

PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO EN DISTRITOS DE RIEGO

SEBASTIÁN ANDRÉS FELIPE MORA RODRÍGUEZ

DAYRO HERNANDO RODRÍGUEZ NIÑO

UNIVERSIDAD ECCI

DIRECCIÓN POSGRADOS

PROGRAMA GERENCIA DE MANTENIMIENTO

BOGOTÁ, D.C.

2016

PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO EN DISTRITOS DE RIEGO

SEBASTIÁN ANDRÉS FELIPE MORA RODRÍGUEZ  
DAYRO HERNANDO RODRÍGUEZ NIÑO

MIGUEL ÁNGEL URIÁN TINOCO  
Docente de Investigación

UNIVERSIDAD ECCI  
DIRECCIÓN POSGRADOS  
PROGRAMA GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
BOGOTÁ D.C.  
2016

## TABLA DE CONTENIDO

1.	PROPUESTA DE UN PLAN MANTENIMIENTO EN DISTRITOS DE RIEGO.....	5
2.	PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	6
2.1.	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	6
2.2.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	7
2.3.	SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA.....	7
3.	OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	8
3.1	OBJETIVO GENERAL .....	8
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	8
4.	JUSTIFICACIÓN Y DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	9
4.1	JUSTIFICACIÓN .....	9
4.2	DELIMITACIÓN .....	10
4.2.1	DELIMITACIÓN DE ESPACIO .....	10
4.2.2	DELIMITACIÓN DE CONTENIDO.....	10
4.2.3	DELIMITACIÓN DE TIEMPO .....	10
5	MARCO DE REFERENCIA DE LA INVESTIGACIÓN .....	11
5.1	MARCO TEÓRICO .....	11
5.2	ESTADO DEL ARTE.....	27
5.3	MARCO LEGAL.....	31
6.	TIPO DE INVESTIGACIÓN. ....	34
7.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	35
7.1	RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN .....	38
7.2	ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN. ....	45
7.3	PROPUESTA DE SOLUCIÓN .....	61
7.4	RESULTADOS ESPERADOS.....	84
8.	FUENTES DE OBTENCIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	85
8.1	FUENTES PRIMARIAS .....	85
8.2	FUENTES SECUNDARIAS.....	85
9.	ANÁLISIS FINANCIERO .....	86

10. TALENTO HUMANO .....	88
11. CONCLUSIONES .....	89
12. ANEXOS .....	90
13. BIBLIOGRAFÍA .....	95

## 1. PROPUESTA DE UN PLAN MANTENIMIENTO EN DISTRITOS DE RIEGO

De acuerdo al contexto en que se encuentra hoy en día nuestra sociedad y siendo más precisos, nuestro país Colombia, los procesos de PAZ y las consecuencias que esto acarrea (buenas y otras menos favorables); el campo y la agroindustria van a volver a tomar fuerza como pilar baluarte de la economía Colombiana. Los distritos de riego de cultivos son sistemas que se han venido implementando por mucho tiempo en Colombia, como una solución viable para el manejo e implementación de prácticas (análogas o sistematizadas) correctas en el sembrado y cultivo de productos agrícolas.

El gobierno Colombiano con entes privadas, ha concebido estas ideas como buenas prácticas agroindustriales, y de la mano con recursos gubernamentales los han desarrollado e implementado, “Ingeniería aplicada” en el diseño de estos modelos. Para la parte económica de estos modelos de alguna manera, se ha tenido conceptos o cálculos que simplemente se hacen con un estimado del valor total que incluyen todas las áreas del proceso como es el caso del mantenimiento, es aquí donde se va enfocar el desarrollo de este proyecto.

## 2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Un distrito de riego se diseña sobre parámetros y necesidades de quien lo solicita, teniendo como base el contexto operacional (geografía, condiciones de operación, entre otras). Esta infraestructura física está conformada por pequeñas obras de ingeniería que son utilizadas para dotar con riego superficies de áreas urbanas, donde predominan actividades propias de la agricultura. Los pasos previos en el desarrollo de un distrito de riego, no solo llevan al ámbito económico y generación de agroindustria, sino que también es un trabajo de educación y de adecuación cultural, trabajo social e información a la población (entorno cultural), la distribución y adecuación de predios (catastro, IGAC), normas y leyes nacionales uso de suelos, propietarios, poseedores, etc. son procesos que demandan tiempo, costos y recurso humano).

Para una obra civil de estas magnitudes el mantenimiento se calcula con un porcentaje sobre el valor del proyecto, no se contempla un valor de este sobre el presupuesto de operación, no se documenta, ni se implementa cualquier tipo de plan, solamente se dan consideraciones y una cifra dentro del valor del contrato.

El mantenimiento para un distrito de riego debe ir contemplado dentro del diseño, ya que este no es fácil de concebir y demanda de un gran tiempo de desarrollo e implementación. Es necesario estructurar un plan de mantenimiento para estos proyectos con el fin de alargar su ciclo de vida, el cual tiene una estimación de alrededor de cinco (05) años.

## 2.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

¿Cuál es la etapa apropiada para plantear una propuesta de un plan de mantenimiento para distritos de riego de cultivos donde se establezca desde el diseño, las actividades necesarias para garantizar su ciclo de vida?.

## 2.3. SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

La concepción de realizar una propuesta para un plan de mantenimiento en un distrito de riego de cultivos, se motiva con mayor fuerza porque no se conoce con exactitud el ciclo de vida de este. Intervienen una serie de disciplinas las cuales se enfocan en el diseño sin contemplar de una manera específica el mantenimiento, para la sistematización del problema se plantean los siguientes cuestionamientos:

- ¿Con qué criterio se puede determinar los activos que se requieren para el diseño de un sistema de riego?.
- ¿Qué herramienta se puede utilizar para identificar las fallas más recurrentes de los activos?.
- ¿Sobre qué bases se deben plantear las actividades de mantenimiento necesarias, para garantizar el funcionamiento del distrito de riego de acuerdo a la especificación y funcionamiento de los activos?.

Es de vital importancia realizar un enfoque más específico a esta falencia que se maneja de una manera muy global, llegando a generar un hueco donde se filtren recursos económicos importantes, lo cual genera sobrecostos y el no retorno de la inversión del proyecto.

### 3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1 OBJETIVO GENERAL

Proponer un plan de mantenimiento para distritos de riego de cultivos, donde se establezca desde el diseño, las actividades necesarias de mantenimiento para garantizar su ciclo de vida.

#### 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Establecer los activos que componen el sistema de un distrito de riego, teniendo en cuenta la caracterización de las diferentes variables (geografía, afluentes hídricos, tipo de riego).
2. Identificar y determinar los modos de falla más recurrentes de los activos en un distrito de riego.
3. Proponer de acuerdo al RCM2, las actividades de mantenimiento necesarias para garantizar el funcionamiento del distrito de riego de una manera confiable.



## 4. JUSTIFICACIÓN Y DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

### 4.1 JUSTIFICACIÓN

Con respecto a la nueva situación “socio-económica” que con lleva la firma de los Acuerdos de Paz<sup>1</sup> entre las FARC y el Gobierno Nacional de Colombia, el campo reactivara su progreso para volver a ser una base sólida de la economía. Se busca que los distritos de riego suplan la necesidad que tienen y tendrán la base agrícola nacional, en la industrialización de los procesos para los nuevos métodos de siembra. En Colombia actualmente existen un gran número de sistemas de riego para los diferentes tipos de relieve mostrando desarrollos técnicos y tecnológicos, pero con la misma carencia de la falta de implementación de un plan de mantenimiento.

Con el fin de generar mayor efectividad en la operación de un distrito de riego, se plantea desarrollar una propuesta de mantenimiento para los activos que intervienen en un distrito de riego, muchos de estos activos son automatizados y no se contempla un reacondicionamiento cíclico, si no solamente se toma la decisión de una sustitución; para esto se requiere que la propuesta sea concebida desde el diseño para no generar un valor agregado al presupuesto de inversión, generando seguridad y confiabilidad en dichos costos, reflejando una mayor ventaja al tener control sobre los activos que intervienen en el distrito de riego.

---

<sup>1</sup>

## 4.2 DELIMITACIÓN

### 4.2.1 DELIMITACIÓN DE ESPACIO

Las limitaciones del proyecto debe ser dividida en dos partes, por la geografía (Departamento del Tolima, Santander y la Guajira) y el tipo de sistema de riego; El proyecto se va a ver enfocado en las regiones Andina y Caribe del territorio Colombiano, por el tipo de relieve de estas, se presta con una mejor aplicación por sus afluentes hídricos, su variedad en climas hacen que pueda haber una gran diversidad de cultivos y sus terrenos son poco selváticos.

### 4.2.2 DELIMITACIÓN DE CONTENIDO

Los tipos de riego a los los cuales se les va a implementar la propuesta están determinados de acuerdo a la superficie agrícola del terreno, riego por goteo y riego por aspersión. Estos sistemas de riego son muy similares en sus activos (componentes), lo cual hace más simple la unificación en el desarrollo para una propuesta de mantenimiento para los distritos de riego.

### 4.2.3 DELIMITACIÓN DE TIEMPO

El fue dividido en tres (03) fases, La cual siendo la primera fase la recolección de la información que fue la primera semana del mes de Septiembre del años 2016, con una duración de tres (03) semanas, seguida de la fase de planeación con una duración de tres (03) semanas, y finalmente una fase de evaluación la cual duro una (01) semana.

## 5 MARCO DE REFERENCIA DE LA INVESTIGACIÓN

### 5.1 MARCO TEÓRICO

#### RIEGO

El riego, consiste en aportar agua al suelo para que los vegetales tengan el suministro de agua que necesitan favoreciendo así su crecimiento. El método principal de entrega de agua al campo (para cerca del 95 % de los proyectos en todo el mundo) es el riego por inundación o de surco. Otros sistemas emplean aspersores y riego de goteo. Aunque sean técnicas relativamente nuevas, que requieren una inversión inicial más grande y manejo más intensivo que el riego de superficie, el riego por aspersión y el de goteo suponen una mejora importante en la eficiencia del uso del agua, y reducen los problemas relacionados con el riego. La eficiencia del método de riego se refiere a la cantidad de agua que queda almacenada en la zona radicular, en relación con la cantidad total de agua que se usa. **(Wikipedia, Wikipedia la enciclopedia libre, 2016)**

El recurso hídrico es clave por su diversidad de usos, para el consumo humano, los animales y las plantas; la agricultura (campo), la industria, el transporte y la energía.

El acceso seguro a sus fuentes, contribuye a un mejor bienestar. El riego ha sido una de las técnicas más antiguas en el campo, con el paso del tiempo ha pasado de lo rudimentario a la automatización, los mayores esfuerzos y avances se dirigen a la agricultura bajo riego, que depende principalmente del agua superficial de los ríos o del agua subterránea de los acuíferos. Según la forma de distribución del agua el riego es la técnica utilizada para dotar al terreno de los minerales y suplementos necesarios para el desarrollo y crecimiento de un cultivo. A continuación se presentan los los principales sistemas de riego pueden ser clasificados en:

**Inundación:** El agua es distribuida superficialmente sobre el terreno de regadío, inundándolo totalmente o en partes. Este sistema puede subdividirse en: a) Inundación en superficie total, cuando toda la superficie de regadío es inundada por el agua; y b) Inundación parcial o por surcos, cuando la superficie de regadío está conformada por surcos y camellones y el agua es distribuida a través de dichos surcos. **(Riego, 2016)**

Aspersión: El agua es distribuida a través de aspersores, los cuales producen gotas de agua de diferentes tamaños, imitando una precipitación natural. **(Riego, 2016)**

Micro aspersión: Es una modificación del sistema de aspersión tradicional que permite asperjar el agua a poca distancia de la planta y de manera localizada. **(Riego, 2016)**

Goteo: El agua es distribuida de manera localizada, por gotas, a través de goteros instalados en mangueras de goteo, pequeños reservorios (galones, bambú, etc.) o tuberías de distribución. **(Riego, 2016)**

Considerando que el agua es un recurso cada vez más valioso y con el que hay que procurar la máxima eficiencia de empleo; no es apropiado que decisiones de diseño se tomen a la ligera, es importante conocer términos que son propios de en el cálculo de los sistemas de riego. A la hora de regar el agricultor se enfrenta a una triple incógnita: cuándo, cómo y cuánto regar.

Canal de riego, Tiene la función de conducir el agua desde la captación hasta el campo donde será aplicado a los cultivos. Son obras de ingeniería importantes, que deben ser cuidadosamente pensadas para no provocar daños al medio ambiente y para que se gaste la menor cantidad de agua posible. **(Wikipedia, 2016)**

Sistema de riego, se le denomina al conjunto de estructuras, que hace posible que una determinada área pueda ser cultivada con la aplicación del agua necesaria a las plantas. El sistema de riego consta de una serie de componentes, aunque no necesariamente el sistema de riego debe constar de todas ellas, ya que el conjunto de componentes dependerá de si se trata de riego superficial (principalmente en su variante de riego por inundación), por aspersión, o por goteo. **(Wikipedia, Wikipedia, 2016)**

Evapotranspiración, Se define como la pérdida de humedad de una superficie por evaporación directa junto con la pérdida de agua por transpiración de la vegetación. Se expresa en milímetros por unidad de tiempo”. **(Wikipedia, Wikipedia la enciplopedia libre, 2016)**

Mediante diversas fórmulas matemáticas se calcula la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>). Para relacionar la ET<sub>o</sub> con la evapotranspiración real (ET<sub>c</sub>) de un cultivo (dato que realmente interesa) se emplean los llamados coeficientes de cultivo (K<sub>c</sub>), de tal forma que se cumple:

$$ET_c = K_c * ET_o$$

Evapotranspiración del cultivo, K<sub>c</sub>: coeficiente del cultivo, ET<sub>o</sub>: evapotranspiración de referencia.



Figura 1: Cálculo de la evapotranspiración de un cultivo

Fuente: Monografía no 56 de la serie Riegos y Drenaje de la FAO

“Los valores de K<sub>c</sub> se obtienen experimentalmente y cambian con cada cultivo y a lo largo del ciclo de desarrollo del mismo. Al comienzo del ciclo la superficie foliar es pequeña y el suelo está directamente expuesto, por lo que predomina la evaporación. A medida que el desarrollo foliar va cubriendo el suelo la evaporación va perdiendo peso y lo gana la transpiración, aumentando progresivamente K<sub>c</sub> (figura 15)”. (España, 2009).

La calidad del agua de riego, afecta tanto a los rendimientos de los cultivos como a las condiciones físicas del suelo, incluso si todas las demás condiciones y prácticas de producción son favorables / óptimas. Además, los distintos cultivos requieren distintas calidades de agua de riego. Por lo tanto, es muy importante realizar un análisis del agua de riego antes de seleccionar el sitio y los cultivos a producir. La calidad de algunas fuentes de agua puede variar significativamente de acuerdo a la época del año (como en una época seca / época de lluvias), así que es recomendable tomar más de una muestra, en distintos períodos de tiempo. **(Sela, 2016)**.

Los parámetros que determinan la calidad del agua de riego se dividen en tres categorías: químicos, físicos y biológicos. Las características químicas del agua de riego se refieren al contenido de sales en el agua, así como a los parámetros derivados de la composición de sales en el agua; parámetros tales como la CE / TDS (Conductividad Eléctrica / sólidos totales disueltos), RAS (Relación de Adsorción de Sodio), la alcalinidad y la dureza del agua. **(Sela, 2016)**

Cálculo del volumen o caudal de agua. Es necesario tener en cuenta los distintos factores que intervienen en su determinación tales como el clima, la constitución física de las tierras que hayan de regarse, su poder absorbente, la naturaleza del cultivo, el método de riego y la practica del regador. El cálculo de dotación para una finca de suelo homogéneo es muy distinto al de uno con diferenciaciones agrológicas, donde hay necesidad de elaborar un plano de grupos agrológicos y fijar el número de riegos y su volumen por hectárea para cada uno de los cultivos en los diferentes meses del año para sacar el gasto total para toda el área regada. Para llegar a la determinación de la capacidad de los canales, se debe considerar el volumen correspondiente al mes de máximo consumo, el cual se divide por el producto del número de días del mes, horas diarias de trabajo y por 3600 para que nos de el caudal de agua por segundo que se debe conseguir. A la cantidad total de agua calculada hay que aumentar un porcentaje para compensar las perdidas por infiltración de acequias y evaporación. Puede ser un 10% de perdidas por evaporación y filtración, teniendo en cuenta las circunstancias de cada caso. **(España, 2009)**.

Red de distribución, El problema del diseño optimizado de redes de distribución de agua potable consiste en encontrar la combinación de diámetros de tuberías que minimice el costo constructivo del sistema, satisfaciendo restricciones hidráulicas y comerciales. Por su complejidad,

éste ha sido clasificado como un problema combinatorio NP- duro. Para solucionarlo se han desarrollado algoritmos de optimización que se basan en la limitación de fenómenos físicos y naturales para explorar el espacio de búsqueda; en contraste, en este estudio se desarrolló una metodología de diseño únicamente basada en las características hidráulicas y topológicas del sistema, la cual supone que existe una superficie ideal de presiones donde se puede obtener una configuración de diámetros cercana a la de mínimo costo. **(S. Ochoa, 2007)**

Desagües. Las aguas sobrantes del riego y del escurrimiento de tierras, deben recogerse y darles salida para evitar encharcamientos perjudiciales a la planta. Los desagües deben también formar un sistema en categorías que correspondan a las acequias de la distribución, buscando que vayan por las partes bajas del terreno hasta llegar al canal recolector. **(Tobon, 1998)**

Llaves de paso, Se caracterizan por su gran sencillez y por el sistema de fijación de la tapa a su cuerpo por una abrazadera que equilibra los esfuerzos de las dos tuercas, con lo que se logra un ajuste uniforme de la junta de la tapa, se usara cuando se requiere un servicio de operación frecuente y abertura parcial, viene en diámetros pequeños. **(Tobon, 1998)**

Válvulas de compuerta, tienen como función principal detener por completo el flujo del agua, es decir que estas se usan donde las condiciones exigen que la válvula esté completamente abierta o cerrada en forma total. Estas válvulas no deben ser accionadas con frecuencia. **(Tobon, 1998)**

Válvulas de Control, Corresponden a válvulas de cierre manual, destinadas a sectorizar el riego, permitiendo el paso del agua por determinadas tuberías. **(Tobon, 1998)**

Válvulas de Corte, Están ubicadas al comienzo de la línea principal y de los ramales. Su mecanismo está diseñado para abrir y cerrar lentamente el paso de agua, con el fin de evitar la ocurrencia de sobre - presiones que podrían romper las tuberías. **(Tobon, 1998)**

Válvulas de globo, La función primordial es regular el flujo desde el cierre completo hasta la capacidad máxima. Tanto el material utilizado en el vástago como en el sistema de agua del disco permiten operar frecuentemente la válvula. **(Tobon, 1998)**

Válvulas de Purga, Están localizadas en los puntos bajos del recorrido de las tuberías, donde se acumulan sedimentos, que reducen e impiden el paso de agua. Realmente funcionan como una válvula de lavado. **(Tobon, 1998)**

Válvulas de retención, evitan el contra flujo en una línea reaccionando rápida y automáticamente en este cambio. La presión del fluido mantiene abierta la válvula y cualquier retroceso del mismo la cierra **(Tobon, 1998)**

Válvulas Ventosas, sirven para expulsar el aire que pueda haber entrado en la tubería mezclado con el agua o bien para que, al producirse el vacío en la tubería dejen que el aire entre en la misma y eviten que la tubería se aplaste debido a la presión atmosférica. **(Tobon, 1998)**

Estudio de Factibilidad, En esta etapa se depuran, en un mayor grado de detalle, los aspectos de consumo, técnicos, financieros, institucionales, administrativos y ambientales acudiendo si es preciso a información primaria para algunas variables consideradas como relevantes, con el fin de contrastar las hipótesis inicialmente planteadas.

Se debe incluir en el estudio los aspectos generales del entorno socio económico, análisis de mercado identificando las principales variables que afectan su comportamiento, definiendo en principio alternativas de tamaño y localización con todas las restricciones que puedan incidir; seleccionando un modelo técnico adecuado; diseñando una organización para las etapas de instalación y operación; determinando las inversiones, costos y utilidades; y finalmente aplicando criterios de rentabilidad financiera, económica, social y ambiental según el caso.



## MANTENIMIENTO

La propuesta para proyectos de mantenimiento para dar viabilidad en un distrito de riego, se centra en la comparación de los costos y beneficios del proyecto, con el fin de emitir un juicio sobre su conveniencia. Esta comparación requiere de la identificación de ciertos términos, técnicas, rutinas, procedimientos, mediciones y valoración de los activos que han de determinarse en la siguiente investigación.

El primer objetivo del mantenimiento es evitar o mitigar las consecuencias de los fallos del equipo, logrando prevenir las incidencias antes de que estas ocurran. Es por esto que importante tener mayor información sobre conceptos específicos de operación del mantenimiento, es por eso que el marco teórico de la investigación se amortigua en diferentes conceptos y temáticas previamente establecidos, con el fin de dar un enfoque técnico y de validez a la propuesta planteada.

Mantenimiento, son todas las acciones que tienen como objetivo preservar un artículo o restaurarlo a un estado en el cual pueda llevar a cabo alguna función requerida. Estas acciones incluyen la combinación de las acciones técnicas y administrativas correspondientes. **(Wikipedia, Wikipedia la enciclopedia libre, 2016).**

Mantenimiento preventivo, se realiza en equipos en condiciones de funcionamiento, es decir evitar los fallos en el equipo antes de que estos ocurran, es destinado a la conservación de equipos o instalaciones mediante la realización de revisión y reparación que garanticen su buen funcionamiento y fiabilidad. Las tareas de mantenimiento preventivo pueden incluir acciones como cambio de piezas desgastadas, cambios de aceites y lubricantes, etc. **(Wikipedia, Wikipedia la enciclopedia libre, 2016)**

Mantenimiento correctivo, aquel que corrige los defectos observados en los equipamientos o instalaciones, es la forma más básica de mantenimiento y consiste en localizar averías o defectos y corregirlos o repararlos. Este mantenimiento que se realiza luego que ocurra una falla o avería en el equipo que por su naturaleza no pueden planificarse en el tiempo, presenta costos por

reparación y repuestos no presupuestadas, pues implica el cambio de algunas piezas del equipo. **(Wikipedia, Wikipedia la enciclopedia libre, 2016)**

Mantenimiento proactivo, está basado en los métodos predictivos, pero, para identificar y corregir las causas de los fallos en las máquinas, es necesario una implicación del personal de mantenimiento. **(Sinais, 2013)**

Mantenimiento detectivo, o de búsqueda de fallas consiste en la prueba de dispositivos de protección bajo condiciones controladas, para asegurarse que estos dispositivos serán capaces de brindar la protección requerida cuando sean necesarios. En el mantenimiento detectivo no se está reparando un elemento que falló (mantenimiento correctivo), no se está cambiando ni reacondicionando un elemento antes de su vida útil (mantenimiento preventivo), ni se están buscando síntomas de que una falla está en el proceso de ocurrir (mantenimiento predictivo). Por lo tanto, el mantenimiento detectivo es un cuarto tipo de mantenimiento. A este mantenimiento también se lo llama búsqueda de fallas o prueba funcional, y al intervalo cada el cual se realiza esta tarea se lo llama intervalo de búsqueda de fallas, o FFI, por sus siglas en inglés (Failure Finding Interval). **(Fibertel, 2007)**.

Frecuencia de tareas a condición (mantenimiento predictivo), Debe existir alguna condición física identificable que anticipe la ocurrencia de la falla. Además de existir un claro síntoma de falla, el tiempo desde el síntoma hasta la falla funcional debe ser suficientemente largo para ser de utilidad. La frecuencia de una tarea a condición se determina entonces en función del tiempo que pasa entre el síntoma y la falla. **(Fibertel, 2007)**

Frecuencia de tareas de sustitución cíclica (mantenimiento preventivo), Una tarea de sustitución cíclica solo es válida si existe un patrón de desgaste. Es decir, si existe una edad en la que aumenta rápidamente la probabilidad condicional de la falla. La frecuencia de la tarea de sustitución depende de esta edad, llamada vida útil. **(Fibertel, 2007)**

Frecuencia de tareas detectivas (búsqueda de fallas), El intervalo con el que se realiza la tarea de búsqueda de fallas (mantenimiento detectivo) se denomina FFI (Failure Finding Interval).

Existe una relación entre este intervalo y la disponibilidad del dispositivo de protección. Pueden utilizarse herramientas matemáticas para calcular esta relación, y fijar el FFI que logre la disponibilidad objetivo. **(Fibertel, 2007)**

Rediseño, Se rediseña el equipo para eliminar la causa de la falla, si una falla ocurre más de una vez. Es por esto que para aquellos cambios de diseño cuyo objetivo es evitar fallas, suele ser más conveniente evaluar previamente si existe alguna otra forma de manejar las fallas sin necesidad de recurrir al cambio de diseño. En la mayoría de las empresas las sugerencias de cambios de diseño suelen sobrepasar la capacidad de la empresa de llevar adelante estos cambios. Por lo tanto, debe existir un filtro que permita distinguir aquellos casos donde el rediseño es justificado y recomendable de aquellos casos donde no lo es. A su vez, en muchos casos los rediseños introducen otras falla cuyas consecuencias también deben ser evaluadas. Es por todo esto que generalmente el rediseño debe ser seleccionado como última opción. **(Fibertel, 2007)**

Una estrategia de mantenimiento es la decisión que adoptan los responsables de la gestión de una planta para dirigir su mantenimiento, haciendo que un grupo de tareas sean la base de la actividad de mantenimiento, y el resto de tareas esté supeditadas a ese tipo básico de tareas. Así, existen al menos cinco estrategias de mantenimiento:

- Estrategia correctiva, en la que la reparación de averías es la base del mantenimiento.
- Estrategia condicional, en la que es la realización de determinadas observaciones y pruebas la que dirige la actividad de mantenimiento.
- Estrategia sistemática, en la que el mantenimiento se basa en la realización de una serie de intervenciones programadas a lo largo de todo el año en cada uno de los equipos que componen la instalación.
- Estrategia de alta disponibilidad, en la que se busca tener operativa la instalación para producir el máximo tiempo posible, y por tanto, las tareas de mantenimiento han de agruparse necesariamente en unos periodos de tiempo muy determinados, con poca afección a la producción.
- Estrategia de alta disponibilidad y fiabilidad, en la que no solo se confía el buen estado de la instalación a la realización de tareas de mantenimiento, sino que es necesario aplicar otras técnicas en otros campos (la ingeniería, el análisis de averías, etc.) para garantizar simultáneamente una

alta disponibilidad y una alta fiabilidad de las previsiones de producción. **(Garrido, 2012)**

Análisis de Criticidad, Es una metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos, en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones. Para realizar un análisis de criticidad se debe: definir un alcance y propósito para el análisis, establecer los criterios de evaluación y seleccionar un método de evaluación para jerarquizar la selección de los sistemas objeto del análisis. **(Reliabilityweb, 2016)**

Emprender un análisis de criticidad tiene su máxima aplicabilidad cuando se han identificado al menos una de las siguientes necesidades:

- Fijar prioridades en sistemas complejos
- Administrar recursos escasos
- Crear valor
- Determinar impacto en el negocio
- Aplicar metodologías de confiabilidad operacional

El análisis de criticidad aplica en cualquier conjunto de procesos, plantas, sistemas, equipos y/o componentes que requieran ser jerarquizados en función de su impacto en el proceso o negocio donde formen parte. Sus áreas comunes de aplicación se orientan a establecer programas de implantación y prioridades en los siguientes campos:

- Mantenimiento
- Inspección
- Materiales
- Disponibilidad de planta
- Personal

Mantenimiento, Al tener plenamente establecido cuales sistemas son más críticos, se podrá establecer de una manera más eficiente la prioritización de los programas y planes de mantenimiento de tipo: predictivo, preventivo, correctivo, detectivo e inclusive posibles rediseños

al nivel de procedimientos y modificaciones menores; inclusive permitirá establecer la prioridad para la programación y ejecución de órdenes de trabajo.

Inspección, El estudio de criticidad facilita y centraliza la implantación de un programa de inspección, dado que la lista jerarquizada indica donde vale la pena realizar inspecciones y ayuda en los criterios de selección de los intervalos y tipo de inspección requerida para sistemas de protección y control (presión, temperatura, nivel, velocidad, espesores, flujo, etc.), así como para equipos dinámicos, estáticos y estructurales.

Materiales, La criticidad de los sistemas ayuda a tomar decisiones más acertadas sobre el nivel de equipos y piezas de repuesto que deben existir en el almacén central, así como los requerimientos de partes, materiales y herramientas que deben estar disponibles en los almacenes de planta, es decir, podemos sincerar el stock de materiales y repuestos de cada sistema y/o equipo logrando un costo optimo de inventario.

Disponibilidad de planta, Los datos de criticidad permiten una orientación certera en la ejecución de proyectos, dado que es el mejor punto de partida para realizar estudios de inversión de capital y renovaciones en los procesos, sistemas o equipos de una instalación, basados en el área de mayor impacto total, que será aquella con el mayor nivel de criticidad.

Personal, Un buen estudio de criticidad permite potenciar el adiestramiento y desarrollo de habilidades en el personal, dado que se puede diseñar un plan de formación técnica, artesanal y de crecimiento personal, basado en las necesidades reales de la instalación, tomando en cuenta primero las áreas más críticas, que es donde se concentra las mejores oportunidades iniciales de mejora y de agregar el máximo valor.

Criterios empleados en el análisis de criticidad:

- Frecuencia de falla: son las veces que falla cualquier componente del sistema.
- Impacto operacional: es el porcentaje de producción que se afecta cuando ocurre la falla.

- Nivel de producción manejado: es la capacidad que se deja de producir cuando ocurre la falla.
- Tiempo promedio para reparar: es el tiempo para reparar la falla.
- Costo de reparación: costo de la falla
- Impacto en seguridad: posibilidad de ocurrencia de eventos no deseados con daños a personas.
- Impacto ambiental: posibilidad de ocurrencia de eventos no deseados con daños al ambiente. **(Reliabilityweb, 2016).**

Análisis modal de fallos y efectos (AMFE), es un procedimiento de análisis de fallos potenciales en un sistema de clasificación determinado por la gravedad o por el efecto de los fallos en el sistema. Es utilizado habitualmente por empresas manufactureras en varias fases del ciclo de vida del producto, y recientemente se está utilizando también en la industria de servicios. Las causas de los fallos pueden ser cualquier error o defecto en los procesos o diseño, especialmente aquellos que afectan a los consumidores, y pueden ser potenciales o reales. El término análisis de efectos hace referencia al estudio de las consecuencias de esos fallos. **(Leansolutions, 2016)**

Modo de falla, es una causa de falla o una posible manera en la que un sistema puede fallar. Cuando un sistema tiene muchas maneras posibles de fallar, tiene múltiples modos de falla o riesgos que compiten. Mientras más complejo es un sistema, más modos de falla tendrá. **. (Los Autores.)**

Efectos de falla, Es un breve descripción de "qué pasa cuando la falla ocurre". Los efectos de falla deben indicar claramente cuál es la importancia que tendría la falla en caso de producirse. **. (Los Autores.)**

Fallas ocultas, es una falla funcional que no es evidente por sí misma al equipo operativo bajo circunstancias normales de operación. **. (Los Autores.)**

Monitoreo de condición, es el proceso que consiste en determinar el estado de la maquinaria durante su funcionamiento. El uso correcto de este programa permite reparar los componentes

problemáticos antes de que se produzca una falla. El monitoreo de condición no sólo ayuda al personal de la planta a reducir la posibilidad de una falla catastrófica, sino que le ayuda además a encargar sus piezas por adelantado, programar la mano de obra y planificar otras reparaciones durante las paradas. **(Los Autores.)**

Análisis de Causa Raíz (ACR o RCA en sus siglas en inglés), es un método para la resolución de problemas que intenta evitar la recurrencia de un problema o defecto a través de identificar sus causas. Es utilizado en la solución efectiva de problemas, con el que se evalúa toda la cadena de hecho hasta identificar las causas raíces y las soluciones efectivas para evaluar o mitigar sus efectos. **(Los Autores.)**

Mantenimiento Basado en Condición (CBM en sus siglas en inglés), La tarea básica del CBM es detectar lo más prematuramente posible la aparición de un fallo potencial, cuanto antes se detecte la presencia de una falla, más tiempo se tiene para planificar y programar la intervención de mantenimiento que no se hará más a intervalos tipo si no en función de la necesidad. Se dispone una serie de técnicas como, análisis de vibración, análisis de aceites, termografía, ultrasonidos, entre otros. **(Los Autores.)**

Gestión de Activos, Son actividades y prácticas sistemáticas coordinadas a través de las cuales una organización administra de manera óptima y sostenible sus activos y sistemas de activos, su desempeño, riesgos y costos asociados durante su ciclo, con el propósito de alcanzar su plan estratégico operacional. **(Los Autores.)**

RCM2, (Mantenimiento centrado en confiabilidad) Reliability Centered Maintenance, por sus siglas en inglés, es una metodología para determinar los requerimientos de mantenimiento de los activos físicos en su contexto operacional, permite definir de forma sistemática las estrategias de mantenimiento para equipos, sistemas y activos, llevando a las organizaciones a mejorar la confiabilidad de sus instalaciones con mejores resultados en aspectos de seguridad, medioambientales y de productividad. **(Fibertel, 2007)**

Confiabilidad: Se define como la probabilidad de que un equipo o sistema opere sin falla por un determinado período de tiempo, bajo unas condiciones de operación previamente establecidas. **(Jimenez, 2011).**

Confiabilidad Operacional: Es la capacidad de una instalación o sistema (integrados por procesos, tecnología y gente), para cumplir su función dentro de sus límites de diseño y bajo un contexto operacional específico. **(Los Autores.)**

Disponibilidad: Es la capacidad de un activo o componente para estar en un estado (arriba) para realizar una función requerida bajo condiciones dadas en un instante dado de tiempo o durante un determinado intervalo de tiempo, asumiendo que los recursos externos necesarios se han proporcionado. Es decir, cuando hablamos de confiabilidad el componente trabaja continuamente durante un periodo de tiempo dado, en otras palabras la función del componente no se interrumpe, el componente se pone en operación (arriba) y se mantiene arriba. Por otra parte cuando hablamos de disponibilidad el componente es puesto arriba en un instante dado y no importa lo que pase después, la función del componente puede ser interrumpida sin ningún problema. **(Jimenez, 2011)**

Tiempo medio hasta falla (MTTF), Es el promedio de tiempo esperado para que ocurra la primera falla en un equipo. **(Los Autores.)**

Tiempo medio entre fallas (MTBF), Es el promedio de tiempo entre ocurrencia de fallas en un equipo. **(Los Autores.)**

Tiempo medio para reparar (MTTR), Es el tiempo promedio para restaurar el equipo a un condición específica. **(Los Autores.)**

Mantenibilidad, como la capacidad (o probabilidad si hablamos en términos estadísticos), bajo condiciones dadas, que tiene un activo o componente de ser mantenido o restaurado en un periodo de tiempo dado a un estado donde sea capaz de realizar su función original nuevamente, cuando el mantenimiento ha sido realizado bajo condiciones prescritas, con procedimientos y medios adecuados. Esto quiere decir, que si un componente tiene un 95% de Mantenibilidad en una hora,



entonces habrá 95% de probabilidad de que ese componente sea reparado exitosamente en una hora. Es definida por la ISO/DIS 14224. **(Jimenez, 2011).**

Diagrama de Decisión, Este diagrama es el elemento unificador de toma de decisiones analizando, para cada elemento de la instalación, sus modos de fallo. Está dividido en cuatro módulos interconectados entre sí, en los que mediante una serie de preguntas se avanza por el diagrama hasta llegar a una decisión final, que en cada caso es única. **(Los Autores.)**

Hoja de trabajo de información, La información necesaria para la realización de un análisis se recoge en el documento llamado hoja de información. En esta hoja se debe informar de los siguientes datos:

- Elemento a estudiar.
- Funciones que realiza.
- Fallos de dichas funciones.
- Modo de fallo (Causa del fallo).
- Efectos de los fallos (Qué sucede cuando falla).

Una gran parte del éxito de este sistema se basa en tener las hojas de decisión perfectamente cumplimentadas, antes de pasar a la siguiente fase del análisis. En esta fase es fundamental la aportación del personal de operación, mantenimiento y de los técnicos de los fabricantes de los equipos.

Hoja de trabajo de decisión, Este documento sirve de resumen de la aplicación del Diagrama de Decisión sobre cada uno de los modos de fallo detallados en la Hoja de Información. Una vez llegado a una decisión, se establecen las tareas a realizar, la frecuencia de dichas tareas y el responsable de ejecutarlas. En definitiva, se establece la estrategia de mantenimiento para ese activo. **(Delgado, 2010)**

Patrones de Falla, Cada patrón representa la probabilidad de falla en función del tiempo. Existen 6 tipos de patrones de falla:

- Patrón A, donde la falla tiene alta probabilidad de ocurrir al poco tiempo de su puesta en servicio (mortalidad infantil), y al superar una vida útil identificable.
- Patrón B, o "curva de desgaste".
- Patrón C, donde se ve un continuo incremento en la probabilidad condicional de la falla.
- Patrón D, donde superada una etapa inicial de aumento de la probabilidad de falla el elemento entra en una zona de probabilidad condicional de falla constante.
- Patrón E, o patrón de falla aleatorio.
- Patrón F, con una alta probabilidad de falla cuando el equipo es nuevo seguido de una probabilidad condicional de falla constante y aleatoria. **(Fibertel, 2007)**.

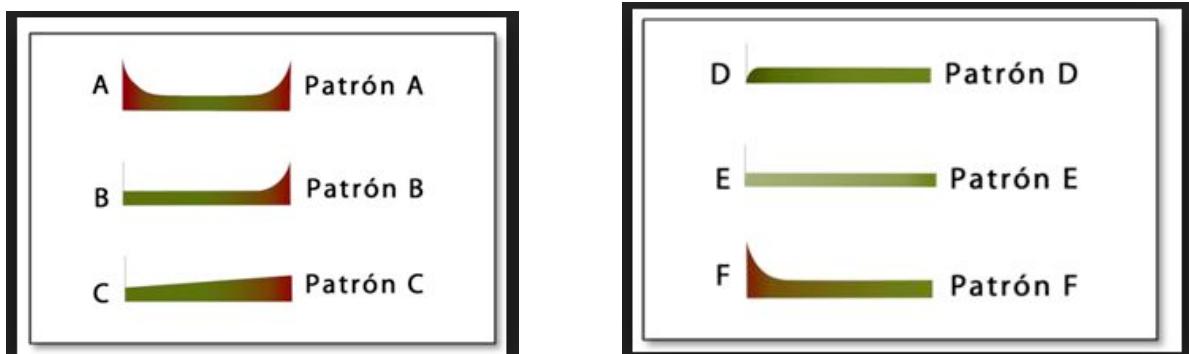


Figura 2: Patrones de falla

Fuente: John Moubray, Reliability Centered Maintenance RCM

## 5.2 ESTADO DEL ARTE

- En el año 2010, en la Universidad ECCI, Sede Bogotá D.C, en el programa de Posgrados Especialización en Gerencia de Mantenimiento, los ingeniero López Leidi y Ballesteros Fidel, presentaron un plan de mantenimiento preventivo para la flota de vehículos de la empresa Tracto Carga, donde llevaron a cabo el desarrollo de un plan de mantenimiento preventivo que diera como resultado el beneficio de la disponibilidad, confiabilidad y reducción tanto de costos como de tiempos muertos durante la operación, todo esto fue útil para presentar una propuesta e implementarla en toda la flota de vehículos de la compañía.

- En el año 2012, en la Universidad ECCI, Sede Bogotá D.C, en el programa de Posgrados Especialización en Gerencia de Mantenimiento, La ingeniera Rodríguez Rodríguez Nelcy Yaneth, presento una propuesta de un plan de mantenimiento basado en estrategias de RCM, para los sistemas de seguridad electrónica de radio base de telefonía móvil; donde definió un plan de mantenimiento útil para empresas de operadores de servicios móviles, donde busca tener una confiabilidad e incrementar ahorros en la compañía por la eliminación de falas y tener seguridad de ofrecer un servicio de calidad.

- En el año 2006, los ingenieros Camilo Andrés Castro Moreno y María Soledad Sánchez Arias de la Universidad de la Salle, en su trabajo: ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL DISTRITO DE RIEGO DEL MUNICIPIO DE NEMOCÓN, para optar por el título de ingeniero civiles, describen que para el mantenimiento de estos distritos; “... se debe desarrollar un recorrido en el cual se encuentran válvulas reguladoras de caudal, válvulas de purga y ventosas que son estos accesorios los que permiten un adecuado funcionamiento, pero que a su vez requieren de un mantenimiento periódico, para generar una conducción correcta hacia el tanque de almacenamiento, ubicado en la vereda el perico, [...] se debe tener un buen mantenimiento de todas las estructuras para evitar problemas más adelante”.

- En el año 2012, las ingenieras Leidy Jhoana Agudelo Moreno y Viviana Pino Manquillo, en su trabajo de grado para obtener el título en ingeniería agrícola, de la Universidad del Valle:

DISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE UN MINI-DISTRITO DE RIEGO PARA LOS CORREGIMIENTOS LA PALMA Y TRES PUERTAS, MUNICIPIO DE RESTREPO (VALLE DEL CAUCA), describen, “Un mini-distrito de riego es una infraestructura física conformada por pequeñas obras de ingeniería, que son utilizadas para dotar con riego superficies que no excedan las 500 ha, ubicadas en áreas urbanas y peri-urbanas de escasos recursos económicos donde predominan las actividades productivas a pequeña escala; [...] además de ser una infraestructura organizacional que por medio de la administración, operación y mantenimiento, se encarga del manejo del flujo de agua a través de la red de riego y drenaje”.

- En Mayo de 2016 en el trabajo de investigación, BENEFICIOS ASOCIADOS A LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO EFICIENTE DEL DISTRITO DE RIEGO Y DRENAJE FÚQUENE - CUCUNUBÁ, los ingenieros Oscar Rodrigo Zambrano Garnica y Omar Mohamed Amin Mendizabal, de la ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO, para la obtención del título en la especialización en economía para ingenieros, demuestran que, “Después de las inundaciones 2010-2011 se hizo evidente la importancia que tiene el adecuado mantenimiento y operación del distrito, frente a fenómenos de variabilidad climática como la niña, que en el citado año implicó 46.193 bovinos desplazados, 11.820 hectáreas inundadas y 9’700.530 litros de leche mensuales que se dejaron de producir “. [...] “ El proyecto busca demostrar que se puede obtener mayor eficiencia y beneficios, si el mantenimiento de las estructuras hidráulicas del distrito, es realizado en las condiciones propuestas en el proyecto objeto de evaluación (En este caso especial se considera una asociación de usuarios y/o de productores pecuarios de la región)”.

- En la EVALUACIÓN DE LAS TENDENCIAS Y LOS CAMBIOS EN EL DESEMPEÑO DE LA IRRIGACIÓN: EL CASO DEL DISTRITO DE RIEGO DE SAMACÁ, COLOMBIA. los ingenieros Charlotte de Fracture y Carlos Garcés Restrepo del Instituto Internacional del manejo del Agua, desarrollan criterios de viabilidad en los gastos de mantenimiento y operación, con el fin de dar un costo justo al usuario final, de acuerdo al área del predio que se está regando, “... estudios en la región Andina sobre los impactos de la transferencia del manejo del riego de las agencias del gobierno a las Asociaciones de Usuarios, que fueron creadas específicamente para tomar la responsabilidad de la Operación y Mantenimiento de los sistemas de riego”.

- Las ingenieras Angélica Patricia Romero Gómez y Lilian Astrid Jolianis N, en su tesis de la Universidad Industrial de Santander, PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN EN CONFIABILIDAD PARA EL SISTEMA ELÉCTRICO DE BAJA TENSIÓN QUE SUMINISTRA ENERGÍA A LOS POZOS PRODUCTORES PERTENECIENTES A LA SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES DE MARES, desarrollaron un modelo de seguimiento, a los modos y efectos de fallas, y las consecuencias que estas repercuten en los activos; de la mano con los operarios y técnicos a cargo de la planta para todos los activos de la planta. En conclusión argumentan “... que el RCM por sí solo no garantiza las metas propuestas al mantenimiento, es necesario que todo el personal esté involucrado en dicha tarea”. Año 2011 Universidad Industria de Santander, Gerencia de Mantenimiento.

- En la tesis para el grado de Especialista Gerencia de Mantenimiento, la ingeniera Adriana María Ruíz Acevedo, en el trabajo con título MODELO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN LAS FACILIDADES DE PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO, realiza una clasificación de los equipos críticos, con seguimientos, bitácoras, frecuencias, técnicas predictivas para el buen desarrollo de la actividad de mantenimiento; con las buenas practicas redujeron significativamente el consumo de horas en prácticas correctivas, reducción de costos y la alimentación de sus archivos de mantenimiento, con el diligenciamiento de lecciones de aprendidas.

- El Ingeniero Agrícola Julio Cesar Arango Tobón, en su MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO PARA LOS SISTEMAS DE RIEGO EN LADERA de 1998, de la Universidad Nacional de Colombia “Sede Medellín”, nos describe que las capacitaciones, el manual de operación y mantenimiento para las personas encargadas son de vital importancia para el buen funcionamiento de estos sistemas y cita “...Las instrucciones del manual de operación y mantenimiento se destinarán a La Junta Administradora del Sistema de Riego. No obstante es la persona o personas encargadas del funcionamiento y conservación del sistema, quien será o serán los responsables de su aplicación. Por tanto será necesario encomendar la función de operación y mantenimiento a personas responsables que aseguren un trabajo eficiente”.

- Los magister, MSc. Enrique Cisneros Zayas; MSc. Reinaldo Cun Gonzales; y la DR.c. Carmen Duarte Díaz. COMO MEJORAR LA OPERACIÓN DE LOS SISTEMAS DE RIEGO UTILIZADOS PARA LA PRODUCCIÓN DE HORTALIZAS EN CONDICIONES DE AGRICULTURA URBANA, describen que, “... El objetivo de este trabajo es mostrar algunos resultados obtenido en evaluaciones de campo del funcionamiento de estos sistemas y transmitir explotación de los sistemas de riego. [...] Como parte del proyecto bases ambientales para la sostenibilidad alimentaria local (basal), se muestran algunas de las experiencias obtenidas para las condiciones de cuba en cuanto al empleo de sistemas de riegos en la producción de hortalizas que promuevan el uso eficiente del agua y la mejora en la operación de los mismos”.

- El manual de las buenas practicas de riego, PROPUESTAS DE WWF PARA UN USO EFICIENTE DEL AGUA EN LA AGRICULTURA, Publicado en octubre de 2009 por WWF/Adena (Madrid, España), recomienda que, “...Una buena práctica de riego un manejo tal del recurso que permite la perduración del agua en el tiempo, en suficiente cantidad y calidad. [...] España defiende en primer lugar el mantenimiento de los cultivos tradicionales de secano, como el olivar y el viñedo, y el cese de las transformaciones a regadío, es necesario promover buenas prácticas en las superficie en riego existentes para mejorar la eficiencia en el uso de un recurso cada vez más escaso”.

- El Ingeniero Juan Carlos Sevilla Gildemeister, el Programa subsectorial de irrigaciones - psi y el Ministerio de agricultura riego, en su publicación, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN EN LADERAS, depositado en la Biblioteca Nacional del Perú, plantean que, “... la operación y mantenimiento es garantizar un riego eficiente y conservar en las mejores condiciones de funcionamiento las obras que conforman el sistema de riego tecnificado. [...] Tanto la operación como el mantenimiento que se establezca debe ser sistemático y minucioso, las reparaciones deben ser ejecutadas a tiempo y deben ser de buena calidad. Las reparaciones que se efectúen deben restablecer el rendimiento original tanto en capacidad como en función y asegurar su trabajo duradero”.

- La Dirección de Información de la FAO, La organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación, en sus informes sobre temas hídricos, EL RIEGO EN AMÉRICA

LATINA Y EL CARIBE EN CIFRAS, del año 2000, describen que, “En Colombia ... implementa medidas para involucrar a los usuarios desde la fase de diseño a la ejecución y posterior operación y mantenimiento de dichas infraestructuras, estableciendo el pago por parte de los mismos de una parte de los costos totales. Tratando de volver más eficiente el proceso, reduciendo costos, estableciendo funciones y creando los organismos de coordinación de políticas, de financiación y de ejecución”.

- En el año 2014, en la publicación, MANEJO Y DISTRIBUCIÓN DEL AGUA EN DISTRITOS DE RIEGO: BREVE INTRODUCCIÓN DIDÁCTICA, los señores Edmundo Pedroza González y Gustavo A. Hinojosa Cuéllar, del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, dan una introducción al manejo de los distritos de riego, donde enfatizan que, “En este documento se tiene la intención fundamental de acercar a todas las personas interesadas en el manejo del agua, operación y mantenimiento de los distritos de riego, porque tienen poca o nula información previa al respecto, a los aspectos básicos y elementales de las actividades, los objetivos y la infraestructura de dichos distritos ...”.

### 5.3 MARCO LEGAL

Para el desarrollo e implementación de un distrito de riego en el territorio nacional es importante tener en cuenta leyes, normatividades y requerimientos para las partes que intervienen en la fase de desarrollo del mismo. Estos proyectos son financiados por el estado y regulados por entes gubernamentales. Por lo general estos entes gubernamentales (INCODER, ICA, INDERENA) son quienes instauran el proyecto en un comunicado público y disponen de un fondo nacional, quien sea el encargado de manejar y administrar el dinero de recurso público, para la concepción del proyecto (FONADE, FINDETER, Fondo de Adaptación). Existen otras entidades con el mismo objeto pero regulan disposiciones de otro tipo recursos, los cuales sin estos no habría tal fin, el clima, el suelo e hidrología del país lo regula el INAT.

## LEYES:

La Constitución Política Colombiana compete de ciertas leyes que legislan todos aquellos proyectos que buscan, actúan e intervienen en la organización del sistema de adecuación de tierras.

- La Ley 41 de 1993, da un marco general de ciertas disposiciones de acuerdo al desarrollo y alcance del proyecto, entre los cuales están:

- Disposiciones Generales
- Usuarios del distrito
- Organismos ejecutores
- Organismos de financiación
- Recuperación de inversiones

- Decreto 1594 de 1984, usos del agua y residuos líquidos, disposición de aguas superficiales, subterráneas, marinas, estuarinas, incluidas las aguas servidas.

- Decreto 182 de 1968, reglamentación del uso de aguas, operación, conservación y mantenimiento de los distrito de riego y avenamiento.

## NORMATIVIDAD

Por medio de la elaboración de guías ambientales da como resultado la aplicación de políticas de producción más limpias, implementadas por el Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, las cuales están dirigidas a la mitigación y reducción de los impactos y riesgos a los seres humanos, recursos naturales y el medio ambiente; con el fin de garantizar calidad de vida social y la protección a los recursos naturales. La optimización del agua, minimizar el impacto producido por la descarga de vertimientos a drenajes naturales (ríos, quebradas, cuencas, etc.) y adoptar tecnologías agropecuarias son los fines que busca el desarrollo de los distritos de riego. Aquellas normas que intervienen y regulan diversos aspectos, son las siguientes:



- Ley 23 de 1973: por medio de esta ley se establece el control del medio ambiente, se establecen alternativas y estrategias para la conservación y recuperación de los recursos naturales.

- Decreto – ley 2811 de 1974 Código de los Recursos Naturales y de Protección al Medio Ambiente.

- Ley 09 de 1979 Código Sanitario Nacional, descarga de residuos.

- Ley 99 de 1993, en esta ley se logra concretar en un solo documento las normas y principios en la formulación de políticas ambientales a nivel nacional.

- Ley 663 de 2000, trata del gasto público y faculta al ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial para cobrar por los servicios suministrados en la evaluación y seguimiento de proyectos.

Decreto 1728 de 2002, de acuerdo a la ley 99 de 1993 sobre las licencias y estudio ambientales. (INAT, 2013).

#### REQUERIMIENTOS:

- Todo distrito de riego que se desarrolla en el país es supervisado por el estado y tiene que ir acompañado por programas de socialización a la población.

- El fondo de adaptación realiza un estudio al área de desarrollo, con el fin de determinar la afectación al entorno (social, cultural, agropecuario, etc), y así da viabilidad y considera un primer estudio de factibilidad al distrito de riego.

- La socialización del proyecto con toda la comunidad involucrada, propietarios, poseedores y demás personas que tengan título catastral, sobre los predios contemplados en el proyecto.

• Proyectos para el desarrollo y sostenibilidad del medio ambiente, todas aquellas actividades que involucren el riego, suministro de las afluentes hídricas, cultivos, irrigación y tipos de sembrados, drenajes naturales, etc. **(INAT, 2013)**.

## 6. TIPO DE INVESTIGACIÓN.

TIPO DE INVESTIGACIÓN	CARACTERÍSTICAS
• Histórica	Analiza eventos del pasado y busca relacionarlos con otros del presente.
• Documental	Analiza la información escrita sobre el tema objeto de estudio.
• Descriptiva	Reseña rasgos, cualidades o atributos de la población objeto de estudio.
• Correlacional	Mide grado de relación entre variables de la población estudiada.
• Explicativa	Da razones del por que de los fenómenos.
• Estudios de caso	Analiza una unidad específica de un universo poblacional.
• Seccional	Recoge información del objeto de estudio en oportunidad única.
• Longitudinal	Compara datos obtenidos en diferentes oportunidades o momentos de una misma población con el propósito de evaluar cambios.
• Experimental	Analiza el efecto producido por la acción o manipulación de una o mas variables independientes sobre una o varias dependientes.

La investigación documental, es aquella que se realiza a través de la consulta de documentos (libros, revistas, periódicos, memorias, anuarios, registros, códigos, constituciones, etc.). La de campo o investigación directa es la que se efectúa en el lugar y tiempo en que ocurren los fenómenos objeto de estudio. La investigación mixta es aquella que participa de la naturaleza de la investigación documental y de la investigación de campo. **(Zorrilla ,1993:43)**

## 7. DISEÑO METODOLÓGICO

Esta investigación se desarrolla de acuerdo a la revisión y estudio de diferentes Distritos de Riego desarrollados en Colombia, con el fin de analizar y determinar los aspectos de orden que tratan el tema de mantenimiento en los activos de los mismos.

Como base documental se tendrán en cuenta los Distritos de Riego de:

- Distrito de Riego Triangulo del Tolima (Tolima)
- Distrito de Riego Pamplonita (Santander)
- Distrito de Riego Ranchería y San Juan (La Guajira)

Estos distritos son tenidos en cuenta de acuerdo a su tamaño (extensión topográfica), ya que es de importancia y es vital para el desarrollo de la investigación.

Como diseño inicial del procedimiento metodológico, se presentan sus fases de acuerdo al desarrollo y proceso del mismo, las cuales están relacionadas entre si:

### PRIMERA FASE: PLANIFICACIÓN DE LA PROPUESTA

- El caso de la investigación se inicia de acuerdo a la actualidad Colombiana, el proceso de PAZ. Se desarrolla y plantea el tema con respecto a los antecedentes y a los desarrollos tecnológicos que se han implementado en la práctica, luego se realizó una evaluación para la viabilidad del proyecto.

- La búsqueda de las fuentes de información primaria, a las cuales se recurre para realizar los análisis y planteamiento del problema, bibliografía sobre el tema de investigación, elaboración cuidadosa de una primera investigación, los recursos necesarios (tangibles e intangibles) para el desarrollo previo de la investigación.

- Se realiza una socialización de conceptos técnicos entre los integrantes de la investigación, con el fin de contextualizar y estar en la misma sintonía. Por último dar cuerpo al área del problema, se redactan objetivos, y se empieza con la profundización del marco teórico.

La duración de esta primera fase es de 3 semanas.

## SEGUNDA FASE: RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN

- Consiste en “el trabajo de campo”, revisión de la documentación de los distritos de riego señalados, los cuales se escogen por criterios de condiciones geográficas y extensión topográfica de los proyectos; con el fin de identificar y determinar los temas de propuesta de la investigación, toda aquella información que incurra y trate sobre los activos mantenibles de un sistema de riego por aspersión y goteo.

- Se toma en consideración los activos mantenibles del distrito de riego, cabe aclarar que estos activos son todos aquellos que intervienen en el pleno desarrollo de la función propia del riego (tuberías, accesorios,) y no tiene nada que ver con estructuras civiles (cajas de inspección, man holes, alcantarillas, canales de drenaje, etc) e instalaciones de manutención (casinos, oficinas).

- Elaborar un listado y clasificación de los activos mantenibles, y con base en catálogos de fabricantes; se consulta, ciclo de vida, actividades de mantenibilidad, costos, etc. Información para empezar a realizar la clasificación de los activos.

Duración de la fase: 3 semanas.

## TERCERA FASE: ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN, GENERACIÓN DE LA PROPUESTA Y CONCLUSIONES

Esta última fase comprende el análisis de la información recopilada, de acuerdo con todos los alineamientos determinados por parte de los investigadores. Desarrollo y generación del

entregable de la propuesta para ser considerada en el desarrollo de un distrito de riego, con las características de estudio y generar un valor agregado al producto final del proyecto.

- Desarrollo de los informes de criticidad de los activos, rutinas de mantenimiento.
- Informe de la propuesta de plan de mantenimiento realizado sobre la metodología RCM2.
- Entrega del informe de resultados y conclusiones para dar soporte de valides y viabilidad de la propuesta.

Duración de la fase: 1 semana

## 7.1 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

En el desarrollo de la propuesta de mantenimiento se definen los componentes y elementos que contienen un distrito de riego por goteo y aspersión.

De acuerdo con el listado general de los activos que componen dichos sistemas de riego, se consideran variables propias para establecer el comportamiento de efectividad del mismo, en la función principal para desarrollar la tarea propuesta en el sistema de riego; de acuerdo a los parámetros requeridos en el diseño del cultivo. Los diferentes cultivos agrícolas (clases de sembrados) no manejan los mismos criterios entre ellos, es decir, no es lo mismo diseñar un sistema de riego para plátano que uno de frutas; de acuerdo a esto se enuncian variables para esta primera consideración:

- Relieve y topografía del suelo: este concepto se refiere a la consideración lo planitud del terreno, es importante porque de aquí se empieza a determinar el caudal y las velocidades del flujo hidráulico, en donde intervienen activos como bombas.
- Tipo de suelo: son las propiedades hidrofísicas que tiene el terreno (absorción y arrastre de agua).
- Presión y caudal de la entrega de agua: la entrega de caudal de la red principal a la cual se está prendiendo la cometida del sistema de riego.
- Tipo de cultivo: clase de sembrado agrícola, todos son diferentes de acuerdo al tiempo de riego y flujo del mismo. De aquí la consideración para la capacidad del tipo de aspersor o cinta de goteo.
- Diseño del sistema de riego: confiere a la modalidad de riego (Goteo y/o Aspersión). Los activos que implementa cada sistema.

- Disposición de la entrega de la toma de agua: de acuerdo a la topografía y al caudal de entrega de la red principal, se calcula del diámetro de la toma predial (válvula de regulación). Del mismo modo hay otras consideraciones para tener en cuenta en la selección de los activos de un sistema de riego, de acuerdo a otras variables propias del mismo diseño.

Es de vital importancia que todas aquellas técnicas, prácticas, rutinas y procedimientos de mantenimiento que se vayan a desarrollar, se tenga en cuenta los criterios de diseño de operación en el sistema de riego, ya que para el correcto desarrollo de esta actividad sobre la extensión de terreno adoptada, se tienen en cuenta variables que inciden directamente sobre el activo y la calidad del mismo en el desarrollo de la tarea.

- Características del activo de riego: aspersor o cinta de goteo; de acuerdo al tiempo de operación del sistema de riego, se considera el tipo de aspersor y/o longitud y diámetros de los orificios de la cinta de goteo.
- Características de la operación del sistema: es decir la frecuencia de riego diario en el cultivo agrícola, tiempos de regado, cantidad de válvulas por sector de riego, la simultaneidad de operación entre diferentes sectores de riego, entre otras consideraciones propias del diseño agrícola.
- Frecuencia y demanda de riego: de acuerdo al tipo de cultivo agrícola se calculan demandas y frecuencias dentro del diseño agrícola, de aquí el tipo y robustez de los activos en los procesos de riego.

El sistema de riego se dividió en dos partes que lo componen con el fin de separar la rigurosidad de disposición de los activos, es decir, la primera parte confiere a la distribución principal de la red hidráulica (conducción) y la segunda parte a la acometida de riego dentro de cada predio (riego predial).

Se condensa esta información en un listado con la descripción del activo y si es prescindible realizar actividades de mantenimiento. La selección de los activos para mantenimiento se evalúa de acuerdo con los siguientes criterios:

- La intervención y afectación de falla en el sistema.
- La disponibilidad, cambio y reemplazo del repuesto.
- El costo de operación por presentarse la falla en el activo.
- La mantenibilidad del activo.

No todos los activos son propios de actividades de mantenimiento, hay elementos que se dejan correr a falla (run to fail), porque es más conveniente por costo, disposición e intervención de operarios, un cambio o reemplazo del activo. Así como hay activos que no se le hacen tareas, hay otros que se les hace un seguimiento con un criterio no tan importante, representa un tipo de valor agregado pero no son críticos, en vez de eso se dan prioridades a elementos que si están directamente involucrados, y afectan el desarrollo pleno de la actividad propia del sistema de riego. De acuerdo a la tabla se manejan tres abreviaturas para describir este evento:

- NM: No mantenimiento.
- SM: Seguimiento. Activo supervisado en función del tiempo para ser cambiado (tuberías y algunos accesorios).
- AM: Activos con mantenimiento.



Tabla 1: *Activos de riego conducción*

<i>ACTIVOS DE RIEGO CONDUCCIÓN</i>	
<i>DESCRIPCIÓN</i>	<i>MTTO</i>
<i>TUBERÍA CCP- PRESIÓN 200 psi</i>	<i>AM</i>
<i>TUBERÍA GRP- RIGIDEZ 2500 - PN 16- DN 800</i>	<i>AM</i>
<i>TUBERÍA BIORIENTADA - RDE 37</i>	<i>AM</i>
<i>TUBERÍA PVC- RDE 21</i>	<i>AM</i>
<i>CINTURONES DE CIERRE PARA TUBERÍA CCP</i>	<i>AM</i>
<i>UNIONES GRP - RIGIDEZ 2500 - PN 16 - DN 800</i>	<i>AM</i>
<i>SISTEMA VÁLVULA CONTROL - TIPO MARIPOSA</i>	<i>AM</i>
<i>SISTEMA VÁLVULA DE SECCIONAMIENTO - TIPO MARIPOSA</i>	<i>AM</i>
<i>SISTEMA VÁLVULA DE SECCIONAMIENTO - TIPO BOLA</i>	<i>AM</i>
<i>SISTEMA VÁLVULA REDUCTORA DE PRESIÓN</i>	<i>AM</i>
<i>DERIVACIÓN BRIDADA CCP</i>	<i>AM</i>
<i>DERIVACIÓN BRIDADA GRP</i>	<i>AM</i>
<i>TEE HD - EXTREMOS LISOS</i>	<i>SM</i>
<i>TEE PVC - UNIÓN MECÁNICA</i>	<i>SM</i>
<i>BUJE SOLDADO PVC</i>	<i>SM</i>
<i>REDUCCIÓN CCP</i>	<i>AM</i>
<i>REDUCCIÓN GRP</i>	<i>AM</i>
<i>REDUCCIÓN HD -EXTREMOS LISOS</i>	<i>SM</i>
<i>SALIDA BRIDADA - BOCA DE ACCESO CCP</i>	<i>AM</i>
<i>SISTEMA DE PURGA EN TUBERÍA CCP</i>	<i>AM</i>
<i>SISTEMA DE PURGA EN TUBERÍA GRP</i>	<i>AM</i>
<i>SISTEMA DE PURGA EN TUBERÍA PVC</i>	<i>AM</i>
<i>SISTEMA DE VENTOSA EN TUBERÍA CCP</i>	<i>AM</i>
<i>SISTEMA DE VENTOSA EN TUBERÍA GRP</i>	<i>AM</i>
<i>SISTEMA DE VENTOSA EN TUBERÍA PVC</i>	<i>AM</i>
<i>CODO EXTREMOS LISOS - TUBERÍA CCP</i>	<i>AM</i>
<i>CODO EXTREMOS LISOS - TUBERÍA GRP</i>	<i>AM</i>
<i>CODO EXTREMOS LISOS - TUBERÍA HD</i>	<i>SM</i>
<i>CODO PVC</i>	<i>SM</i>
<i>TOMA A PRESIÓN</i>	<i>SM</i>

<i>Tabla 2: Activos de riego por goteo</i> <i>ACTIVOS DE RIEGO POR GOTEO</i>	
<i>DESCRIPCIÓN</i>	<i>MTTO</i>
<i>CAPTACIÓN</i>	
<i>TOMA PREDIAL Ø</i>	<i>AM</i>
<i>VÁLVULA CHEQUE Ø</i>	<i>SM</i>
<i>UNIDAD DE FILTRADO</i>	
<i>FILTRO ANILLAS Ø, 140 MESH. PLÁSTICO</i>	<i>AM</i>
<i>TUBERÍA PVC-U, RDE 41 Ø</i>	<i>SM</i>
<i>UNIVERSAL PVC ROSCADA Ø</i>	<i>NM</i>
<i>CODO 90° PVC Ø</i>	<i>NM</i>
<i>ADAPTADOR MACHO PVC Ø</i>	<i>NM</i>
<i>UNIDAD DE FERTILIZACIÓN</i>	
<i>TUBERÍA Y ACCESORIOS PARA CONDUCCIÓN</i>	
<i>TUBERÍA PVC-U, RDE 41 Ø</i>	<i>SM</i>
<i>TEE PVC Ø</i>	<i>NM</i>
<i>CODO 45° PVC Ø</i>	<i>NM</i>
<i>CODO 90° PVC Ø</i>	<i>NM</i>
<i>ADAPTADOR MACHO PVC Ø</i>	<i>NM</i>
<i>TAPÓN ROSCADO PVC Ø</i>	<i>NM</i>
<i>TUBERÍA Y ACCESORIOS PARA SECTORES DE RIEGO</i>	
<i>TUBERÍA PVC-U, RDE 26 Ø</i>	<i>SM</i>
<i>TEE PVC Ø</i>	<i>NM</i>
<i>CODO 90° PVC Ø</i>	<i>NM</i>
<i>CODO 45° PVC Ø</i>	<i>NM</i>
<i>UNIÓN PVC Ø</i>	<i>NM</i>
<i>ADAPTADOR MACHO PVC Ø</i>	<i>NM</i>
<i>ADAPTADOR MACHO PVC Ø</i>	<i>NM</i>
<i>TAPÓN ROSCADO PVC Ø</i>	<i>NM</i>
<i>BUJE SOLDADO PVC</i>	<i>NM</i>
<i>BUJE SOLDADO PVC</i>	<i>NM</i>
<i>BUJE ROSCADO PVC</i>	<i>NM</i>
<i>VÁLVULAS DE CONTROL</i>	
<i>VÁLVULA Ø, PVC SOLDADA</i>	<i>SM</i>
<i>REGULADOR DE PRESIÓN -2 A 20 GPM Y 10 PSI Ø</i>	<i>SM</i>
<i>VÁLVULA ALIVIO DE AIRE Ø SIMPLE EFECTO</i>	<i>SM</i>
<i>EMISIÓN - LÍNEA DE RIEGO</i>	
<i>CINTA DE GOTEO EMISORES C/0.6 m, 2,01 LPH, 10PSI, Ø, CALIBRE 8 MIL</i>	<i>SM</i>
<i>TUBERÍA DE POLIETILENO Ø</i>	<i>AM</i>
<i>CONJUNTO SILLETA Y CONECTOR Ø</i>	<i>AM</i>
<i>CONECTOR CINTA X MANGUERA Ø</i>	<i>AM</i>
<i>UNIÓN CINTA X CINTA Ø</i>	<i>SM</i>
<i>MOVIMIENTO DE TIERRAS</i>	
<i>SURCOS DE RIEGO</i>	<i>AM</i>

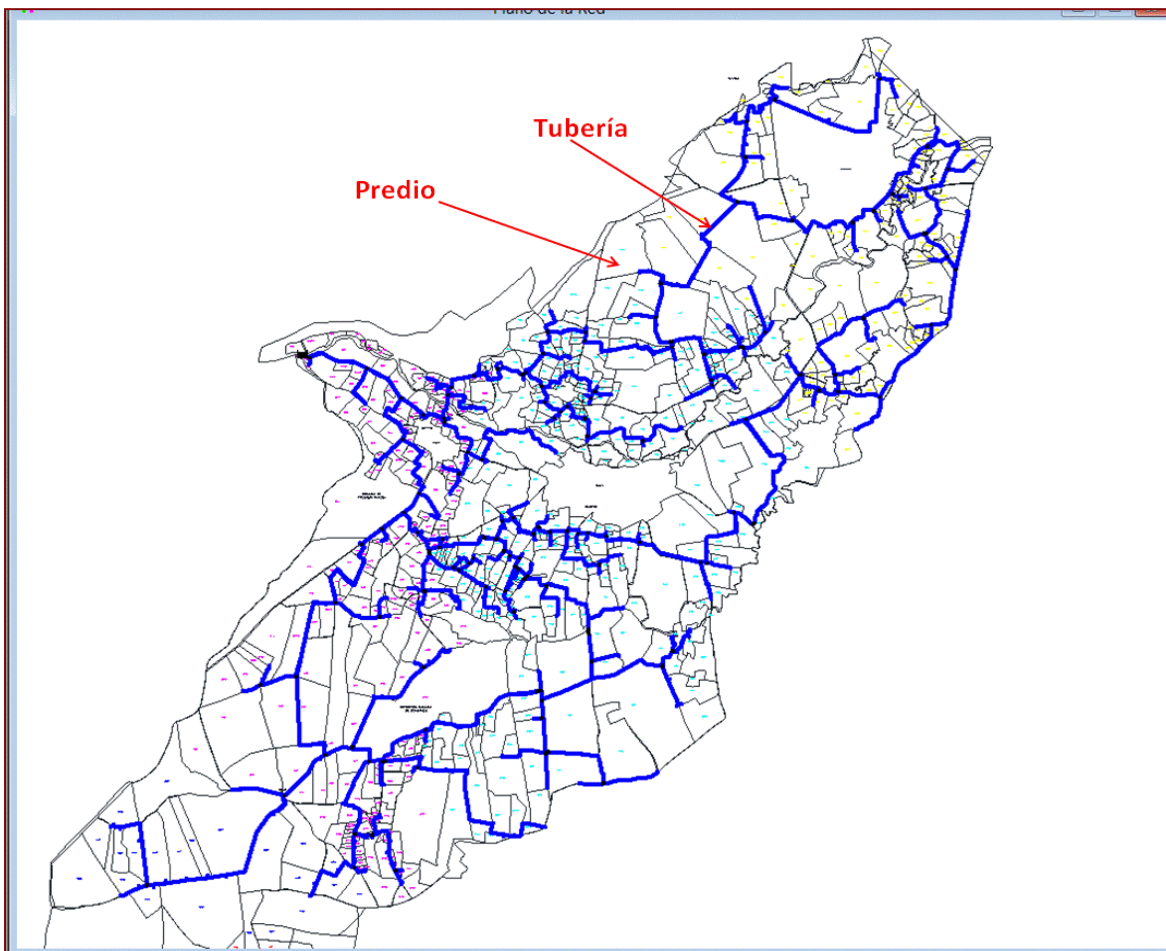
<i>Tabla 3: Activos de riego por aspersión</i>	
<i>ACTIVOS DE RIEGO POR ASPERSIÓN</i>	
<i>DESCRIPCIÓN</i>	<i>MTTO</i>
<i>CAPTACIÓN</i>	
<i>TOMA PREDIAL Ø</i>	<i>AM</i>
<i>TUBERÍA Y ACCESORIOS PARA CONDUCCIÓN</i>	
<i>TUBERÍA PVC-U, RDE 51 Ø</i>	<i>SM</i>
<i>TUBERÍA PVC-U, RDE 51 Ø</i>	<i>SM</i>
<i>TEE Ø= PVC, RADIO CORTO</i>	<i>SM</i>
<i>TEE REDUCIDA DE PVC, RADIO CORTO</i>	<i>SM</i>
<i>REDUCCIÓN DE PVC, RADIO CORTO</i>	<i>SM</i>
<i>CODO 90 PVC RADIO CORTO</i>	<i>SM</i>
<i>CODO 90 PVC</i>	<i>SM</i>
<i>CODO 45 PVC, RADIO CORTO</i>	<i>SM</i>
<i>UNIÓN Ø, PVC</i>	<i>SM</i>
<i>BRIDA Ø PVC, EMPAQUE Y TORNILLOS</i>	<i>SM</i>
<i>BRIDA Ø PVC, EMPAQUE Y TORNILLOS</i>	<i>SM</i>
<i>VÁLVULAS DE CONTROL</i>	
<i>VÁLVULA CHEQUE Ø</i>	<i>SM</i>
<i>HIDRANTES</i>	
<i>HIDRANTE ALUMINIO CON BRIDA, Ø</i>	<i>AM</i>
<i>ALA DE RIEGO</i>	
<i>TOMAS PARA HIDRANTES</i>	
<i>TOMA PARA HIDRANTE CON UNA SALIDA Ø</i>	<i>AM</i>
<i>MÚLTIPLES Y LATERALES</i>	
<i>MANGUERA PVC PLANA LAY FLAT Ø AZUL</i>	<i>AM</i>
<i>MANGUERA PVC PLANA LAY FLAT Ø AZUL</i>	<i>AM</i>
<i>ACCESORIOS DE CONEXIÓN</i>	
<i>ACOPLE BOLA Ø</i>	<i>SM</i>
<i>ACOPLE BOLA Ø, CON SALIDA</i>	<i>SM</i>
<i>ACOPLE BOLA Ø, SIN SALIDA</i>	<i>SM</i>
<i>ACOPLE CAMPANA Ø</i>	<i>SM</i>
<i>ACOPLE CAMPANA Ø</i>	<i>SM</i>
<i>TEE CON SALIDA EN LÍNEA</i>	<i>SM</i>
<i>CODO 90° REDUCIDO</i>	<i>SM</i>
<i>TAPÓN FINAL Ø</i>	<i>SM</i>
<i>EMISIÓN: ASPERSOR</i>	
<i>ASPERSOR : Ø, Q=xx l/s, P=xx m, Ø HÚMEDO= xx, m</i>	<i>AM</i>
<i>CARRETE, TRÍPODE PARA ASPERSOR Y ACCESORIOS DE CONEXIÓN</i>	<i>AM</i>

Antes de empezar con los criterios de mantenimiento para los activos, es importante señalar que la instalación y disposición de los mismos en el área a instalar, se debe ejecutar de la manera más adecuada y con el personal técnico capacitado para tal tarea; de aquí aspectos para ser tenidos en cuenta en el momento de instalación y montaje de los activos del sistema de riego:

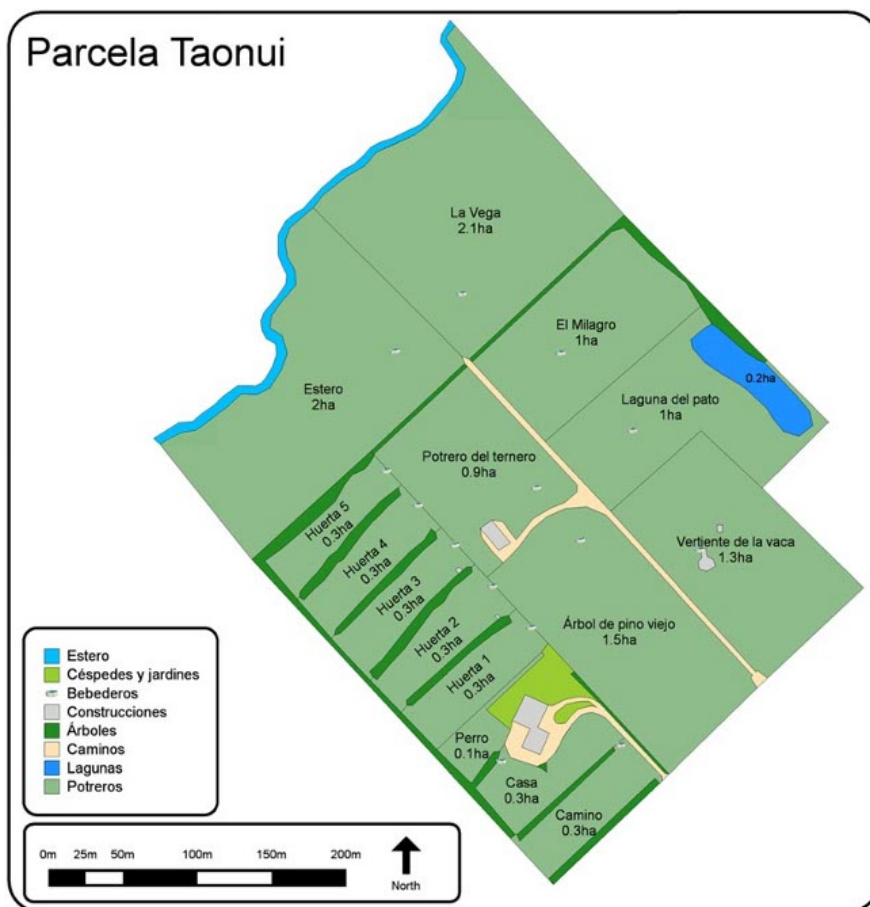
- Criterios de instalación de la tubería primaria, la profundidad de entierro de la tubería según el tipo de tubería, CCP (diámetros de 30" a 48") mayor a 1.50 m, GRP (diámetros de 14" a 28") mayor a 1.20 m y tubería PVC debe estar al menos a 1.00 m de profundidad del terreno.
- Las tuberías secundarias, es decir, las que se desprenden de la red principal al menos deben de estar a 0.80 m del terreno natural.
- Las tuberías presentan fallas por obstrucción de material de sedimentación del agua, es importante que las obras civiles externas (sedimentadores, caída vertical, filtros naturales) estén en óptimas condiciones.
- Los equipos de bombeo y succión presentan problemas por obstrucción de cuerpos extraños presentes en el flujo de agua.
- Los filtros son importantes en el buen manejo del sistema de riego, los cabezales principales de filtración y filtros automáticos, presentan problemas por la presencia de los cuerpos extraños que van en el flujo del agua.
- Válvulas de regulación y control del flujo, las fallas que presentan daños en sus émbolos por el extremo cambio de la temperatura del ambiente.
- Las manguera de tipo LAY-FLAT, algunos técnicos caen en el error de enterrar la manguera, con el fin de evitar que vehículos la pisen en el momento de operación del sistema, este es perjudicial pues las tareas de mantenimiento sobre la misma no son óptimas.

## 7.2 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.

De acuerdo a la información obtenida de los activos a propuesta de actividades de seguimiento y ejecución de tareas del sistema de riego, se consideraron dos metodologías del análisis de mantenimiento por RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad), entre las cuales están el análisis de criticidad y el procedimiento de análisis de falla funcional del activo.



*Figura 3. Distrito de riego Ranchería (La Guajira)  
Fuente: Consorcio Ranchería*



*Figura 4: Riego predial*  
*Fuente: Dibujo modelación FielMap*

## ANÁLISIS DE CRITICIDAD

Es una metodología que permite identificar jerarquías en los activos, instalaciones, sistemas, equipos y elementos de un equipo; con el fin de identificar severidad en las fallas funcionales, afectación en producción, costos, medio ambiente, seguridad, etc. Además es una fuente de información para identificar los puntos críticos en los activos de una compañía y apoyar la toma de decisiones para administrar mejor los esfuerzos en la gestión del mantenimiento.



*Figura 5. Análisis de criticidad*  
*Fuente: proyecto de criticidad para una planta de algodón*

La categoría de frecuencia, corresponde al tiempo de fallo del sistema y/o componente en números, siendo 1 el menor intervalo y 5 el máximo permitido.

La categoría de consecuencias, corresponde a la disciplina involucrada, categorizada de la siguiente manera:

- Personal
- Administrativa
- Producción
- Costos
- HSE

La categorización de impacto, está representada por los colores.

## FUNCIÓN OPERACIONAL

El primer paso del RCM es el asegurar que el activo cumpla con su función o funciones operacionales; de acuerdo con esto se realiza un listado de la funciones de cada uno de los activos para mantenimiento del sistema de riego, de acuerdo con los parámetros técnicos y ficha técnica del producto y/o componente. En el caso del distrito de riego, se quiso dividir en dos sistemas, para lograr una mejor criterio para escoger los activos a intervenir, Conducción y Riego predial.

La conducción es la que trae el flujo de agua del sitio de abastecimiento (presa, tanque de almacenamiento, río, etc.), allí es donde están los sistemas y tuberías de gran diámetro, donde es importante especificar y dar mayor atención a la actividad de mantenimiento, pues donde las fallas presentes en el equipo pueden ser críticas.

El Riego predial empieza en la toma predial, es donde empieza la acometida para el predio del usuario, allí están las tuberías y accesorios de riego para el cultivo, elementos que son críticos pero que su mantenimiento no necesita mucha especialidad.

A continuación se muestran los activos de los sistemas descritos:

Tabla 4: *Clasificación de activos de los sistemas.*

Elemento	Funciones	Componente
Conducción		
Bombas	Succionar e impulsar el flujo de agua a la conducción principal de la tubería.	Bombas
Tubería CCP Tubería GRP Tubería Biaxial Tubería PVC	Suministrar el fluido hidráulico de la red principal de la conducción. Soportar la presión del fluido	Tuberías



Cinturones de cierre para tubería CCP	Ajustar la tubería CCP entre acoples o uniones de fijación.	Unión tubería conducción
Uniones GRP	Permitir el acople entre las tuberías GRP.	

Tabla 4: *Clasificación de activos de los sistemas.*

Elemento	Funciones	Componente
Conducción		
Sistema de válvula de control	Control el caudal de agua de la red principal en el sistema de riego.	Válvulas de conducción
Sistema de válvula de seccionamiento	Seccionar el caudal del flujo entre los diferentes ramales de las tuberías del sistema de riego.	
Sistema de válvula reductora de presión	Reducir y controlar la presión del flujo en la tubería principal.	
Derivación bridada CCP y GRP	Conectar entre ramales las tuberías CCP y GRP	Accesorios de tubería para conexión
Reducción CCP y GRP	Conectar entre tuberías CCP y GRP	
Salida bridada CCP	Conectar entre tuberías CCP. Acoplar terminales de tubería CCP con otro material de tuberías	
Codos Tubería CCP y GRP	Unión y acople de tuberías CCP y GRP.	

Sistema de Purga	Evacuar aire presente en la tubería, cuando el sistema de la conducción está cerrado. Regular y supervisar la presión de aire dentro del sistema presurizado.	Sistema de Purga
Sistema de ventosa	Regular la cantidad de aire presente en la tubería. Crear vacío en la tubería para evitar el efecto de golpe de ariete en la tubería.	Sistema de ventosa

Tabla 4: *Clasificación de activos de los sistemas.*

Elemento	Funciones	Componente
Riego Predial		
Toma predial	Suministrar a los predios el flujo de agua para el sistema de riego.	Toma predial
Filtros	Filtrar material de sedimentación y partículas extrañas en el agua en las tuberías.	Filtros
Tubería polietileno (emisión)	Conducir el agua a los dispositivos de emisión de agua.	Tubería predial
Conjunto conector (silleta, conector, manguera)	Conectar las tuberías con el múltiple de mangueras de riego.	

Surcos de riego	Transportar el agua por todo el sembrado.	Surcos
Conjunto hidrante (toma y conector)	Entregar el agua a la tubería LAY-FLAT	Tubería de riego en cultivo
Manguera	Conducir el agua a los elementos de riego.	
Aspersores	Regar el agua.	Aspersor
Carrete, trípode para aspersor	Soportar el aspersor.	

De acuerdo al cuadro anterior hay activos que su función operacional y criterios de mantenimiento son básicamente los mismos, estos se unieron en componentes para que en el momento de realizar las actividades de mantenimiento, se hagan con el mismo criterio, pues como ya se mencionó son similares.

## ANÁLISIS DE LAS FALLAS

El proceso de análisis de fallas se clasifica en tres pasos donde se analiza las formas de las fallas, las causas y los efectos de estas.

El primer paso de esta metodología consiste en determinar los fallos funcionales, los cuales definen la incapacidad del activo en desarrollar su función operacional. Este fallo funcional se puede presentar de dos formas, la incapacidad total de que el activo desempeñe su función operacional y una función ineficaz donde hay una pérdida parcial de su función operacional.

En el segundo paso es hallar los modos de falla, los cuales son los efectos causantes de una falla funcional; es importante ser preciso con las posibilidades de falla, ya que en ocasiones se cae en preguntas sin soluciones puntuales. Las mejores fuentes de información para desarrollar este punto, son los operarios, especialistas que han intervenido en la máquina.

El tercer paso los efectos de la falla, es lo que puede llegar a pasar en caso tal de que se presente la falla; estos efectos de falla se deben redactar tal y cual ocurren es importante condensar de esta manera la información, con el fin de ser precisos cuando esto ocurra.

En las tablas que se muestra a continuación, se desglosa la información de cada uno de los sistemas:

Tabla 5: Hoja de Trabajo de Información de RCM para Bombas.

SISTEMA: Conducción		COMPONENTE: Bomba	
Función	Falla funcional	Modo de falla	Efectos de falla
Succión y bombeo del fluido hidráulico	No succiona ni bombea.	No hay succión ni bombeo la bomba está apagada.  No genera vacío.  No hay succión la manguera está obstruida.	Sin fluido eléctrico la bomba no funciona.  Sin vacío no hay succión, se revisa alguna posible falla de la presurización del componente.  No hay flujo de agua a la tubería de conducción, por ende no hay riego.

Tabla 6: Hoja de Trabajo de Información de RCM para Tuberías.

SISTEMA: Conducción		COMPONENTE: Tuberías	
Función	Falla funcional	Modo de falla	Efectos de falla
Conducir el flujo de agua.	No transporta el agua.	No da presión de agua. Está rota la tubería.	Hay partículas extrañas, sedimentación.  Partículas extrañas y elementos que aloja el agua, han ocasionado deterioro en la tubería.

Tabla 7: Hoja de Trabajo de Información de RCM para Uniones de Tuberías

SISTEMA: Conducción		COMPONENTE: Unión Tubería de conducción	
Función	Falla funcional	Modo de falla	Efectos de falla
Acoplar los sistemas y componentes de tuberías.	<p>No acopla</p> <p>No hay hermeticidad.</p>	<p>Terminales estriadas.</p> <p>Operación inadecuada.</p> <p>Fugas.</p> <p>Grietas.</p>	<p>En el momento de la instalación, no se hace con la suficiente pericia y maltrata la terminal del accesorio.</p> <p>Al ser una tubería de gran dimensión, en la instalación se producen golpes que afectan la circunferencia de acople.</p> <p>Hay pérdida de fluido, presión, y humedad en el área de alojamiento de la tubería.</p> <p>Deformación del accesorio.</p>

Tabla 8: Hoja de Trabajo de Información de RCM para Válvulas

SISTEMA: Conducción		COMPONENTE: Válvulas de conducción	
Función	Falla funcional	Modo de falla	Efectos de falla
Apertura y cierre	No cierra ni abre  No controla el flujo de agua.	Atasco del embolo.  Obstrucción del dispositivo de sello	No hay flujo de agua en las tuberías. No se controla el flujo de agua en las tuberías.  Cierra con alto grado de operación.  Es imposible hacer la operación en la manija o llave de manipulación.  El flujo de agua es constante y no hay forma de reducir o bajar el flujo.

Tabla 9: Hoja de Trabajo de Información de RCM para Accesorios de tubería para conducción

SISTEMA: Conducción		COMPONENTE: Accesorios de tubería para conducción	
Función	Falla funcional	Modo de falla	Efectos de falla
Acoplar	No acopla	No hay unión entre los accesorios.	Se dificulta en el momento de hacer la instalación entre acometidas.  Hay fugas en la unión de los accesorios.

Tabla 10: Hoja de Trabajo de Información de RCM para Sistema de purga

SISTEMA: Conducción		COMPONENTE: Sistema de purga	
Función	Falla funcional	Modo de falla	Efectos de falla
Purgar la tubería de conducción.	No purga.	Válvula obstruida.	Difícil operación en la apertura de la válvula.
Medir presión de aire en la tubería.		By-pass obstruido.	No sale el flujo de agua. El flujo de agua es interrumpido y resopla por aire presente en la tubería.
Eliminar vacío en la tubería de conducción.	No mide el manómetro.	Tubería obstruida. Daño Manómetro. Válvula pegada.	No hay presión de flujo. Lectura de presión errónea. Exceso en la lectura de presión.
	No funciona el sistema.	Tubería obstruida.  By-pass taponado.  Empaquetadura de la válvula dañada.	No hay flujo de agua ni aire. No existe presión alguna al abrir. Esta directo el flujo de agua y hay ruidos extraños en la tubería.  No corta ni abre el flujo de agua y su presión no es estable.



Tabla 11: Hoja de Trabajo de Información de RCM para Sistema de purga

SISTEMA: Conducción		COMPONENTE: Sistema de ventosa	
Función	Falla funcional	Modo de falla	Efectos de falla
Succionar el aire en la tubería.	No hay succión.	Empaquetadura de la válvula dañada.	Al tocar no se siente movimiento en la válvula. No se activa el diafragma de la válvula.
Vaciar aire al exterior presente en la tubería.	No evacua aire al ambiente.	Tubería obstruida.  Válvula defectuosa.	Ruidos extraños en la tubería. Golpe de ariete. Explotar la tubería.  Acumulación de presión en la tubería. Golpe de ariete. Explosión de tubería. Lecturas erróneas de los instrumentos de medición de presión. Sobre-presión del sistema.

Tabla 12: Hoja de Trabajo de Información de RCM para Toma predial

SISTEMA: Riego Predial		COMPONENTE: Toma predial	
Función	Falla funcional	Modo de falla	Efectos de falla
Distribuir el agua al predio.	No distribuye.	Esta tapada la toma.	No hay flujo. Suena en el momento de activarla.
	No mantiene el caudal adecuado.	Válvula sucia.	El caudal y presión de agua no son adecuados. Hay intermitencias en el suministro de agua.

Tabla 13: Hoja de Trabajo de Información de RCM para Toma Filtros

SISTEMA: Riego Predial		COMPONENTE: Filtros	
Función	Falla funcional	Modo de falla	Efectos de falla
Filtrar elementos extraños.	No filtra.	Filtro sucio.	No hay flujo de agua en el sistema.
		Material de filtrado roto.	Flujo intermitente. Exceso de presión. Agua sucia.

Tabla 14: Hoja de Trabajo de Información de RCM para Tubería predial

SISTEMA: Riego Predial		COMPONENTE: Tubería predial	
Función	Falla funcional	Modo de falla	Efectos de falla
Transportar el agua.	No transporta el agua	Tubería rota. Tubería maltratada. Tubería tapada.	No hay flujo de agua. Poca presión de agua. Flujo intermitente del agua.

Tabla 15: Hoja de Trabajo de Información de RCM para Surcos

SISTEMA: Riego Predial		COMPONENTE: Surcos	
Función	Falla funcional	Modo de falla	Efectos de falla
Circular agua al cultivo.	No hay transporte de agua.	Surco sedimentado. Surco maltratado o pisado.	No hay presencia de agua en él. No hay presencia del surco en el suelo del terreno. No hay agua en el surco. Cultivo seco o con hojas de color amarillento. Terreno árido.

Tabla 16: Hoja de Trabajo de Información de RCM para Tubería de riego en cultivo

SISTEMA: Riego Predial		COMPONENTE: Tubería de riego en cultivo	
Función	Falla funcional	Modo de falla	Efectos de falla
Regar la planta.	No riega la planta.	Taponamiento de múltiple.  Se pisó el múltiple.	Hojas secas. No hay humedad en la planta.  No hay caudal suficiente de agua. Flujo intermitente. Zonas fuera del área de regado húmedas. Des calibración en el área de riego.

Tabla 17: Hoja de Trabajo de Información de RCM para Aspersores

SISTEMA: Riego Predial		COMPONENTE: Aspersor	
Función	Falla funcional	Modo de falla	Efectos de falla
Regar planta	No riega	Aspersor tapado.  Aspersor dañado.  Aspersor defectuoso.	No hay flujo de agua. No riega.  Área de riego des calibrada. Mayor o menor caudal de riego en la planta.  Riego intermitente. Hojas secas.

### 7.3 PROPUESTA DE SOLUCIÓN

La información que se presentara a continuación, sobre las tareas preventivas y predictivas que se van a realizar en el sistema de riego fueron tomadas de, Reliability-centered Maintenance (RCM) por John Moubray y del curso de Gerencia de Mantenimiento 2, formación en RCM2, inculcada por el docente Ingeniero Nelson Rojas, en la Universidad ECCI.

Para garantizar la cantidad y la calidad de agua para el sistema de riego se plantea dar soluciones concretas para el mantenimiento de los sistemas de riego, como se ha observado este tipo de sistemas están expuestos al deterioro, falla, y daños recurrentes. Se intenta demostrar los beneficios que pueden dar los procedimientos de prevención y reparación de los sistemas, aumentando la confiabilidad y el ciclo de vida de estos activos.

Las tareas proactivas son las que se ejecutan antes de que una falla ocurra y son propias del mantenimiento preventivo y del mantenimiento predictivo. Este tipo de tareas son técnicamente factibles si reducen las consecuencias asociadas con el modo de falla a un nivel aceptable para el usuario del activo.

Dependiendo de las consecuencias de los fallos que se pueden presentar en el sistema de riego, según el RCM2 y apoyados en el diagrama de decisiones que se explico anteriormente, se propondrá una hoja de decisión, para determinar si se justifica hacer mantenimiento preventivo o tomar otro tipo de acción, con el fin de evitar la ocurrencia de un modo de fallo.

Existen dos (2) categorías de tareas preventivas:

- Restauración o de reacondicionamiento cíclico: En las tareas de restauración los componentes se revisan y se reparan de acuerdo a las frecuencias que serán establecidas independientemente de su estado en ese momento.
- Sustitución cíclica: En esta tarea el activo o alguno de sus componentes debe ser reemplazado en frecuencias de tiempo previamente establecidas, independientemente de su estado en ese momento, para así garantizar el adecuado funcionamiento del activo.

La frecuencia con la cual se van a realizar las tareas de restauración o sustitución cíclica siempre van a depender de la edad, en la cual el elemento aumenta la probabilidad de falla. Este

tipo de tareas preventivas, se realizan sobre elementos que tienen fallas relacionadas con el deterioro en el tiempo, es decir que siempre tiene una relación directa entre la edad del componente y la posibilidad de falla.

Hay diferentes maneras de determinar si este tipo de tareas son viables, lo primero es que se debe garantizar es, que el elemento tiene una edad determinada en la cual las fallas empiezan a ocurrir, se por la hoja de vida del equipo o las recomendaciones del fabricante cuál es la vida útil del elemento y si la mayoría de elementos sobreviven a esa vida útil, si la tarea que se decide realizar sobre el activo restaura la capacidad inicial del componente, además de que el costo de realizar es viable económicamente para realizar el mantenimiento o si es mejor llevar el elemento a falla y que simplemente se realice un sustitución cíclica.

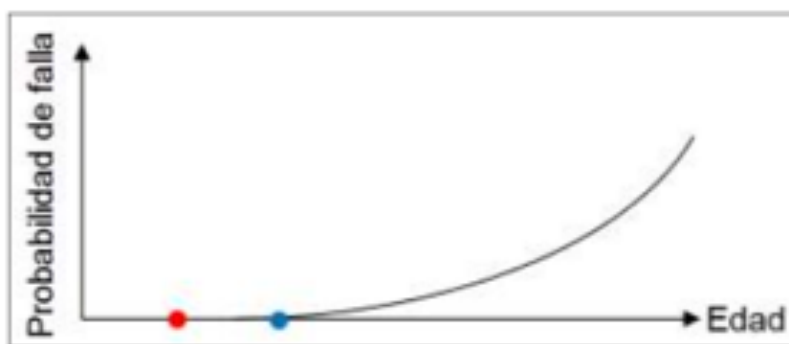


Figura 6: Probabilidad de de Falla vs Edad.

Fuente: RCM (John Moubray)

Como se demuestra en la Figura 6, el punto rojo es llamado límite seguro de vida este es referente para determinar la frecuencia de las tareas, y el punto azul es la edad en la cual las fallas empiezan a ocurrir y es conocido como límite económico de vida.

Las “tareas a falta de” son acciones que se toman sobre el activo cuando no se encuentran tareas proactivas viables para evitar una falla, estas se subdividen en tres partes las cuales resultan ser las acciones más comunes que se realizan sobre los activos:

- Las tareas de búsqueda de fallas: aplican cuando las consecuencias de un modo de falla son ocultas, las cuales sólo se presentan en los dispositivos de seguridad que protegen a otro elemento evitando que éste falle. Dichas tareas se encargan de chequear el componente protector

en intervalos regulares de tiempo para ver si ha fallado, de ser así, se cambia o arregla con el fin de que el elemento protegido no falle y no ocurra una falla múltiple.

- El mantenimiento no programado consiste en no realizar mantenimiento preventivo ni predictivo, dejando que la falla ocurra, esta opción sólo es válida si.
- El rediseño se refiere a un cambio en cualquier especificación del elemento, como por ejemplo, cambio de: lista de piezas, ubicación, máquina, prestación deseada,

Teniendo en cuenta las acciones que se pueden realizar sobre los actos que están en un sistema de riego, a través de hoja de decisión que será que se encuentra a continuación, se mostrarán las tareas de mantenimiento que se deben realizar y las consecuencias de cada modo de fallo de estas.

<i>C: consecuencia de falla</i>	<i>P: consecuencia operacional</i>
<i>O: consecuencia de falla oculta</i>	<i>N: consecuencia no operacional</i>
<i>S: consecuencia para la seguridad</i>	<i>N/A: no aplica</i>
<i>M: consecuencia para el medio ambiente</i>	<i>mtto: mantenimiento</i>

Figura 7. Tabla de Símbolos

Fuente. Universidad ECCI

\* El intervalo de tiempo que se indica es un intervalo inicial de prueba, dependiendo de los resultados que se obtengan, este intervalo se puede conservar, aumentar o disminuir, según el criterio de mantenimiento.

Tabla 18: Hoja de Decisión de Bombas

C	Modo de Falla	Tipo de Tarea	Tarea propuesta	Intervalo	Responsable
P	Acople de motor eléctrico bomba reventado	Sustitución Cíclica	Revisar el estado de el acople y el rodamiento	Trimestral	Técnico de Mantenimiento
P	Oxidación en la bomba	Reacondicionamiento Cíclico	Limpiar y raspar la oxidación, revestir con pintura epóxica.	Semestral	Técnico de Mantenimiento
P	Calibración de la bomba	Reacondicionamiento Cíclico	Verifique que las válvulas de admisión, de escape, sellos y aerosellos estén limpios.	Mensual	Técnico de Mantenimiento
P	Falla en la entrega del agua	Sustitución Cíclica	Reemplace la bomba de suministro y compruebe la alimentación.	Anual	Técnico de Mantenimiento
P	Baja compresión del motor	Reacondicionamiento Cíclico	Inspeccione que el filtro se encuentre limpio.	Mensual	Técnico de Mantenimiento
P	Corto circuito en el motor	Reacondicionamiento Cíclico	Monitoree las condiciones ambientales que pueden afectar al motor (Polvo, humedad, etc). Revisar ventilación del motor. Revisar conexiones y estado de cables.	Semanal	Técnico de Mantenimiento

Anexo 2: Hoja de Decisión RCM 2



Tabla 19: Hoja de Decisión de TUBERÍAS

C	Modo de Falla	Tipo de Tarea	Tarea propuesta	Intervalo	Responsable
Tubería CCP (Revestimiento de Concreto)					
P	Golpe de ariete	Reacondicionamiento Cíclico	Monitoree el caudal para vigilar aumentos de repentinos de presión.	Trimestral	Técnico de Mantenimiento
P	Fugas en las paredes de la tubería	Reacondicionamiento Cíclico	Mediante la comparación del espesor Monitoree las pérdidas de pared y determine el riesgo de fugas o fallas.	Anualmente	Técnico de Mantenimiento
P	Corrosión.	Sustitución Cíclica	Por medio de la resonancia acústica determine la sustitución del tramo o del tubo completo.	Cada 5 años	Técnico de Mantenimiento
P	Perdida del recubrimiento externo	Sustitución Cíclica	Inspeccione el recubrimiento del mortero el cual protege el cilindro y el refuerzo de acero.	Cada 5 años	Técnico de Mantenimiento

C	Modo de Falla	Tipo de Tarea	Tarea propuesta	Intervalo	Responsable
Tubería GRP (Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio)					
P	Fricción	Reacondicionamiento Cíclico	Inspecciones la intensidad del caudal del bombeo, para evitar pérdidas de energía.	Trimestral	Técnico de Mantenimiento
P	Golpe de ariete	Reacondicionamiento Cíclico	Monitoree el caudal para vigilar aumentos de repentinos de presión.	Trimestral	Técnico de Mantenimiento
P	Fugas en las paredes de la tubería	Reacondicionamiento Cíclico	Mediante la comparación del espesor Monitoree las pérdidas de pared y determine el riesgo de fugas o fallas.	Anualmente	Técnico de Mantenimiento
P	Acumulación de lodos.	Reacondicionamiento Cíclico	Limpie con el sistema de vibración interna y la boquilla a chorro	Cada 5 años	Técnico de Mantenimiento

C	Modo de Falla	Tipo de Tarea	Tarea propuesta	Intervalo	Responsable
Tubería PVC y BIAXIAL					
P	Fricción	Reacondicionamiento Cíclico	Inspecciones la intensidad del caudal del bombeo, para evitar pérdidas de energía.	Trimestral	Técnico de Mantenimiento
P	Acumulación de Bacterias	Reacondicionamiento Cíclico	Inyecte agua al tramo de Tubería para desinfectar, manteniendo destapada la salida. Dejar drenar para lavar la Tubería.	Semestral	Técnico de Mantenimiento
P	Fugas en las paredes de la tubería	Reacondicionamiento Cíclico	Mediante la comparación del espesor Monitoree las pérdidas de pared y determine el riesgo de fugas o fallas.	Anualmente	Técnico de Mantenimiento
P	Descamación o Corrosión	No se hace mtto proactivo.	Cambiar tramo de tubo cuando se corroa o sufra una descamación	N/A	Técnico de Mantenimiento
P	Tubo Roto	No se hace mtto proactivo.	Cambiar tubo cuando se rompa.	N/A	Técnico de Mantenimiento

Tabla 20: Hoja de Decisión de UNIONES DE TUBERÍAS DE CONDUCCIÓN

C	Modo de Falla	Tipo de Tarea	Tarea propuesta	Intervalo	Responsable
P	Espigas sucias, con grasa o arena, etc.	Reacondicionamiento Cíclico	Limpie las espigas de los tubos a fondo para eliminar cualquier tipo de suciedad.	Bimensual	Técnico de Mantenimiento
P	Juntas sucias	Reacondicionamiento Cíclico	Limpie meticulosamente las juntas del manguito para asegurarse de que están libres de suciedad y aceites.	Trimestral	Técnico de Mantenimiento
P	Falta de lubricación en las espigas	Reacondicionamiento Cíclico	Aplice una delgada capa de lubricante a las espigas desde el extremo del tubo hasta la posición de cierre de montaje sobre el tubo.	Semestral	Técnico de Mantenimiento
P	Desalineación de los tubos	No se hace mtto proactivo.	Empuje la espiga para la alineación de los tubos, debe realizarse sin brusquedades que puedan producir la expulsión de la junta de goma o su rotura, El esfuerzo necesario para el montaje puede variar en función de la cantidad de lubricante.	N/A	Técnico de Mantenimiento

Tabla 21: Hoja de Decisión de VÁLVULAS.

C	Modo de Falla	Tipo de Tarea	Tarea propuesta	Intervalo	Responsable
P	Orificios y membranas en las válvulas	Reacondicionamiento Cíclico	Es necesario realizar limpieza y chequeos en los orificios y membranas de las válvulas a solenoides e hidráulicas, sobre todo las que no vienen con protección.	Semanal	Técnico de Mantenimiento
P	Daños por alta presión provocados por un inadecuado punto de fijación del piloto en la primera operación.	Reacondicionamiento Cíclico	Libere totalmente el tornillo de ajuste del piloto antes de abrir el agua, y luego lentamente ajústelo hasta que la presión llegue al nivel requerido.	Puesta en marcha y después de la época fuera de temporada.	Técnico de Mantenimiento
P	Controles de niveles de presión de válvulas	Reacondicionamiento Cíclico	Ajuste los niveles de presión de las válvulas según corresponda con el diseño hidráulico.	Mensual	Técnico de Mantenimiento

P	Las válvulas de control no están permitiendo la operación automática del sistema de riego.	Sustitución Cíclica	La causa es que la regulación de las presiones no está funcionando de acuerdo al diseño hidráulico.	N/A	Técnico de Mantenimiento
P	Fuga de Agua de los tubos que entran y salen de la válvula.	Reacondicionamiento Cíclico	Verifique que los tubos y los componentes de control no estén dañados. Conecte los cables eléctricos del solenoide y los tubos de presión, de acuerdo al diseño.	Mensual	Técnico de Mantenimiento
P	Controles de niveles de presión de válvulas	Reacondicionamiento Cíclico	Ajuste los niveles de presión de las válvulas según corresponda con el diseño hidráulico.	Mensual	Técnico de Mantenimiento
N	Deterioro	Sustitución Cíclica	Los componentes de la válvula como la media, las mallas y los discos, sufren tengan desgaste, daño, corrosión.	Cada 3 o 4 años.	Técnico de Mantenimiento
N	Las válvulas dejan de operar por época fuera de temporada	Reacondicionamiento Cíclico	Verifique que los componentes interiores, la media, las mallas y los	Depende del clima, y el	Técnico de Mantenimiento

			discos, no tengan desgaste, daño, corrosión u otros signos de deterioro.	tiempo de cultivo.	
N	Las válvulas dejan de operar por época fuera de temporada	Reacondicionamiento Cíclico	Lubrique los pernos y ejes. Pinte o renueve el recubrimiento de protección que esté dañado.	Depende del clima, y el tiempo de cultivo.	Técnico de Mantenimiento
N	Las válvulas dejan de operar porque las temperaturas de invierno son menos a 0°	Reacondicionamiento Cíclico	Drene el agua del sistema para evitar que el aguase congele en su interior y quiebre los componentes.	Depende del clima	Técnico de Mantenimiento

Tabla 22: Hoja de Decisión de ACCESORIOS DE CONEXIÓN PARA TUBERÍAS.

C	Modo de Falla	Tipo de Tarea	Tarea propuesta	Intervalo	Responsable
P	Fractura en un accesorio.	No se hace mtto proactivo.	Corte el accesorio cerca de las juntas y sustituirlo con un accesorio de las mismas dimensiones que la parte extraída.	N/A	Técnico de Mantenimiento
P	Pérdida de la conexión embridada.	No se hace mtto proactivo.	Desmante el accesorio dañado y sustitúyalo por otro. Debe apretar los pernos de la junta embridada en incrementos siguiendo una secuencia diagonal.	N/A	Técnico de Mantenimiento
P	Fuga en codo.	No se hace mtto proactivo	Realice un revestimiento con abrazaderas mecánicas con junta de goma.	N/A	Técnico de Mantenimiento
P	Despresurización de Tubería.	No se hace mtto proactivo	Cubra la parte exterior de la zona defectuosa con un laminado para realizar una reparación provisional.	N/A	Técnico de Mantenimiento



Tabla 22: Hoja de Decisión de ACCESORIOS DE CONEXIÓN PARA TUBERÍAS.

C	Modo de Falla	Tipo de Tarea	Tarea propuesta	Intervalo	Responsable
P	Fisura en el tubo o el accesorio	No se hace mtto proactivo.	Seque la superficie con un calentador, prepare la mezcla de resina/endurecedor y humedezca la superficie fisurada con un rodillo o con un cepillo.	N/A	Técnico de Mantenimiento

Tabla 23: Hoja de Decisión de SISTEMA DE PURGA.

C	Modo de Falla	Tipo de Tarea	Tarea propuesta	Intervalo	Responsable
N	Congelación, expansión y se raja la tubería. (Preparar la purga)	No se hace mtto proactivo.	Realice el lavado del sistema abra las válvulas de purga en la línea principal, las líneas secundarias o regantes mientras se hallan bajo presión. Este proceso aumenta la velocidad del flujo del agua dentro de la tubería para limpiar de contaminantes las paredes internas y/o los filtros de los gotero arrastrando y eliminando de este modo los contaminantes hacia fuera del sistema.	Semestral, depende del clima, y el tiempo de cultivo.	Técnico de Mantenimiento

Tabla 24: Hoja de Decisión de SISTEMA DE VENTOSA.

C	Modo de Falla	Tipo de Tarea	Tarea propuesta	Intervalo	Responsable
P	Golpe de Ariete. Bombas de aire en las conducciones.	Reacondicionamiento Cíclico.	Elimine el aire en las conducciones, Estableciendo una adecuada y suficiente dotación de ventosas en los puntos necesarios, Instalando una ventosa cada 500-1.000 metros. En bombeo, antes de la válvula de retención, debe establecerse una adecuada y suficiente dotación de ventosas en los puntos necesarios.	Semestral	Técnico de Mantenimiento

Tabla 25: Hoja de Decisión de FILTROS

C	Modo de Falla	Tipo de Tarea	Tarea propuesta	Intervalo	Responsable
Filtros de Mallas					
P	Colador o bolsa de Nylon obstruida	Reacondicionamiento Cíclico	Limpie el colador del filtro de mallas con un cepillo suave, e inspeccione que no tenga agujeros pequeños. No utilice cepillos de hilos metálicos.	Semanal	Técnico de Mantenimiento
P	Arena encontrada en el filtro	Sustitución Cíclica	Mediante inspección se encontró arena en el filtro, el colector del filtro está roto. Cambiar colector.	Semestral	Técnico de Mantenimiento
P	Presión baja	Reacondicionamiento Cíclico	Lave el filtro de malla cuando la presión entre los 2 medidores baje de 5psi. (Están localizados antes y después de los filtros)	Trimestral	Técnico de Mantenimiento
P	Desgaste de paredes interiores	Reacondicionamiento Cíclico	Desmontar filtro a final de temporada para aplicar pintura anti óxido	Semestral	Técnico de Mantenimiento

C	Modo de Falla	Tipo de Tarea	Tarea propuesta	Intervalo	Responsable
Filtro de Arena					
P	Nivel de retro flujo demasiado alto	Reacondicionamiento Cíclico	Lavar completamente la arena del filtro, con esto de ajustara la válvula que restringe el retro flujo.	Trimestral	Técnico de Mantenimiento
P	Cantos redondeados	Sustitución Cíclica	Realizar una inspección y si se observa los cantos redondeados cambiar la arena del filtro.	Semestral	Técnico de Mantenimiento
P	Daño en el colector	Sustitución Cíclica	Cambiar colectores cuando se presenta cristalización.	Semestral	Técnico de Mantenimiento
P	Diferencia de presión normal	Reacondicionamiento Cíclico	Realizar un retro lavado cuando la diferencia de presión sobrepasa los 6 metros.	Trimestral	Técnico de Mantenimiento
P	Manómetro no aumenta su lectura	Reacondicionamiento Cíclico	Realizar retro lavados sucesivos y mover la arena para que se elimine la obstrucción, y disminuya la presión.	Semestral	Técnico de Mantenimiento
P	No se detecta disminución de presión entre los filtros.	Reacondicionamiento Cíclico	Cambiar el interruptor de diferencial de presión	Anual	Técnico de Mantenimiento

C	Modo de Falla	Tipo de Tarea	Tarea propuesta	Intervalo	Responsable
Filtro de Discos					
P	Deformación de los discos de los filtros	Reacondicionamiento Cíclico	Limpie los filtros de discos liberando los discos que están dentro de la válvula, lávelos con un cepillo suave. No libere los discos en forma completa. Esto evitará que queden sueltos.	Semanal	Técnico de Mantenimiento
P	Deformación de los discos de los filtros	Reacondicionamiento Cíclico	Limpie los filtros de discos liberando los discos que están dentro de la válvula, lávelos con un cepillo suave. No libere los discos en forma completa. Esto evitará que queden sueltos.	Semanal	Técnico de Mantenimiento

Tabla 26: Hoja de Decisión de TUBERÍA PREDIAL

C	Modo de Falla	Tipo de Tarea	Tarea propuesta	Intervalo	Responsable
P	Tubo Roto	No se hace mtto proactivo.	Cambiar tubo cuando se rompa, limpiar el intercambiador.	N/A	Técnico de Mantenimiento
P	Manguera Rota	No se hace mtto proactivo.	Revisar visualmente el estado de las mangueras, las que estén deterioradas cambiarlas.	Trimestral	Técnico de Mantenimiento
P	Empaque no sellan	Sustitución Cíclica	Revisar el estado de los empaques, cambiar los que estén deteriorados.	Anual	Técnico de Mantenimiento
P	Acoples reventados	Sustitución Cíclica	Revisar el estado del acople, cambiar los que estén deteriorados.	Anual	Técnico de Mantenimiento
P	Flujo de agua deficiente	Reacondicionamiento Cíclico.	Revisar que no haya obstrucciones en los pasos de agua.	Diario	Técnico de Mantenimiento

Tabla 27: Hoja de Decisión de TUBERÍA Y ACCESORIOS DE RIEGO DE CULTIVO.

C	Modo de Falla	Tipo de Tarea	Tarea propuesta	Intervalo	Responsable
P	Depósitos precipitados de carbonato de calcio y partículas finas.	Reacondicionamiento Cíclico.	Limpie los depósitos para evitar obturaciones en los emisores y conductores.	Semanal	Técnico de Mantenimiento
P	Obturaciones Físicas	Reacondicionamiento Cíclico.	Limpie con presiones de 3 a 4 kg/cm <sup>2</sup> (30 a 40 m), emplee válvulas o tapones roscados colocados en los extremos de las tuberías.	Bimensual	Técnico de Mantenimiento
P	Taponamiento en la conducción principal	Reacondicionamiento Cíclico.	Haga fluir el agua tubo a tubo secundario por todos las laterales durante unos minutos por los emisores, evitando sobrepresiones en la tubería y en la red.	Bimensual	Técnico de Mantenimiento
P	Mal funcionamiento en el lateral.	Reacondicionamiento Cíclico.	Purgue la tubería, eliminando el sedimento y otros restos de material que pueden quedar. Realice inspección en el sistema de filtrado.	Trimestral	Técnico de Mantenimiento



C	Modo de Falla	Tipo de Tarea	Tarea propuesta	Intervalo	Responsable
P	Formación de una matriz gelatinosa y pegajosa en las tuberías y las agua.	Reacondicionamiento Cíclico.	Aplice sulfato de cobre en dosis comprendidas entre 0,05 y 2 mg por litro de agua a tratar. NO se debe aplicar cuando hay tuberías de aluminio.	Semestral	Técnico de Mantenimiento
P	Penetración de plantas en las líneas de goteos.	Sustitución Cíclica	Cambiar cinta o línea del sistema. Llenar cintas con cloro y déjelas reposar durante 12 horas.	Trimestral	Técnico de Mantenimiento
P	Taponamiento causado por las sales de baja solubilidad.	Reacondicionamiento Cíclico.	Inyecte solución de ácido. (Siga las instrucciones del tratamiento ANEXO 1).	Semestral	Técnico de Mantenimiento

Tabla 28: Hoja de Decisión de ASPERSORES.

C	Modo de Falla	Tipo de Tarea	Tarea propuesta	Intervalo	Responsable
P	Bajo rendimiento del aspersor.	Reacondicionamiento Cíclico.	Asegúrese de que todas las boquillas estén limpias y sin suciedad o partículas. Evite el riego en condiciones ventosas y no riegue cuando la velocidad del viento sea superior a 2 m/seg y asegúrese de que el aspersor esté instalado aproximadamente a 60 cm por encima del cultivo.	Semanal	Técnico de Mantenimiento
P	Presión elevada	Reacondicionamiento Cíclico.	Verifique que esté trabajando con las presiones recomendadas. Verifique que esté utilizando el aspersor y el pie adecuado, de lo contrario ajuste para disminuir la presión.	Mensual	Técnico de Mantenimiento

C	Modo de Falla	Tipo de Tarea	Tarea propuesta	Intervalo	Responsable
P	Escorrentía de agua	Reacondicionamiento Cíclico.	Haga coincidir la duración del riego y la tasa de precipitación con su suelo.	Semanal	Técnico de Mantenimiento
P	Desgaste de Sellos, Juntas	Reacondicionamiento Cíclico.	Mediante inspección revise el desgaste de sellos, y juntas.. Reemplace en caso de ser necesario.	Mensual	Técnico de Mantenimiento
P	Desgaste de la boquilla	Sustitución Cíclica	Cambie la boquilla, el daño se produce por el aumento en el caudal, reduciendo la uniformidad de distribución y teniendo un efecto negativo en el funcionamiento de la bomba	Semestral	Técnico de Mantenimiento
P	Fugas de agua	Sustitución Cíclica	Instale o cambie el separador de arena – hidro ciclón o filtro automático.	Anual.	Técnico de Mantenimiento

#### 7.4 RESULTADOS ESPERADOS.

La información que se presenta en este documento sobre las tareas preventivas y predictivas que se van a realizar en el sistema de riego fueron tomadas de, Reliability-centered Maintenance (RCM) por John Moubray y del curso de Gerencia de Mantenimiento 2, formación en RCM2, inculcada por el docente Ingeniero Nelson Rojas, en la Universidad ECCI. Considerado como un procedimiento que identifica las funciones del sistema de riego, la forma en la que estas funciones pueden dejar de cumplirse y que establece unas actividades de mantenimiento preventivo aplicables y efectivas basadas siempre en consideraciones que tienen que ver con las consecuencias que la ocurrencia de los fallos traen consigo.

Las principales conclusiones que se aprecian en este documento son las siguientes:

- Las características técnicas, los costos y la posibilidad de frecuencia de fallo son factores determinantes para la selección de tareas de mantenimiento.
- La mayoría de tareas recomendadas son reacondicionamiento cíclico, puesto que son acciones fáciles de realizar, económicas y no se tiene que intervenir todo el sistema.
- Los intervalos de tiempo para las frecuencias de las acciones recomendadas pueden cambiar según las observaciones y los resultados que se obtengan durante la implementación.
- Es compromiso de mantenimiento la ejecución de las tareas propuestas en el punto 7.3 propuestas de solución para la implementación del plan de mantenimiento.
- Se ha encontrado que algunos modos de falla del sistema causados por error humano, en la mayoría de los casos por desconocimiento, es por ello que se sugiere capacitar al personal directamente implicado con el sistema de riego, se pueda asegurar un correcto funcionamiento del sistema evitando fallas propias de la realización de estas acciones.
- Finalmente, aunque el proceso de análisis no ha sido dirigido por un experto en RCM2, se ha aprendido sobre el mencionado proceso obteniéndose , esperando resultados satisfactorios que pueden aportar al mejoramiento de los indicadores de mantenimiento del sistema de riego propuesto.

## 8. FUENTES DE OBTENCIÓN DE LA INFORMACIÓN

La información obtenida para desarrollar la propuesta de mantenimiento del distrito de riego, se recopila de proyectos, compendios, autores y experiencias de trabajo, de las cuales se extrae la información más precisa y confiable, a continuación nombran estas fuentes.

### 8.1 FUENTES PRIMARIAS

De acuerdo al desarrollo de la propuesta, las fuentes de esta categoría se encuentran, experiencias de trabajo e ingenieros agrícolas, civiles y clases de la especialización Gerencia de Mantenimiento:

Consortio de estudios Ranchería, proyecto de diseño para el distrito de riego ubicado en la región de la Guajira, de donde se extrajo información técnica, condiciones de uso y criterios de cultivo.

Tragsatec, proyecto de factibilidad para el distrito de riego de Magará, de donde se extrae información de criterios técnicos, información de componentes y activos de un sistema de riego y conocimiento general, del fin y objetivo de un distrito de riego.

Ingeniero civil y agrícola, recomiendan y contextualizan el desarrollo y los criterios para la elección de activos, de acuerdo a su experiencia en el medio.

### 8.2 FUENTES SECUNDARIAS

De las fuentes secundarias, todos aquellos catálogos, libros de mantenimiento, formatos de la FAO, criterios técnicos de mantenimiento, manuales de mantenimiento, etc. Entre los cuales se destacan:

- Documentos y clases del ingeniero Nelson Darío Rojas.
- Trabajos y tesis escritas por varios ingenieros y documentos del distrito de riego Triangulo Coyaima, Distrito de riego del Cauca y Distrito de riego Ranchería

## 9. ANÁLISIS FINANCIERO

Para la aplicación propuesta de un plan de mantenimiento en distritos de riego. Los beneficios económicos se verán reflejados en el momento de poner el manual a disposición del personal que opere los sistemas de riego, dando una solución rápida y efectiva, para obtener la máxima capacidad de los sistemas el cual generará la mayor disponibilidad e ingresos.

La ejecución de la aplicación de mantenimiento, los costos están basados en un promedio para procurar generar beneficios económicos en el momento de la implementación de la aplicación propuesta de un plan de mantenimiento en distritos de riego. Fueron tomados en cuenta los siguientes parámetros:

- Área de mantenimiento
- Costo de la implementación
- Aplicación del RCM.

Tabla 29: *Financiación de la aplicación propuesta de un plan de mantenimiento en distritos de riego*

Descripción	Personal de Servicio	Empresa	Total
Materiales e Insumos y Herramientas	\$1.700.000		\$1.700.000
Salario Devengado			
Coordinador	\$1.700.000		\$1.700.000
Técnico (2)	\$1.000.000		\$2.000.000
Auxiliar (2)	\$ 800.000		\$1.600.000
Transporte y Viáticos	\$ 700.000		\$ 700.000
Capacitación de la aplicación propuesta de un plan de mantenimiento en distritos de riego		\$2.400.000	\$2.400.000
Total de costos:			\$10.100.000

\*Los materiales y la capacitación solo se cuenta como inversión inicial.

\*Materiales e Insumos y Herramientas, Incluye todos los elementos para ejecutar el plan de mantenimiento en distritos de riego.

\*Salario, Incluye sueldo básico, y prestaciones de Ley.

\*Transporte, Valor requerido para el desplazamiento del personal de mantenimiento.

### ***CALCULO DEL ROI***

Costo fuera de servicio = 3.000.000/día = \$125.000/ hora, (En promedio por el tipo de sembrado que se pierde).

Tiempo promedio de arreglo de falla, sin el aplicativo = 2 horas.

Entre 8 y 14 fallas presentadas al mes, con un promedio de 11 fallas al mes.

- 11 Fallas x 2 horas = 33 horas de mantenimiento al mes.
- 33 x 125.000 = \$ 4.125.000 de pérdidas al mes.
- \$ 4.125.000 x 12 meses = **\$ 49.500.000 de pérdidas al año.**

Con la capacitación de la aplicación propuesta de un plan de mantenimiento en distritos de riego, la contratación de los técnicos y ayudantes se puede llegar a arreglar la falla en 1 hora, y reducir el promedio de fallas a máximo 3 al mes.

Aplicando manual de operación y mantenimiento para mejoramiento planteado:

3 horas x \$ 125.000 = \$ 375.000 / mes

\$ 375.000 x 12 = \$ 4.500.000 costo de mantenimiento al año.

***Ahorro anual = \$ 49.500.000 - \$ 4.500.000 = \$ 45.000.0000.***

***ROI (retorno sobre la inversión)***

$$ROI = \frac{\text{costo de implementación}}{\text{ahorro anual}} = \frac{10.100.000}{45.000.000} = 0.0222 \text{ año}$$

$$ROI = 0.0222 \text{ año} \times \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}} = 0.26 \text{ meses} = 8 \text{ días}$$

## 10. TALENTO HUMANO

De acuerdo al desarrollo y la viabilidad de las propuestas con respecto a los resultados, es de gran importancia resaltar los beneficios y los factores a quienes afectan.

El primer beneficiario es el sector agricultor, que aprendería con técnicas muy sencillas, sin generar un gran valor agregado al que ya está contemplado en el presupuesto del proyecto, si no que tendría una certeza de las cuales son sus costos de mantenimiento, a que le puede hacer mantenimiento, control y gestión de sus activos, y disponibilidad en tiempos justos de los productos de su siembra. Al tecnificar el proceso hace que el gremio agricultor se estimule en la siembra, las prácticas rudimentarias con llevan a un desgaste físico que la gente ya no quiere padecer, en Colombia hay mucha tierra por sembrar y aprovechar la gran riqueza natural que hay en el país.

El gobierno quienes deben ser lo que desarrollan estos proyectos para la comunidad, pueden hacer cálculos de mantenimiento reales y no estimar un porcentaje del valor del proyecto.

La comunidad, en este caso el propietario del sembrado o del predio, pues lo evidenciaría en la tecnificación del sistema y no solo lo vería como una técnica más de sembrado y un cobro adicional por parte del ente que implemente el proyecto.

La exigencia del personal técnico en la zona donde se encuentra desarrollado el distrito de riego, crea demanda y con esto la necesidad de generar industria y conocimiento, el gobierno debe incentivar estas iniciativas y proporcionar centros de capacitación, (SENA).



## 11. CONCLUSIONES

Se parte del punto que no hay un plan de mantenimiento definido para un sistema de riego, muchas de las acciones que se realizan en este tipo de sistemas son empíricas en Colombia. Se presenta un aplicativo desarrollado a partir del análisis RCM2 y en el cual se puede ver que no está fuera de las expectativas de los usuarios de estos sistemas llevar a cabo este plan de mantenimiento para los distritos de riego, puesto que la definición de las funciones y tareas de mantenimiento que se propusieron, se plantearon con base a los conocimientos que han expuesto las diferentes áreas que desarrollan desde la fase de diseño un sistema de riego.

- Para el éxito de la implantación del RCM2 debe considerarse como estrategia de la empresa y no como una iniciativa aislada del área de mantenimiento, es importante el apoyo de la dirección de la organización.
- Es importante involucrar en este proceso al personal adecuado y responsable del plan de mantenimiento, destinar a la implantación del RCM2 recursos humanos suficientes y con la formación indicada, el proceso de formación de este personal en la metodología RCM2 debe ser capaz de implantar las metodologías de fiabilidad de forma eficiente.
- Como se presentó en este documento es necesario evaluar el posible impacto de cada análisis RCM2 y justificar su aplicación, es importante evitar la sobrecarga y realizar muchas tareas simultáneas a la vez, porque puede evitar el éxito de la aplicación.
- Es fundamental para asegurar la calidad del aplicativo, la recolección eficaz y eficiente de los modos de falla para programas y decidir las actividades preventivas y correctivas asociadas al sistema de riego.

## 12. ANEXOS

### ANEXO 1. Tratamiento con ácido

Las siguientes recomendaciones son para el ácido clorhídrico al 33% y para el ácido fosfórico al 85%.

1. Determinación de la cantidad de ácido a ser inyectada:
2. Tome un bidón de 10 litros y en forma gradual comience a agregarle ácido en pequeñas porciones y mida el pH. Una vez que alcance el valor de pH requerido de valor 2.0, calcule la cantidad de ácido que se necesitó para lograr ese valor en su sistema.
3. Multiplique la cantidad de ácido por 100 e inyecte esa cantidad por 1.0 m<sup>3</sup> de descarga de sistema. Siempre agregue ácido al agua y no viceversa.
4. El tratamiento debe realizarse 1 – 2 veces durante la temporada de riego, o cuando la descarga del sistema disminuya un 5%.
5. Lave todos las tuberías secundarias y laterales antes de comenzar el tratamiento.
6. Verifique la descarga del sistema antes del tratamiento a los efectos de comparar más adelante con la descarga del sistema tratado.
7. Preparación de la solución: el volumen de la solución (agua + ácido) debe ser igual a un cuarto (1/4) de la descarga horaria del inyector. De esta forma la inyección demorará 15 minutos. Recomendamos trabajar con la máxima descarga del inyector a los efectos de evitar trabajar con una solución altamente concentrada.
8. Comience la inyección solo luego de que el sistema esté lleno de agua y los goteros estén emitiendo
9. Control: mediante una tira indicadora de tornasol, verifique el pH en el lateral más alejado para ácido residual(pH2,0). Se recomienda realizar una segunda prueba si no se detectó ácido residual.
10. Inyecte durante 15 minutos.
11. Continúe el riego durante 30-60 minutos para asegurarse que el sistema esté completamente lavado.
12. Verifique la descarga del sistema.



Anexo 3: Hoja de Información RCM 2

HOJA DE INFORMACIÓN RCM II		SISTEMA No	Facilitador	Fecha	Hoja
ECCI		SUBSISTEMA	Auditor	Fecha	de
FUNCION	FALLA FUNCIONAL (pérdida de función)	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	EFECTO DE FALLA (Que sucede cuando se produce una falla)		
1	A	1			
		2			
		3			
	B	4			
		5			
		6			
	C	7			
		8			
		9			
2	A	1			
		2			
		3			
	B	4			
		5			
		6			
	C	7			
		8			
		9			

Anexo 4: Documento de Excel con tablas de seguimientos y requisición de activos

## LISTADO DE TABLAS

Tabla 1: *Activos de riego conducción*

Tabla 2: *Activos de riego por goteo*

Tabla 3: *Activos de riego por aspersión*

Tabla 4: *Clasificación de activos de los sistemas.*

Tabla 5: *Hoja de Trabajo de Información de RCM para Bombas*

Tabla 6: *Hoja de Trabajo de Información de RCM para Tuberías*

Tabla 7: *Hoja de Trabajo de Información de RCM para Uniones de Tuberías*

Tabla 8: *Hoja de Trabajo de Información de RCM para Válvulas*

Tabla 9: *Hoja de Trabajo de Información de RCM para Accesorios de tubería para conducción*

Tabla 10: *Hoja de Trabajo de Información de RCM para Sistema de purga*

Tabla 11: *Hoja de Trabajo de Información de RCM para Sistema de purga*

Tabla 12: *Hoja de Trabajo de Información de RCM para Toma predial*

Tabla 13: *Hoja de Trabajo de Información de RCM para Toma Filtros*

Tabla 14: *Hoja de Trabajo de Información de RCM para Tubería predial*

Tabla 15: *Hoja de Trabajo de Información de RCM para Surcos*

Tabla 16: *Hoja de Trabajo de Información de RCM para Tubería de riego en cultivo*

Tabla 17: *Hoja de Trabajo de Información de RCM para Aspersores*

Tabla 18: *Hoja de Decisión de Bombas*

Tabla 19: *Hoja de Decisión de TUBERÍAS*

Tabla 20: *Hoja de Decisión de UNIONES DE TUBERÍAS DE CONDUCCIÓN*

Tabla 21: *Hoja de Decisión de VÁLVULAS.*

Tabla 22: *Hoja de Decisión de ACCESORIOS DE CONEXIÓN PARA TUBERÍAS.*

Tabla 23: *Hoja de Decisión de SISTEMA DE PURGA*

Tabla 24: *Hoja de Decisión de SISTEMA DE VENTOSA.*

Tabla 25: *Hoja de Decisión de FILTROS*

Tabla 26: *Hoja de Decisión de TUBERÍA PREDIAL*

Tabla 27: *Hoja de Decisión de TUBERÍA Y ACCESORIOS DE RIEGO DE CULTIVO.*

Tabla 28: *Hoja de Decisión de ASPERSORES.*

Tabla 29: *Financiación de la aplicación propuesta de un plan de mantenimiento en distritos de riego*

### 13. BIBLIOGRAFÍA

- FAO. (2000). *El riego en América Latina y el Caribe em Cifras*. Roma: AQUASTAT.
- NAANDANJAIN. (2013). *Intalación y mantenimineot de un dsitirto de riego*. Na'an: Jain Irrigation Systems Ltd.
- Riego, F. Q. (2016). *FAO, Organización de naciones unidas para la alimentación y la agricultura*. Recuperado el 20 de Octubre de 2016, de FAO, Organización de naciones unidas para la alimentación y la agricultura: <http://www.fao.org/3/a-aj470s/aj470s02.pdf>
- Wikipedia. (2016). *Wikipedia*. Obtenido de Sistema de riego: [es.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_de\\_riego](http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_riego)
- Wikipedia. (2016). *Wikipedia la eciclopedia libre*. Obtenido de Canal de riego: [es.wikipedia.org/wiki/Canal\\_de\\_riego](http://es.wikipedia.org/wiki/Canal_de_riego)
- España, W. (2009). *Manual de buenas practicas de riego*. Madrid, España: Artes Gráficas Palermo.
- Sela, S. G. (2016). *Smart Fertilizer Managment*. Obtenido de Irrigation water quality: <http://www.smart-fertilizer.com/es/articles/irrigation-water-quality>
- S. Ochoa, J. S. (2007). *Scribd*. Obtenido de Diseño optimizado de acueductos mediante la superficie optima de LGH: [es.scribd.com/document/48824793/07-Diseno-optimizado-de-acueductos-mediante-la-superficie-optima-de-LGH](http://es.scribd.com/document/48824793/07-Diseno-optimizado-de-acueductos-mediante-la-superficie-optima-de-LGH)
- Tobon, J. C. (1998). *Manual de operación y mantenimiento para los sistemas de riego en ladera*. Medellín: UNAL.
- Wikipedia. (2016). *Wikipedia la enciclopedia libre*. Obtenido de Riego: [es.wikipedia.org/wiki/Riego](http://es.wikipedia.org/wiki/Riego)
- Wikipedia. (2016). *Wikipedia la enciplopedia libre*. Recuperado el 20 de Octubre de 2016, de Evapotranspiración: <https://es.wikipedia.org/wiki/Evapotranspiraci%C3%B3n>
- Wikipedia. (2016). *Wikipedia la enciclopedia libre*. Obtenido de es.wikipedia.org: [es.wikipedia.org/wiki/Mantenimiento](http://es.wikipedia.org/wiki/Mantenimiento)
- Wikipedia. (2016). *Wikipedia la enciclopedia libre*. Obtenido de es.wikipedia.org: [https://es.wikipedia.org/wiki/Mantenimiento\\_preventivo](https://es.wikipedia.org/wiki/Mantenimiento_preventivo)
- Wikipedia. (2016). *Wikipedia la enciclopedia libre*. Obtenido de es.wikipedia.org: [https://es.wikipedia.org/wiki/Mantenimiento\\_correctivo](https://es.wikipedia.org/wiki/Mantenimiento_correctivo)
- Sináis. (2013). *Sináis*. Obtenido de Mantenimiento Proactivo: [http://www.sinais.es/Recursos/Curso-vibraciones/intro/mantenimiento\\_proactivo.html](http://www.sinais.es/Recursos/Curso-vibraciones/intro/mantenimiento_proactivo.html)

*Jaramillo, C. M. (2005). RCM CASOS DE ÉXITO Y SUS FACTORES CLAVE. Medellín: Reliability World Latin América, +.*

*Garrido, S. G. (2012). Manual práctico para la gestión eficaz del mantenimiento industrial. Madrid, España: Renovetec.*

*Reliabilityweb. (2016). Reliability web. Obtenido de El analisis de criticidad una metodologia para mejorar la confiabilidad: [reliabilityweb.com/sp/articles/entry/el-analisis-de-criticidad-una-metodologia-para-mejorar-la-confiabilidad-ope](http://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/el-analisis-de-criticidad-una-metodologia-para-mejorar-la-confiabilidad-ope)*

*Leansolutions. (2016). Leansolutions. Obtenido de AMEF: [www.leansolutions.co/conceptos/amef/](http://www.leansolutions.co/conceptos/amef/)*

*Jimenez, A. J. (Octubre de 2011). Manteneimeinto LA. Obtenido de Manteneimeinto LA: [maintenancela.blogspot.com.co/2011/10/confiabilidad-disponibilidad-y.html](http://maintenancela.blogspot.com.co/2011/10/confiabilidad-disponibilidad-y.html)*

*Delgado, R. S. (2010). Jable. Obtenido de [jable.ulpgc.es:jable.ulpgc.es/jable/cgi-bin/Pandora.exe?fn=commandselect;query=id:0007471858;command=show\\_pdf](http://jable.ulpgc.es:jable.ulpgc.es/jable/cgi-bin/Pandora.exe?fn=commandselect;query=id:0007471858;command=show_pdf)*

*Fibertel, J. (2007 de Noviembre de 2007). Gestipolis. Obtenido de RCM Mantenimienot Centrado en la confiabilidad: [www.gestipolis.com/rcm-mantenimiento-centrado-en-confiabilidad/](http://www.gestipolis.com/rcm-mantenimiento-centrado-en-confiabilidad/)*