las Consecuencias				H1	H2	H3	Tareas "a falta de"				Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por	
	F	FF	FM	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4				H5

Fuente: ALADON. RCM2, Curso de formación de tres días en Reliability centred maintenance

2.6 DIAGRAMA DE DECISIÓN RCM

Presenta un diagrama estructurado que permite realizar una toma de decisión acerca del mantenimiento a efectuar, con que frecuencia y quien lo realizará. También lleva a determinar que fallas son graves para establecer un rediseño y en cuales otras puede permitirse acontecer la falla.

La hoja de decisión es llenada con base en la Hoja de Información y el diagrama de decisión RCM. Cada consecuencia de fallo es analizada horizontalmente hasta encontrar el tipo de consecuencia (H, S, E, O). Una vez determinada la naturaleza del fallo dejaran de formularse las restantes.

Las siguientes tres filas dentro de la columna del fallo encontrado, determinan si es posible realizar una tarea proactiva y de que tipo. Así X1, X2 y X3, donde X representa la naturaleza del fallo y 1 para tareas a condición, 2 para reacondicionamiento periódico y 3 para sustitución periódica.

Las filas H4, H5 y S4 corresponden a las preguntas “a falta de” y solo se analizaran si las 3 anteriores filas fueron todas negativas.

3. SISTEMA DE MEDICIÓN DE PRESIÓN REMOTO

3.1 DESCRIPCIÓN DEL SMPR

El SMPR fue concebido para supervisar las presiones en las tuberías menores a 12” en los sectores hidráulicos más importantes de la ciudad de Bogotá y en el municipio de Soacha, municipio para el cual la EAAB-ESP presta sus servicios de suministro de agua potable y de alcantarillado. El sistema SCADA Wizcon que recibe los datos de las presiones, también interactúa con una base de datos SQL y el generador de reportes *Crystal Reports* para generar informes que sirven de sustento ante la CRA¹⁶, organismo que regula la prestación de servicios en la empresa y que para este caso requiere de un límite máximo y uno mínimo en las presiones del agua potable entregada a los clientes.

Figura 9. Caja de SMPR.



Fuente: Autor

¹⁶ CRA – Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico.

Hasta el momento existen 370 cajas de SMPR en toda la ciudad de Bogotá y Soacha, las cuales son distribuidas en 5 zonas y su mantenimiento y operación de recae sobre la Dirección de Servicios de Electromecánica de la EAAB – ESP.

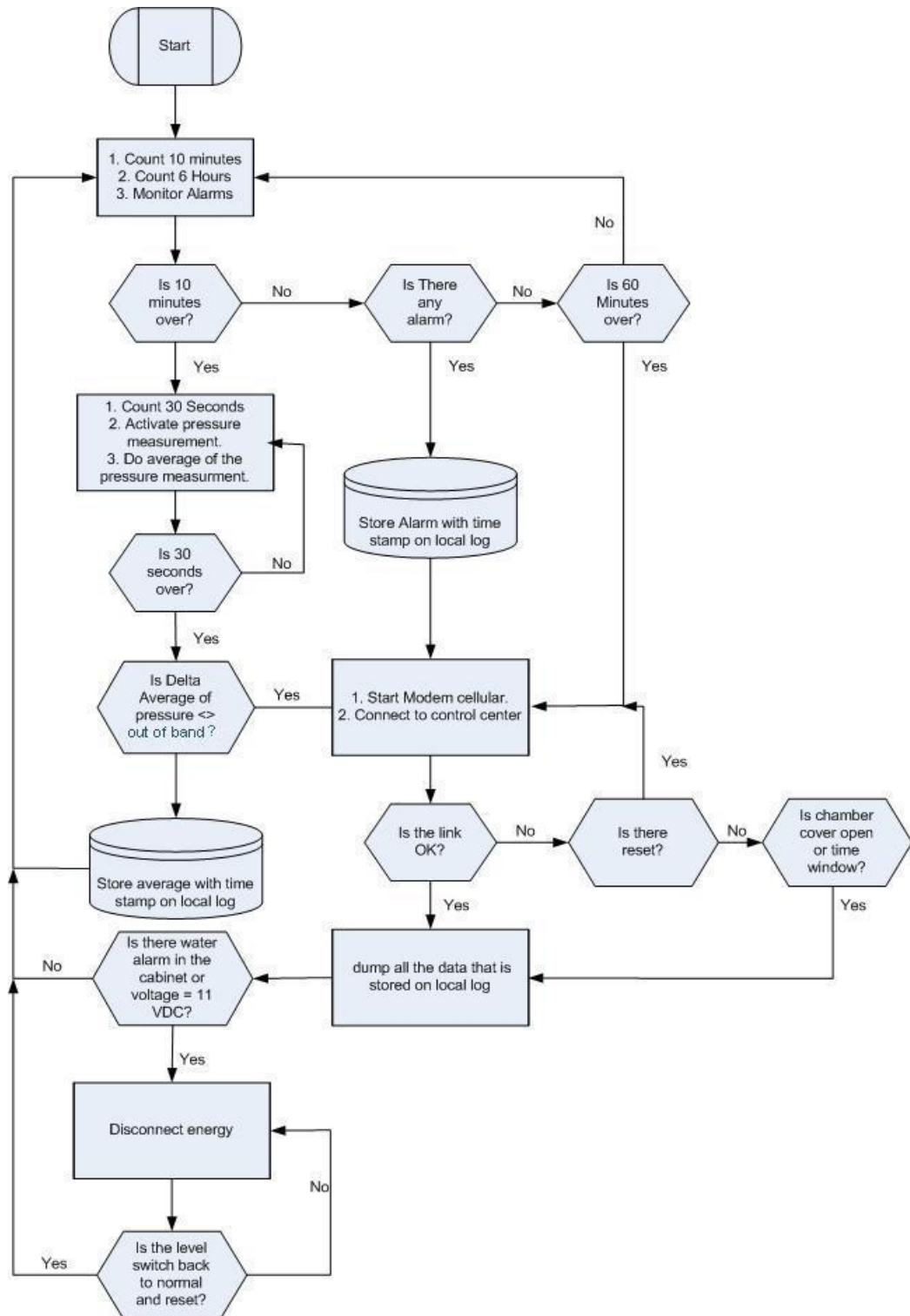
La información de presión es recogida por una RTU¹⁷ en una canal analógico con una estampa de tiempo real, a través de un de un transmisor que trabaja con parámetros de corriente entre 4 y 20 mA, ubicado en la parte inferior de la cámara lo más cercano posible a la tubería de la cual se está tomando la medida. El sistema de alimentación debe garantizar 12 Vdc +/-20% para todos los dispositivos electrónicos.

La lectura de presión se realiza durante un periodo de 30 segundos cada 10 minutos. Al final de los 30 segundos la RTU realiza un proceso de promedio, almacenándolo con una estampa de tiempo en el log de la memoria y al contabilizar 6 horas de medición sin ninguna novedad, la RTU activa el modem celular y el log de memoria es enviado en su totalidad por medio de la red GPRS¹⁸ al Centro de Control para su almacenamiento y procesamiento en una base de datos. Si el valor medio de la lectura esta fuera del rango establecido para valores normales de presión, o si se registra alguna alarma por nivel de agua en el sitio, nivel de agua dentro del gabinete, detección de intruso, temperatura, batería baja o detección de apertura de gabinete, la RTU activa inmediatamente el modem celular y envía todas las alarmas y lecturas almacenadas y que no han sido enviadas anteriormente hacia el Centro de Control. La figura 10 muestra el diagrama de flujo del proceso de control y transmisión de datos hacia el centro de control.

¹⁷ RTU – Remote Terminal Unit – Unidad Terminal Remota

¹⁸ GPRS - **General Packet Radio Service** - Servicio general de paquetes vía radio

Figura 10. Diagrama Lógico del Proceso de Transmisión de Datos



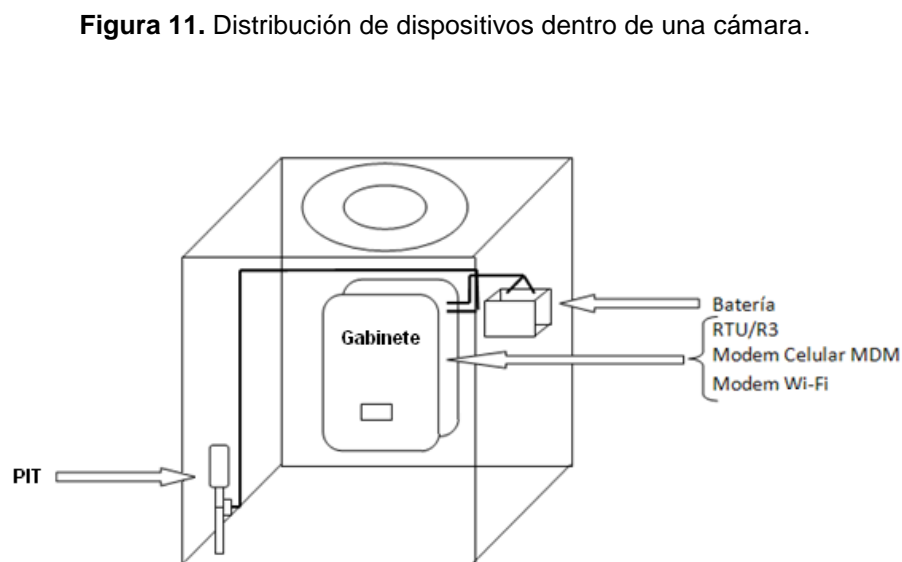
Fuente: Documento No. AT-SMPR-GE-VAR-001.DOC- Descripción del Sistema de Adquisición de datos en el SMPR de la EAAB – ESP.

Para el registro de eventos se encuentran instalados varios sensores en el sitio y se encargan de detectar el estado del mismo. Los equipos que generan eventos son:

- RTU con medidor de voltaje y Temperatura
- Switch de seguridad de ingreso en la cámara
- Switch de nivel de agua en la cámara
- Switch sensor de apertura del gabinete
- Switch de nivel de agua en el gabinete

La RTU cuenta con un medidor interno que registra el nivel de voltaje en la batería y la temperatura interna de la RTU.

Los switch son cableados a la RTU a canales digitales y generan alarmas producidas por la activación de las señales ON/OFF en los sensores. En la Figura 11 se muestra la distribución de dispositivos que se encuentran instalados en una cámara de medición de presión:



Fuente: Autor

3.2 EQUIPOS DEL SMPR

En los SMPR se encuentran instalados equipos dentro de una cámara construida bajo el nivel de la calle, protegida por medio de una tapa de alcantarilla y una reja con un candado de seguridad. Los elementos instalados son:

3.2.1 RTU

La RTU RUG3 marca Rugid Computer tiene características principales de bajo consumo de energía de solo 2 miliamperios en operación completa con alimentación de 12 Vdc +/-20% y memoria de registros de 2 megabytes con la que el SMPR puede guardar más de 2 meses de información sin pérdida de datos.

Figura 12. RTU RUG3



Fuente: <http://www.rugidcomputer.com>, Agosto 2012.

Posee seis (6) entradas análogas, ocho (8) entradas digitales, cuatro salidas de relé de 10 amperios y dos puertos seriales completamente independientes, los cuales son configurables según las necesidades y los equipos que se van a conectar a través de estos puertos con protocolos como, Modbus RTU y el propietario de Rugid Computer RUG6.

3.2.2 Modem Celular

El GPRS Cellular Data Modem EZ863 de Telit es un modem externo que proporciona conectividad inalámbrica a través de redes públicas de tecnología celular. Tiene una plataforma que integra las cuatro bandas disponibles a través de conexión serial.

Figura 13. GPRS Cellular Data Modem EZ863



Fuente: <http://www.telit.com>, Agosto 2012.

El consumo de energía (de 100 mA) lo hace ideal para el SMPR, además de un chasis que le permite ser usado en medios hostiles.

El modem tiene una dirección IP asignada a la SIM card del proveedor de servicio, y los datos son enviados a través de la red GPRS hacia un servidor de la empresa celular, una vez allí estos datos son enrutados a través de Internet por medio de una VPN¹⁹ hacia la dirección IP publica que está físicamente localizada en el Centro de Control del Acueducto.

El modem solo se enciende cuando la RTU necesita enviar los registros de presión o las alarmas pertinentes en la operación.

¹⁹ VPN - Virtual Private Network – Red Privada Virtual

3.2.3 WI FI Acces Point

El Access Point EKI-1351 de Advantech, cuenta con tecnología WIFI²⁰ estándar 802.11b, con velocidades de transmisión hasta de 11 Mbps, permitiendo la comunicación inalámbrica a equipos seriales montados en lugares de difícil acceso.

Figura 14. Access Point EKI-1351



Fuente: <http://www.advantech.com>, Agosto 2012.

En la operación normal el Wifi no está energizado, solo cuando se registra un evento de apertura del switch de seguridad de ingreso en la cámara. . Cuando el Wifi está en funcionamiento se pueden recuperar los datos por medio remoto a través de un computador portátil con conexión WIFI.

3.2.4 Transmisor de Presión

La medida de los valores de presión en el sitio se realiza por medio del transductor de presión Rosemount 2051 que cumple con la norma NP-072. El equipo se encuentra instalado en la parte interna de la cámara a una altura similar a la de la tubería de la cual se realiza el registro. Los valores que registra el equipo

²⁰ WIFI – Nombre comercial dado al Wireless LAN

son convertidos en corriente dentro del rango de 4 a 20 mA y son enviados a la RTU por medio de dos hilos conectados a una entrada análoga.

Figura 15. Transmisor de presión Rosemount 2051



Fuente: <http://www2.emersonprocess.com>, Agosto 2012.

3.2.5 Switch de Nivel de Agua en la Cámara

Este switch de nivel está instalado debajo del gabinete de equipos y cuenta con un contacto normalmente abierto que se cierra cuando el flotador sube por medio de la presencia del agua, generando un evento con sello de tiempo real que es transmitido hacia el Centro de Control inmediatamente. En la Figura 16 se muestra el switch de nivel F112S de Soway.

Figura 16. Switch de nivel F112S Soway



Fuente: <http://www.sowaytech.com>, Agosto 2012.

3.2.6 Switch de Nivel de Agua en el Gabinete

Switch de nivel ubicado dentro del gabinete de la RTU en la parte inferior, igual que el anterior es un contacto que se cierra cuando el flotador sube por medio de la presencia del agua y genera un evento con sello de tiempo real y activa la rutina de emergencia que quita la energía de los equipos para evitar daños (ver Figura 16).

3.2.7 Switch de seguridad de ingreso en la cámara

Es un switch Telemecanique normalmente abierto que se cierra en el momento que la tapa de la cámara es abierta, envía una de señal de intruso a la RTU y se genera un evento que es transmitido por la red GPRS.

Figura 17. Switch de ingreso Osiswitch Telemecanique



Fuente: <http://www.schneider-electric.com>, Agosto 2012.

3.2.8 Switch sensor de apertura del gabinete

Un switch normalmente abierto localizado en la parte interna del gabinete que se activa al abrir el mismo y genera un evento con sello de tiempo real indicando actividad dentro del sitio.

Figura 18. Switch de Apertura.



Fuente: Autor.

3.2.9 Batería

La alimentación de los equipos se realiza por medio de una batería de 12 voltios / 100 Ah que se encarga de suplir energía por un periodo no menor a 10 meses dentro de un funcionamiento normal (14 transmisiones de eventos por día en promedio) conectada al gabinete por medio de conectores a prueba de agua.

Figura 19. Batería 6FM100 Vision



Fuente: <http://www.vzh.com.ar/baterias-industriales-vision.html>, Agosto 2012.

El sistema supervisorio mide el voltaje de la batería y este dato es enviado con estampa de tiempo real hacia el Centro de Control.

3.3 DIVISION DEL SMPR EN SUBSISTEMAS

3.3.1 Subsistema de Control.

La principal función del subsistema de control es la de supervisar las variables a monitorear dentro de la cámara y tomar las decisiones de envío de datos hacia el centro de control y de encendido y apagado de dispositivos con base en la información de las variables y los tiempos configurados para la realización de las rutinas de lectura de presión y comunicación. Es conformado por la RTU RUG3 y su programación se rige de acuerdo al *Diagrama Lógico del Proceso de Transmisión de Datos* de la figura 10.

3.3.2 Subsistema de Alimentación.

La función de este subsistema es la de ser la fuente de energía del SMPR capaz de proporcionar 12 Vdc +/-20% / 100mah durante un periodo no menor a 10 meses dentro de un funcionamiento normal de 14 transmisiones de eventos por día en promedio. Es compuesto por la batería Vision 6FM100.

3.3.3 Subsistema de Comunicación.

La función principal de este subsistema es la de comunicar el SMPR con el centro de control y con los usuarios que requieran conectarse externamente vía inalámbrica. Se compone del modem GPRS Telit EZ863 encargado de realizar la comunicación con el operador celular y el Access Point Advantech EKI-1351 que brinda el acceso a la RTU vía WIFI.

3.3.4 Subsistema de Instrumentación.

Compuesto por el medidor de presión, el switch de seguridad de ingreso en la cámara, el switch de nivel de agua en la cámara, el switch sensor de apertura del gabinete y el switch de nivel de agua en el gabinete. La función de este

subsistema es la de medir la señal de presión y señales de alarmas necesarias para el control y adquisición de datos de SMPR.

3.3.5 Subsistema de infraestructura civil y gabinete.

Comprende la cámara, la tapa de alcantarilla, el gabinete, y la reja de seguridad. Su función principal es la de proteger los equipos contra robos y contra la entrada de agua y tierra.

4. APLICACIÓN DEL RCM AL SMPR

A continuación se registran las hojas de información y se analizan las hojas de decisión con respecto al diagrama de decisión para cada uno de los subsistemas.

4.1 HOJAS DE INFORMACION Y DECISIÓN EN SUBSISTEMA DE CONTROL

4.1.1 Hoja de Información Subsistema Control

Tabla 3. Hoja de Información Subsistema Control

HOJA DE TRABAJO DE INFORMACIÓN RCM II		SISTEMA	SMPR		FACILITADOR	FECHA	HOJA
		SUBSISTEMA	CONTROL		DANNY GÜIZA	22/09/2012	1
							DE
							1
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLO		EFECTO DE LOS FALLOS	
1	Controlar el proceso del SMPR	A	La RTU no enciende	1	La RTU se encuentra dañada posiblemente debido a la humedad.	La RTU no responde y debe ser sustituida. Cambio de la RTU 1 día.	
				2	La RTU se encuentra dañada posiblemente debido a la temperatura.	La RTU no responde y debe ser sustituida. Cambio de la RTU 1 día.	
2	Supervisar y hacer actuar los canales de entrada y de salida digitales y análogos.	A	La RTU no puede leer ni hacer actuar todas las variables de entrada y salida.	1	El canal esta dañado	No se dispone de todos los canales. Revisión y cambio de la RTU 1 día.	
				2	Los cables de instrumentación se encuentran cortados o sueltos.	No se dispone de todos los canales. Revisión y/o cambio de cables 1 día.	

4.1.2 Hoja de Decisión Subsistema Control

Tabla 4. Hoja de Decisión Subsistema Control

HOJA DE TRABAJO DE INFORMACIÓN RCM II		SISTEMA	SMPR		FACILITADOR	FECHA	HOJA								
		SUBSISTEMA	CONTROL		DANNY GÜIZA	22/09/2012	1								
							DE								
							1								
Referencia de información	Evaluación de las Consecuencias			H1	H2	H3	Tareas "a falta de"	Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por					
F	FF	FM	H	S	E	O	O1 N1	O2 N2	O3 N3	H4	H5	S4			
1	A	1	S				N	N	N	N	N		Se debe rediseñar el sistema incluyendo un sensor de humedad que genere una alarma	Diaria	Operador
1	A	2	N	N	N	S	S						Revisar en el supervisorio la alarma por baja o alta temperatura.	Diaria	Operador
2	A	1	S				N	N	N	N	N		El daño en los canales es aleatorio y por costos no vale la pena efectuar alguna revisión costosa a la tarjeta. Cambiar tarjeta RTU a falla.	A falla	Tecnico mtto
2	A	2	S	N	N	S	N	N	N	S			Realizar inspección visual de los cables con cada cambio de batería.	Cada 10 meses aprox.	Tecnico Mtto.

4.2 HOJAS DE INFORMACION Y DECISIÓN SUBSISTEMA ALIMENTACIÓN

4.2.1 Hoja de Información Subsistema Alimentación

Tabla 5. Hoja de Información RCM Subsistema Alimentación

HOJA DE TRABAJO DE INFORMACIÓN RCM II	SISTEMA	SMPR			FACILITADOR	FECHA	HOJA	
	SUBSISTEMA	ALIMENTACIÓN			DANNY GÜIZA	22/09/2012	DE	
							1	
							1	
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLO		EFECTO DE LOS FALLOS		
1	Ser la fuente de energía del SMPR proporcionando 12 Vdc +/-20% / 100mah	A	No suministra energía	1	Batería Descargada en su totalidad	El SMPR no es alimentado. Tiempo de cambio de la batería 1 día.		
					2	Conexiones eléctricas sin continuidad o sueltas	El SMPR no es alimentado. Revisión y cambio de las conexiones 1 día.	
					3	Bornes deteriorados o dañados	El SMPR no es alimentado. Revisión y cambio de los bornes 1 día.	
		B	Suministro de Energía con niveles de Voltaje inferiores a 9,5 Vdc	1	Batería por debajo de las condiciones mínimas de funcionamiento	El SMPR informa del bajo nivel de la batería. Tiempo de cambio 1 día		
2	Garantizar el suministro de energía mínimo 10 meses bajo condiciones normales	A	El tiempo de suministro de energía al SMPR es inferior a los 10 meses	1	El sulfato de plomo de la batería se ha cristalizado en gran proporción.	El SMPR informa del bajo nivel de la batería. Tiempo de cambio 1 día. La batería debe ser sustituida y no recargada.		

4.2.2 Hoja de Decisión Subsistema Alimentación

Tabla 6. Hoja de Decisión RCM Subsistema Alimentación

HOJA DE TRABAJO DE INFORMACIÓN RCM II	SISTEMA	SMPR			FACILITADOR	FECHA	HOJA						
	SUBSISTEMA	ALIMENTACIÓN			DANNY GÜIZA	22/09/2012	DE						
							1						
							1						
Referencia de información	Evaluación de las Consecuencias						Tareas "a falta de"	Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por			
F	FF	FM	H	S	E	O	H1 S1	H2 S2	H3 S3	Tareas "a falta de"	Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por
							O1 N1	O2 N2	O3 N3	H4 S4			
1	A	1	N	N	N	S	S				Revisar en el supervisorío la alarma por bajo nivel de voltage.	Diaria	Operador
1	A	2	S	N	N	S	N	N	N	S	Realizar inspección visual de las conexiones con cada cambio de batería.	Cada 10 meses aprox.	Tecnico Mtto.
1	A	3	S	N	N	S	N	N	N	S	Realizar inspección visual de los bornes con cada cambio de batería.	Cada 10 meses aprox.	Tecnico Mtto.
1	B	1	N	N	N	S	S				Revisar en el supervisorío la alarma por bajo nivel de voltage.	Diaria	Operador
2	A	1	N	N	N	S	S				Revisar la no formación de sulfato de plomo en los bornes de la batería.	Cada 10 meses aprox.	Tecnico Mtto.

4.3 HOJAS DE INFORMACION Y DECISIÓN EN SUBSISTEMA DE COMUNICACIÓN

4.3.1 Hoja de Información Subsistema Comunicación

Tabla 7. Hoja de Información Subsistema Comunicación

HOJA DE TRABAJO DE INFORMACIÓN RCM II		SISTEMA	SMPR		FACILITADOR	FECHA		HOJA	1
		SUBSISTEMA	COMUNICACIÓN			22/09/2012		DE	1
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLO		EFECTO DE LOS FALLOS			
1	Comunicar el SMPR con el centro de control	A	El sistema no se comunica con el centro de control	1	El modem GPRS no funciona	El modem GPRS no responde y no hay comunicación con CC. El modem debe ser sustituido. Cambio del Modem 1 día.			
				2	El proveedor de datos se encuentra fuera de servicio o con mala señal.	No hay comunicación con CC. Se debe avisar al proveedor.			
				3	La antena se encuentra desconectada o su cable roto.	No hay comunicación con CC. Revisión y/o cambio del cable 1 día.			
2	Acceder a la RTU via WIFI	A	El sistema no permite el acceso a la RTU via WIFI	1	El router WIFI no funciona	El router wifi no funciona y no permite acceder a la RTU. El router debe ser sustituido. Cambio 1 día.			

4.3.2 Hoja de Decisión Subsistema Comunicación

Tabla 8. Hoja de Decisión Subsistema Comunicación

HOJA DE TRABAJO DE INFORMACIÓN RCM II		SISTEMA	SMPR		FACILITADOR	FECHA		HOJA	1						
		SUBSISTEMA	COMUNICACIÓN			22/09/2012		DE	1						
Referencia de información	Evaluación de las Consecuencias					H1	H2	H3	Tareas "a falta de"				Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por
	F	FF	FM	H	S				E	O	S1	S2			
1	A	1	S				N	N	N	N	N		El daño de este dispositivo electrónico sin generación de alarmas de temperatura y/o humedad es completamente aleatorio y por costos no vale la pena efectuar alguna revisión costosa a la tarjeta. Cambiar Modem a falla.	A falla	Técnico Mtto
1	A	2	N	N	N	S	N	N	N	N	N	N	Se debe efectuar un cambio de proveedor (rediseño) ya que no todos los lugares tienen buena recepción de señal, debido al diseño de las celdas.	N/A	Lider Mtto
1	A	3	S	N	N	S	N	N	N	S			Realizar inspección visual del cable de la antena con cada cambio de batería.	Cada 10 meses aprox.	Técnico Mtto
2	A	1	N	N	N	S	N	N	N	N	N		No debe ejercerse ningun mantenimiento programado. A falla	A falla	Técnico Mtto

4.4 HOJAS DE INFORMACION Y DECISION EN SUBSISTEMA DE INSTRUMENTACION

4.4.1 Hoja de Información Subsistema Instrumentación

Tabla 9. Hoja de Información Subsistema Instrumentación

HOJA DE TRABAJO DE INFORMACIÓN RCM II		SISTEMA	SMPR	FACILITADOR	DANNY GÜIZA	FECHA	22/09/2012	HOJA DE	1
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLO		EFECTO DE LOS FALLOS			
1	Medir la señal de presión y señales de alarmas necesarias para el control y adquisición de datos del SMPR.	A	El sensor de presión no registra ningun valor.	1	El transmisor esta dañado	No es posible registrar la presión en el SMPR. El cambio del transmisor dura 3 días.			
				2	El diferencial de medición se encuentra obstruido	No es posible registrar la presión en el SMPR. La limpieza del transmisor dura 3 días.			
		B	El switch de ingreso a la camara no registra cambio.	1	El switch esta dañado	No hay cambio en la señal 1-0 y no se puede percibir la entrada de un intruso. Cambio del Switch 1 día.			
				2	El mecanismo del swtich se encuentra atascado.	No hay cambio en la señal 1-0 y no se puede percibir la entrada de un intruso. Limpieza del Switch 1 día.			
		C	El switch de ingreso al gabinete no registra cambio.	1	El switch esta dañado	No hay cambio en la señal 1-0 y no se puede percibir la entrada de un intruso. Cambio del Switch 1 día.			
				2	El mecanismo del swtich se encuentra atascado.	No hay cambio en la señal 1-0 y no se puede percibir la entrada de un intruso. Limpieza del Switch 1 día.			
		D	El switch de nivel de agua en la cámara no registra cambio.	1	El switch esta dañado	No hay cambio en la señal 1-0 y no se puede percibir la entrada de agua. Cambio del Switch 1 día.			
					El mecanismo del swtich se encuentra atascado.	No hay cambio en la señal 1-0 y no se puede percibir la entrada de agua. Limpieza del Switch 1 día.			
		E	El switch de nivel de agua en el gabinete no registra cambio.	1	El switch esta dañado	No hay cambio en la señal 1-0 y no se puede percibir la entrada de agua. Cambio del Switch 1 día.			
					El mecanismo del swtich se encuentra atascado.	No hay cambio en la señal 1-0 y no se puede percibir la entrada de agua. Limpieza del Switch 1 día.			

4.4.2 Hoja de Decisión Subsistema Instrumentación

Tabla 10. Hoja de Decisión Subsistema Instrumentación

HOJA DE TRABAJO DE INFORMACIÓN RCM II		SISTEMA		SMPR				FACILITADOR	DANNY GÜIZA	FECHA	22/09/2012	HOJA	1			
		SUBSISTEMA		INSTRUMENTACIÓN								DE	1			
Referencia de información			Evaluación de las Consecuencias				Tareas "a falta de"			Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por				
F	FF	FM	H	S	E	O	H1 S1	H2 S2	H3 S3				H4	H5	S4	
1	A	1	S				N	N	N	N	N			El daño de este dispositivo electrónico es aleatorio y por costos no vale la pena efectuar alguna revisión costosa a la tarjeta. Cambiar Transmisor a falla.	A Falla	Técnico Mtto
1	A	2	S				N	S2						de debe realizar una limpieza cíclica del elemento para evitar obstrucciones en el sensor	Cada 6 meses	Técnico Mtto
1	B	1	S				N	N	N	N	N			El daño de este dispositivo electró-mecanico no significa mayores costos pero debe ser cambiado rapidamente. Cambiar Switch a falla.	A Falla	Técnico Mtto
1	B	2	S				N	S2						de debe realizar una limpieza cíclica del elemento para evitar obstrucciones en el switch	Cada 6 meses	Técnico Mtto
1	C	1	S				N	N	N	N	N			El daño de este dispositivo electró-mecanico no significa mayores costos pero debe ser cambiado rapidamente. Cambiar Switch a falla.	A Falla	Técnico Mtto
1	C	2	S				N	S2						de debe realizar una limpieza cíclica del elemento para evitar obstrucciones en el switch	Cada 6 meses	Técnico Mtto
1	D	1	S				N	N	N	N	N			El daño de este dispositivo electró-mecanico no significa mayores costos pero debe ser cambiado rapidamente. Cambiar Switch a falla.	A Falla	Técnico Mtto
1	D	2	S				N	S2						de debe realizar una limpieza cíclica del elemento para evitar obstrucciones en el switch	Cada 6 meses	Técnico Mtto
1	E	1	S				N	N	N	N	N			El daño de este dispositivo electró-mecanico no significa mayores costos pero debe ser cambiado rapidamente. Cambiar Switch a falla.	A Falla	Técnico Mtto
1	E	2	S				N	S2						de debe realizar una limpieza cíclica del elemento para evitar obstrucciones en el switch	Cada 6 meses	Técnico Mtto

5. HOJAS DE INFORMACION Y DECISIÓN EN SUBSISTEMA DE INFRAESTRUCTURA CIVIL Y GABINETE

5.1.1 Hoja de Información Subsistema Infraestructura Civil y gabinete

Tabla 11. Hoja de Información Subsistema Infraestructura Civil y gabinete

HOJA DE TRABAJO DE INFORMACIÓN RCM II		SISTEMA	SMPR	FACILITADOR	DANNY GÜIZA	FECHA	22/09/2012	HOJA	1
		SUBSISTEMA	INFRAESTRUCTURA CIVIL					DE	1
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLO		EFECTO DE LOS FALLOS			
1	Proteger los los equipos del SMPR contra robos y contra la entrada de agua y tierra.	A	La cámara presenta filtraciones de agua y tierra.	1	El empaque de la tapa esta deteriorado.	La camara se inunda en pocos dias, facilitando la posible entrada de agua en el gabinete, ocasionando daño en los equipos.			
				2	Las paredes internas de la camara no estan recubiertas	La camara se inunda en pocos dias, facilitando la posible entrada de agua en el gabinete, ocasionando daño en los equipos.			
				3	La camara esta ubicada sobre un lugar donde es continuo el paso de agua	Debido al excesivo flujo de agua la camara permite filtraciones y se inunda en pocos dias, facilitando la posible entrada de agua en el gabinete, ocasionando daño en los equipos.			
		B	El gabinete presenta filtraciones de agua.	1	El empaque del gabinete esta deteriorado.	El gabinete empieza a permitir la entrada de agua con el posible daño en los equipos si el problenema no se soluciona a tiempo.			
				2	Las prensaestopas que contienen los cables de instrumentación permiten el paso del agua.	El gabinete empieza a permitir la entrada de agua con el posible daño en los equipos si el problenema no se soluciona a tiempo.			

5.1.2 Hoja de Decisión Subsistema Infraestructura Civil y gabinete

Tabla 12. Hoja de Decisión Subsistema Infraestructura Civil y gabinete

HOJA DE TRABAJO DE INFORMACIÓN RCM II			SISTEMA		SMPR						FACILITADOR		FECHA		HOJA		
			SUBSISTEMA		INFRAESTRUCTURA CIVIL						DANNY GÜIZA		22/09/2012		1		
Referencia de información			Evaluación de las Consecuencias			H1	H2	H3	Tareas "a falta de"			Tareas Propuestas		Frecuencia Inicial		A realizar por	
F	FF	FM	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5						
							O1	O2	O3								
							N1	N2	N3								
1	A	1	N	N	N	S	S						Revisar en el supervisorio la alarma de nivel de agua en la camara a fin de realizar una inspección y cambio del empaque de la tapa si es necesario. Sacar el exceso de	Díaria	Operador		
1	A	2	N	N	N	S	S						Revisar en el supervisorio la alarma nivel de agua en la camara a fin de realizar una inspección y recubrimiento de las paredes de la camara si es necesario. Sacar el exceso de agua.	Díaria	Operador		
1	A	3	N	N	N	S	N1	N2	N3	N	N		Se debe rediseñar la camara, bien sea reubicandola o realizando un canal que evite el paso continuo del agua.	Rediseño	Contratista		
1	B	1	N	N	N	S	S						Revisar en el supervisorio la alarma de nivel de agua en el gabinete a fin de realizar una inspección y cambio del empaque del gabinete si es necesario. Sacar el exceso de agua.	Díaria	Operador		
1	B	2	N	N	N	S	S						Revisar en el supervisorio la alarma de nivel de agua en el gabinete a fin de realizar una inspección y ajuste o cambio de las prensaestopas del gabinete si es necesario. Sacar el exceso de agua.	Díaria	Operador		

6. CONCLUSIONES

- Se presenta la metodología RCM a seguir en un sistema de medición de presión remoto de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, con el fin de que sirva como modelo para ser aplicado en cualquier equipo que lo necesite dentro de la organización.
- A través de la búsqueda y recopilación de información de libros, tesis, trabajos de investigación y material de internet confiable acerca del RCM se ilustra la historia, modelos y conceptos fundamentales de la metodología, permitiendo realizar un análisis detallado de la misma.
- Se realiza la descripción y análisis del SMPR, mostrando sus funciones y subsistemas, para facilitar el desarrollo de la metodología RCM.
- Se presenta la estrategia RCM aplicada al SMPR, a través de las hojas de información y hojas de decisión basadas en el diagrama de decisión RCM que conlleva a definir las labores de mantenimiento planeadas o no, para los modos de falla encontrados durante el desarrollo de la metodología.
- El alcance del presente trabajo no es el de realizar la aplicación del RCM en el sistema, si no el de mostrar la metodología a seguir para su aplicación, por tanto queda a disposición de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá su implementación y realimentación.

BIBLIOGRAFÍA

- EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ. El futuro de la Capital. Estudio Prospectivo de Acueducto y Alcantarillado. Capítulo II, 1995.
- EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ. Informe de Sostenibilidad, 2009.
- EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ. Plan General Estratégico, 2008-2012.
- Empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá E.S.P, página oficial: “Nuestra Historia”, consultado agosto de 2010, disponible en: www.acueducto.com.co
- The Aladon Network, página oficial; “About RCM2”, consultado 24 de julio de 2010, disponible en: <http://www.thealadonnetwork.com/aboutrcm.shtml>
- Confiabilidad.Net, “El camino hacia el RCM”, consultado 24 de agosto de 2012, disponible en: <http://confiabilidad.net/articulos/el-camino-hacia-el-rcm/>
- OREDA, página oficial; “History”, consultado 25 de agosto de 2012, disponible en: <http://www.oreda.com/>
- ESREDA, página oficial; “About ESReDA”, consultado 25 de agosto de 2012, disponible en: <http://www.esreda.org/>
- ALADON. RCM2, Curso de formación de tres días en Reliability centred maintenance (Versión 2). Año 1998. P. 1-129