

*FORMULAR UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO BASADO EN LA  
METODOLOGÍA RCM PARA LOS PUNTOS DE ACOMETIDAS DE LAS  
INTERSECCIONES SEMAFÓRICAS DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ.*

CRISTIAN CAMILO ORJUELA ESPEJO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTADA DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
BOGOTÁ D, C.

2022

FORMULAR UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO BASADO EN LA  
METODOLOGÍA RCM PARA LOS PUNTOS DE ACOMETIDAS DE LAS  
INTERSECCIONES SEMAFÓRICAS DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ.

CRISTIAN CAMILO ORJUELA ESPEJO

Monografía de grado presentada como requisito para optar el título de  
Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Directores:

HELLER GUILLERMO SANCHEZ ACEVEDO  
DIEGO ANDRES RODRIGUEZ RINCON

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTADA DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
BOGOTA D, C.  
2022

## CONTENIDO

INTRODUCCION.....	7
1. MARCO CONCEPTUAL.....	10
2. MARCO LEGAL.....	12
3. CONTEXTO OPERACIONA .....	12
3.1 Historia del semáforo.....	12
3.2 Central de tráfico Scala.....	13
3.3 Equipo de control.....	15
3.3.1 Módulo de control.....	16
3.3.2 Panel de control .....	18
3.3.3 Unidad de energía auxiliar .....	19
3.3.4 Gabinete para equipos de control.....	20
3.4 Armario unificado de comunicaciones y energía (AUCE) .....	21
3.5 Detectores .....	22
3.5.1 Botón de demanda.....	23
3.5.2 Cámaras de video detección.....	24
3.6 Elementos semafóricos .....	25
4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	27
5. OBJETIVOS .....	28
5.1.1 Objetivo General.....	28
5.1.2 Objetivos Específicos: .....	28
6. JUSTIFICACIÓN .....	28
7. MARCO TEORICO.....	30
7.1.1 Situación actual.....	30
7.1.2 Generalidades del mantenimiento.....	31
7.1.3 Historia del mantenimiento centrado en confiabilidad.....	31
7.1.4 Mantenimiento correctivo.....	31
7.1.5 Procedimiento para el mantenimiento correctivo.....	32
7.1.6 Mantenimiento preventivo .....	33
7.1.7 Procedimiento para el mantenimiento preventivo.....	33
7.1.8 Metodología RCM .....	34
7.1.9 Normas SAE JA1011 .....	35
7.1.10 Árbol lógico de decisiones RCM .....	36
7.1.11 Indicadores de gestión de mantenimiento .....	37
7.1.6.2 Sistema de la información .....	41

8	METODOLOGIA .....	42
9	DESARROLLO Y DISCUSION .....	44
9.16	Análisis de criticidad.....	44
9.17	Análisis de falla .....	53
9.18	Metodología basada en RCM.....	56
10	FORMULACION PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO .....	65
10.16	Codificación para los equipos .....	65
10.17	Hoja de vida .....	68
10.18	Hoja de control de fallos .....	68
10.19	Asignación de funciones .....	71
10.20	Cronograma de mantenimiento .....	72
10.21	Lista de chequeo .....	73
10.22	Mantenimiento basado en condiciones (monitoreo) .....	74
11	COSTOS .....	75
11.1	Costos fijos .....	75
11.2	Costos variables .....	75
11.3	Costes financieros .....	76
11.4	Costes de fallo.....	76
11.5	Costo integral.....	77
11.6	Costos del plan de mantenimiento .....	78
11	CONCLUSIONES.....	81
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	83

## LISTA DE FIGURAS

Ilustración 1. Ejemplo visualización y monitoreo en central.....	14
Ilustración 2. Equipo de control C900.....	15
Ilustración 3. Módulo de control BBX y los módulos funcionales.....	18
Ilustración 4. Panel de control.....	18
Ilustración 5. Unidad de energía auxiliar.....	20
Ilustración 6. Gabinete para equipos de control.....	21
Ilustración 7. Equipo de control y AUCE.....	22
Ilustración 8. Botón de demanda.....	23
Ilustración 9. Botón de demanda.....	24
Ilustración 10. Zonas de detección virtual.....	25
Ilustración 11. Esquema semáforo vehicular.....	26
Ilustración 12. Procedimiento para el mantenimiento correctivo.....	32
Ilustración 13. Procedimiento para el mantenimiento preventivo.....	34
Ilustración 14. Criterios para el desarrollo de un RCM.....	36
Ilustración 15. Algoritmo de decisiones RCM.....	37
Ilustración 16. Tipos de Indicadores.....	38
Ilustración 17. Módulos y Funcionalidad general.....	42
Ilustración 18. Criticidad zona norte.....	50
Ilustración 19. Criticidad zona centro.....	51
Ilustración 20. Criticidad zona sur.....	52
Ilustración 21. Reportes de seguridad de señales.....	53
Ilustración 22. Reportes por falla de acometida.....	54
Ilustración 23. Consolidado de tipos de fallas de acometida.....	54
Ilustración 24. Fallas de acometidas por zonas.....	55
Ilustración 25. Taxonomía de acometida eléctrica.....	56
Ilustración 26. Funciones del punto de acometida.....	57
Ilustración 27. Codificación.....	65
Ilustración 28. Ficha técnica acometida eléctrica.....	68
Ilustración 29. Hoja de control de actividades.....	69
Ilustración 30. Protocolo de Mantenimiento.....	70
Ilustración 31. Organigrama.....	71
Ilustración 32. Lista de chequeo.....	73
Ilustración 33. Características de los costos por tipo de empresas.....	77

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tiempos de respuesta .....	39
Tabla 2. Criterios de evaluación de las intersecciones semafóricas de Bogotá .....	45
Tabla 3. Tabla de criticidad. ....	46
Tabla 4. Niveles para establecer criticidad. ....	49
Tabla 5. Descripción falla funcional.....	58
Tabla 6. Modos de falla en el punto de acometida .....	59
Tabla 7. Descripción de efectos.....	60
Tabla 8. Matriz de riesgos .....	61
Tabla 9. Riesgo del punto de acometida.....	62
Tabla 10. Hoja de RCM para punto de acometida.....	63
Tabla 11. Codificación reporte de falla .....	66
Tabla 12. Adición a la codificación de fallas .....	67
Tabla 13. Cronograma de mantenimiento .....	73
Tabla 14. Costos requeridos para el mantenimiento preventivo para las acometidas eléctricas .....	78
Tabla 15. Elementos de Bioseguridad bajo Decreto 551/2020.....	79
Tabla 16. Elementos de Bioseguridad sin Decreto 551/2020 .....	79
Tabla 17. Costos ítems por situación de emergencia sanitaria .....	79
Tabla 18. Resumen de costos grupos adicionales y costos elementos de bioseguridad.....	80

## INTRODUCCION

Bogotá es la ciudad más poblada de Colombia con 8,3 millones de habitantes, este gran número de personas se movilizan constantemente por la ciudad independientemente del medio de transporte que se utilice para ello. De acuerdo con la Agencia Nacional de Seguridad Vial, el observatorio estadístico informa que entre el año 2021 y 2022 en la ciudad de Bogotá, se presentaron con estado de la víctima muerto el 18.18% de actores viales y un 41.48% representaron las víctimas con estado lesionado, proporcionando un valor considerado de víctimas mortales en materia de siniestralidad vial. También referencia que en el año 2018 ocurrieron 181.374 siniestros viales, donde las primeras hipótesis de causa probable fue el desobedecer las señales de tránsito (26%) y el exceso de velocidad (13%).(Agencia Nacional de Seguridad Vial, 2019). Dejando en evidencia la importancia y la necesidad de la operación correcta de los semáforos que permita una eficiente fluidez en el tránsito y mayor seguridad vial.

Debido a esto, se necesita de un cuidado continuo de los equipos semafóricos y sistemas de comunicación de las intersecciones. Estas labores son siempre necesarias y representan una parte significativa de los costos involucrados en la operatividad de las intersecciones semafóricas (Ministerio de Transporte, 2015).Las fallas frecuentes de los equipos de cada intersección semafórica se dan al no tener consumo o señalización en un flujo de la intersección, denominada falla de seguridad de señales, de las 7108 fallas registradas en los últimos 2 años el 57.27 % que equivalen a 4071 fallas derivadas por acometida eléctrica, en total se relacionan 7912 reportes con temas asociados a la alimentación eléctrica de los equipos de control representado un gran número de complicaciones en la malla vial las cuales se pueden controlar. Lo anterior permitió realizar el planteamiento de la necesidad de implementar el mantenimiento preventivo al punto de acometida eléctrica de cada

intersección, con el fin de garantizar la seguridad vial, mejorando la calidad de vida y reduciendo los tiempos de desplazamiento de los ciudadanos.

## **RESUMEN**

**TITULO:** FORMULAR UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO BASADO EN LA METODOLOGÍA RCM PARA LOS PUNTOS DE ACOMETIDAS DE LAS INTERSECCIONES SEMAFÓRICAS DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ.

**AUTOR:** Cristian Camilo Orjuela Espejo

**PALABRAS CLAVE:** Mantenimiento RCM, Mantenimiento basado en Condición (MBC), Análisis de Criticidad, Modo de Falla y Análisis de Riesgo.

## **DESCRIPCION:**

La elaboración de la presente monografía tiene como objetivo la formulación de un plan de mantenimiento basado en la metodología RCM para los puntos de acometida de las intersecciones semafóricas de la ciudad de Bogotá, incluyendo la importancia de los mantenimientos de clase mundial.

Para el desarrollo del trabajo se realiza un análisis de criticidad basado en las condiciones de complejidad de una intersección semaforizada protagonista del alto impacto en la movilidad y en la seguridad de los actores viales, así mismo, se evalúan los modos de fallas y la probabilidad del riesgo, las consecuencias y por último la determinación del mantenimiento preventivo adecuado para reducir las fallas funcionales de los puntos de acometida. La construcción de la información para el análisis correspondiente se obtuvo mediante la recopilación de datos de la operación del contrato SDM 2017-1913 (SSI), JUNIO 2019-OCTUBRE 2021.

Finalmente, se formula un plan de mantenimiento basado en monitoreo de condiciones verificando el estado del activo con el fin de reducir las fallas funcionales en los puntos de acometida.

## **ABSTRACT**

**TITLE:** FORMULATE A PREVENTIVE MAINTENANCE PLAN BASED ON THE RCM METHODOLOGY FOR THE ELECTRICAL SUPPLY POINTS OF THE INTERSECTIONS WITH TRAFFIC LIGHTS IN THE CITY OF BOGOTÁ.

**AUTHOR:** Cristian Camilo Orjuela Espejo

**KEYWORDS:** RCM Maintenance, Condition Based Maintenance (CBM), Criticality Analysis, Failure Mode, and Risk analysis.

## **DESCRIPTION:**

The development of this monograph aims to formulate a maintenance plan based on the RCM methodology for electrical supply points of traffic light intersections in the city of Bogotá, including the importance of world-class maintenance.

The development of the work, a criticality analysis is carried out based on the complexity conditions of a signalized intersection, protagonist of the high impact on the mobility and safety of the road actors, likewise, failure modes and probability of risk are evaluated, the consequences and finally the determination of the adequate preventive maintenance to reduce the functional failures of the electrical supply points. The construction of the information for the corresponding analysis was obtained by collecting data from the operation of the contract SDM 2017-1913 (SSI), JUNE 2019 - OCTOBER 2021.

Finally, a maintenance plan is formulated based on condition monitoring, verifying the status of the asset to reduce functional failures at the electrical supply points.

## 1. MARCO CONCEPTUAL

**Acometida eléctrica:** se define como la conexión que permite la alimentación de energía eléctrica con el fin de dar funcionamiento a los equipos de control semafóricos.

**Armario Unificado de Comunicaciones y Energía:** por sus siglas AUCE es un armario que permite el correcto almacenamiento y custodia con espacios previamente distribuidos para alojar el equipo de respaldo de energía (UPS y baterías), equipos de comunicaciones, cables y demás accesorios. Este sirve de soporte ya que en la parte superior va instalado el equipo de control semafórico.

**Centro de Gestión del Tránsito:** por sus siglas CGT hace referencia a las instalaciones ubicadas en la Secretaría de Movilidad donde permanentemente se recibe información en tiempo real del tráfico de la ciudad y se realizan todas las operaciones de monitoreo.

**Cámaras de video detección:** son dispositivos cuya función es suministrar información del estado del tránsito mediante sensores ubicados en los semáforos y es realizar conteos, esta información es transmitida al CGT.

**Criticidad:** indicador que permite establecer el riesgo, grado o prioridad de procesos, sistemas y equipos facilitando la toma de decisiones apropiadas y seguras.

**Equipo de control:** mecanismo electrónico que controla el cambio de los flujos vehiculares de la intersección con el fin de operar en forma sistematizada proporcionando los elementos

necesarios para garantizar la seguridad de los actores viales y en dado caso reportar cualquier tipo de falla que se puede presentar.

**Grupo de Señales:** Es el conjunto de movimientos como peatonales, vehiculares, ciclo usuarios los cuales son codificados en una intersección semaforizada.

**Intercambiador Vial / Intersección Vial:** se conoce como el punto en el que intervienen dos o más calzadas en un mismo nivel o se unen varios sentidos viales.

**Modo de control Adaptativo:** es el encargado de recolectar los datos de las intersecciones bajo este modo de control y de administrar los tiempos de verde de las fases de los grupos de señales mediante variables dinámicas programadas con el fin de mejorar el tráfico.

**Mantenimiento Preventivo:** es un método realizado por las organizaciones para ser implementados en sus procesos operativos con el fin de reducir paradas correctivas inesperadas, basadas en periodos rutinarios con el propósito verificar y realizar los ajustes necesarios en equipos, maquinas, herramientas y dispositivos.

**Seguridad vial:** se define como cualquier acto o mecanismo que garantice la protección de la vida de todos los actores viales mediante la aplicación de normas ciudadanas y leyes que permitan la prevención de accidentes de tránsito.

**Semáforos:** Son los dispositivos de señalización mediante los cuales se normaliza la circulación de vehículos, bicicletas y peatones en vías, asignando el derecho de paso o prelación de cada uno de ellos secuencialmente siendo manejados por un equipo de control (Ministerio de Transporte, 2015).

## **2. MARCO LEGAL**

La Secretaría Distrital de Movilidad es el ente local que tiene la facultad de orientar y dirigir la formulación de las pautas del sistema de movilidad, con independencia administrativa y financiera, cuya creación, composición, organización y desempeño está reglamentada en el Acuerdo 257 de 2006 y el Decreto 567 de 2006 (Acuerdo 257 de 2006).

Paralelamente, las advertencias de tránsito son un mecanismo primordial en la obtención de este propósito. En concordancia, el Código Nacional de Tránsito expide la Ley 769 del 2002, que regula a nivel nacional la circulación de los peatones, conductores, motociclistas, ciclistas y todos los actores viales que transitan en todos los corredores viales, o; así como la actuación y procedimientos de las autoridades de tránsito (Ley 769 de 2002).

Por último, la resolución 1050 de 2004 adopta como documento técnico que lleva por nombre *“Manual de señalización vial – dispositivos uniformes para la regulación del tránsito en las calles, carreteras y ciclorrutas de Colombia”*. Esta publicación resulta del trabajo en conjunto de diferentes instituciones de que hacen parte de los Ministerios de Transporte y la Secretaría Distrital de Movilidad de Bogotá, D.C., quienes contribuyeron con sus conocimientos profesionales, técnicos y su experiencia para desarrollar un único documento sobre la seguridad vial en el país (Resolución 1050 de 2004).

## **3. CONTEXTO OPERACIONA**

### **3.1 Historia del semáforo**

La palabra semáforo viene del origen griego que deriva sema “señal” y foro “llevo” (semáforo - llevar señales). El primer semáforo instalado fue en Londres fuera de las Casas del Parlamento en 1868, operado manualmente por un policía utilizando los brazos para controlar el tráfico entre los carruajes de caballos, el cual consistía en luces de color verde y rojo encendidas por gas, pero que, tras poner un riesgo la salud de los policías debido a una

explosión en el mismo mecanismo se retiró (Larry Clark, 2019). Cuando el tiempo es la constatación más importante para la evolución de la tecnología porque así los seres humanos lo hemos necesitado, este primer avance se convierte en la brecha que permitió generar la necesidad de controlar el tráfico mediante mecanismos más seguros llegando a diferentes partes del mundo.

En Colombia este dispositivo semafórico llega en el año 1929 a la ciudad de Barranquilla de la cual no se tiene mayor información. Posteriormente, después de 17 años en 1946 en la Avenida Jiménez con carrera séptima se instala el primer semáforo en la ciudad de Bogotá, tiempo bastante prudente para que a partir de este momento se emprendiera el rumbo de una nueva era para la ciudad, consecuentemente en la década del 70 y con el gran número de intersecciones semaforizadas se realiza la instalación de tres centrales de control marca Siemens, referencia SICOM M56, cuyas centrales se encontraban ubicadas geográficamente sobre la avenida Quito Sur. Gracias a la modernización del sistema de semaforización inteligente en Bogotá, la ciudad cuenta con una de las centrales más modernas a nivel mundial.

### **3.2 Central de tráfico Scala**

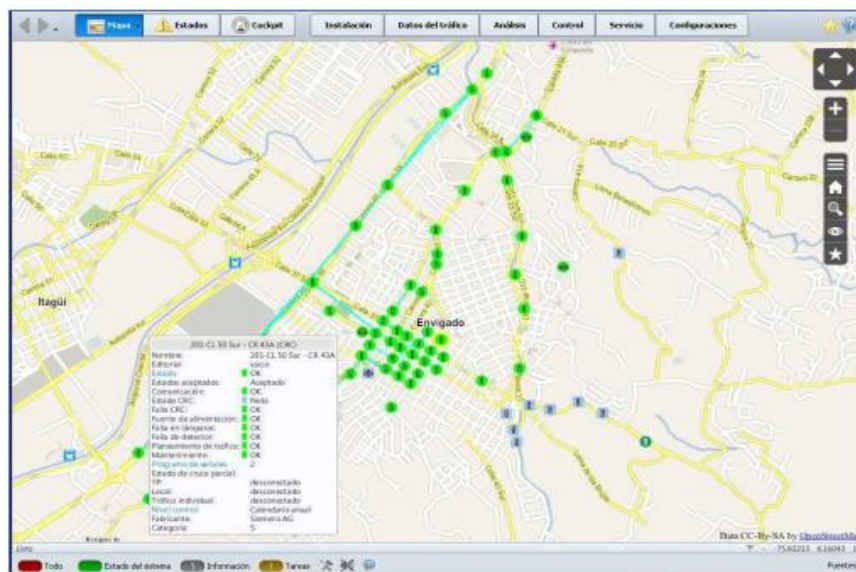
Es el elemento principal de la modernización realizada en la transición de los años 2019 al 2021 en Bogotá. Este sistema permite visualizar en tiempo real las condiciones del tráfico de una intersección, además cuenta con un protocolo de comunicación abierta (OCIT-V. 2.0) que admite la adaptación de otros equipos de control local de referencias diferentes se integren al sistema, así mismo, tiene cuatro modos de funcionamiento con los equipos de control:

- Basado en el tiempo: funciona a través de parámetros establecidos que fueron determinados mediante la recolección de información.
- Central adaptativa (CA): sistema que a través de la información recibida de las condiciones de tráfico en tiempo real se ajusta a la situación apropiada.

- **Responsivo (R):** es el mecanismo que de acuerdo con las condiciones de tráfico interviene en los procesos de los controladores enviando parámetros seleccionados de un plan de señales determinado

El monitoreo de las intersecciones semaforicas se visualiza en la central Scala mediante una imagen de mapa, tal y como se puede apreciar en la Ilustración 1, allí se identifican el estado de funcionamiento de los equipos de control.

*Ilustración 1. Ejemplo visualización y monitoreo en central*



**Fuente:** Dedición de solución técnica para el SSI

En terreno se encuentran dispositivos de detección instalados en las 1536 intersecciones semaforicas con las que se cuenta con 1922 botones de demanda y alrededor de 1900 cámaras de video detección encargadas de alimentar la herramienta de gestión para modo de operación adaptativo – responsivo.

### 3.3 Equipo de control

Es un dispositivo electrónico el cual tiene como función principal el control y funcionamiento de una intersección semafórica, se encarga de recibir y transmitir la información de los dispositivos de detección instalados. Este elemento tiene la capacidad de sincronizarse con otros equipos de control de forma centralizada permitiendo corredores viales coordinados en luz verde mejorando el tráfico de la ciudad como se observa en la ilustración 2.

*Ilustración 2. Equipo de control C900*



**Fuente:** Detalles del Producto Controlador de Tráfico C900 – SIEMENS

El equipo de control C900 brinda frente a otros equipos de control las siguientes ventajas:

- **Amplia versatilidad:** permite adaptarse a los requerimientos y necesidades a nivel mundial con la facilidad de instalación y durabilidad para la autogestión del tráfico mediante la programación de modos de tráfico actuado y adaptativo.
- **Tipo de conexión:** realizada mediante vía Ethernet abriendo posibilidades a varios de medios de enlace como, por cable, fibra e inalámbricos.
- **Integración:** permite la unión a diferentes dispositivos propios y de otros fabricantes como los elementos de detección, semáforos, botones peatonales y señales sonoras.

- Soporte: envía reportes a la central, permitiendo conocer el funcionamiento y errores detallados de los equipos en campo, hora y tipo de falla.
- Modularidad: con los módulos principales de programación el equipo puede aumentar la capacidad de grupos de señales solamente adicionando módulos disparadores según la necesidad.
- Estructura: la programación del equipo permite realizar actividades de mantenimiento, supervisión, análisis de fallas, programación, diagnóstico desde la central de tráfico.

Cada equipo de control de semaforización tiene asignado un código único (ID, EXTERNO) el cual facilita el control documental de tal manera que permite llevar una gestión de mantenimiento adecuada e indicando la vida útil del mismo, la información de este código único incluye: número externo, dirección, nombre de la intersección, ciudad, zona, centro de control, tipo de equipo, programador y la versión de cambio de la programación.

### **3.3.1 Módulo de control**

El equipo de control contiene una tarjeta principal electrónica BBX que son fácilmente extraíbles y reemplazables, cumplen la función de procesar la programación mediante disparadores electrónicos encargados de alimentar los diferentes grupos vehiculares y/o peatonales de la intersección. El rendimiento del procesador es amplio, ya que cuenta con una tarjeta de memoria de 1 GB para el almacenamiento de diferentes tipos de archivos garantizando el respaldo de los registros ante cualquier falla y 6 interfaces internas que permiten la conexión de diferentes unidades. Los módulos de control del BBX están compuestos por los siguientes módulos funcionales y se pueden observar en la ilustración 3:

- Unidad procesadora del motor ITS: es una tarjeta de adición del módulo de control BBX y está compuesta por el procesador y la memoria. La interfaz permite la transferencia de datos hacia y desde el equipo de control a través del dispositivo de almacenamiento masivo.

- Dongle: El dongle se utiliza para activar el software y debe ser instalado en la tarjeta madre del BBX mientras esté en operación.

Está diseñado para generar alarmas con el fin de resguardar la seguridad de los actores viales ya que, al momento de no contar con una señalización adecuada en la luz roja del semáforo en cualquier flujo, es decir en un sentido vial peatonal o vehicular, se activa la seguridad de señales colocando intermitente la intersección generando una alarma a la central, indicando que tipo de falla y sobre que flujo se presenta, el equipo puede generar distintas fallas:

- Falla de comunicaciones: se presenta cuando no hay conexión del equipo de control con la central Scala.
- Falla de energía: se genera cuando el equipo de control se encuentra apagado por falta de fluido eléctrico.
- Falla de detector: es aquella que cuando una cámara de video-detección o un botón de demanda no genera ningún cambio de estado.
- Falla de seguridad de señales: es la falla en el consumo de los módulos LED rojos de un flujo vehicular o peatonal.

Otras alarmas que se pueden generar al momento de una intervención en el equipo son las siguientes:

- Falla de puerta abierta: es la falla que se presenta en el momento en que el equipo de control es intervenido por uno de los grupos de mantenimiento.
- Falla modo de operación local: es un modo de operación con el que cuenta el equipo de control a fin de verificar los tiempos de funcionamiento de una intersección.

Las fallas normalmente son inducidas por el grupo técnicos en el momento de realizar el mantenimiento preventivo programado con el fin de confirmar los estados de reportes de fallas. Los grupos técnicos, por medio de los distintos programas de diagnósticos especializados logran realizar diferentes análisis de la causa raíz de la falla, usualmente se utilizan cuando las fallas son ocultas y no se tiene una sospecha real de la falla.

*Ilustración 3. Módulo de control BBX y los módulos funcionales*

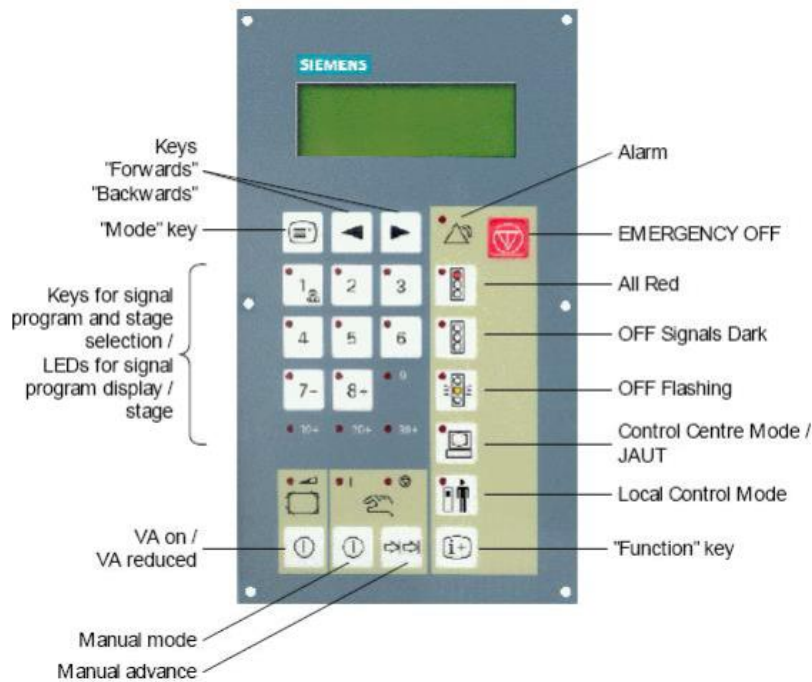


**Fuente:** Detalles del Producto Controlador de Tráfico C900 – SIEMENS

### **3.3.2 Panel de control**

Con el fin de verificar el funcionamiento actual el equipo de control este tiene incluido un panel de control y/o pantalla, que permite visualizar el modo de funcionamiento de manera rápida y eficaz del equipo de control, desde dicho dispositivo se puede conmutar diferentes planes de señales para comprobar sus tiempos, modo de funcionamiento intermitente si el técnico especialista lo requiere y tiene un botón que despliega el registro de fallas ocurridas como ayuda de diagnóstico en las labores de mantenimiento entre otras funciones que se pueden visualizar en la ilustración 4.

*Ilustración 4. Panel de control*



**Fuente:** Manual de operación A007 sistemas de Trafico Inteligentes

Todas las teclas y funciones de la pantalla tienen diodos emisores de luz (LEDs) que muestran en pantalla el estado y el número del programa de señales actual (o el número de la etapa actual). Cuando una acción de control es iniciada, el LED correspondiente titila hasta que se haya completado el cambio deseado.

### 3.3.3 Unidad de energía auxiliar

Es la unidad que conecta la alimentación de energía (acometida) que deriva a la fuente principal del equipo de control que suministra los niveles de tensión a los diferentes módulos. No es un módulo independiente, es decir se encuentra instalado en la base inferior del equipo de control como se puede apreciar en la ilustración 5.

*Ilustración 5. Unidad de energía auxiliar*



**Fuente:** Detalles del Producto Controlador de Tráfico C900 – SIEMENS

### **3.3.4 Gabinete para equipos de control**

Es un armario que permite la instalación del equipo de control al interior de él, con el fin de garantizar la integridad y seguridad de los elementos allí dispuestos. También, en caso de presentarse vandalismos este contiene una puerta con cerraduras de seguridad electromecánicas, además está fabricado en policarbonato de dimensiones (110 cm X 80.6 cm X 38 cm) como se representa en la ilustración 6, estos espacios son adecuados para albergar todos los componentes del equipo de control que permite la regulación de la red semafórica de las intersecciones, así como los cables que permiten las conexiones de toda la red de manera ordenada para poder desarrollar las labores de instalación y mantenimiento. El gabinete cuenta con un compartimento para alojar los documentos básicos referentes al equipo y cada equipo cuenta con un cuadernillo o bitácora para el registro cronológico de las actividades de programación y mantenimiento realizados.

*Ilustración 6. Gabinete para equipos de control*



**Fuente:** Detalles del Producto Controlador de Tráfico C900 – SIEMENS

### **3.4 Armario unificado de comunicaciones y energía (AUCE)**

En la ilustración 7 se observa un pedestal fabricado en concreto en el que en la parte superior tiene una pestaña que permite la instalación del equipo de control semafórico, tiene dos puertas fabricadas en la lámina galvanizada con cerradura electromecánica antivandálica, la puerta de la izquierda permite el acceso a las conexiones de energía y la de la derecha está dispuesta para la conexión de comunicación y ventiladores con sus filtros respectivos, el paso de los cables ingresan de la caja de paso por la parte inferior independientemente al equipo de control. El armario tiene varios compartimientos internos:

- Compartimento de comunicaciones y equipos: es el espacio para albergar el equipo de respaldo de energía (UPS y baterías) y los equipos de comunicación como los Routers, Switch y bandejas.

- Compartimento de paso de cables: El armario cuenta con un espacio para el paso del cableado que viene del semáforo brindando protección a los conductores.
- Compartimento de tablero eléctrico: tiene un espacio para el tablero eléctrico, circuitos y conexiones eléctricas.

*Ilustración 7. Equipo de control y AUCE*



**Fuente:** Manual de usuario armario unificado de comunicaciones y energía (AUCE)

### **3.5 Detectores**

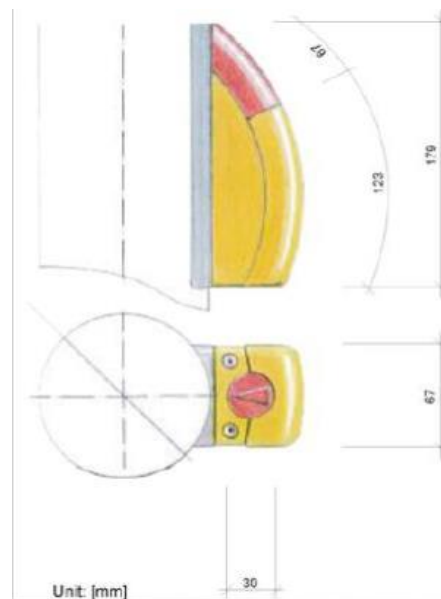
Los detectores son dispositivos encargados de tomar los registros tales como: volumen, velocidad, ocupación, análisis de cola, etc., enviando señales al equipo de control y/o central Scala para poder tomar las acciones de mejora en la movilidad de los usuarios viales. Actualmente, se manejan dos tipos de detectores los botones de demanda y las cámaras de video detección.

### 3.5.1 Botón de demanda

Es un dispositivo que mediante el contacto de una persona para pasar una vía, envía una señal al equipo de control la cual es analizada permitiendo la habilitación del paso peatonal del flujo requerido, adicionalmente el botón de demanda en su parte inferior cuenta con un pulsador vibrador que en el momento de activarse con el contacto indica a la persona en condiciones de discapacidad que puede cruzar la vía, así mismo contiene una flecha que indica el sentido en el que debe pasar la intersección. Posteriormente activa la salida de los sonoros como ayuda del paso de personas invidentes.

Los botones de demanda peatonal se instalan sobre el poste del semáforo, a una altura aproximada entre 1,00 cm a 1,20 cm, es resistente ante el ácido mineral hasta altas concentraciones, muchos ácidos orgánicos, oxidante y reductor, soluciones neutras y salinas ácidas, una cantidad de grasa y aceites. Pueden recibir una tensión de voltaje 230 a 110 VAC y pueden manejar una señal de 24 hasta 10 VDC.

*Ilustración 8. Botón de demanda*



**Fuente:** Hoja técnica de datos botón sensor Berlín

### 3.5.2 Cámaras de video detección

Son dispositivos vehiculares que tienen como objetivo proporcionar información del estado del tránsito como resultado de la señal de video de la vía en tiempo real al equipo de control que posteriormente es enviada a la central Scala, proporcionando valores estadísticos de demanda, conteo y detección del tránsito como por ejemplo los tiempos de cola.

*Ilustración 9. Botón de demanda*



**Fuente:** Dedicación de solución técnica para el SSI

El dispositivo incluye contiene el soporte de fijación, protección, conectores y el cableado para la conexión de los sensores con su correspondiente interfaz en el equipo de control. El sistema de video detección tiene una alta exactitud de la detección de vehículos (cercana al 95%), bajo las condiciones de operación sugeridas por el proveedor. El sistema de video detección utiliza un puerto de Ethernet para la conexión con el Centro de Gestión de Tránsito (CGT), con el fin de enviar la información de los video detectores sobre el cual se definen los bucles virtuales (zonas marcas virtualmente) como se muestra en la ilustración 10 y así

se enlazan directamente las salidas de detección con el equipo de control. Cada cámara puede gestionar hasta 24 zonas de detección virtual y cada interfaz soporta hasta 4 cámaras y 16 salidas físicas para conexión al controlador.

*Ilustración 10. Zonas de detección virtual*



**Fuente:** Definición de solución técnica para el SSI

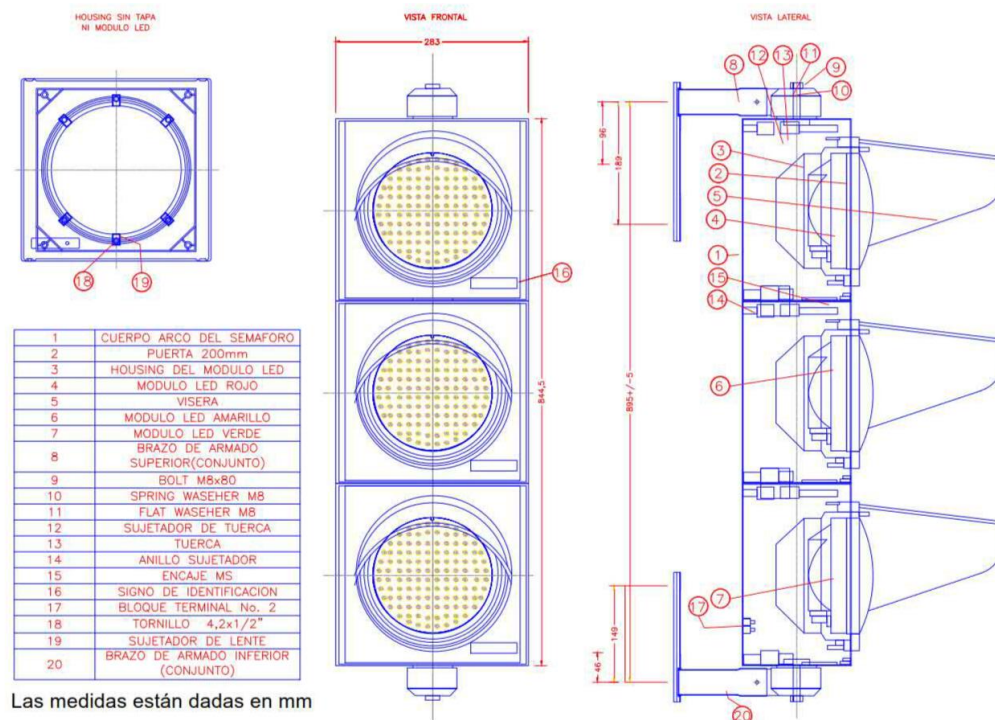
### **3.6 Elementos semafóricos**

El semáforo hace referencia al conjunto de elementos que se instalan en el poste para la señalización del tráfico con los módulos luminosos (rojo, amarillo y verde), fabricados en policarbonato inyectado, estabilizado, de alta resistencia al impacto, con protección frente a los rayos UV, con acabado negro y retardante a la llama, operados por un equipo electrónico de control, este dispositivo es útil ya que permite el control del paso vehicular y peatonal en diferentes sentidos de un corredor vial brindando seguridad a los ciudadanos. El semáforo consta de una serie de elementos físicos que se enumeran a continuación:

- Cabeza: Es la carcasa que contiene las partes visibles del semáforo las cuales pueden tener varias caras orientadas en diferentes direcciones.
- Soportes: Son las estructuras que sujetan la cabeza del semáforo y su principal función es ubicar los módulos LED del semáforo en la posición en donde sean visibles con el fin de observar sus indicaciones.
- Cara: Es el conjunto de elementos ópticos como el lente, el reflector, la lámpara o bombillo y el portalámpara que están orientadas en la misma dirección.
- Lente: Es la parte de la unidad óptica que por refracción dirige la luz proveniente de la lámpara y de su reflector en la dirección deseada.
- Visera: Es un elemento que se coloca encima o alrededor de cada una de las unidades ópticas, para evitar que los rayos del sol generen una refracción sobre los módulos LED y eviten la visualización de los colores.

Estas son algunas de las partes principales del semáforo vehicular tipo mástil, en la ilustración 11 se señalan.

Ilustración 11. Esquema semáforo vehicular



**Fuente:** Definición de solución técnica para el SSI

#### **4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En los últimos años la ciudad de Bogotá ha evolucionado con tecnologías inteligentes aplicadas a la movilidad, es por eso que la Secretaria Distrital de Movilidad viene adelantando la implementación de la modernización del sistema semafórico, el cual pretende reducir en un 30% los tiempos de viaje que incluirá a todos los actores viales, siendo una de las principales metas garantizar el buen funcionamiento de la circulación vehicular y sobre todo la seguridad vial como peatón, pasajero o conductor.

Durante el periodo de implementación del nuevo sistema inteligente semafórico se realizó la migración de 1268 equipos de control que equivalen 1536 intersecciones semafóricas desde junio del 2019 a octubre del 2021. Para dicha labor se generaron 60936 órdenes de trabajo de las cuales 20465 son relacionadas con diferentes fallas del sistema y las más relevantes son de seguridad de señales con 7108 y fallas de energía con 3841.

La falla de seguridad de señales es una típica falla de las intersecciones semafóricas y se dan al no tener un consumo adecuado en los flujos viales de las intersecciones, de las 7108 fallas registradas en los últimos 28 meses, un 57.27% se derivan de fallas en la acometida. Teniendo en cuenta la cantidad de reportes asociados a la falla de energía y a los derivados de la seguridad de señales representan un número elevado de atenciones, el cual genera la necesidad de realizar un análisis específico con el fin de formular un plan de acción al mantenimiento de los puntos de acometida reduciendo el impacto vial que genera una intersección semafórica en falla. Los puntos de acometida son intervenidos en el momento en el que se reporta la falla, pero no son intervenidas para realizar un mantenimiento preventivo específico.

Basado en lo anterior se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Es posible realizar un plan de mantenimiento preventivo al punto de acometida de las intersecciones semafóricas de la ciudad de Bogotá basado en la metodología RCM?

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1.1 Objetivo General**

Formular un plan de mantenimiento preventivo para los puntos de acometidas eléctricas de las intersecciones semafóricas, de la zona norte, centro y sur, de la ciudad de Bogotá basado en la metodología RCM.

### **5.1.2 Objetivos Específicos:**

- Realizar un análisis de criticidad a través de la matriz de priorización, para las intersecciones semafóricas de las zonas norte, centro y sur en la ciudad de Bogotá, para priorizar las actividades del plan de mantenimiento y seleccionar la zona más crítica y replicar el proceso en las otras dos zonas.
- Definir una metodología que permita optimizar los recursos empleados en los procesos de mantenimiento de las acometidas en las intersecciones semafóricas de las zonas norte, centro y sur de la ciudad de Bogotá.
- Estructurar un plan de mantenimiento basado en RCM que permita analizar las intersecciones priorizadas en las zonas norte, centro y sur de la ciudad de Bogotá.

## **6. JUSTIFICACIÓN**

La secretaria Distrital de Movilidad, como ente territorial es el responsable de la operación integral del sistema semafórico de la ciudad de Bogotá, así como de los proyectos de inversión que son un componente fundamental para el control del tránsito de la ciudad. Lo anterior permite la circulación tanto para vehículos como peatones garantizando la movilidad segura y eficiente de los diferentes actores del tránsito (Rodríguez Molano & Martínez Cárdenas, 2015).

La red semafórica de Bogotá en el año 2019 contaba con herramientas tecnológicas obsoletas que hacían que las operaciones fueran limitadas para el volumen de vehículos en su momento exceptuando en su mayoría a peatones, ciclo usuarios y demás actores viales, es por eso que en este mismo año se da inicio la migración a la semaforización inteligente la cual reducirá en un 90% el consumo de energía con los nuevos platos LED instalados en los semáforos, disminuir un 30% el tiempo promedio de viajes en la ciudad y permitirá incluir cámaras con el fin de ver en tiempo real la ocupación de las vías realizando un conteo de vehículos con el fin de tomar decisiones con el nuevo modelo de tráfico adaptativo mediante el nuevo Centro de Gestión de Tránsito CGT.

La modernización de la semaforización cuenta con dos tipos de equipos de control los cuales al ser netamente electrónicos son más sensibles y presentan un aumento en los reportes de fallas como consecuencia de las variaciones de tensión que se presentan en el suministro del punto de acometida eléctrica como en los componentes que se derivan desde el barraje que se encuentra en el Armario Unificado de Comunicaciones y Energía AUCE hasta el punto de la acometida interfiriendo en el funcionamiento principal de las intersecciones.

Finalmente, como se evidencia en el trabajo de grado que trata sobre el *“Estudio de prefactibilidad para una alimentación eléctrica confiable al sistema de semaforización del centro de Bogotá”* (Puerto León, M., & Vargas García, 2003). En el que destacan la importancia de crear una alternativa como la implementación de una segunda acometida eléctrica y la instalación de UPS las cuales hoy en día solo se han instalado 456 de los 1268 equipos de control, pero su respaldo es limitado y en promedio está en 40 minutos a una hora. A pesar de establecer opciones esto puede generar sobre costos y no son definitivas a las dificultades, sin embargo, resalta la importancia de la problemática que acarrea la falta de energía eléctrica en las intersecciones viales, pues los semáforos se apagan lo que pondría en riesgo o peligro la vida de los ciudadanos.

El mantenimiento preventivo enfocado al punto de acometida de las intersecciones semaforicas de la ciudad de Bogotá mantendrá el buen funcionamiento de los equipos de control disminuyendo la necesidad de realizar mantenimientos correctivos con ello los costos y los tiempos de espera por las reparaciones reduciendo la exposición de riesgo de la vida de los actores viales así mismo permitirá aumentar la vida útil de los equipos como de las herramientas y accesorios de todo el sistema.

## **7. MARCO TEORICO**

### **7.1.1 Situación actual**

La secretaria Distrital de Movilidad a través de una convocatoria pública facilita que las compañías del sector apliquen a la licitación abierta para la selección de los contratistas que realizaran las labores de “EXPANSIÓN Y MANTENIMIENTO AL SISTEMA DE SEMAFORIZACIÓN DE BOGOTÁ D.C”, contrato que va a tener un período de ejecución estimado de 9 meses. Actualmente el Consorcio Movilidad Futura 2050 el cual tenía plazo de ejecución del contrato hasta 31 de agosto del 2020 pero debido a los retrasos en los permisos para intervenir zonas de espacio público, en la aprobación para la conexión eléctrica de las acometidas de las intersecciones, las recientes afectaciones en el mobiliario semaforico por las marchas y manifestaciones y la contingencia sanitaria debido a la pandemia la Secretaría Distrital de Movilidad se vio procedente de generar una tercera prorrogas al consorcio Movilidad Futura 2050 hasta el 30 de septiembre del 2021 para continuar con la operación y mantenimiento del sistema de semaforización de Bogotá (Informe de ejecución Contrato 2021-1880, SDM, 2021). Así mismo, la Secretaría Distrital de Movilidad establece los lineamientos especificaciones técnicas bajo las cuales se ejecutarán las actividades de mantenimiento para los componentes de la central de semaforización, equipos de control de tráfico, elementos de video detección, botones de demanda, sistema de puesta a tierra de elementos de planta externa del sistema de semaforización de la ciudad. Esto hace que despliegue un plan de mantenimiento robusto definido con la intención de prolongar la vida

útil y conservar las condiciones originales de los equipos para cada una de las intersecciones semafóricas basado en mantenimiento preventivo y correctivo.

### **7.1.2 Generalidades del mantenimiento**

Se puede considerar que el mantenimiento tiene data desde que el hombre primitivo utilizaba sus utensilios como herramientas para el desarrollo de tareas diarias como la agricultura, exigiendo mantener estos recursos con fines de supervivencia se practicaba el manteamiento, pero no se tenía claro el concepto. Es entonces que hasta finales de la Segunda Guerra Mundial que el mantenimiento preventivo y correctivo tuvo gran relevancia, pues nace al observar que un equipo sufre por diversas causas un deterioro o desgaste (Oliverio García Palencia, 2012). Si bien, en la actualidad las compañías básicamente enfocadas en la industria en las que la mayoría de sus procesos involucran el manejo de máquinas, equipos, dispositivos, herramientas etc., se han visto prácticamente en la necesidad de mantener estos activos en buen estado ya que esto les representara disponibilidad y confiabilidad en sus productos minimizando los costos y tiempos, aumentando la productividad, eficacia, efectividad, eficiencia y vida útil de los productos, es importante mencionar que todo esto ha sido posible debido al acompañamiento de las políticas generadas en torno a la seguridad y calidad que deben tener los equipos así como las exigencias de los gobiernos para que las industrias cumplan los más altos estándares de mantenimiento de clase mundial (Antonio Rodríguez Machado, 2012).

### **7.1.3 Historia del mantenimiento centrado en confiabilidad**

### **7.1.4 Mantenimiento correctivo**

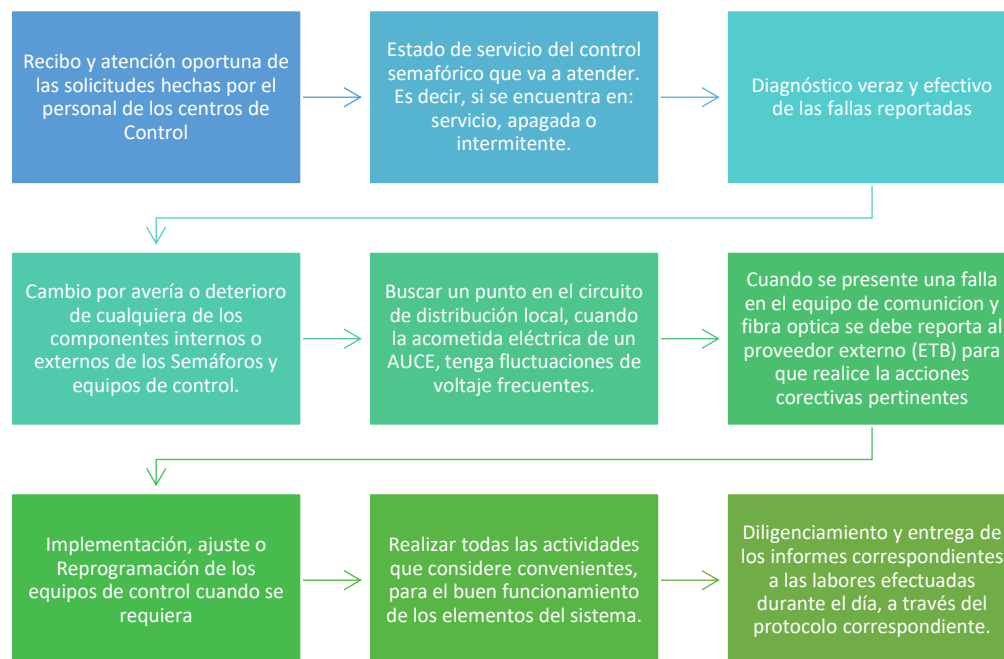
Este tipo de mantenimiento está diseñado con el fin de corregir las fallas presentadas en cualquier componente de las intersecciones semafóricas (postes, semáforos, cámaras de video detección, botones de demanda, sonoros o equipo de control) o las fallas que se generan como resultado de la detección de anomalías durante las labores de inspección en el

mantenimiento preventivo de los equipos de control, central de tráfico y componentes eléctricos.

### 7.1.5 Procedimiento para el mantenimiento correctivo

Comprende las actividades a realizar al momento de presentar falla en cualquier componente de la intersección semafórica ya sea un semáforo, un poste, cámaras de video detección, botones de demanda, sonoros o en el equipo de control al presentar dichas fallas pueden llevar con el retiro de: cable de semáforos, cable de botones de demanda, dispositivos sonoros, acometida eléctrica, cambio o traslado de semáforos y reprogramación de equipos de control entre otros. Las labores de mantenimiento correctivo que en general debe incluir como mínimo los siguientes aspectos:

*Ilustración 12. Procedimiento para el mantenimiento correctivo*



**Fuente:** Autor

### **7.1.6 Mantenimiento preventivo**

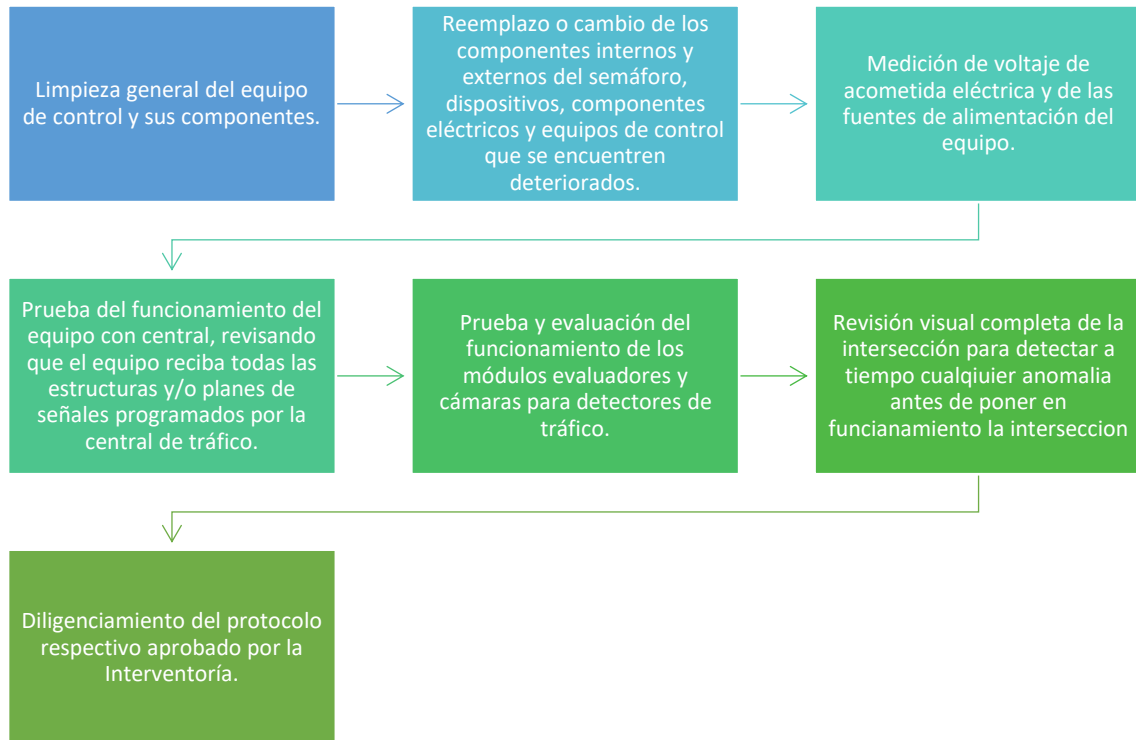
El mantenimiento preventivo comprende la realización de las actividades que conllevan a detectar el deterioro de un elemento o componente, de modo que se efectúe su reparación o sustitución antes de que presente una falla que pueda afectar al servicio del sistema buscando evitar el deterioro de cualquier elemento del sistema.

Las labores de mantenimiento preventivo de los equipos de control y componentes eléctricos deberán ser programadas mensualmente, detallando día a día los equipos y los grupos que efectuarán la actividad de mantenimiento, de tal manera que en un lapso de seis meses se dé cubrimiento a la totalidad de los equipos de la ciudad. Para llevar un control de las acciones ejecutadas se deberá utilizar el software de mantenimiento y gestión de inventarios MANTUM, para la programación de las actividades de mantenimiento preventivo de la central y registrar allí el informe de actividad realizada con cada una de sus fechas y si se realizó algún consumo de materiales para el desarrollo de la actividad.

### **7.1.7 Procedimiento para el mantenimiento preventivo**

El mantenimiento preventivo de los semáforos y de la red eléctrica del sistema de Semaforización de Bogotá D.C, se realizará en cada una de las intersecciones semaforizadas de la ciudad, de acuerdo con los criterios técnicos establecidos por la secretaria Distrital de Movilidad y la programación debe ser aprobada por la interventoría. Las principales labores para realizar para el mantenimiento preventivo del sistema eléctrico son los siguientes:

*Ilustración 13. Procedimiento para el mantenimiento preventivo*



**Fuente:** Autor

Con el fin de promover la calidad y el cumplimiento en las actividades que son responsabilidad del contratista, se establecen documentos en los que se detallan cada una de las labores que se deben realizar para llevar a cabalidad el mantenimiento preventivo según especificaciones técnicas (Secretaría Distrital de Movilidad, 2021a)

Para efectos de desarrollo del presente trabajo de grado se pretende implementar la metodología de mantenimiento centrada en la confiabilidad (RCM).

### **7.1.8 Metodología RCM**

Los primeros asomos del concepto se pueden remontar muchos años atrás, pero solo hasta mediados de la segunda guerra mundial donde se empieza a evidenciar que debido al aumento

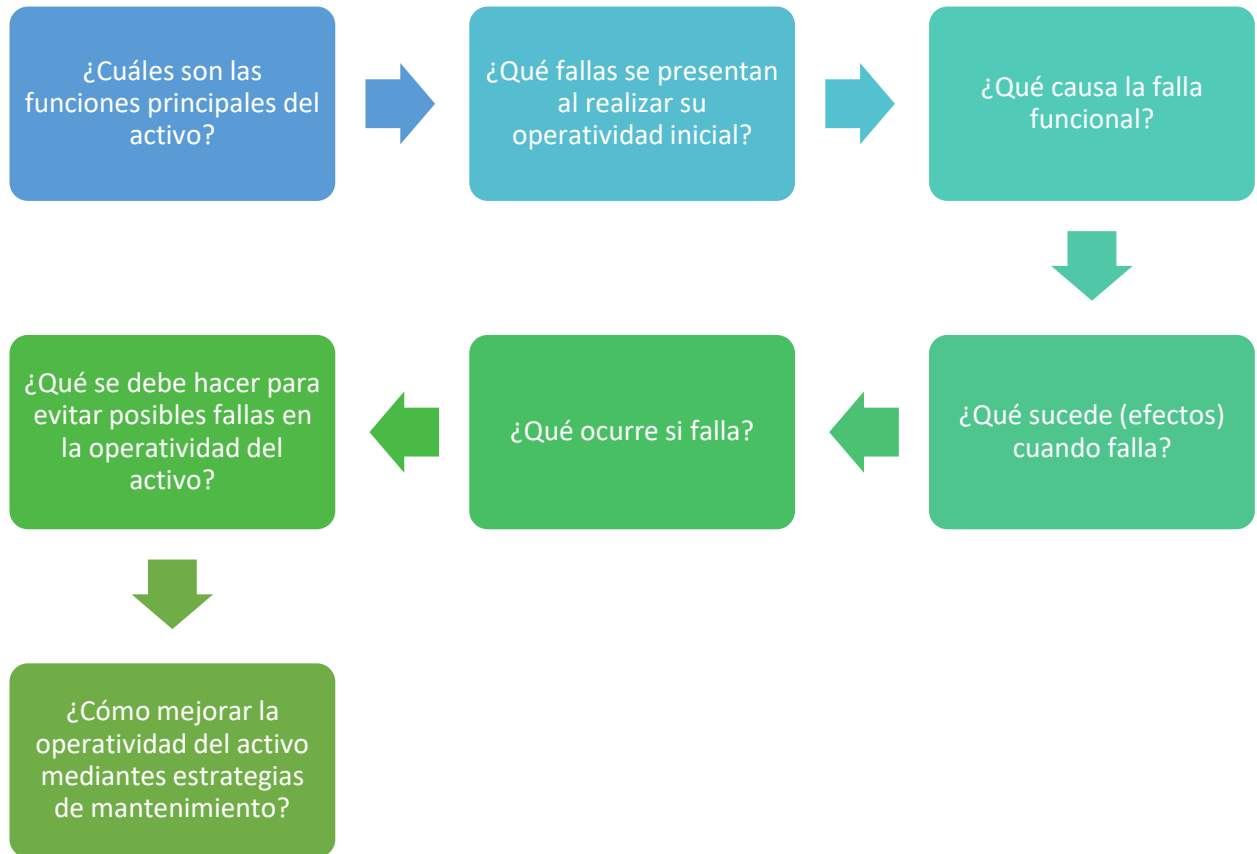
de aparatos mecánicos y complejos se genera la necesidad controlar las pérdidas ocasionadas por las fallas irreparables en la maquinaria industrial. Es entonces, que hasta los años 1960 a 1970 el gobierno de los Estados Unidos de América solicita a la compañía United Airlines dar un informe sobre los procesos usados por la industria de la aviación civil con el fin de elaborar programas de mantenimiento para los aviones. Dicho reporte fue escrito por Stanley Nowlan y Howard al que le dieron como título “RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE” y que hasta el día de hoy con las diferentes variaciones en la propuesta del documento original inicial se sigue aplicando.

La esencia de esta metodología está contenida en la norma SAE JA1011 que se compone de un conjunto de documentos que proporcionan requisitos, especificaciones, directrices o características que se pueden utilizar de forma coherente para garantizar que los materiales, productos, procesos y servicios son adecuados para su propósito (Norma SAE JA 1011).

#### **7.1.9 Normas SAE JA1011**

Según la norma SAE JA 1011 se debe cumplir con ciertos estándares para que se pueda establecer un RCM, para ellos se debe asegurar responder en secuencia las siguientes preguntas: (Campos et al., 2019).

Ilustración 14. Criterios para el desarrollo de un RCM

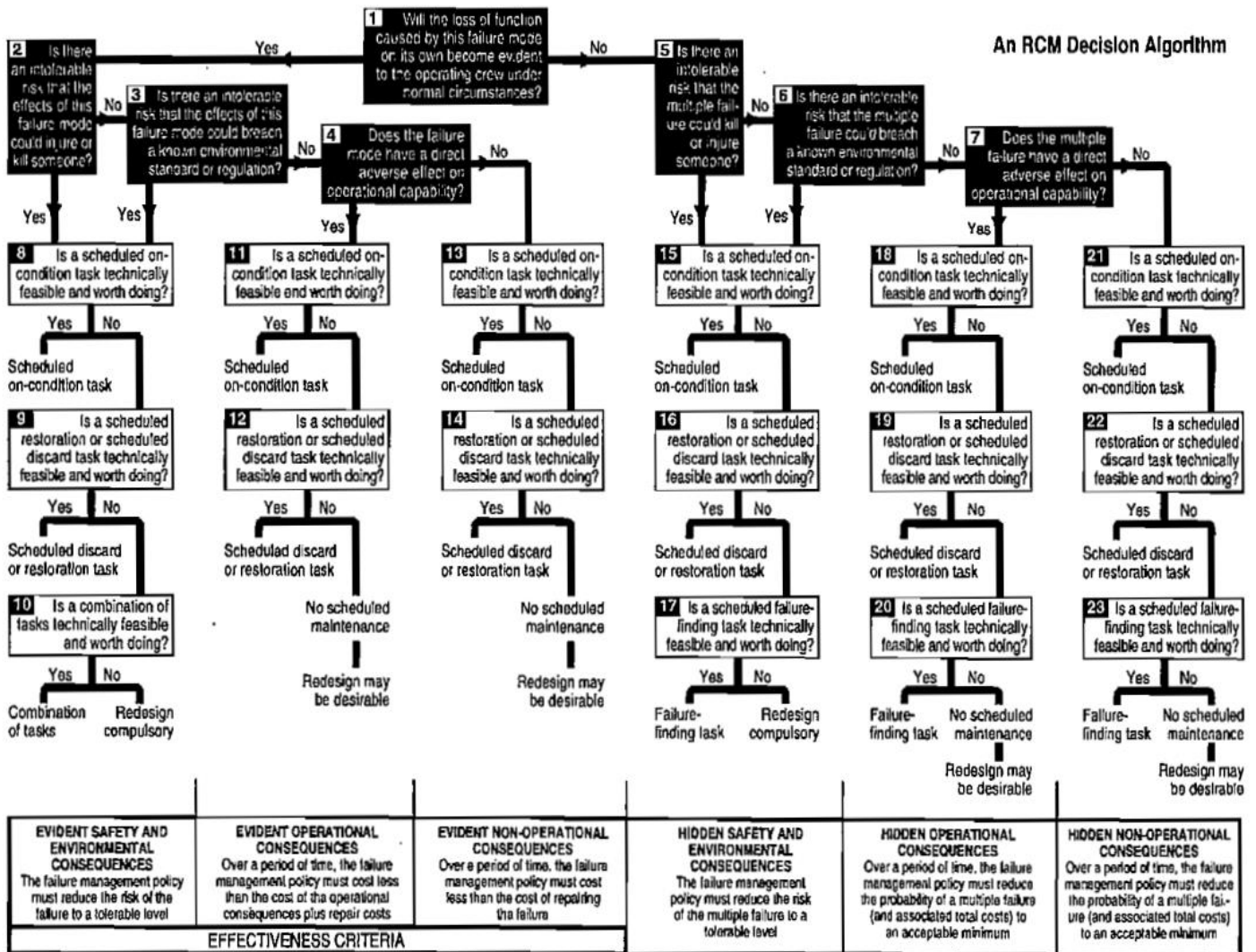


**Fuente:** Autor

#### 7.1.10 Árbol lógico de decisiones RCM

EL diagrama del árbol de decisión o algoritmo RCM como se puede evidenciar en la ilustración 15, se encarga de relación la información compilada ya que es la herramienta recomendada por la norma SAE JA1011 para la toma de decisiones mediante una serie de preguntas con el fin de seleccionar una metodología adecuada para reducir la probabilidad de que se genere una falla funcional (Miguel Ángel Motta Cruz, 2017).

Ilustración 15. Algoritmo de decisiones RCM



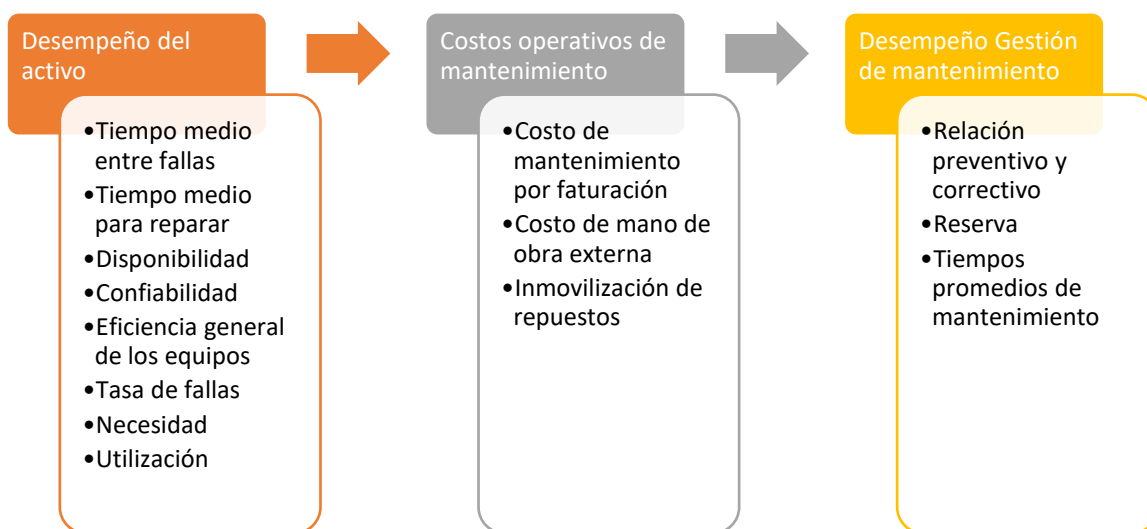
Fuente: Norma SAE JA 1012

### 7.1.11 Indicadores de gestión de mantenimiento

Los indicadores de gestión en general me permiten obtener información real de un proceso cuantitativamente, con el fin de medir los objetivos individuales o colectivos de una organización a fin de tomar las acciones correspondientes cuando una meta establecida no se

está cumpliendo al 100%. Existen tres clases de mantenimiento de acuerdo con (Jonathan Buenahora Páez & Cesar Augusto Diaz Rangel, 2012) los cuales se esquematizan a continuación:

*Ilustración 16. Tipos de Indicadores*



**Fuente:** Autor.

A continuación, se definen los indicadores que se utilizan para evaluar la calidad del servicio proporcionado en las actividades correspondientes del sistema de semaforización de Bogotá D.C. Estos indicadores deberán ser medidos de forma mensual.

#### **7.16.1.1 Indicador del Tiempo de Solución de Solicitudes (TSS):**

Este indicador mide el porcentaje de solicitudes que fueron atendidas dentro de un tiempo menor o igual al Tiempo máximo establecido el cual varía de acuerdo con la solicitud, como se evidencia en la siguiente tabla. Para el caso de mantenimiento correctivo, corresponde al tiempo máximo de Restauración de la Falla teniendo en cuenta los niveles de atención (alto, medio, bajo). En este indicador se busca obtener el valor mayor o igual al 99 %. (Acuerdos de

Niveles de Servicio, 2021). En la tabla 1 se relacionan los tiempos de respuestas y los tiempos definitivos de restauración de operación de la intersección con respecto a la tipología de falla o reparación.

*Tabla 1. Tiempos de respuesta*

<b>Tipología de falla o reparación</b>	<b>Grupo</b>	<b>Estado de la intersección</b>	<b>Nivel de atención</b>	<b>Tiempo máximo de respuesta</b>	<b>Tiempo definitivo de restauración de operación de la intersección</b>
Cambio de una bombilla fundida en modulo rojo	A1	En falla	Alto	Sesenta (60) minutos	1 hora
Cambio de un módulo LED Rojo en falla	A1	En falla	Alto	Sesenta (60) minutos	1 hora
Localización y solución de corto eléctrico o cableado abierto	A2	En falla	Alto	Sesenta (60) minutos	1 hora
Retiro e instalación de un semáforo por siniestro (Accidente, hurto o, vandalismo)	A2	En falla	Alto	Sesenta (60) minutos	1 hora
Reposición de un módulo sonoro en daño	M1	Funcionando	Medio	Noventa (90) minutos	1 hora
Reposición de un semáforo por siniestro (Accidente, hurto o, vandalismo)	M2	Funcionando	Medio	Noventa (90) minutos	2 horas
Cambio de una bombilla fundida en módulos verdes y amarillos.	M1	Funcionando	Medio	Noventa (90) minutos	1 hora
Cambio de un módulo LED verdes o amarillos, apagados por daño en ellos	M1	Funcionando	Medio	Noventa (90) minutos	1 hora

Cambio de un módulo LED con falla parcial	B1	Funcionando	Bajo	Tres (3) horas	2 horas
Cableado total de un flujo	B2	Funcionando/En instalación	Bajo	Tres (3) horas	3 horas
Instalación de un semáforo	B1	Funcionando/En completo	Bajo	Tres (3) horas	2 horas
Investigación para acometida eléctrica (sin Investigación de canalización)	B1	Funcionando	Bajo	Tres (3) horas	2 horas
Orientar semáforos	B1	Funcionando	Bajo	Tres (3) horas	2 horas
Reposición de elementos del cuerpo del semáforo (visera, puerta y soporte)	B1	Funcionando	Bajo	Tres (3) horas	2 horas

**Fuente:** Autor

El indicador será calculado mediante la siguiente fórmula:

$$TSS(\%) = \frac{A - B}{A} * 100$$

Donde:

A= Total mensual de solicitudes realizadas para atención

B= Total mensual de solicitudes fuera del tiempo máximo establecido

Para el cálculo de A se debe incluir la suma de las solicitudes realizadas para las actividades de:

- Mantenimiento correctivo
- Mantenimiento Preventivo
- Complemento de Intersecciones existentes
- Implementación de nuevos controles semaforicos

Para hallar el valor de B se debe incluir la suma de las solicitudes realizadas, que fueron atendidas o solucionadas dentro de un tiempo mayor o igual al Tiempo máximo establecido en los numerales anteriores, para las actividades antes relacionadas en el cálculo A.

#### **7.16.1.2 Indicador de Calidad de Solución de Incidentes (CSI)**

Para este indicador el parámetro corresponde a la relación de órdenes de servicio que son resueltas correctamente, sin necesidad de reapertura por causas imputables al Contratista, frente al total de solicitudes recibidas. La meta establecida en este parámetro es obtener el valor mayor o igual al 98%.

El indicador será calculado mediante la siguiente fórmula:









$$CSI = 1 - \frac{\# \text{ Órdenes de Servicio reabiertos}}{\# \text{ Total de Órdenes de Servicio recibidas}}$$

#### **7.16.2 Sistema de la información**

El uso de herramientas computarizadas en una organización en la actualidad son de fundamental aplicación ya que permiten la administración de la información, trazabilidad, soporte, accesibilidad, indicadores, control de inventarios etc, y en general que facilitan y ayudan a optimizar los procesos operativos del mantenimiento para una mejor gestión. El sistema computarizado de gestión de mantenimiento (CMMS) son software diseñados de tal manera que se ajuste a las necesidades de la organización ya que en el mercado existen una amplia variedad de programas. Las primeras versiones de CMMS aparecen en la década de los sesenta cuando se utilizaban tarjetas perforadas para informar registros computarizados y realizar seguimiento a las labores de mantenimiento, luego en la década de 1970 las listas de verificación se registraban en los sistemas CMMS, finalmente entre la década de 1990 al

2000 con el avance de la conectividad basada en web se amplió el uso a dispositivos móviles (Rafael et al., 2011). Uno de los programas que tiene la mayoría de los recursos para la administración de la información en procesos de Gestión de Mantenimiento de Clase Mundial es MántumCMMS que entre otras cosas a modo general tiene las siguientes funciones especificadas en la ilustración 17:

*Ilustración 17. Módulos y Funcionalidad general*

 <p><b>Ordnes de trabajo (O.T.) y programación:</b> La O.T. es el registro documental mediante el cual se gestionan las A.M. correctivas, sistemáticas y predictivas. Permite un control detallado de tiempos, consumo de recursos, desempeño del personal y costos directos e indirectos.</p>	 <p><b>Bitácoras de trabajo:</b> Herramienta para el registro detallado de las actividades diarias ejecutadas por del personal operativo.</p>
 <p><b>Solicitudes de Servicio (S.S.):</b> Documento mediante el cual se formaliza un canal de comunicación preciso, fluido y trazable entre mantenimiento y los demás departamentos de la organización.</p>	 <p><b>Recursos de Inventario:</b> Permite administrar en forma general el proceso relacionado con los suministros para el mantenimiento, incluyendo registro automático o manual de entradas y salidas y control de stocks.</p>
 <p><b>Planes de Mantenimiento:</b> Administra en forma proactiva, el conjunto de actividades de mantenimiento (A.M.) que deben ejecutarse para garantizar la confiabilidad de los activos, y establece los criterios generales para la programación sistemática.</p>	 <p><b>Gestión de fallas:</b> Poderosa funcionalidad para administrar todos los eventos ocurridos en la planta de producción y los paros de equipos, para estudiar estos acontecimientos.</p>
 <p><b>Gestión documental:</b> Puede centralizar todos los documentos importantes para su proceso, como fotografías, imágenes, esquemas, planos, manuales de usuario o listas de partes.</p>	 <p><b>Indicadores e informes:</b> Cuenta con un poderoso motor gráfico, que permite la generación rápida y eficiente de Indicadores Clave de Gestión (K.P.I.) e informes ejecutivos, que sirven como resumen del estado real de los procesos de mantenimiento y son elementos fundamentales para la toma de decisiones tácticas y estratégicas.</p>

**Fuente:** Datos de la operación contrato SDM 2017-1913 (SSI), junio 2019-octubre 2021.

## 8 METODOLOGIA

Se recolectará la información de las bitácoras mensuales del contrato 2017-1913 “SUMINISTRO, INSTALACIÓN, IMPLEMENTACIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE SEMÁFOROS INTELIGENTE (SSI) PARA LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.” dichas bitácoras recopilan todas las ordenes de trabajo que se

han generado en el periodo de junio del 2019 a junio del 2021, el cual indica el tipo de falla, diagnóstico, solución realizada y tiempos de ejecución de cada orden.

Al tener la información recopilada de la bitácora del periodo en mención se clasificará la información por tipo de falla y nos enfocaremos en las fallas de seguridad de señales específicamente en las derivadas de la acometida y en los reportes por falla de acometida.

Se clasifican los efectos de falla causados por el suministro eléctrico de la intersección y así clasificar y definir una de las 5 posibles estrategias nombradas en la NORMA-SAE-JA-1011 con el fin de mitigar las consecuencias de dichas fallas, dichas estrategias son las siguientes:

- Tareas de mantenimiento basados en condición
- Tareas de reparaciones programadas
- Tareas de reemplazo programado
- Tareas de búsqueda de falla
- Tareas de rediseño

Luego de definir las tareas y procedimientos adecuados para el plan de mantenimiento se asignarán las frecuencias con las que se deben realizar los mantenimientos preventivos, utilizando métodos estadísticos y basándome en la experiencia de los técnicos con el fin de definir los periodos adecuados.

Teniendo en cuenta que si una intersección vial esta semaforizada es porque es crítica y por tal motivo cumple con los criterios establecidos en el manual de señalización vial 2015, por tal motivo ninguna es más importante que la otra, todas son críticas bajo las siguientes condiciones:

- Condición A: Volumen mínimo de vehículos
- Condición B: Interrupción del tránsito continuo
- Condición C: Volumen mínimo de peatones
- Condición D: Movimiento o circulación progresiva

- Condición E: Accidentes
- Condición F: Combinación de las condiciones anteriores

Se realizará una matriz de priorización enfocada en los actores viales que participen en cada intersección ya sean ciclo usuarios, peatones, por cantidad de flujos vehiculares e intersecciones manejadas por un mismo controlador, así priorizando las 1536 intersecciones por zona norte, centro y sur de la ciudad de Bogotá.

Al desarrollar el plan de mantenimiento preventivo basado en RCM para las acometidas semafóricas de la ciudad de Bogotá, se analiza afondo el tema de costos y medidas de mejora que se puedan llevar con dicho plan.

## **9 DESARROLLO Y DISCUSION**

### **9.16 Análisis de criticidad**

El presente proyecto parte de la necesidad de formular un plan de mantenimiento para los puntos de acometidas eléctricas de las intersecciones semafóricas, de la zona norte, centro y sur de la ciudad de Bogotá basado en la metodología RCM, para lo cual se requiere determinar los criterios bajo los cuales se eligen las intersecciones consideradas críticas, para ello es fundamental la aplicación de la metodología RCM en el análisis de la problemática respondiendo a unas preguntas.

Para el siguiente modelo de criticidad se tiene como punto de partida, que toda intersección semaforizada ha tenido estudios y una justificación previa de instalación, con el fin de reducir y/o eliminar el número siniestros viales siempre y cuando cumplan los actores viales con las indicaciones del semáforo. Por tal motivo, toda intersección semafórica cuenta con un análisis el cual evalúa los siguientes criterios:

- Volumen mínimo de vehículos
- Interrupción del tránsito continuo

- Volumen mínimo de peatones
- Movimiento o circulación progresiva
- Accidentes

Partiendo desde los criterios mencionados, toda intersección que se encuentre semaforizada es crítica, debido a esto se realiza un análisis de criticidad con el fin de buscar las intersecciones semaforizadas con mayor impacto en el ámbito en la movilidad y seguridad vial. Así, se establece en la tabla 2 los criterios de evaluación en una escala de 1 a 5 donde:

- 1 es el de menor peso
- 5 es el de mayor peso

*Tabla 2. Criterios de evaluación de las intersecciones semaforizadas de Bogotá*

Factores de criticidad		Peso
Intersecciones controladas por un mismo equipo	Sencilla	1
	Doble	3
	Triple o Mas	5
Cantidad flujos de señales	Flujos de señales entre $\geq 2$ a $\leq 4$	1
	Flujos de señales entre $\geq 6$ a $\leq 10$	2
	Flujos de señales entre $\geq 11$ a $\leq 15$	3
	Flujos de señales entre $\geq 16$ a $\leq 20$	4
	Flujos de señales $\geq 21$	5
Tipo de señalización	Sin Señalización BRT	1
	Con Señalización BRT	5
	Sin señalización Peatonal	1

	Con Señalización Peatonal	5
	Sin Señalización Acústica Sonora	1
	Con Señalización Acústica Sonora	5
	Sin Señalización Ciclo usuarios	1
	Con Señalización Ciclo usuarios	5
	Sin Botones de demanda peatonal	1
	Con Botones de demanda peatonal	5

**Fuente:** Autor.

Los factores de criticidad que se evalúan en la tabla 3; las intersecciones controladas por un mismo equipo, hace referencia a la capacidad de manejo que tienen los equipos de control ya que pueden manipular cinco (5) intersecciones semafóricas al tiempo, eso depende de la cantidad de flujos de señales y la distancia que se encuentre del controlador. La Cantidad grupo de señales, indica la complejidad de cada intersección ya que a mayor cantidad de flujos de señales mayor es el riesgo vial de la intersección. El tipo de señalización muestra los actores viales que se presentan en la intersección, es decir vehicular, peatonal, ciclo usuarios y pasos seguros peatonales (botones y sonoros).

*Tabla 3. Tabla de criticidad.*

Cod_ID	N° Externo	Dirección	Localidad	Tipo de Intersección	Cantidad de flujos de	Grupos BRT (TM)	Grupos Peatonales	Grupos Ciclo usuario	Módulos Sonoros	Botón de Demanda	Puntuación promedio	Criticidad
1353	1631	AV SANTA BARBARA (AK 19) X CL 144	Usaquén	3	5	1	5	5	5	5	4,14	Alta
1148	1016	AV LAUREANO GOMEZ (AK 9) X AV DE LA SIRENA (AC 153)	Usaquén	1	4	1	5	5	5	5	3,71	Alta

Cod_ID	N° Externo	Dirección	Localidad	Tipo de Intersección	Cantidad de flujos de	Grupos BRT (TM)	Grupos Peatonales	Grupos Ciclo usuario	Módulos Sonoros	Botón de Demanda	Puntuación promedio	Criticidad
51	1069	AV SANTA BARBARA (AK 19) X CL 159	Usaquén	1	4	1	5	5	5	5	3,71	Alta
112	1307	AV SANTA BARBARA (AK 19) X CL 104	Usaquén	1	4	1	5	5	5	5	3,71	Alta
1577	1316	AV SANTA BARBARA (AK 19) X CL 106A	Usaquén	1	4	1	5	5	5	5	3,71	Alta
70	1471	AV SANTA BARBARA (AK 19) X CL 140	Usaquén	1	4	1	5	5	5	5	3,71	Alta
1355	1627	AV SANTA BARBARA (AK 19) X CL 150	Usaquén	1	4	1	5	5	5	5	3,71	Alta
71	1020	AV SANTA BARBARA (AK 19) X CL 136	Usaquén	1	3	1	5	5	5	5	3,57	Media
42	1024	AV SANTA BARBARA (AK 19) X AV DE LAS ORQUÍDEAS (AC 161)	Usaquén	1	3	1	5	5	5	5	3,57	Media
1610	1226	AV. JORGE URIBE BOTERO (AK 15) X AV. DE LAS ORQUÍDEAS (AC 161)	Usaquén	1	3	1	5	5	5	5	3,57	Media
103	1313	KR 20 X AV PEPE SIERRA (AC 116)	Usaquén	1	3	1	5	5	5	5	3,57	Media
1602	1327	KR 21 X CL 106	Usaquén	1	3	1	5	5	5	5	3,57	Media
58	1620	AV SANTA BARBARA (AK 19) X CL 152	Usaquén	1	3	1	5	5	5	5	3,57	Media
66	1308	KR 17 X AV PEPE SIERRA (AC 116)	Usaquén	3	4	1	5	5	1	5	3,43	Media
87	1303	AV SANTA BARBARA (AK 19) X AV CALLEJAS (AC 127)	Usaquén	5	5	1	5	5	1	1	3,29	Media
23	1625	KR 11 X CL 140	Usaquén	1	4	1	5	1	5	5	3,14	Media

Cod_ID	N° Externo	Dirección	Localidad	Tipo de Intersección	Cantidad de flujos de	Grupos BRT (TM)	Grupos Peatonales	Grupos Ciclo usuario	Módulos Sonoros	Botón de Demanda	Puntuación promedio	Criticidad
101	1304	AV SANTA BARBARA (AK 19) X AV PEPE SIERRA (AC 116)	Usaquén	1	4	1	5	5	1	1	2,57	Baja
1324	1600	AV GERMAN ARCINIEGAS (AK 11) X CL 106	Usaquén	1	4	1	5	5	1	1	2,57	Baja
54	1616	AV SANTA BARBARA (AK 19) X AV DE LA SIRENA (AC 153)	Usaquén	1	4	1	5	5	1	1	2,57	Baja
17	1169	AV LAUREANO GOMEZ (AK 9) X AV CONTADOR (AC 134)	Usaquén	1	3	1	5	5	1	1	2,43	Baja
15	1170	AV LAUREANO GOMEZ (AK 9) X AV CEDRITOS (AC 147)	Usaquén	1	3	1	5	5	1	1	2,43	Baja
16	1178	AV LAUREANO GOMEZ (AK 9) X CL 140	Usaquén	1	3	1	5	5	1	1	2,43	Baja
34	1225	KR 13 X AV PEPE SIERRA (AC 116)	Usaquén	1	3	1	5	5	1	1	2,43	Baja
50	1292	AV PASEO DEL COUNTRY (AK 15) X AV PEPE SIERRA (AC 116)	Usaquén	1	3	1	5	5	1	1	2,43	Baja
96	1472	AV SANTA BARBARA (AK 19) X CL 122	Usaquén	1	3	1	5	5	1	1	2,43	Baja
68	1802	AV SANTA BARBARA (AK 19) X CL 142	Usaquén	1	3	1	5	5	1	1	2,43	Baja

**Fuente:** Autor.

La tabla 3 representa solo el 5.8 % de las intersecciones evaluadas bajo los mismos parámetros de criticidad, en el cual se puede evidenciar como resultado las intersecciones

más críticas de la localidad de Usaquéen según los rangos para establecer la criticidad se da como resultado de la siguiente formula:

$$Criticidad = \frac{(tipo\ de\ intersección) + (cantidad\ de\ flujos\ de\ señales) + (grupos\ BRT) + (grupos\ peatonales) + (grupos\ ciclo\ usuarios) + (módulos\ sonoros) + (botón\ de\ demanda)}{7}$$

La tabla 4 nos indica los rangos de criticidad con el fin de establecer las intersecciones con mayor impacto en la movilidad y seguridad de los actores viales.

*Tabla 4. Niveles para establecer criticidad.*

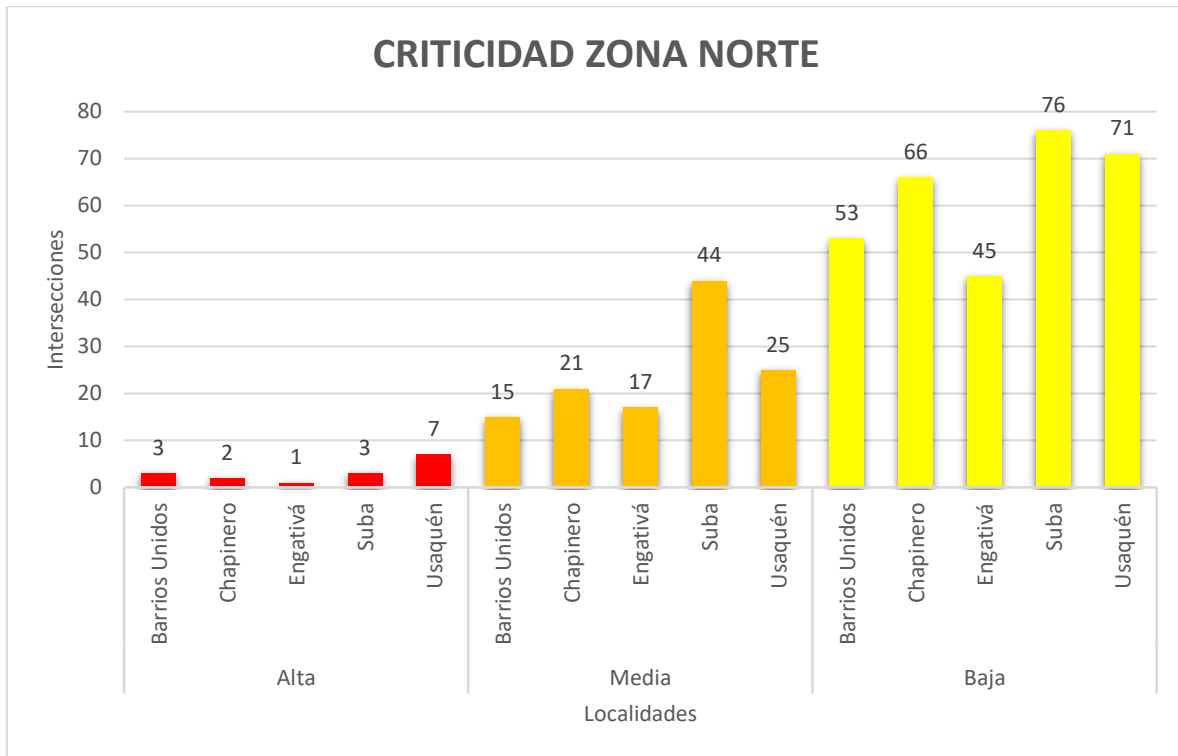
Criticidad	valor
Alta	$\geq 3,6$
Media	$2,6 \geq 3,57$
Baja	$0,71 \geq 2,57$

**Fuente:** Autor.

- Criticidad alta: en esta categoría se encuentran las intersecciones con mayor flujo de señales e involucra todos los actores viales.
- Criticidad media: en esta categoría se encuentran las intersecciones con la mediana parte de flujo de señales, pero involucra la mayoría de los actores de viales.
- Criticidad baja: en esta categoría se encuentran las intersecciones con menor flujo de señales y no involucra todos los actores viales.

La criticidad antes hallada será el punto de partida para concretar la estrategia y prioridad del mantenimiento de las intersecciones con mayor incidencia en la movilidad y en la seguridad de los actores viales. Esta será la entrada del proceso de confiabilidad para así determinar la metodología de mantenimientos más adecuada. En la ilustración 18 se observa la distribución de criticidad de la zona norte.

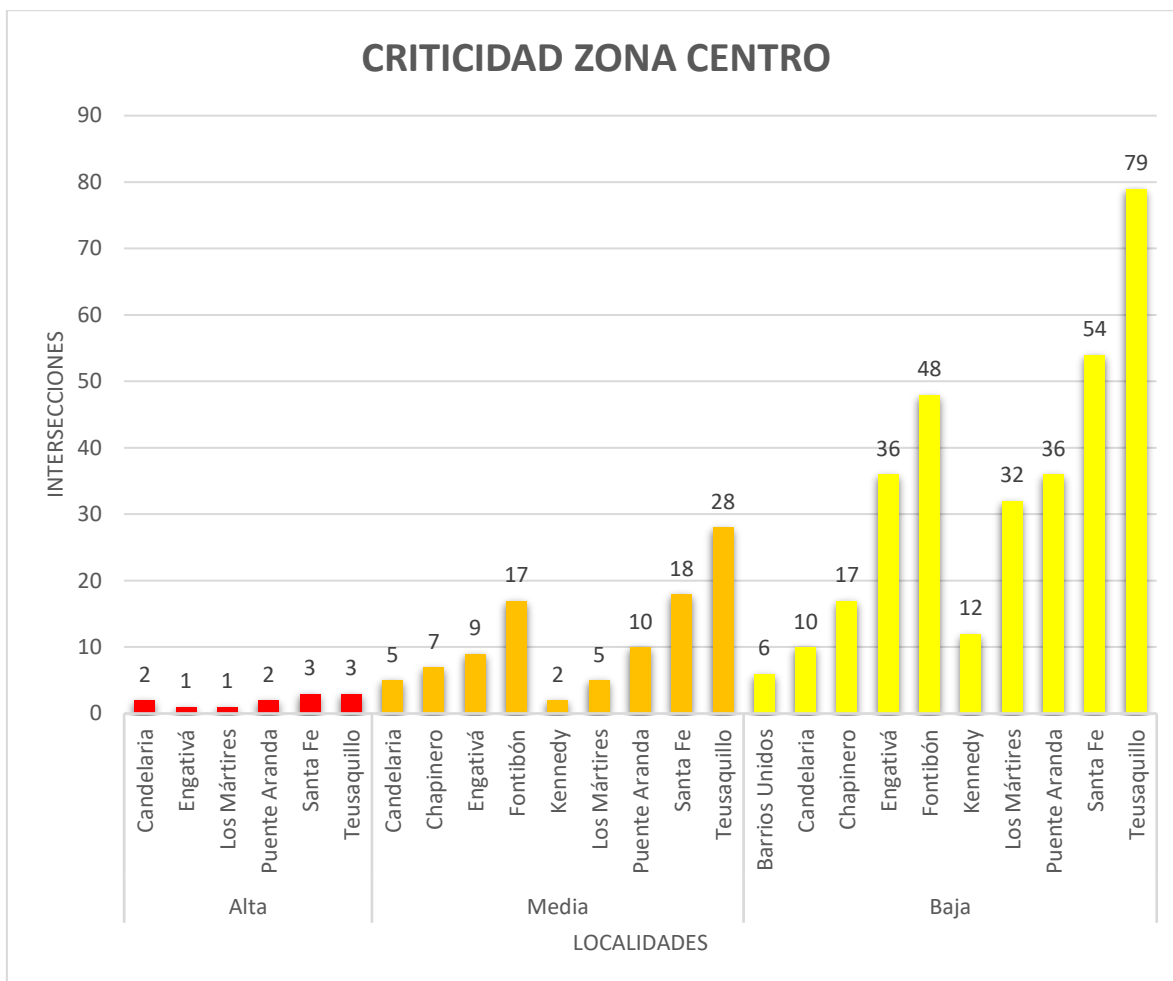
Ilustración 18. Criticidad zona norte



**Fuente:** Autor.

Para la zona norte de la ciudad de Bogotá se realizó el análisis de criticidad a 449 intersecciones semaforizadas de las cuales se obtuvieron los siguientes resultados; alta con 16, media con 122 y baja con 311, la localidad en la zona norte que presenta la criticidad más alta es Usaquén con 7 intersecciones, seguida por las localidades de Barrios Unidos y Suba con 3 intersecciones cada una. Este mismo método se replicó para las zonas centro y sur de la ciudad arrojando la estadística.

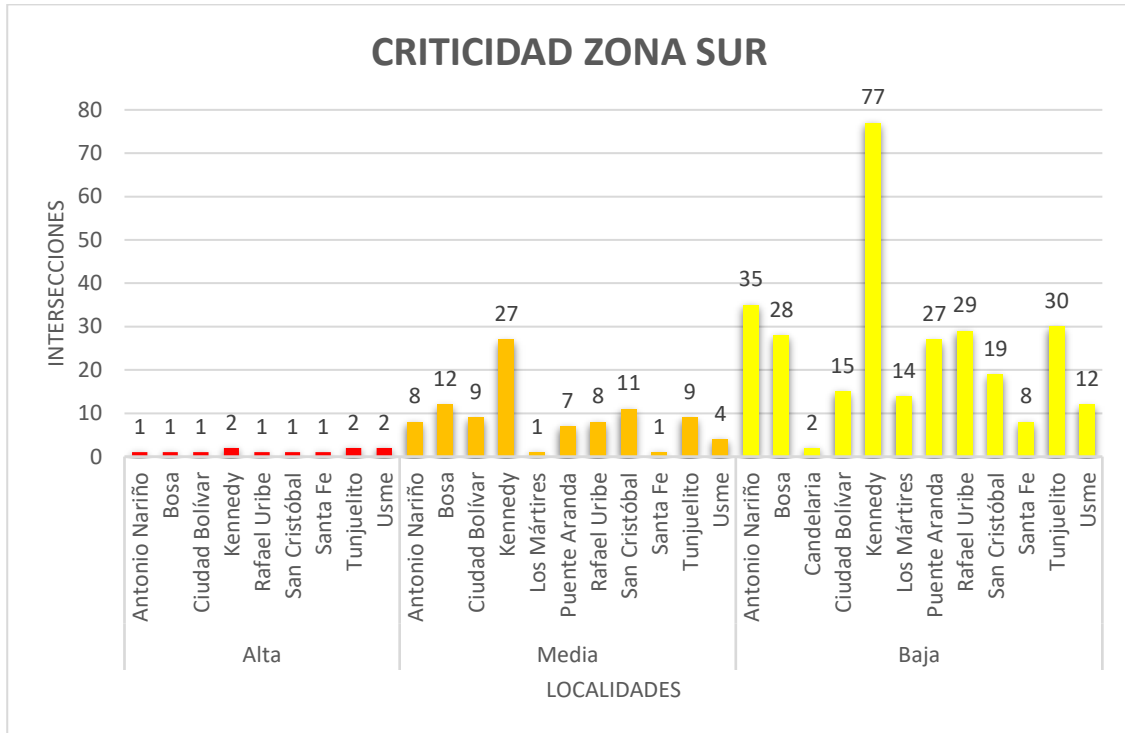
Ilustración 19. Criticidad zona centro



**Fuente:** Autor.

En la ilustración 19 se muestra el Análisis replicado a la zona centro de la ciudad de Bogotá en el cual se realizó el análisis de criticidad a 443 intersecciones semaforizadas de las cuales se obtuvieron los siguientes resultados; alta con 12, media con 101 y baja con 330, la localidad en la zona centro que presenta la criticidad más alta es Santa Fe y Teusaquillo 3 intersecciones cada una.

Ilustración 20. Criticidad zona sur



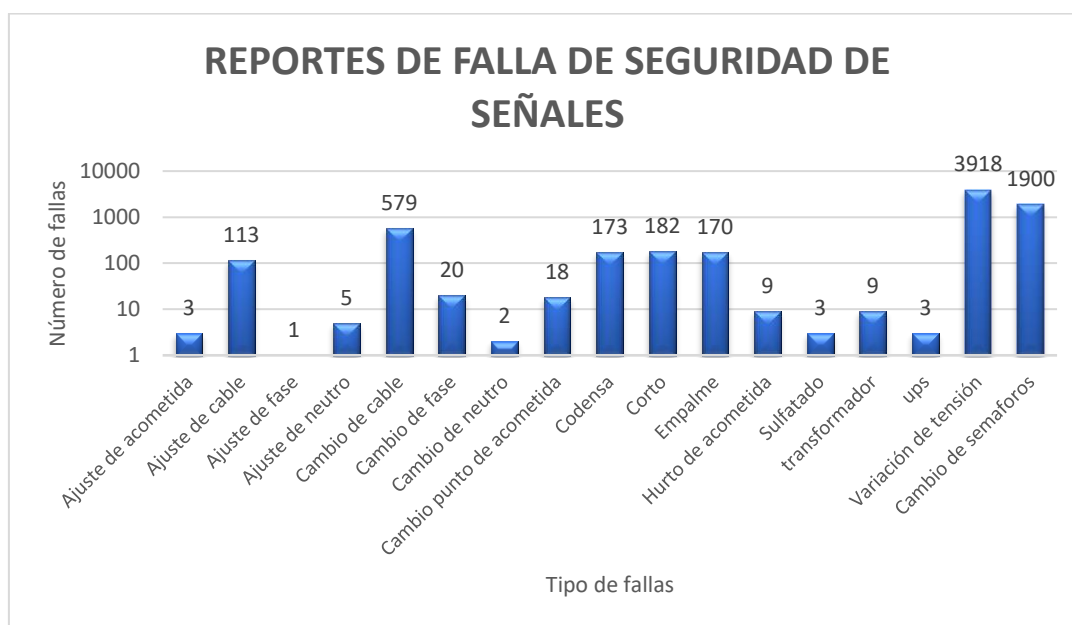
Fuente: Autor.

Para la zona sur de la ciudad de Bogotá se realizó el análisis de criticidad a 405 intersecciones semaforizadas de las cuales se obtuvieron los siguientes resultados; alta con 12, media con 97 y baja con 296, la localidad en la zona sur Kennedy, Tunjuelito y Usme con 2 cada una. En la ilustración 20 Se evidencia que la zona mayor cantidad de intersecciones con criticidad alta y media es a la zona norte por tal motivo será la que tendrá prioridad en implementar un plan de mantenimientos seguida de la zona centro y por último la zona sur. De acuerdo con lo establecido en la metodología planteada para el presente trabajo se realiza un análisis de fallas de las intersecciones semaforizadas de la ciudad de Bogotá basado en el mantenimiento centrado en confiabilidad.

## 9.17 Análisis de falla

Para la aplicación de la metodología RCM en el análisis de falla, se cuenta con los datos de la modernización semafórica inteligente del contrato SDM 2017-1913 (SSI), en cual se analizan los registros relacionados en las bitácoras de los mantenimientos correctivos que presenta los puntos de acometidas o se derivan de ellos, entendiéndose como modo de falla cualquier evento que cause que el elemento deje de cumplir su función principal. Durante el periodo de 28 meses se realizó la recopilación de la información y se identifican las fallas con mayor reporte en la ilustración 21.

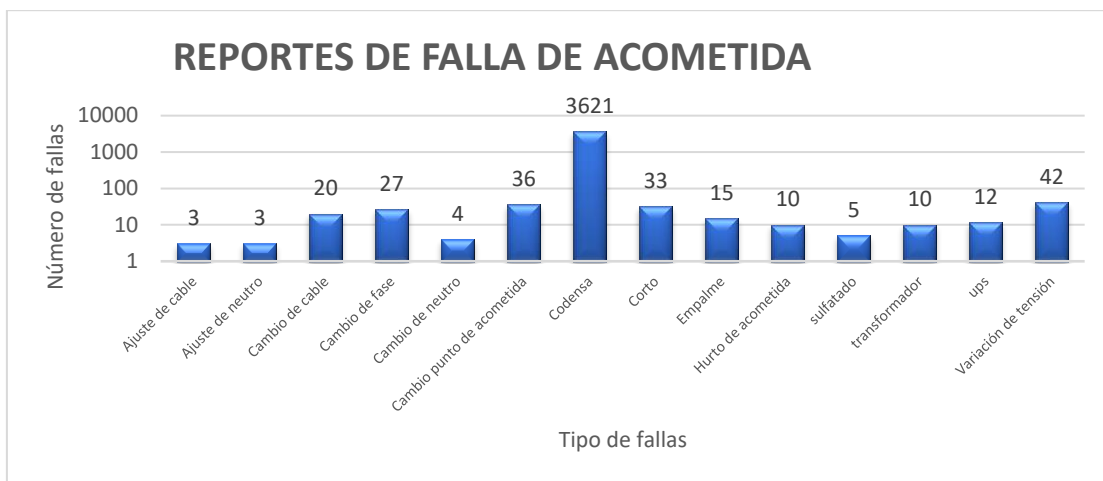
*Ilustración 21. Reportes de seguridad de señales*



**Fuente:** Autor.

Las fallas de seguridad de señales es una falla de las intersecciones semafóricas y se dan al no tener un consumo adecuado en los flujos viales de las intersecciones lo cual corresponde a un registro de 7108 fallas reportadas en los últimos 28 meses.

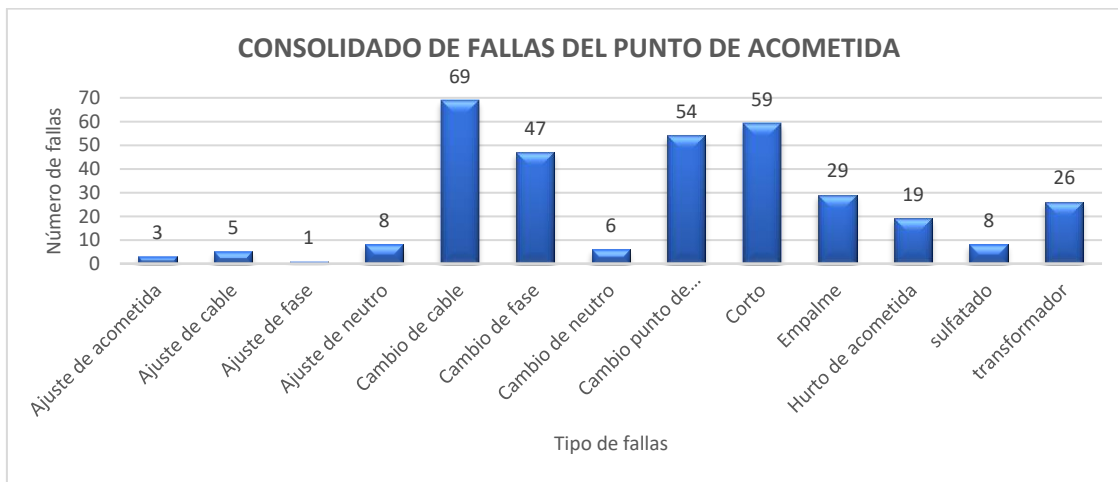
*Ilustración 22. Reportes por falla de acometida*



**Fuente:** Autor.

Durante el periodo se registraron 3841 fallas asociadas al punto de acometida como se puede evidenciar en la ilustración 22. Con base en las fronteras definidas en el alcance de la manipulación del punto de acometida, no se tendrán en cuenta las fallas causantes por externos, es decir las fallas del proveedor de energía y las variaciones de tensión, solo se tendrá en cuenta las siguientes:

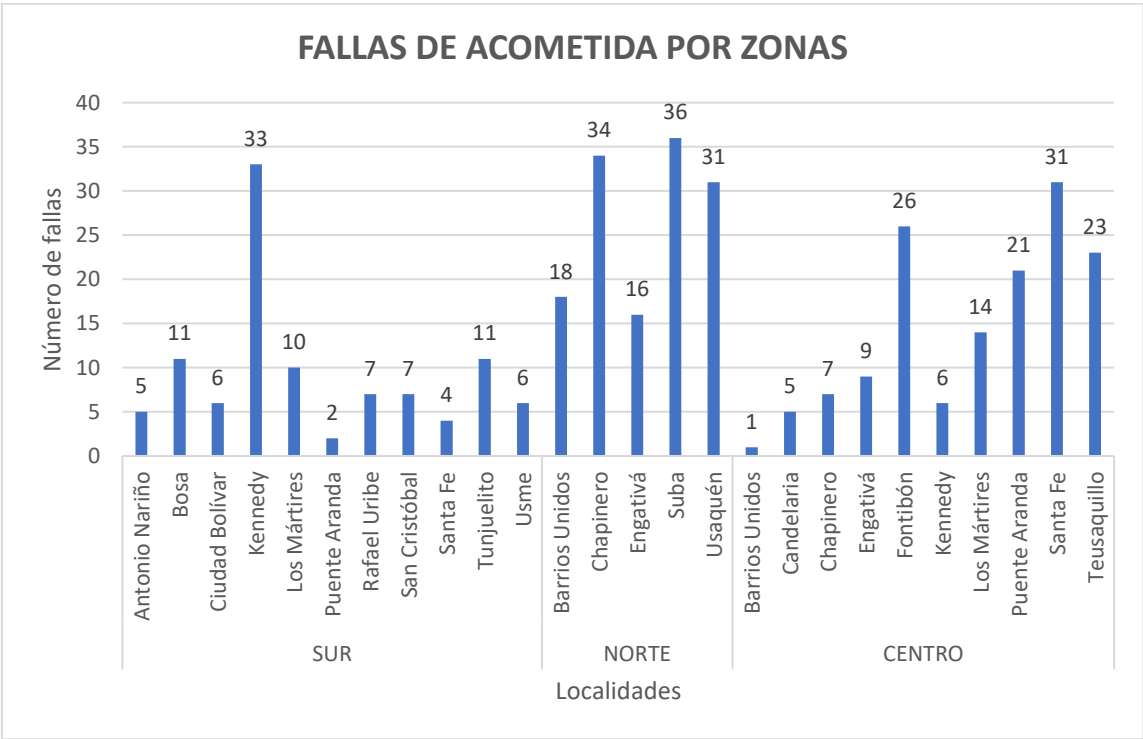
*Ilustración 23. Consolidado de tipos de fallas de acometida*



**Fuente:** Autor.

De las fallas por seguridad de señales se realizó el seguimiento una a una de las ordenes de servicios generadas con el fin de realizar el análisis del tipo de fallas están relacionadas con el punto de acometida. En la ilustración 23 se relacionan las fallas más relevantes del punto de acometida, se evidencia que la falla más común es el cambio de cable con 69 fallas atendidas, los cortos con 59 fallas y el cambio de punto de acometida con 54 fallas reportadas. En total se registran 334 reportes asociados a los puntos de acometidas de las intersecciones semafóricas.

*Ilustración 24. Fallas de acometidas por zonas*



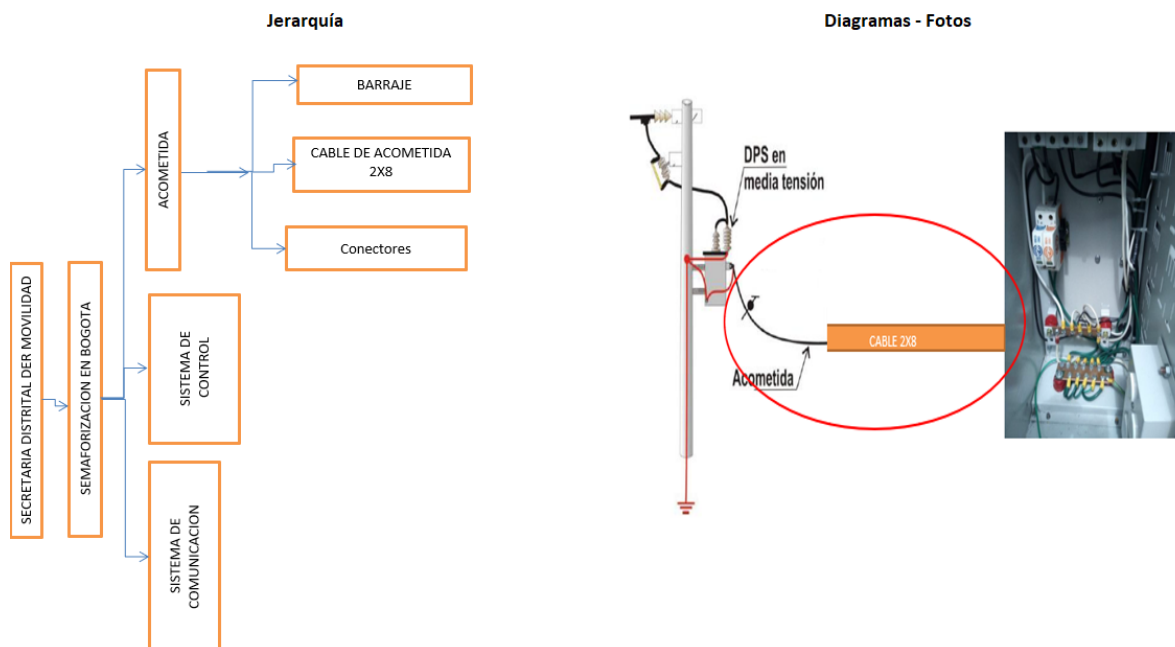
**Fuente:** Autor.

Así mismo en la ilustración 24, se realizó el análisis de acuerdo con las tres zonas establecidas rectificando que la zona más crítica con mayor riesgo y reporte de fallas por acometida es la zona norte en las localidades de Suba y Chapinero, seguido con la zona sur con la localidad de Kennedy y la localidad de Santa fe con la zona centro.

## 9.18 Metodología basada en RCM

Para la aplicación de la metodología RCM se debe responder a 7 preguntas básicas que se aplican al contexto operacional, en este caso de los puntos de acometida de las intersecciones semaforizadas de la ciudad de Bogotá. Antes de iniciar el análisis como lo indica la norma SAE JA1011 es necesario realizar la taxonomía del punto de acometida eléctrica ver ilustración 25. Taxonomía es la jerarquización de un sistema o un equipo que se basa en las características comunes como la ubicación, tipo de equipos y uso (ISO 14224 de 2016).

*Ilustración 25. Taxonomía de acometida eléctrica*



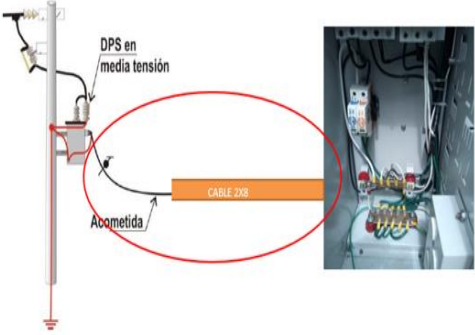
**Fuente:** Autor.

Se define la taxonomía del punto de acometida como se observa en la ilustración 25, adicional se establecen las fronteras con el fin de establecer con exactitud que se estudia. Es importante tener claridad en las fronteras para no solapar sistemas que no correspondan de esta forma se determina la entrada y salida de la acometida, se incluyen los elementos en el sistema a

evaluar con RCM los conectores de perforación tipo piraña para acometida, cable para acometida 2x8 AWG y terminales de ojo. Es de aclarar que los subsistemas que se encuentre por fuera de la frontera establecida no son de interés.

Por otro lado, para dar respuesta a la primera pregunta de la metodología RCM, ¿Cuáles son las funciones principales del activo?, precisamos que la función de un activo consiste en tener definido cual será el verbo, cual es el objeto y cuáles son las características principales de la función que son la razón de ser del equipo. La función debe incluir el estándar de funcionamiento del proceso o la capacidad requerida del proceso como se explica en la ilustración 26.

*Ilustración 26. Funciones del punto de acometida*

ELEMENTO DE ESTUDIO	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ELEMENTO	CONDICIONES OPERACIONALES	CONDICIONES AMBIENTALES	FRONTERAS (PLANO-DIAGRAMA)	INTERFASES (Entradas/Salidas)	Cód Fun.	FUNCIONES	
Acometida eléctrica semaforización	Resistencia: $\leq 1,35$ OHM/Km	Tension: 120 VAC	Temperatura ambiente: Desde -5 °C a 45°C		<p><b>Entradas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- conducir una tensión aproximada de 120 VAC al armario AUCE</li> </ul>	RCM-001	Transmitir fluido eléctrico con una tensión de 115 VAC - 125 VAC	
	Aislamiento: $\geq 155$ Mohm-Km		Humedad: Desde el 20% al 100%					<p><b>Salidas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- suministro de tensión aproximada de 120 VAC/ 60 HZ .</li> </ul>
	Conductor: Cable multiconductor calibre 2x8 AWG THHN/THWN		Polución: Alta con productos de la combustión y altamente contaminada por otros agentes					
	Cubierta: PVC UL 1277		Altura nivel del mar: Desde 2900 a los 600 m.s.n.m.					

**Fuente:** Autor.

La función principal que se determina para un punto de acometida es transmitir fluido eléctrico con una tensión de 115 VAC – 125 VAC, con el fin de alimentar los equipos de control semaforicos.

A la pregunta ¿Qué fallas se presentan al realizar su operatividad inicial?, es importante definir que es una falla funcional, según la norma SAE JA 1011, es el estado en el cual un

activo físico o un sistema es incapaz de desempeñar una función específica por la cual fue adquirido. Durante su operatividad normal el punto de acometida eléctrica suministra un fluido eléctrico de 115 VAC – 125 VAC por tal motivo la falla funcional que puede presentar es; no transmitir fluido eléctrico en las condiciones ideales al equipo de control. En la tabla 5 se relaciona la descripción de la función y la falla funcional.

*Tabla 5. Descripción falla funcional*

Cód. Func.	Función	Cód. FF	Descripción Falla Funcional
RCM-001	Transmitir fluido eléctrico con una tensión de 120VAC	COD-001	No trasmite fluido eléctrico

**Fuente:** Autor.

De acuerdo con la metodología RCM la tercera pregunta ¿Qué causa la falla funcional?, en primer lugar, se debe definir que es el modo de falla, que es aquel evento que causa o deriva una falla funcional, es necesario evitar confundir el modo de falla con efecto o mecanismo, la descripción del modo de falla debe tener; un nivel de detalle el cual facilitara el elegir las tareas de mantenimiento apropiadas. Generalmente, se establece de la siguiente manera, eligiendo la pieza del equipo, más el verbo (modo) y el mecanismo o proceso (físico o químico). Por consiguiente, en la tabla 6 se especifica el modo de falla de la descripción de la falla funcional.

*Tabla 6. Modos de falla en el punto de acometida*

<b>Cód. Func.</b>	<b>Función</b>	<b>Cód. FF</b>	<b>Descripción Falla Funcional</b>	<b>Cód.. MF</b>	<b>Modo de Falla</b>
RCM-001	Transmitir fluido eléctrico con una tensión de 120VAC	COD-001	No transmite fluido eléctrico	MF-001	Conectores sueltos por grado inadecuado de compresión.
RCM-001	Transmitir fluido eléctrico con una tensión de 120VAC	COD-001	No transmite fluido eléctrico	MF-002	Cubierta perforada por agentes externos.
RCM-001	Transmitir fluido eléctrico con una tensión de 120VAC	COD-001	No transmite fluido eléctrico	MF-003	Cable con Sobre tensión por aumento en el fluido eléctrico.
RCM-001	Transmitir fluido eléctrico con una tensión de 120VAC	COD-001	No transmite fluido eléctrico	MF-004	Conectores sulfatados por calentamiento excesivo.
RCM-001	Transmitir fluido eléctrico con una tensión de 120VAC	COD-001	No transmite fluido eléctrico	MF-005	Cable con fuga de corriente por bajo aislamiento.
RCM-001	Transmitir fluido eléctrico con una tensión de 120VAC	COD-001	No transmite fluido eléctrico	MF-006	Cable sin tensión por falta de fluido eléctrico.
RCM-001	Transmitir fluido eléctrico con una tensión de 120VAC	COD-001	No transmite fluido eléctrico	MF-007	Cable en corto por agentes externos.

**Fuente:** Autor.

Para la investigación del origen de las fallas es indispensable contar la evidencia suficiente, es decir no se debe destruir y debe documentar siempre cualquier intervención que se realice y se deben evitar las conclusiones simplificadas.

La cuarta pregunta se refiere a ¿Qué sucede (efectos) cuando falla?, para responder esta pregunta se analiza los efectos causados por los modos de falla que causan la falla funcional de los puntos de acometida eléctrica. Las fallas funcionales pueden afectar la salida, como la calidad del producto (daño en el equipo de control); el cual además de generar una inactividad en el equipo, genera una amenaza en la seguridad de los actores viales; algunas pueden aumentar los costos operativos, por ejemplo, el cambio de los repuestos necesarios para dichas fallas por el consumo de energía. Luego de encontrar los modos de falla se hace una descripción de los efectos como se evidencia en la tabla 7.

*Tabla 7. Descripción de efectos*

<b>Cód. Func.</b>	<b>Función</b>	<b>Cód. FF</b>	<b>Descripción Falla Funcional</b>	<b>Cód.. MF</b>	<b>Modo de Falla</b>	<b>Descripción Efectos</b>
RCM-001	Transmitir fluido eléctrico con una tensión de 120VAC	COD-001	No trasmite fluido eléctrico	MF-001	Conectores sueltos por grado inadecuado de compresión.	Bloqueo de equipo de control; No hay efectos en la MA, se pueden ocasionar accidentes en las personas; Tiempo estimado de reparación 1 horas; Daño en los conectores, en el cable y las tarjetas del equipo; Ajuste de conectores
RCM-001	Transmitir fluido eléctrico con una tensión de 120VAC	COD-001	No trasmite fluido eléctrico	MF-002	Cubierta perforada por agentes externos.	Bloqueo de equipo de control; No hay efectos en la MA, se pueden ocasionar accidentes en las personas; Tiempo estimado de reparación 3 horas; Daño en el aislamiento del cable.; Cambio de cable
RCM-001	Transmitir fluido eléctrico con una tensión de 120VAC	COD-001	No trasmite fluido eléctrico	MF-003	Cable con Sobre tensión por aumento en el fluido eléctrico.	Bloqueo de equipo de control; No hay efectos en la MA, se pueden ocasionar accidentes en las personas; Tiempo estimado de reparación 2 horas; Daño en las tarjetas del equipo; Investigación de punto nuevo de acometida
RCM-001	Transmitir fluido eléctrico con una tensión de 120VAC	COD-001	No trasmite fluido eléctrico	MF-004	Conectores sulfatados por calentamiento excesivo.	Bloqueo de equipo de control; No hay efectos en la MA, se pueden ocasionar accidentes en las personas; Tiempo estimado de reparación 1 horas; Daño en los conectores, en el cable y las tarjetas del equipo.; Cambio de conectores
RCM-001	Transmitir fluido eléctrico con una tensión de 120VAC	COD-001	No trasmite fluido eléctrico	MF-005	Cable con fuga de corriente por bajo aislamiento.	Bloqueo de equipo de control; No hay efectos en la MA, se pueden ocasionar accidentes en las personas; Tiempo estimado de reparación 3 horas; daño en el aislamiento del cable; Cambio de cable
RCM-001	Transmitir fluido eléctrico con una tensión de 120VAC	COD-001	No trasmite fluido eléctrico	MF-006	Cable sin tensión por falta de fluido eléctrico.	Equipo de control fuera de servicio; No hay efectos en la MA, se pueden ocasionar accidentes en las personas; Tiempo estimado de reparación 4 horas; No genera ningún daño; Investigación de punto nuevo de acometida
RCM-001	Transmitir fluido eléctrico con una tensión de 120VAC	COD-001	No trasmite fluido eléctrico	MF-007	Cable en corto por agentes externos.	Bloqueo de equipo de control; No hay efectos en la MA, se pueden ocasionar accidentes en las personas; Tiempo estimado de reparación 3 horas; Daño en los conectores, en el cable y las tarjetas del equipo; Cambio de cable

**Fuente:** Autor.

La metodología RCM requiere de respuesta a la pregunta ¿Qué ocurre si falla?, siendo el quinto paso de este proceso, en ese sentido si el punto de acometida presenta una falla de la cual no se puede evitar, puede generar riesgos en cuanto el tiempo que deben dedicar a corregir la falla, también afecta el costo en dado caso que se tenga que realizar el cambio o reemplazo del elemento y por último y no menos importante el riesgo que genera en la seguridad de los actores viales. Por eso es necesario definir cualitativamente el riesgo que generan las fallas mediante la tabla 8 matriz de riesgo.

*Tabla 8. Matriz de riesgos*

CONSECUENCIAS				CONSECUENCIA		PROBABILIDAD					
HUMANAS	AMBIENTALES	COSTOS	IMAGEN			IMPOSIBLE	IMPROBABLE	REMOTO	OCASIONAL	MODERADO	FRECUENTE
Más de un muerto	Efectos irreversibles	>20	Internacional	Catastrófico	5	M	A	A	A	A	A
Incapacidad permanente	Efectos irreversibles en menos de 2 años	ENTRE 10M - 20M	Nacional	Crítico	4	M	M	A	A	A	A
Incapacidad temporal	Efectos reversibles en menos de 6 meses	ENTRE 10 M- 5M	Regional	Marginal	3	M	M	M	M	A	A
Lesiones	Efectos pueden ser controlados	ENTRE 1M - 5M	Local	Insignificante	2	B	B	B	M	M	M
Ninguna	No afecta el medio ambiente	< 1 M	Ninguno	Ninguno	1	B	B	B	B	B	M
						> 10 Años	< 10 Años	< 5 Años	< 2 Años	< 6 Meses	± 1 Mes
						A	B	C	D	E	F

**Fuente:** Autor.

Para definir el valor del riesgo de los puntos de acometida se debe considerar las consecuencias ambientales, humanas, económico y de imagen como se discriminan en la tabla 9.

Tabla 9. Riesgo del punto de acometida

Cód. Func.	Función	Cód. FF	Descripción Falla Funcional	Cód.. MF	Modo de Falla	Descripción Efectos	FALLA OCULTA	Probabilidad	Valor del riesgo	R. Ambiental	R. Humano	R. Económico	R. Imagen	Valor económico del riesgo (\$)
RCM-001	Transmitir fluido eléctrico con una tensión de 120VAC	COD-001	No trasmite fluido eléctrico	MF-001	Conectores sueltos por grado inadecuado de compresión.	Bloqueo de equipo de control; No hay efectos en la MA, se pueden ocasionar accidentes en las personas; Tiempo estimado de reparación 1 horas; Daño en los conectores, en el cable y las tarjetas del equipo; Ajuste de conectores	NO	Pasa con frecuencia mayor a 4 meses	Medio	E1	E1	E2	E2	2.700.000
RCM-001	Transmitir fluido eléctrico con una tensión de 120VAC	COD-001	No trasmite fluido eléctrico	MF-002	Cubierta perforada por agentes externos.	Bloqueo de equipo de control; No hay efectos en la MA, se pueden ocasionar accidentes en las personas; Tiempo estimado de reparación 3 horas; Daño en el aislamiento del cable.; Cambio de cable	NO	Pasa con frecuencia mayor a 2 meses	Medio	F1	F2	F2	F2	3.300.000
RCM-001	Transmitir fluido eléctrico con una tensión de 120VAC	COD-001	No trasmite fluido eléctrico	MF-003	Cable con Sobre tensión por aumento en el fluido eléctrico.	Bloqueo de equipo de control; No hay efectos en la MA, se pueden ocasionar accidentes en las personas; Tiempo estimado de reparación 2 horas; Daño en las tarjetas del equipo; Investigación de punto nuevo de acometida	NO	Pasa con frecuencia mayor a 3,5 meses	Medio	F1	F2	F2	F2	3.000.000
RCM-001	Transmitir fluido eléctrico con una tensión de 120VAC	COD-001	No trasmite fluido eléctrico	MF-004	Conectores sulfatados por calentamiento excesivo.	Bloqueo de equipo de control; No hay efectos en la MA, se pueden ocasionar accidentes en las personas; Tiempo estimado de reparación 1 horas; Daño en los conectores, en el cable y las tarjetas del equipo.; Cambio de conectores	NO	Pasa con frecuencia mayor a 5 meses	Medio	E1	E1	E2	E1	2.900.000
RCM-001	Transmitir fluido eléctrico con una tensión de 120VAC	COD-001	No trasmite fluido eléctrico	MF-005	Cable con fuga de corriente por bajo aislamiento.	Bloqueo de equipo de control; No hay efectos en la MA, se pueden ocasionar accidentes en las personas; Tiempo estimado de reparación 3 horas; daño en el aislamiento del cable; Cambio de cable	SI	Pasa con frecuencia mayor a 4 meses	Medio	E1	E1	E2	E2	3.300.000
RCM-001	Transmitir fluido eléctrico con una tensión de 120VAC	COD-001	No trasmite fluido eléctrico	MF-006	Cable sin tensión por falta de fluido eléctrico.	Equipo de control fuera de servicio; No hay efectos en la MA, se pueden ocasionar accidentes en las personas; Tiempo estimado de reparación 4 horas; No genera ningún daño; Investigación de punto nuevo de acometida	NO	Pasa con frecuencia mayor a 1,5 meses	Medio	F1	F2	F2	F1	1.200.000
RCM-001	Transmitir fluido eléctrico con una tensión de 120VAC	COD-001	No trasmite fluido eléctrico	MF-007	Cable en corto por agentes externos.	Bloqueo de equipo de control; No hay efectos en la MA, se pueden ocasionar accidentes en las personas; Tiempo estimado de reparación 3 horas; Daño en los conectores, en el cable y las tarjetas del equipo; Cambio de cable	NO	Pasa con frecuencia mayor a 2 meses	Medio	F1	F2	F2	F1	3.300.000

Fuente: Autor

Una gran fortaleza que posee la metodología RCM es que reconoce que las consecuencias de los efectos de las fallas son muchas más importantes que las características que técnicas del

activo. De hecho, reconoce que la única manera de poder hacer un mantenimiento proactivo es no evitar que esas fallas se presenten. De acuerdo, con la matriz de riesgo realizada donde se evidencia las consecuencias que pueden presentar en las fallas por acometida eléctrica, encontramos que todos los modos de falla se clasifican como riesgo medio ya que la probabilidad de falla es alta y las consecuencias analizadas son moderados, pero cabe resaltar que el impacto de los costos no es alto al analizarse una falla individual.

El sexto paso realiza la pregunta ¿Qué se debe hacer para evitar posibles fallas en la operatividad del activo?, se proponen planes de mantenimiento de tal manera que el activo siga cumpliendo sus funciones, implementando estrategias como lo son el diagrama de árbol de decisiones de la RCM, siendo una herramienta muy útil para determinar el tipo de mantenimiento más ajustado al proceso o exactamente al punto de acometida eléctrica resolviendo una serie de preguntas.

*Tabla 10. Hoja de RCM para punto de acometida*

Cód. Func.	Función	Cód. FF	Descripción Falla Funcional	Cód. MF	Modo de Falla	Descripción Efectos	FALLA OCULTA	Probabilidad	Valor del riesgo	Valor económico del riesgo (\$)	TIPO DE DECSIÓN	DESCRIPCIÓN TAREA	FRECUENCIA (mes)	RECURSOS	Cod. Tarea
RCM-001	Transmitir fluido eléctrico con una tensión de 120VAC	COD-001	No trasmite fluido eléctrico	MF-001	Conectores sueltos por grado inadecuado de compresión.	Bloqueo de equipo de control; No hay efectos en la MA, se pueden ocasionar accidentes en las personas; Tiempo estimado de reparación 1 horas; Daño en los conectores, en el cable y las tarjetas del equipo; Ajuste de conectores	NO	Pasa con frecuencia mayor a 4 meses	Medio	2.700.000	Monitoreo	Realizar ajuste en conexiones, inspeccionar y verificar puntos calientes	3	Herramienta menor, medidor termografico,grua operario de grua, certificado del brazo,auxiliar coordinador de alturas, tecnico con curso de alturas avanzado.	MTO-001
RCM-001	Transmitir fluido eléctrico con una tensión de 120VAC	COD-001	No trasmite fluido eléctrico	MF-002	Cubierta perforada por agentes externos.	Bloqueo de equipo de control; No hay efectos en la MA, se pueden ocasionar accidentes en las personas; Tiempo estimado de reparación 3 horas; Daño en el aislamiento del cable.; Cambio de cable	NO	Pasa con frecuencia mayor a 2 meses	Medio	3.300.000	Correr a falla	Relaizar el cambio de cable	N/A	Herramienta menor,grua operario de grua, certificado del brazo,auxiliar coordinador de alturas, tecnico con curso de alturas avanzado,cable 2x8 AWG.	MTO-002
RCM-001	Transmitir fluido eléctrico con una tensión de 120VAC	COD-001	No trasmite fluido eléctrico	MF-003	Cable con Sobre tensión por aumento en el fluido eléctrico.	Bloqueo de equipo de control; No hay efectos en la MA, se pueden ocasionar accidentes en las personas; Tiempo estimado de reparación 2 horas; Daño en las tarjetas del equipo; Investigación de punto nuevo de acometida	NO	Pasa con frecuencia mayor a 3,5 meses	Medio	3.000.000	Monitoreo	Verificar las lineas de suministro de codensa y realizar el cambio de linea de ser necesario, si las 3 fases de suministro se encuentra con problemas de tension se debe realizar investigacion de un posible punto de acometida nuevo.	3	Herramienta menor,grua operario de grua, certificado del brazo,auxiliar coordinador de alturas, tecnico con curso de alturas avanzado, cable 2x8 AWG, motosoldador,soldadura por arco electrico	MTO-003
RCM-001	Transmitir fluido eléctrico con una tensión de 120VAC	COD-001	No trasmite fluido eléctrico	MF-004	Conectores sulfatados por calentamiento o excesivo.	Bloqueo de equipo de control; No hay efectos en la MA, se pueden ocasionar accidentes en las personas; Tiempo estimado de reparación 1 horas; Daño en los conectores, en el cable y las tarjetas del equipo.; Cambio de conectores	NO	Pasa con frecuencia mayor a 5 meses	Medio	2.900.000	Monitoreo	Realizar el cambio de conectores, inspeccionar y verificar puntos calientes	3	Herramienta menor, medidor termografico,grua operario de grua, certificado del brazo,auxiliar coordinador de alturas, tecnico con curso de alturas avanzado,conectores especiales de acometida	MTO-004
RCM-001	Transmitir fluido eléctrico con una tensión de 120VAC	COD-001	No trasmite fluido eléctrico	MF-005	Cable con fuga de corriente por bajo aislamiento.	Bloqueo de equipo de control; No hay efectos en la MA, se pueden ocasionar accidentes en las personas; Tiempo estimado de reparación 3 horas; daño en el aislamiento del cable; Cambio de cable	SI	Pasa con frecuencia mayor a 4 meses	Medio	3.300.000	Correr a falla	Relaizar el cambio de cable	N/A	Herramienta menor,grua operario de grua, certificado del brazo,auxiliar coordinador de alturas, tecnico con curso de alturas avanzado,cable 2x8 AWG.	MTO-005
RCM-001	Transmitir fluido eléctrico con una tensión de 120VAC	COD-001	No trasmite fluido eléctrico	MF-006	Cable sin tensión por falta de fluido eléctrico.	Equipo de control fuera de servicio; No hay efectos en la MA, se pueden ocasionar accidentes en las personas; Tiempo estimado de reparación 4 horas; No genera ningún daño; Investigación de punto nuevo de acometida	NO	Pasa con frecuencia mayor a 1,5 meses	Medio	1.200.000	Correr a falla	Realizar una investigación de un posible punto de acometida nuevo	N/A	Herramienta menor,grua operario de grua, certificado del brazo,auxiliar coordinador de alturas, tecnico con curso de alturas avanzado,cable 2x8 AWG, motosoldador,soldadura por arco electrico	MTO-006
RCM-001	Transmitir fluido eléctrico con una tensión de 120VAC	COD-001	No trasmite fluido eléctrico	MF-007	Cable en corte por agentes externos.	Bloqueo de equipo de control; No hay efectos en la MA, se pueden ocasionar accidentes en las personas; Tiempo estimado de reparación 3 horas; Daño en los conectores, en el cable y las tarjetas del equipo; Cambio de cable	NO	Pasa con frecuencia mayor a 2 meses	Medio	3.300.000	Correr a falla	Realizar cambio de cable de acometida	N/A	Herramienta menor,grua operario de grua, certificado del brazo,auxiliar coordinador de alturas, tecnico con curso de alturas avanzado,cable 2x8 AWG, motosoldador,soldadura por arco electrico	MTO-007

**Fuente:** Autor.

Según los modos de falla encontrados para los puntos de acometida eléctrica de las intersecciones semafóricas se determina el tipo de metodología adecuado, la frecuencia y la descripción de las actividades que se deben realizar en el plan de mantenimiento según la tabla 9.

Finalmente, el paso o pregunta numero 7 ¿Cómo mejorar la operatividad del activo mediante estrategias de mantenimiento?, se identifica que, para mejorar la operatividad de los puntos de acometidas de las intersecciones semafóricas de Bogotá, se debe formular un plan de mantenimiento preventivo basado en RCM. Para los modos de fallas evidenciados en los puntos de acometida se debe emplear un mantenimiento preventivo basado en condición

(monitoreo) y en algunas fallas se toma la decisión (Run to Fail) ya que no se pueden encontrar tareas costos – efectivas para prevenir la causa.

## 10 FORMULACION PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Para la formulación del plan de mantenimiento se debe de indicar el personal, frecuencias, actividades y tipo de intervención a realizar en cada punto de acometida, describiendo el procedimiento el cual debe contar con los parámetros básicos, recursos humanos, herramientas y demás elementos que se deben disponer para el desarrollo de las actividades.

### 10.16 Codificación para los equipos

El primer paso para obtener una mejor organización el en desarrollo del plan de trabajo es necesario tener identificado o codificado cada uno de los elementos o equipos ver ilustración 27. Esta codificación asignada para los equipos de control está definida por un código que lo denominan externo de cuatro dígitos el cual agrupa a todos los elementos entre ellos el punto de acometida, es importante aclarar que este código es establecido por y generado por la secretaria de Movilidad de Bogotá en el momento de generar el planeamiento de funcionamiento de la intersección.

*Ilustración 27. Codificación*

Cod_ID	N° Externo	Dirección
1172	1001	AV GERMAN ARCINIEGAS (AK 11) X CL 66
1294	2326	AV CIUDAD DE QUITO (AK 30) X AV DE LOS COMUNEROS (AC 6)
1068	3712	KR 20 X CL 46 S Y DG 45B S

**Fuente:** Datos de la operación contrato SDM 2017-1913 (SSI), junio 2019-octubre 2021.

Estos códigos se manejan por zonas geográficas, por ejemplo, para la zona norte los externos comienzan con el número 1, para la zona centro con el número 2 y la zona sur con el número 3. Por otro lado, para el reporte de las fallas en los protocolos y bitácoras que se desarrollan se tienen establecidos códigos específicos para cada tipo de mantenimiento como se puede observar en la Tabla 11.

*Tabla 11. Codificación reporte de falla*

T REPORTE BITACORA	T REPORTE PROTOCOLO	DEFINICIÓN DEL CÓDIGO	DESCRIPCION
FEN	FEN	Falla de Energía	Falla energía, variación de tensión, acometida y/o UPS en falla, procesador bloqueado por acometida eléctrica, daño en cable de acometida, cambio de acometida eléctrica.
FSS	FSS	Falla de seguridad de señales	Falla seguridad de señales, circuitos eléctricos abiertos o en corto, modulo led en falla, revisión de grupos de señales, fusibles abiertos por trabajos eléctricos, mala señalización por daños eléctricos, derribo y/o destrucción de postes en la intersección.
FCT	FCTT	Falla de Controlador de Tráfico	FCTT: Falla de controlador de tráfico con cambio de tarjetas electrónicas, procesador bloqueado, señalización errada.
FCT	FCTR	Falla de Controlador de Tráfico	FCTR: Falla de controlador de tráfico cambio de tarjetas electrónicas y reprogramación de controlador de tráfico.
FCM	FCM	Falla de Comunicaciones	Falla de comunicaciones.
FAC	FAC	Falla de Aplicación Central	Error en aplicación central y/o elementos asociados
FDT	FDT	Falla de Detector	Revisión de detectores de tráfico (Cámaras de video detección, botones de demanda y sonoros).
ATA	ATA	Alarma Tráfico Actuado	Revisión de tráfico actuado, cambio de parámetros, activación de tráfico actuado.
ACL	ACL	Alarma Controlador en Local	Equipos que se encuentran en programa local y se conectan con central.
APA	APA	Alarma Puerta Abierta	Revisión de puerta abierta.
RSF-SNL	RSF-SNL	Reporte Sin Falla en Central-Señalización	Revisión de equipo por solicitud de los operadores, revisión de señalización, revisión de tiempos local y con central, Revisión On Line, descarga de programación, Planeamiento (Revisión planes de señales)
RSF-SPT	RSF-SPT	Reporte Sin Falla en Central-Sistema de puesta a tierra	Revisión e Implementación del Sistema de Puesta a Tierra.

RSF-MOBI	RSF-MOBI	Reporte Sin Falla en Central-Mobiliario	Revisión de Mobiliario - Retiro de elementos de la intersección semaforizada (Equipo de control, Semáforos, Postes, Dispositivos de Detección, Cableado), cambio de armario del equipo de control, revisión de tapas de cajas de paso, revisión de canalizaciones.
RSF-PL	RSF-PL	Reporte Sin Falla en Central-Planeamiento	Revisión de tiempos de la Intersección - coordinación de corredores - Actualización de Planeamiento en el equipo de control.
REP	REP	Reprogramaciones	REP: Reprogramación de equipo de control tiempos fijos, tráfico actuado.
REP	RAE	Reprogramaciones	RAE: Reprogramación con ampliación de grupos de señales.
IEN	IEN	Instalación de Elementos Nuevos	Instalación de mobiliario (Controlador de Tráfico, Botones de Demanda Peatonal, Módulos Led's, Semáforos, Postes, Módulos de contador regresivo, Cámaras de video detección, Interfaces, Cableado eléctrico).
TCT	TCT	Traslado Controlador de Tráfico	Traslado de controlador de tráfico.
EEN	EEN	Entrega de Elementos Nuevos	Entrega de elementos nuevos como son: cámaras, semáforos, postes, botones de demanda e intersecciones semaforizadas).
MPS	MPS	Actuación Manual Por Solicitud	Actuación manual por solicitud (Cambio de Planes de señales desde la central, cambio a modo intermitencia).
SCN	SCN	Servicio Cancelado	Se genera la orden de trabajo, pero se cancela durante el desplazamiento del grupo técnico.
AUC	AUC	Armario Unificado de Comunicaciones y Energía	Reportes de novedades en los Armarios Unificados de Comunicaciones y Energía.
PCT	PCT	Preventivo Controlador de Tráfico	Preventivos equipos.
PSD	PSD	Preventivo Semáforos Detectores	Preventivo semáforos y detectores.
PPT	PPT	Preventivo Postes	Preventivos postes.
PCE	PCE	Preventivo Central	Preventivo central.

**Fuente:** Datos de la operación contrato SDM 2017-1913 (SSI), junio 2019-octubre 2021.

*Tabla 12. Adición a la codificación de fallas*

T REPORTE BITACORA	T REPORTE PROTOCOLO	DEFINICIÓN DEL CÓDIGO	DESCRIPCION
PAE	PAE	Preventivo acometida eléctrica	Preventivo acometida eléctrica


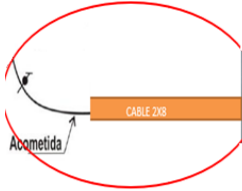
**Fuente:** Autor.

Para la formulación del plan de mantenimiento que se está desarrollando se requiere adicionar los códigos de la tabla 12 como nuevas labores de mantenimiento a desarrollar.

## 10.17 Hoja de vida

Teniendo establecido los códigos para cada uno de los elementos, el siguiente paso es establecer la hoja de vida con las mínimas especificaciones para la identificación de equipo o elemento, es por eso que se plantea un formato para dicha labor, ya que en el momento no se tiene establecido. Ver Ilustración 28.

*Ilustración 28. Ficha técnica acometida eléctrica*

 <b>ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.</b> SECRETARÍA DE MOVILIDAD	<b>SECRETARIA DISTRITAL DE MOVILIDAD</b>		
	<b>HOJA DE VIDA DE EQUIPOS</b>		
<b>EQUIPO</b>	ACOMEIDA ELECTRICA		
<b>MARCA</b>	N.A		
<b>MODELO</b>	N.A		
<b>PUNTO FISICO</b>	4329		
<b>EXTERNO</b>	1009		
<b>DIRECCION</b>	AK 7 X AC 72		
<b>LOCALIDAD</b>	CHAPINERO		
<b>TECNICO QUE AVALA LA INFORMACION</b>	VIVIAN HASBLEIDY FINO MORA		
Realizado:	Autorizado:		
Auxiliar de infraestructura: Fecha:	Direccionr de infraestructura: Fecha:		



**Fuente:** Autor.

## 10.18 Hoja de control de fallos

Mediante la elaboración de una hoja de control de actividades como se puede observar en la ilustración 29 se pretende recolectar la información sobre el antecedente de los sistemas independientes, la información que se plasma en esta hoja permitirá planificar el mantenimiento preventivo y seguimiento a los reportes de fallas asociados al punto de acometida de cada intersección con el fin de evaluar y analizar la eficiencia del plante de



Ilustración 30. Protocolo de Mantenimiento

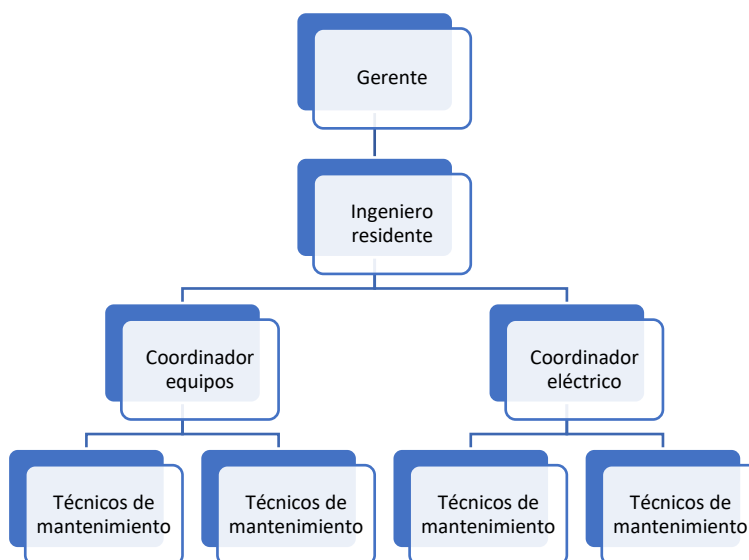
	<b>SECRETARÍA DISTRITAL DE MOVILIDAD - BOGOTÁ DC - CENTRO DE CONTROL CGT CALLE 13</b> ORDEN DE TRABAJO (O.T.) - 2021-030749					
<b>Datos Generales de la O.T.</b>						
O.T. Número:	2021-030749	Estado Actual:	Cerrada			
Prioridad:	Alta					
<b>Descripción / Realimentación</b>						
Sitio:	EXT-1140/1366   KR 9 X CL 86					
Descripción de los Trabajos:	SS-2021-33917 (FSS) Falla de seguridad de señales					
Diagnostico	FSS					
Realimentación Técnica:	Sobre el flujo 4D se cambian (2) módulos led rojos por bajo consumo en semáforo S1 S/N A510-10602024-000062 y en el semáforo S2 S/N A510-10910024-000131. Para el flujo 3D se cambia módulo led pleno rojo por bajo consumo en el semáforo S2 S/N A510-10910024-000134. Se revisan retornos y consumos encontrándose en los parámetros normales. Acometida eléctrica en (FN 120.7 V - FT 120.7 V - NT 0 V) estables. se reinicia controlador. Intersección en funcionamiento libre de falla y en servicio con central. [4:32 H - ID (Unidades de tránsito): 420325].					
<b>Actividades de Mantenimiento (A.M.) Asignadas a la O.T.</b>						
Orden	Pre-Requisito	Actividad	Entidad	Duración Estimada	Duración Real	Ejecutada
6		Mantenimiento correctivo eléctrico	EXT-1140/1366   EQUIPO DE CONTROL LOCAL C-900V	0 Hora(s) 0 Min.	2 Hora(s) 20 Min.	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>Entidades (Equipos y/o Locaciones) Asignadas a la O.T.</b>						
<b>Lista de cuadrillas asignadas desde el panel gestión servicios</b>						
Nombre	Personal					
SE 191	79317957 CMF 2050 Cesar Alonso Ruiz Tolosa, 12275092 CMF 2050 Leonardo Rivera Quiñones, 5950878 CMF 2050 Jose Gustavo Garcia, 76339779 CMF 2050 Rubén Dario Ocoró Angulo					
<b>Tiempos de Mantenimiento</b>						
Fecha Inicio Prog.:	2021-11-28 08:05	Fecha Inicio Real:	2021-11-28 10:00			
Fecha Fin Prog.:	2021-11-28 09:05	Fecha Fin Real:	2021-11-28 12:20			
<b>Recursos Asignados a la O.T.</b>						
Código	Nombre	Cantidad Est. [Und]	Cantidad Asig. [Und]	Cantidad Real [Und]	Almacén	
A510-10910024-000134	MÓDULO LED VEHICULAR PLENO DE 200MM ROJO	0.00 [Und(s)]	1.00 [Und(s)]	1.00 [Und(s)]	GLM 857   GLM 857	
A510-10910024-000131	MÓDULO LED VEHICULAR PLENO DE 200MM ROJO	0.00 [Und(s)]	1.00 [Und(s)]	1.00 [Und(s)]	GLM 857   GLM 857	
A510-10602024-000062	MODULO LED VEHICULAR PLENO DE 200MM ROJO	0.00 [Und(s)]	1.00 [Und(s)]	1.00 [Und(s)]	GLM 857   GLM 857	
Generado por:			Revisado por:			
Nombre: YNX 2517 Cristian Camilo Orjuela Espejo Cargo: Coordinador Técnico			Nombre: Cargo:			
Fecha Impresión: 17-04-2022 20:05				Generado: 		

Fuente: Datos de la operación contrato SDM 2017-1913 (SSI), junio 2019-octubre 2021.

## 10.19 Asignación de funciones

Para la asignación de las funciones es importante de la participación de la alta gerencia con el fin de obtener apoyo, conocimiento y toma de decisiones si así lo requiere, no obstante, se propone el siguiente organigrama en la ilustración 31, con el fin de tener claro las tareas asignadas cada nivel jerárquico de la compañía.

*Ilustración 31. Organigrama*



**Fuente:** Autor

- **GERENTE:** es el encargado de analizar los indicadores de gestión de mantenimiento para la toma de decisiones. El perfil para desempeñar el cargo debe ser un Ing. Especialista Eléctrico, Mecánico ó Industrial o en carreras afines a la actividad con experiencia en labores con el cargo.
- **INGENIERO RESIDENTE:** es el encargado de supervisar y dirigir los planes propuestos en el plan de mantenimiento. El perfil para desempeñar el cargo debe ser Ing. Eléctrico, Mecánico ó Industrial o en carreras afines a la actividad con experiencia de 7 años en el cargo.
- **COORDINADOR:** las funciones del cargo se basan en gestionar adecuadamente los recursos como: el talento humano, herramientas y repuestos para la ejecución de los

mantenimientos predictivos, preventivos y correctivos de los equipos y áreas asignadas, cumplir con la custodia y buen manejo de la herramienta y/o de los equipos asignados, planificar y programar los mantenimientos de acuerdo al cronograma de mantenimiento. Para el desempeño del cargo se requiere de un perfil en Ing. Eléctrico, Mecánico ó Industrial o en carreras afines a la actividad con experiencia de 3 años en el cargo.

- **TÉCNICOS DE MANTENIMIENTO:** Son los encargados de ejecutar las actividades de mantenimientos predictivos, preventivos y correctivos de los equipos y áreas asignadas, Para el desempeño del cargo se requiere de un perfil en Técnico o tecnólogo Electricista, Electromecánico o en carreras afines.

#### **10.20 Cronograma de mantenimiento**

El cronograma de mantenimiento es el resumen de las tareas asignadas de acuerdo con un plan o fechas previamente establecidas que generalmente se esquematiza en un formato convirtiéndose en una herramienta útil ya que garantiza que estas fechas estipuladas se cumplan a cabalidad. Los formatos de cronogramas de mantenimiento se dividen en tres partes, en la primera sección permite la identificación del equipo al cual se le realizara el mantenimiento preventivo, la segunda sección especifica las actividades de mantenimiento a realizar al equipo o elemento identificado y por último la tercera sección es la frecuencia con se realizarán los mantenimientos preventivos del equipo o elemento. En la Tabla 13 se presenta el cronograma de mantenimiento preventivo específicamente para el punto de acometida, así como las actividades para el cumplimiento del plan trimestral.



## **10.22 Mantenimiento basado en condiciones (monitoreo)**

Teniendo en cuenta que previamente se definió la criticidad, el modo de falla, la probabilidad de falla, el riesgo, las consecuencias de las fallas funcionales en los puntos de acometida eléctrica de las intersecciones semaforizadas de Bogotá y que posteriormente se define por medio del diagrama de toma de decisiones de la RCM que el método de mantenimiento más adecuado es el basado en monitoreo de condiciones, ya que por medio de este método se realizan ajustes de origen detectivo al conector de la acometida, verificación de puntos calientes mediante tomas de termografía e inspección visual de los conectores, medición del voltaje con el fin de evaluar que las condiciones de fluido eléctrico estén dentro de los parámetros adecuados. El mantenimiento basado en monitoreo de la condición está orientado en detectar fallas funcionales estableciendo que los ajustes realizados en las tareas de acuerdo al cronograma de mantenimiento permitan entregar el estado real de los elementos, el estado del elemento es el motivo determinante para indicar cuando se debe realizar el mantenimiento preventivo, la frecuencia de una tarea de monitoreo de condición está dada por un intervalo el cual es el punto donde se detecta el deterioro y el punto de falla, este mantenimiento se debe programar lo más cercano al punto de falla o ampliándolo gradualmente según el análisis de datos y seguimiento u observación continua, para este ejercicio se tuvo el soporte de expertos con experiencia de más de 20 años en asuntos relacionados con la semaforización, este modelo de mantenimiento es flexible con el fin de ajustarse a las condiciones reales de los puntos de acometida, es decir que, la comprobación del estado del elemento se hará de forma cuantitativa y cualitativa (Alberto Sols, 2000). Para que el plan de mantenimiento preventivo sea efectivo basado en monitoreo de la condición y logre su objetivo se debe dar cumplimiento de los requisitos mínimos enumerados en el apartado 10, así como, el inicio de este proceso nuevo para la recolección de la información sobre el estado real de las acometidas ya que no se cuenta con estos datos, es precisamente la razón de investigación de este trabajo.

## **11 COSTOS**

En todo proceso de desarrollo e implementación de un plan de mantenimiento es importante que se determine cual será la inversión ya que la mayoría de las organizaciones empresariales buscan que sus procesos operativos minimicen los costos permitiendo la fluidez de los recursos financieros y administrativos garantizando que el plan ejecutado es rentable. Para tener claridad sobre este aspecto tan importante se definen a continuación las características generales sobre los costes que encontramos en el proceso de mantenimiento.

Los costos se realizan del anexo técnico APU

### **11.1 Costos fijos**

La característica fundamental de los costos fijos es que son independientes del volumen de producción o de ventas, es decir, que son principalmente aquellos que se generan por la mano de obra y herramientas necesarias para el desarrollo de plan de mantenimiento preventivo y correctivo, por tanto, se trata de un gasto que asegura el estado de la disposición de los materiales directos a medio y largo plazo (Luis Navarro Elola et al., 1997).

### **11.2 Costos variables**

Este tipo de costos tienen la característica principal en comparación con los costos fijos de ser proporcionales a la producción realizada, es decir que depende del consumo lo cual incluye mano de obra, materia prima, energía y demás costes que se derivan del mantenimiento básicamente enfocado al correctivo, lo cual incrementaría los gastos ya que implica realizar una reparación de las fallas de los elementos y garantizar la operación, pero este tipo de costos apunta a evitar que se generen fallas inesperadas y no por no por dejar de hacer el mantenimiento correctivo.

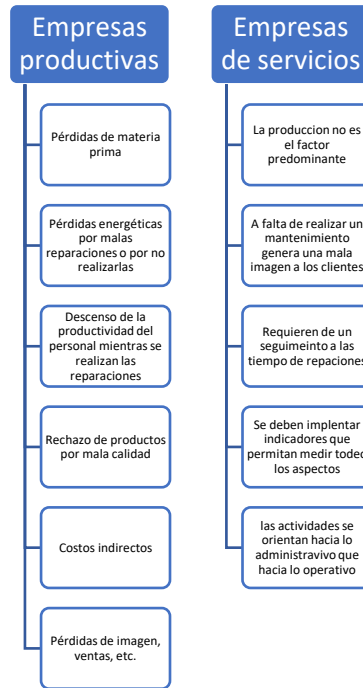
### **11.3 Costes financieros**

Los costos financieros asociados al mantenimiento deben contemplar el valor de los repuestos de almacén como a las amortizaciones de las máquinas duplicadas para asegurar la operación, ya que prácticamente se obliga a tener disponibilidad de otra maquina y materiales que permita realizar la reparación o mantenimiento de la falla presentada en la principal. Generalmente, no son tomados en cuenta en los gastos, pero que el almacenamiento de materiales y maquinaria en una compañía generan que el valor del inventario sea mayor en muchas ocasiones a la producción o venta.

### **11.4 Costes de fallo**

Los costos de fallo hacen referencia al gasto o pérdida de beneficio que la empresa soporta por causas relacionadas directamente con el mantenimiento. Regularmente, los costos de fallo no se tienen en cuenta cuando se habla de los gastos de mantenimiento, pero su volumen puede ser incluso superior a los gastos tradicionales, es decir los que se han mencionado anteriormente. Generalmente es adaptable las a empresas productivas y las empresas de prestadoras de servicios a continuación se relacionan las características de los costos derivados por fallos en los equipos en cada uno de los tipos de empresas.(Juan Carlos Valdivieso Torres, 2010). En la ilustración 33 se dividen las características de los costos por tipo de empresa.

Ilustración 33. Características de los costos por tipo de empresas



**Fuente:** Autor.

### 11.5 Costo integral

Este tipo de costo es aquel que agrupa los costos de mantenimiento directos, variables, financiero y de falla permitiendo tener una ideal integral de la gestión de mantenimiento realizando un análisis de cada uno de los aspectos que lo componen, buscando no solamente dar a conocer las costos o gasta que se pueden generar al implementar un plan de mantenimiento si no los beneficios que se obtendrán al realizar la caracterización adecuadamente, ya que se debe tener encuentra desde los materiales hasta el personal y la disponibilidad de ambos aspectos para realizar las reparaciones sin afectar la continuidad a la operación del equipo.

## 11.6 Costos del plan de mantenimiento

Se presentan a continuación en la tabla 14,15,16,17 y 18 los costos necesarios para la implantación del plan de mantenimiento preventivo formulados para los puntos de acometidas de las intersecciones semaforicas de Bogotá, es importante aclarar que los valores fueron tomados con base al análisis de presupuesto unitario de la licitación para el contrato de semaforización por la Secretaria Distrital de Movilidad. Además, se tiene en cuenta los elementos de bioseguridad que durante el marco de la emergencia sanitaria actual son de obligatorio cumplimiento.

*Tabla 14. Costos requeridos para el mantenimiento preventivo para las acometidas eléctricas*

A. COSTOS - COMPONENTE ELÉCTRICO DE ELEMENTOS DE PLANTA EXTERNA DEL SISTEMA DE SEMAFORIZACIÓN					
ÍTEM DE PAGO	DESCRIPCIÓN	UND.	CANTIDAD	VALOR UNITARIO (incluye AIU)	VALOR TOTAL (incluye AIU)
A-1	Disponibilidad mes cuadrilla de mantenimiento	Un	2	\$ 32.526.191	\$ 65.052.382
A-2	Disponibilidad mes cuadrilla de mantenimiento, horario nocturno	Un	0	\$ 49.169.566	\$ 0
A-3	Disponibilidad de Herramienta y equipo de uso común (Alquiler).	Un	2	\$ 1.329.145	\$ 2.658.290
A-4	Disponibilidad Equipo de soldadura eléctrica con generador. Incluye electrodos para soldadura eléctrica y combustible para el equipo de soldadura. Incluye elementos de protección para el personal que realiza el trabajo. Disponibilidad Pulidora eléctrica. Incluye discos para pulidora.	Un	2	\$ 535.419	\$ 1.070.838
<b>Subtotal</b>					<b>\$ 68.781.510</b>

NOTA	DESCRIPCION	PORCENTAJE
NOTA 1: Se debe tener en cuenta que el PRECIO UNITARIO incluye el valor de A.I.U.		
NOTA 2: Cuando la fracción decimal del peso sea igual o superior a 5 se aproximara por exceso al número entero siguiente del peso y cuando la fracción decimal del peso sea inferior a 5 se aproximará por defecto al número entero del peso.	ADMINISTRACION	A= 20,54%
NOTA 3: El A.I.U y su discriminación deben estar en porcentaje (%).	IMPREVISTO	I= 2%
	UTILIDAD	U= 12%
	TOTAL A.I.U	A.I.U.= 34,54%

**Fuente:** Autor:

Tabla 15. Elementos de Bioseguridad bajo Decreto 551/2020

ÍTEM DE PAGO	DESCRIPCIÓN	Exento de IVA DECRET O 551/2020	UND	CANTIDAD	Numero de personas	Numero de días por periodo MENSUAL	CANTIDAD TOTAL MENSUAL	UND / MES	VALOR UNITARIO (\$ COL) ESTUDIO DE MERCADO CON DECRETO 551/2020	VALOR TOTAL (\$ COL) ESTUDIO DE MERCADO CON DECRETO 551/2020 VIGENTE
EB1- DV	Dotación de alcohol, para la implementación de protocolo de bioseguridad, incluye atomizador.	SI	Litro por día por persona	0,006	6	30	1,08	LT	\$8.686	\$9.381
EB2- DV	Dotación de antibacterial, para la implementación del protocolo de bioseguridad, incluye dispensador.	SI	Litro por día por persona	0,003	6	30	0,54	LT	\$17.333	\$9.360
EB3- DV	Dotación de tapabocas por trabajador del personal operativo y administrativo.	SI	Und por día por persona	1	6	30	180	Und	\$442	\$79.560
EB4- DV	Dotación de termómetro digital infrarrojo. (Uno sólo en todo el contrato. Se paga una sola vez)	SI	Und	1	6	-	3	Und	\$125.334	\$376.002
EB5- DV	Dotación de toallas de papel doble hoja (paquete 150 hojas). Toallas interdobadas, paquete con mínimo 150 unidades doble hoja con un tamaño mínimo de 20cm de largo por 15 cm de ancho.	NO	Paquete de 150 por persona / día	0,04	6	30	7,2	Paquete de 150	\$4.392	\$31.622
EB6- DV	Dotación de agua para el lavado de manos.	N.A.	LT por persona día	9	6	30	1620	LT	\$5	\$8.100
EB7- DV	Dotación de jabón para manos, para la implementación del protocolo de bioseguridad en obra CON AGENTE LIMPIADOR EN UNA CONCENTRACIÓN MÍNIMA DEL 6% - CON AGENTE HUMECTANTE EN UNA CONCENTRACIÓN MÍNIMA DEL 3%	SI	litros por día por persona	0,005	6	30	0,9	LT	\$5.976	\$5.378
<b>TOTAL PRIMER MES</b>										\$ 519.403
<b>TOTAL MESES POSTERIORES</b>										\$ 143.401

Fuente: Autor:

Tabla 16. Elementos de Bioseguridad sin Decreto 551/2020

ÍTEM DE PAGO	DESCRIPCIÓN	Exento de IVA DECRET O 551/2020	UND	CANTIDAD	Numero de personas	Numero de días por periodo MENSUAL	CANTIDAD TOTAL MENSUAL	UND / MES	VALOR UNITARIO (\$ COL) ESTUDIO DE MERCADO SIN DECRETO 551/2020 VIGENTE	VALOR TOTAL (\$ COL) ESTUDIO DE MERCADO SIN DECRETO 551/2020 VIGENTE
EB1- SDV	Dotación de alcohol, para la implementación de protocolo de bioseguridad, incluye atomizador.	SI	Litro por día por persona	0,006	6	30	1,08	LT	\$10.336	\$11.163
EB2- SDV	Dotación de antibacterial, para la implementación del protocolo de bioseguridad, incluye dispensador.	SI	Litro por día por persona	0,003	6	30	0,54	LT	\$20.626	\$11.138
EB3- SDV	Dotación de tapabocas por trabajador del personal operativo y administrativo.	SI	Und por día por persona	1	6	30	180	Und	\$526	\$94.680
EB4- SDV	Dotación de termómetro digital infrarrojo. (Uno sólo en todo el contrato. Se paga una sola vez)	SI	Und	1	6	-	3	Und	\$149.147	\$447.441
EB5- SDV	Dotación de toallas de papel doble hoja (paquete 150 hojas). Toallas interdobadas, paquete con mínimo 150 unidades doble hoja con un tamaño mínimo de 20cm de largo por 15 cm de ancho.	NO	Paquete de 150 por persona / día	0,04	6	30	7,2	Paquete de 150	\$4.392	\$31.622
EB6- SDV	Dotación de agua para el lavado de manos.	N.A.	LT por persona día	9	6	30	1620	LT	\$5	\$8.100
EB7- SDV	Dotación de jabón para manos, para la implementación del protocolo de bioseguridad en obra CON AGENTE LIMPIADOR EN UNA CONCENTRACIÓN MÍNIMA DEL 6% - CON AGENTE HUMECTANTE EN UNA CONCENTRACIÓN MÍNIMA DEL 3%	SI	litros por día por persona	0,005	6	30	0,9	LT	\$7.111	\$6.400
<b>TOTAL PRIMER MES</b>										\$ 610.544
<b>TOTAL MESES POSTERIORES</b>										\$ 163.103

Fuente: Autor:

Tabla 17. Costos ítems por situación de emergencia sanitaria

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR PRIMER MES (\$ COL)	No. DE MESES RESTANTES	VALOR MES (PERIODOS POSTERIORES) (\$ COL)	VALOR TOTAL (\$ COL)
ITEMS POR SITUACIÓN DE EMERGENCIA SANITARIA - ELEMENTOS DE BIOSEGURIDAD PARA LA EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS	Mes	\$610.544	9,0	\$163.103	\$2.078.471

**Fuente:** Autor:

*Tabla 18. Resumen de costos grupos adicionales y costos elementos de bioseguridad*

DESCRIPCIÓN	VALOR TOTAL(\$ COL)
COMPONENTE ELÉCTRICO DE ELEMENTOS DE PLANTA EXTERNA DEL SISTEMA DE SEMAFORIZACIÓN (INCLUYE AIU)	619.033.590
ITEMS POR SITUACIÓN DE EMERGENCIA SANITARIA - ELEMENTOS DE BIOSEGURIDAD PARA LA EJECUCIÓN DE LOS TRABAJOS - SIN DECRETO 5511/2020 VIGENTE	2.078.471
<b>TOTAL VALOR DE LOS COTOS GRUPOS ADICIONALES</b>	<b>621.112.061</b>

**Fuente:** Autor:

Para el cálculo realizado se toma como referencia el periodo del actual del contrato de mantenimiento 2021-2517 actual de la ciudad de Bogotá de 9 meses requiriendo. Los costos del componente eléctrico requerido se evaluaron bajo la siguiente formulación:

$$CCE = CDCM + CDCMN + CDHE + CDES.$$

- CCE = Costo componente eléctrico.
- CDCM = Costo disponibilidad mes cuadrilla de mantenimiento.
- CDCMN = Costo disponibilidad mes cuadrilla de mantenimiento, horario nocturno
- CDHE=Costo disponibilidad de Herramienta y equipo de uso común.
- CDES=Costo disponibilidad Equipo de soldadura eléctrica con generador.

El costo final se obtuvo bajo la siguiente formulación:

$$CT = CCE + CEB.$$

- CCE=Costo componente eléctrico.
- CEB=Costo elementos de bioseguridad.

## **11 CONCLUSIONES**

La zona con mayor criticidad en la ciudad de Bogotá es la zona norte ya que cuenta con 16 intersecciones semaforicas con alta criticidad,122 con media criticidad y 311 con baja criticidad.

La localidad con la mayor cantidad de intersecciones semaforicas en el nivel de alta criticidad es Usaquén con 7 intersecciones, seguida de las localidades santa fe y Teusaquillo con 3 intersecciones y por la zona sur se encuentra Tunjuelito y Usme con 2 intersecciones semaforicas.

La falla con mayor número de reportes por causa derivadas del punto de acometida eléctrica es la variación de tensión seguida de la falla de seguridad de señales. La zona norte lidera el mayor numero de reportes y una de sus localidades con el mayor índice de falla es suba con 36 reportes, seguida de chapinero con 34 reportes y Usaquén con 31 reportes.

Una vez realizado el análisis desde los diferentes aspectos se determinó que el mantenimiento idóneo para aplicar a los puntos de acometida eléctrica de las intersecciones semaforicas de Bogotá es el mantenimiento preventivo basado en monitoreo de condición (MBC).

El plan de mantenimiento se basa en un gran porcentaje en los análisis estadísticos de las intervenciones realizadas, para obtener información real del estado actual de los elementos eléctricos se deberá iniciar con el proceso ya que no se cuenta con los datos históricos de las mediciones de las acometidas para realizar el cálculo y es necesaria para la toma de acciones.

El análisis de costos para el desarrollo del plan de mantenimiento formulado requiere de una inversión inicial considerable que implica la adición de dos grupos técnicos de mantenimiento eléctrico con el fin de llevar a cabo el primer ciclo de manteamiento que a

mediano plazo generaría un sistema de semaforización confiable con un impacto en la movilidad y seguridad de los actores viales de la ciudad de Bogotá.

Finalmente, se formula un plan de mantenimiento el cual permitirá realizar la recolección inicial de la información permitiendo diagnosticar el estado real de las acometidas eléctricas de la semaforización de Bogotá que podrá ser integrado como gestión de mantenimiento a la organización de acuerdo con el estudio de viabilidad.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agencia Nacional de Seguridad Vial. (2019). Observatorio Nacional de Seguridad Vial.

Alberto Sols. (2000). Fiabilidad, mantenibilidad, efectividad: un enfoque sistémico (12th ed.). Comillas .

<https://books.google.com.co/books?id=rpfiMPXDhU4C&pg=PA273&dq=mantenimiento+basado+en+condicion&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiFrLWGuJv3AhX7QjABHet5D9IQ6AF6BAgBEAI#v=onepage&q=monitoreo&f=false>

Antonio Rodríguez Machado. (2012). Manual de Gestión de Mantenimiento.

<https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/5574/Antonio%20Rodr%C3%ADguez%20Machado.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Acuerdo 257 de 2006, Pub. L. No. Por el cual se dictan normas básicas sobre la estructura, organización y funcionamiento de los organismos y de las entidades de Bogotá, distrito capital, y se expiden otras disposiciones, 5 40 (2006).

Campos, O., Tolentino, G., Toledo, M., & Tolentino, R. (2019). Metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) Considerando Taxonomía de Equipos, Bases De Datos y Criticidad de Efectos. *Revista Científica*, 23, 51–59.

ISO 14224: Petroleum, petrochemical and natural gas industries-Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment, (2016) (testimony of International Organization for Standardization).

Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), Pub. L. No. Norma SAE JA1011, Society of Automotive Engineers 6.

Jonathan Buenahora Páez, & Cesar Augusto Diaz Rangel. (2012). Estructuración del plan de mantenimiento basado en la metodología RCM y en el aplicativo ERP CeniSiic cenipalma/fedepalma para el mejoramiento de indicadores KPI de productividad y confiabilidad del mantenimiento en plantas extractoras de aceite de Palma del gremio palmero Colombiano. Universidad Industrial de Santander.

Juan Carlos Valdivieso Torres. (2010). Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para la empresa EXTRUPLAS S.A. Universidad Politécnica Salesiana.

Larry Clark. (2019a). Traffic signals: A brief history. Washington State University.  
<https://magazine.wsu.edu/web-extra/traffic-signals-a-brief-history/>

- Larry Clark. (2019b). Traffic signals: A brief history. Washington State Magazine. <https://magazine.wsu.edu/web-extra/traffic-signals-a-brief-history/>
- Luis Navarro Elola, Clara Ana Tejedor Pastor, & Miguel Jaime Mugaburu Lacabrera. (1997). Gestión integral de mantenimiento (1st ed.).
- Miguel Ángel Motta Cruz. (2017). Diseño de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para top rolls en vidrio andino S.A [Universidad Santo Tomás]. <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/9369/MottaMiguel2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- LEY 769 DE 2002, Pub. L. No. Por la cual se expide el Código Nacional de Tránsito Terrestre y se dictan otras disposiciones, 8 698. <https://doi.org/10.1155/2013/704806>
- Resolución 1050 de 2004, Pub. L. No. Resolución 1050 de 2004, 2.
- Resolución 1050 de 2004"Por la cual se adopta el Manual de Señalización Vial- Dispositivos para la Regulación del Tránsito en Calles, (2004) (testimony of Ministerio de Transporte).
- Ministerio de Transporte. (2015). Manual de Señalización Vial.
- Manual De Señalización Vial Dispositivos Uniformes Para La Regulación De Tránsito En Calles, Carretras Y Ciclorrutas De Colombia, 44 Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical 870 (2015).
- Molano, J. I. R. M. Á. M. C. (n.d.). Diagnóstico y propuesta de gestión de las actividades de mantenimiento del sistema semafórico de Bogotá, D.C. Revista Redes de Ingeniería, 21(4), 423–426. <https://doi.org/10.1068/p210423>
- Movilidad, S. D. de. (2021). Especificaciones técnicas componente central de semaforización, equipos de control de tráfico, elementos de video-detección, botones de demanda, sistema de puesta a tierra de elementos de planta externa del sistema de semaforización de Bogotá D.C (Issue Anexo 1C).
- Oliverio García Palencia. (2012). Gestión Moderna del Mantenimiento Industrial. Principios fundamentales (Adriana Gutiérrez M., Ed.; 21st ed.). Ediciones de la U. <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=IyejDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=generalidades+del+mantenimiento&ots=bPumH9YOwt&sig=fiyhVS8pb33DaVy7JfJ1PxKVULk#v=onepage&q=generalidades%20del%20mantenimiento&f=false>
- ISO 14224 DE 2016 Industrias de petróleo, petroquímica y gas natural recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos, Publicación de Estándares BSI (2016).

Ley 769 de 2002. Por la cual se expide el Código Nacional de Tránsito Terrestre y se dictan otras disposiciones, no. Ley 769 de 2002 (2002).

[https://www.movilidadbogota.gov.co/web/sites/default/files/ley-769-de-2002-codigo-nacional-de-transito\\_3704\\_0.pdf](https://www.movilidadbogota.gov.co/web/sites/default/files/ley-769-de-2002-codigo-nacional-de-transito_3704_0.pdf)

Puerto León, M., & Vargas García, S. A. (2003). Estudio de prefactibilidad para una alimentación eléctrica confiable al sistema de semaforización del Centro de Bogotá. Ciencia Unisalle, 1.

Rafael, A., Rapalino, G., Enrique, J., Arteaga, M., de Ingenierías Especialización, F., Gerencia, E. N., & Mantenimiento, D. E. (2011). Metodología para la implementación de un sistema computarizado de gestión de mantenimiento (CMMS) [Universidad Tecnológica de Bolívar]. <http://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0062073.pdf>

Rodríguez Molano, J. I., & Martínez Cárdenas, M. Á. (2015). Diagnóstico y propuesta de gestión de las actividades de mantenimiento del sistema semafórico de Bogotá D,C. Redes de Ingeniería, 6(2), 77.

<https://doi.org/10.14483/UDISTRITAL.JOUR.REDES.2015.2.A07>

Acuerdos de niveles de servicio, 7 (2021). [www.movilidadbogota.gov.co](http://www.movilidadbogota.gov.co)

Secretaría Distrital de Movilidad. (2021a). Especificaciones técnicas componente central de semaforización, equipos de control de tráfico, elementos de video detección, botones de demanda, sistema de puesta a tierra de elementos de planta externa del sistema de semaforización de Bogotá D.C. [www.movilidadbogota.gov.co](http://www.movilidadbogota.gov.co)

Secretaría Distrital de Movilidad. (2021b). Especificaciones técnicas componente eléctrico de elementos de planta externa del sistema de semaforización. In *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952. (Issue Anexo 1B).

Secretaría Distrital de Movilidad. (2021c). Informe de ejecución contrato 2021-1880.