

**HERRAMIENTA DE ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO DE INCIDENTES
PARA EL PROCESO DE ATENCIÓN DE EMERGENCIAS DEL BENEMÉRITO
CUERPO DE BOMBEROS VOLUNTARIOS DE CALI.**

**DIANA CAICEDO YARÁ
GUSTAVO PUERTA VILLAMARÍN**

**UNIVERSIDAD ICESI
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
SANTIAGO DE CALI
2015**

**HERRAMIENTA DE ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO DE INCIDENTES
PARA EL PROCESO DE ATENCIÓN DE EMERGENCIAS DEL BENEMÉRITO
CUERPO DE BOMBEROS VOLUNTARIOS DE CALI.**

**DIANA CAICEDO YARÁ
GUSTAVO PUERTA VILLAMARÍN**

Proyecto de grado de Ingeniería Industrial

**Tutor:
EFRAIN PINTO BRAND
Ingeniero Industrial**

**UNIVERSIDAD ICESI
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
SANTIAGO DE CALI
2015**

CONTENIDO

1. PROPUESTA DE INVESTIGACION	1
1.1 TITULO DEL PROYECTO	1
1.2 DELIMITACIÓN Y ALCANCE	1
1.3 PROBLEMA A TRATAR	2
1.4 ANALISIS DEL PROBLEMA.....	3
1.5 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	5
2. OBJETIVOS DEL PROYECTO	5
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	5
2.2 OBJETIVO DEL PROYECTO	5
2.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
2.4 ESTRATEGIA METODOLÓGICA DEL PROYECTO.....	6
3. ADMINISTRACIÓN DEL PROYECTO	8
3.1 CRONOGRAMA PARA LA REALIZACIÓN DEL PROYECTO	8
3.2 RECURSOS DEL PROYECTO	10
4. MARCO DE REFERENCIA.....	11
4.1 ANTECEDENTES O ESTUDIOS PREVIOS.....	11
4.2 MARCO TEORICO	14
4.2.1 CLASIFICACION DE RIESGOS.....	14
4.2.2 PROGRAMACIÓN LINEAL – ASIGNACIÓN DE RECURSOS.....	17
4.2.3 MAPA DE RIESGOS.....	17
4.2.4 SIMULACIÓN	18

4.3 EL BENEMÉRITO CUERPO DE BOMBEROS VOLUNTARIOS DE SANTIAGO DE CALI	21
4.3.1 ESTACIONES DE BOMBEROS DE LA CIUDAD DE CALI.....	22
4.3.2 TIPOS DE MAQUINARIA UTILIZADOS EN EL BCBVC	23
5. CONTRIBUCION INTELECTUAL	28
6. SITUACION ACTUAL DE BENEMERITO CUERPO DE BOMBEROS VOLUNTARIOS DE CALI	30
6.1 ENFOQUE METODOLOGICO	30
6.2 PROTOCOLO DE RECOLECCION DE DATOS	30
6.2.1 ENFOQUE CUALITATIVO:	31
6.2.2 ENFOQUE CUANTITATIVO:	35
7. DESARROLLO DE LA HERRAMIENTA DE ANALISIS	47
7.1 CLASIFICACION DE ZONAS DE RIESGO	48
7.1.1 DEFINICION DE NIVELES DE PROBABILIDAD DE OCURRENCIA	48
7.1.2 DEFINICION DE NIVELES DE GRAVEDAD DEL INCIDENTE	49
7.1.3 PUNTAJE DE NIVEL DE RIESGO	53
7.1.4 INTERFAZ DE RESULTADOS DE ZONA DE RIESGO.....	54
7.2 ASIGNACION DE MÁQUINAS	56
7.2.1 SITUACIÓN ACTUAL DE LA ASIGNACIÓN DE MÁQUINAS	56
7.2.2 INTRODUCCION DE PARAMETROS	56
7.2.2 METODO DE ASIGNACION PARA LA HERRAMIENTA	59
7.2.3 INTERFAZ DE RESULTADOS DE ASIGNACION	63
7.3 MANUAL DE USUARIO PARA LA HERRAMIENTA DE ANALISIS	65

8. RESULTADOS.....	65
8.1 VALIDACIÓN.....	65
8.2 CONCLUSIONES.....	66
8.3 RECOMENDACIONES.....	68
9. BIBLIOGRAFÍA	69
10. ANEXOS	70
ANEXO 1 - FORMATO DE ENCUESTA APLICADA A MIEMBROS DEL BCBVC.	
71	
ANEXO 2 – INTERFAZ INICIAL DE LA HERAMIENTA DE ANALISIS	73
ANEXO 3 – CÓDIGO DE LA MACRO SOLVERBOMBEROS()	74
ANEXO 4 - INTERFAZ DE INTERACCIÓN PARA ASIGNAR UNA NUEVA MAQUINA.....	75

ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1 DIAGRAMA DE CAUSA - EFECTO. LOS AUTORES.....	4
ILUSTRACIÓN 2 CRONOGRAMA DEL PROYECTO.....	8
ILUSTRACIÓN 3 CRONOLOGÍA DEL PROYECTO.....	9
ILUSTRACIÓN 4 MODELO RAC - ADAPTADO DEL LIBRO SEGURIDAD INDUSTRIAL Y SALUD	16
ILUSTRACIÓN 5 CAMIÓN PRINCIPAL - FUENTE BCBVC.....	24
ILUSTRACIÓN 6 CAMIÓN UNIMOG - FUENTE BCBVC.....	25
ILUSTRACIÓN 7 CAMIÓN CISTERNA - FUENTE BCBVC.....	26
ILUSTRACIÓN 8 CAMION DE ATAQUE RAPIDO - FUENTE BCBVC.....	27
ILUSTRACIÓN 9 TRATAMIENTO DE DATOS DEL PROYECTO - LOS AUTORES.....	31
ILUSTRACIÓN 10 DIAGRAMA DEL PROCESO DE SALIDA – LOS AUTORES.....	33
ILUSTRACIÓN 11 PARETO DE INCIDENTES - LOS AUTORES.....	37
ILUSTRACIÓN 12 FRECUENCIA DE INCIDENTES MENSUAL DEL 2015 - LOS AUTORES.....	39
ILUSTRACIÓN 13 RELACIÓN PORCENTUAL DE LOS INCIDENTES MENSUALES - LOS AUTORES.....	40
ILUSTRACIÓN 14 TIPO DE INCIDENTES POR MES DEL 2014 - LOS AUTORES.....	41
ILUSTRACIÓN 15 FRECUENCIA DE INCIDENTES POR COMUNAS - LOS AUTORES.....	43
ILUSTRACIÓN 16 BARRIOS COMUNA 2 - FUENTE LOS AUTORES.....	44
ILUSTRACIÓN 17 BARRIOS COMUNA 17 - FUENTE LOS AUTORES.....	45
ILUSTRACIÓN 18 BARRIOS COMUNA 19 - FUENTE LOS AUTORES.....	45
ILUSTRACIÓN 19 ESTRATO DE LAS COMUNAS DE CALI - FUENTE: PLANEACION.CALI.GOV.CO.....	46
ILUSTRACIÓN 20 INTERFAZ PARA LOS RESULTADOS DE ZONAS DE RIESGO - LOS AUTORES.....	54
ILUSTRACIÓN 21 MAPA DE ZONA DE RIESGOS DADO POR LA INTERFAZ - LOS AUTORES	55
ILUSTRACIÓN 22 FRAGMENTO DE INTERFAZ PARA ELEGIR OPCIONES DE MAQUINA E INCIDENTES - LOS AUTORES.....	57
ILUSTRACIÓN 23 INTERFAZ SOLVER - FUENTE LOS AUTORES.....	62
ILUSTRACIÓN 24 SEGMENTO DE INTERFAZ DE LA ASIGNACIÓN DE MÁQUINAS - LOS AUTORES.....	64

LISTA DE TABLAS

TABLA 1 METODOLOGÍA DEL PROYECTO – FUENTE LOS AUTORES	6
TABLA 2 INFORMACIÓN DE ESTACIONES - FUENTE LOS AUTORES	22
TABLA 3 IMPACTO DEL INCIDENTE - LOS AUTORES	34
TABLA 4 FRECUENCIA DE INCIDENTES EN EL AÑO 2014 - LOS AUTORES	36
TABLA 5 CANTIDAD DE INCIDENTES MENSUALES - LOS AUTORES	39
TABLA 6 PARÁMETROS DE HERRAMIENTA DE ANÁLISIS - LOS AUTORES	48
TABLA 7 PROBABILIDAD DE INCIDENTES - LOS AUTORES	49
TABLA 8 GRAVEDAD DEL INCIDENTE - LOS AUTORES	50
TABLA 9 MAGNITUD DEL RIESGO - LOS AUTORES	51
TABLA 10 ASIGNACIÓN DE MAGNITUD A INCIDENTES - LOS AUTORES	52
TABLA 11 ASIGNACIÓN DE MAQUINAS A INCIDENTES - LOS AUTORES	58

LISTA DE ECUACIONES

ECUACIÓN 1 VARIABLE DE DECISIÓN X - FUENTE LOS AUTORES	59
ECUACIÓN 2 FUNCIÓN OBJETIVO - FUENTE LOS AUTORES	60
ECUACIÓN 3 MATRIZ P - FUENTE LOS AUTORES	60
ECUACIÓN 4 RESTRICCIONES - FUENTE LOS AUTORES	60

1. PROPUESTA DE INVESTIGACION

1.1 TITULO DEL PROYECTO

Herramienta de análisis del comportamiento de incidentes para el proceso de atención de emergencias del benemérito cuerpo de bomberos voluntarios de Cali.

1.2 DELIMITACIÓN Y ALCANCE

La propuesta de este proyecto contempla el desarrollo de una herramienta que permita analizar el comportamiento de los incidentes según su ocurrencia. Se procederá a analizar la frecuencia de los incidentes atendidos durante un periodo de tiempo determinado (por definir), posteriormente se evaluará el nivel de riesgo del incidente junto con los lugares de mayor ocurrencia, además de revisar y evaluar la asignación de recursos de la entidad. Esta propuesta será llevada a cabo bajo el análisis de los registros de incidentes atendidos por el Benemérito Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Cali mediante la información suministrada por la central de telemática de la entidad.

El proyecto comprenderá la interacción con funcionarios dentro del Benemérito Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Cali (BCBVC) y la Central de Despachos, puesto que es allí donde se desarrolla el registro detallado de los datos necesarios para llevar a cabo este proyecto, una herramienta de análisis.

Este es un proyecto de tipo histórico, experimental y descriptivo. Histórico porque debe ser analizado y comprendido desde sus antecedentes; experimental pues debe ser estudiado y validado con la entidad (BCBVC), y descriptivo ya que con la

información recopilada se espera generar un documento que asista el proceso y tenga un impacto en su efectividad.

El desarrollo del proyecto permitirá aplicar conocimientos teóricos de Ingeniería Industrial en un proceso para el análisis del comportamiento de la ocurrencia de un factor en una organización, es decir, que mediante el uso de conocimientos como: análisis estadísticos, creación y simulación de modelos, clasificación de riesgos y asignación de recursos; se permitiría realizar un análisis estructurado de la problemática presentada por la empresa, en este caso una empresa prestadora de servicios.

Por otra parte el proyecto tiene una finalidad social ya que va más allá de un ejercicio académico logrando alcanzar en su desarrollo una herramienta que puede ser efectiva para mejorar o presentar propuestas de mejora a la entidad y lograr un impacto social al lograr mejorar un servicio que se presta a la comunidad.

1.3 PROBLEMA A TRATAR

Si bien el Benemérito Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Cali es una organización la cual ya ha definido sus procesos en cada una de las estaciones de bomberos, la entidad aún no cuenta con una clasificación de las áreas de la ciudad por su nivel de riesgo de incidentes que involucre un análisis cuantitativo y cualitativo de los diferentes factores que pueden impedir una adecuada asignación de los recursos con los que cuenta la entidad, además de la identificación de la necesidad de adquirir recursos adicionales que fortalezcan la actividad del BCBVC.

1.4 ANALISIS DEL PROBLEMA

El cuerpo de Bomberos de la ciudad de Cali es una organización la cual posee procesos definidos y regulados, sin embargo se evidencia cierta ambigüedad en la asignación o percepción de los recursos de cada estación. Este efecto podría impedir la oportuna identificación de necesidades existentes o emergentes en cuanto al manejo de los recursos con los que cuenta o requiere el BCBVC.

Según la entidad, cada una de las estaciones esta apta para atender cualquier clase de incidente que se llegase a presentar, pero esta premisa genera ambigüedad cuando cada una de las estaciones se identifica por una especialidad específica.

El BCBVC cuenta con una base de datos la cual almacena los detalles de cada incidente ocurrido, como el lugar, la hora de recepción de la llamada y de llegada de los bomberos, la máquina que lo asistió, la cantidad de bomberos, etc. Esta base de datos es utilizada para sacar algunos estadísticos empleados para los reportes.

A pesar de generar ciertos reportes, ninguno se ha encaminado a generar una zonificación de los incidentes, la cual permite identificar las zonas más críticas de la ciudad y de esta manera revisar si la asignación de los recursos es adecuada o identificar la necesidad de nuevos recursos. Esto le permitiría garantizar una mejor respuesta a los incidentes en dicha zona crítica y así mismo mejorar el servicio a la comunidad.

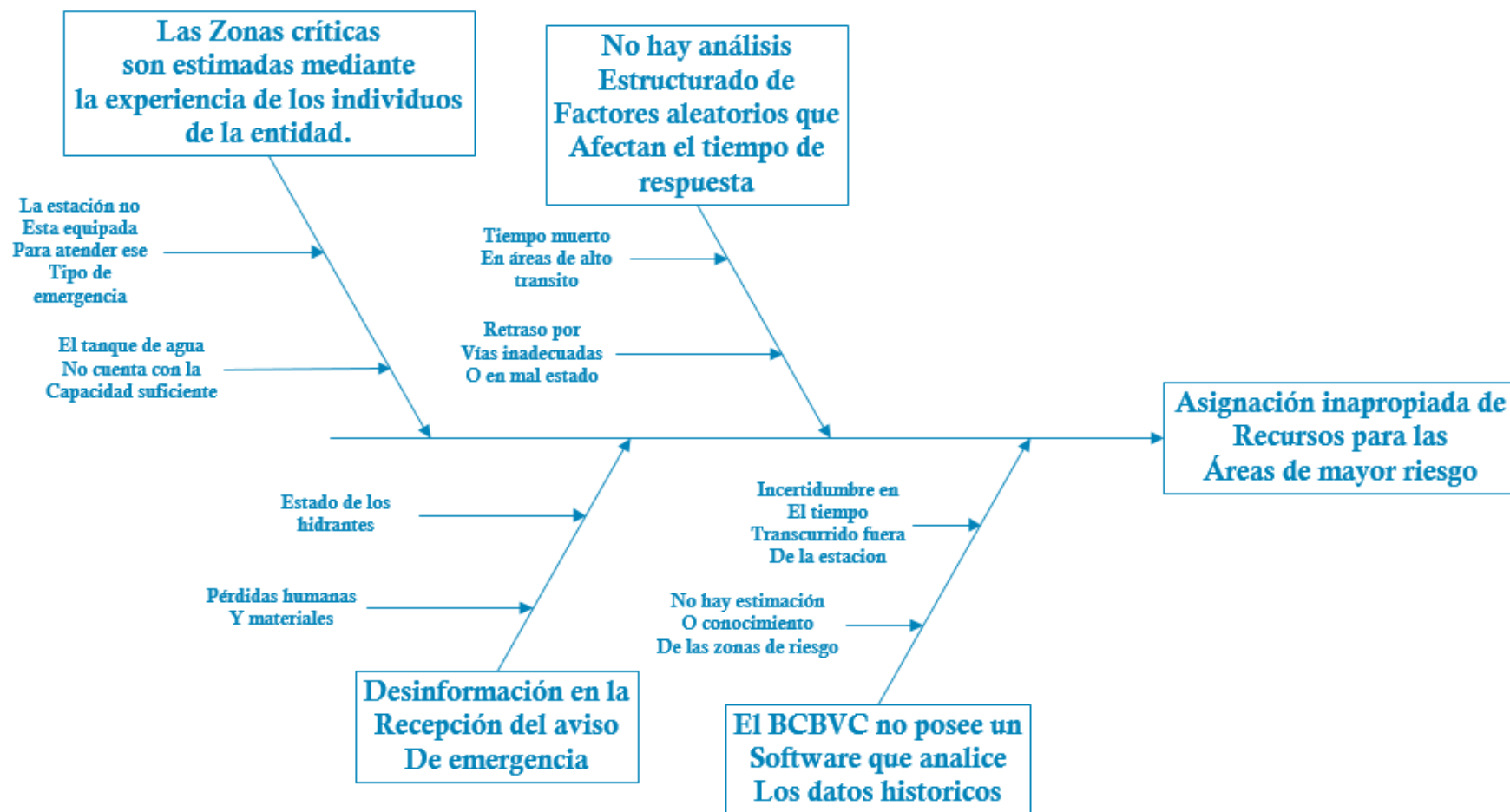


Ilustración 1 Diagrama de Causa - Efecto. Los autores

1.5 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Deficiencia en la clasificación de zonas y asignación de recursos por nivel de riesgo basado en un análisis estructurado de la frecuencia de los incidentes ocurridos en el perímetro urbano de la ciudad de Cali.

2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

2.1 OBJETIVO GENERAL

Mejorar el servicio que presta el Benemérito Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Cali.

2.2 OBJETIVO DEL PROYECTO

Desarrollar una herramienta que permita clasificar las áreas de mayor riesgo de incidentes en la ciudad de Cali para el BCBVC.

2.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Proponer un mapa de nivel de riesgo de incidente por zonas en Cali mediante el análisis del comportamiento de los tipos de incidentes y las variables que afectan el tiempo de atención del BCBVC.
- Analizar y clasificar cada estación de bomberos respecto a los tipos de incidente que atienden, frecuencia de los tipos de incidente, tiempos de respuesta y su ubicación.

- Desarrollar y validar una herramienta de análisis que permita sugerir la asignación de recursos para el BCBVC.

2.4 ESTRATEGIA METODOLÓGICA DEL PROYECTO

Para desarrollar el proyecto se tuvieron presentes una serie etapas, en las cuales se llevaran a cabo diferentes actividades críticas y se usaran diferentes metodologías y herramientas para hallar la información más relevante y necesaria.

Tabla 1 Metodología del Proyecto – fuente los autores

Etapa de Desarrollo	Actividades Críticas	Metodologías Específicas
Crear marco de referencia	<p>Buscar antecedentes, estudiar el proceso de recepción de emergencias y salida de los bomberos y esquematizarlo.</p> <p>Definir conceptos teóricos de simulación.</p>	<p>Consulta y análisis bibliográfico de proyectos de grado, revistas especializadas y noticias respecto al proceso de salida de bomberos y los factores que lo afectan. Revisar software desarrollados para apoyar la gestión de atención a emergencias.</p> <p>Estudio de la reglamentación oficial de los bomberos en Colombia.</p>
Analizar la situación actual.	<p>Realizar visitas a algunas estaciones de bomberos, central de despachos y la EIB.</p>	<p>Recolección de datos sobre el número de incidentes, identificar las características de dichos incidentes y de las máquinas del BCBVC. Realizar diagrama del proceso.</p>

Estudiar la problemática.	Determinar factores que influyen en la frecuencia o impacto de los incidentes bomberos.	Análisis estadístico y diagramas de causa-efecto. Pareto para determinar los factores que tienen mayor impacto en el tiempo de respuesta y causan demoras.
Definir el modelo de simulación.	Determinar funciones matemáticas que permitan simular el comportamiento de los factores.	Aplicación de métricas estadísticas en datos recolectados para realizar análisis probabilísticos y simular el comportamiento de los factores críticos.
Desarrollo de la herramienta de apoyo	Programación de la herramienta de análisis.	Definir claramente los estados, longitud de corrida e interfaz desarrollada por medio de hojas electrónicas. Prueba de verificación y validación del modelo.
Validar y Documentar.	Registrar resultados encontrados y recomendaciones.	Validar y registrar las zonas de mayor riesgo en la ciudad de Cali, con el fin de realizar propuestas como la asignación de maquinas para dar respuesta o mitigar estas zonas de riesgo.

3. ADMINISTRACIÓN DEL PROYECTO

3.1 CRONOGRAMA PARA LA REALIZACIÓN DEL PROYECTO

Para la realización de este proyecto se ha estipulado un cronograma el cual permitiría mostrar el tiempo estimado en cada una de las actividades, objetivos y metas a cumplir durante el trabajo.

Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Pr	Nombres de los recursos
	DESARROLLO DE PROYECTO DE GRADO	122 días	jue 06/11/14	sáb 25/04/15		Diana Caicedo - Gust
	Estudio de la Situación actual	27 días	jue 06/11/14	sáb 13/12/14		Diana Caicedo - Gust
	Recoleccion los registros de los tiempos en la central de telematica de Bomberos Cali	2 días	jue 06/11/14	vie 07/11/14		Diana Caicedo - Gust
	Recolectar y organizar informacion del proceso de salida de la EIB	2 días	vie 07/11/14	sáb 08/11/14		Diana Caicedo - Gust
	Registrar los tiempos reales de salida en la estacion autorizada	2 días	lun 01/12/14	mar 02/12/14		Diana Caicedo - Gust
	Confrontar los resgitros propios con los historicos del Dpto. de telematica y realizar el analisis estadístico	3 días	lun 01/12/14	mié 03/12/14		Diana Caicedo - Gust
	Diagramar resultado de los registros y analizarlos	3 días	mié 03/12/14	vie 05/12/14		Diana Caicedo - Gust
	Reunion con Alberto Hernandez para validacion de los resultados por parte del cuerpo de bomberos	1 día	jue 04/12/14	jue 04/12/14		Diana Caicedo - Gust
	Realizar un modelo de silmulacion del proceso de salida	6 días	lun 08/12/14	sáb 13/12/14		Diana Caicedo - Gust
	Proponer alternativas de solucion	20 días	lun 12/01/15	vie 06/02/15		Diana Caicedo - Gust
	Decidir que herramientas de Lean Manufacturing implementar mediante lo analizado del sistema, validar con el tutor	4 días	lun 12/01/15	jue 15/01/15		Diana Caicedo - Gust
	Desarrollar las etapas de la herramienta (SMED) para realizar una propuesta de mejora	15 días	lun 19/01/15	vie 06/02/15		Diana Caicedo - Gust
	Analisis econòmico de los cambios propuestos en el proceso	5 días	lun 02/02/15	vie 06/02/15		Diana Caicedo - Gust
	Realizar prueba piloto de las mejoras porpuestas que no requieran inversion adicional	0 días	lun 16/02/15	lun 16/02/15		Diana Caicedo - Gust
	Conclusiones y recomendaciones	20 días	mié 18/02/15	mar 17/03/15		Diana Caicedo - Gust
	Documentar resultados hallados en la prueba piloto	3 días	mié 18/02/15	vie 20/02/15		Diana Caicedo - Gust
	Redactar la propuesta demejora indicando cada tarea a seguir	3 días	vie 20/02/15	mar 24/02/15		Diana Caicedo - Gust
	Presentar un analisis economico de la viabilidad de la propuesta	4 días	mar 24/02/15	vie 27/02/15		Diana Caicedo - Gust
	Graficar los resultados en termino de tiempo, para evidencias mejoras (si las hay)	3 días	mié 18/02/15	vie 20/02/15		Diana Caicedo - Gust
	realizar validacion de los resultados con el tutor y el cuerpo de bomberos	6 días	lun 02/03/15	lun 09/03/15		Diana Caicedo - Gust
	Realizar correcciones de forma y presentacion del documento escrito para proyecto de grado	6 días	mar 10/03/15	mar 17/03/15		Diana Caicedo - Gust
	Presentar documento final de proyecto de grado	6 días	lun 20/04/15	sáb 25/04/15		Diana Caicedo - Gust

Ilustración 2 Cronograma del Proyecto

También se podrá ilustrar de manera gráfica, la cronología que llevará el proceso, permitiendo hacer un control en las actividades planteadas.

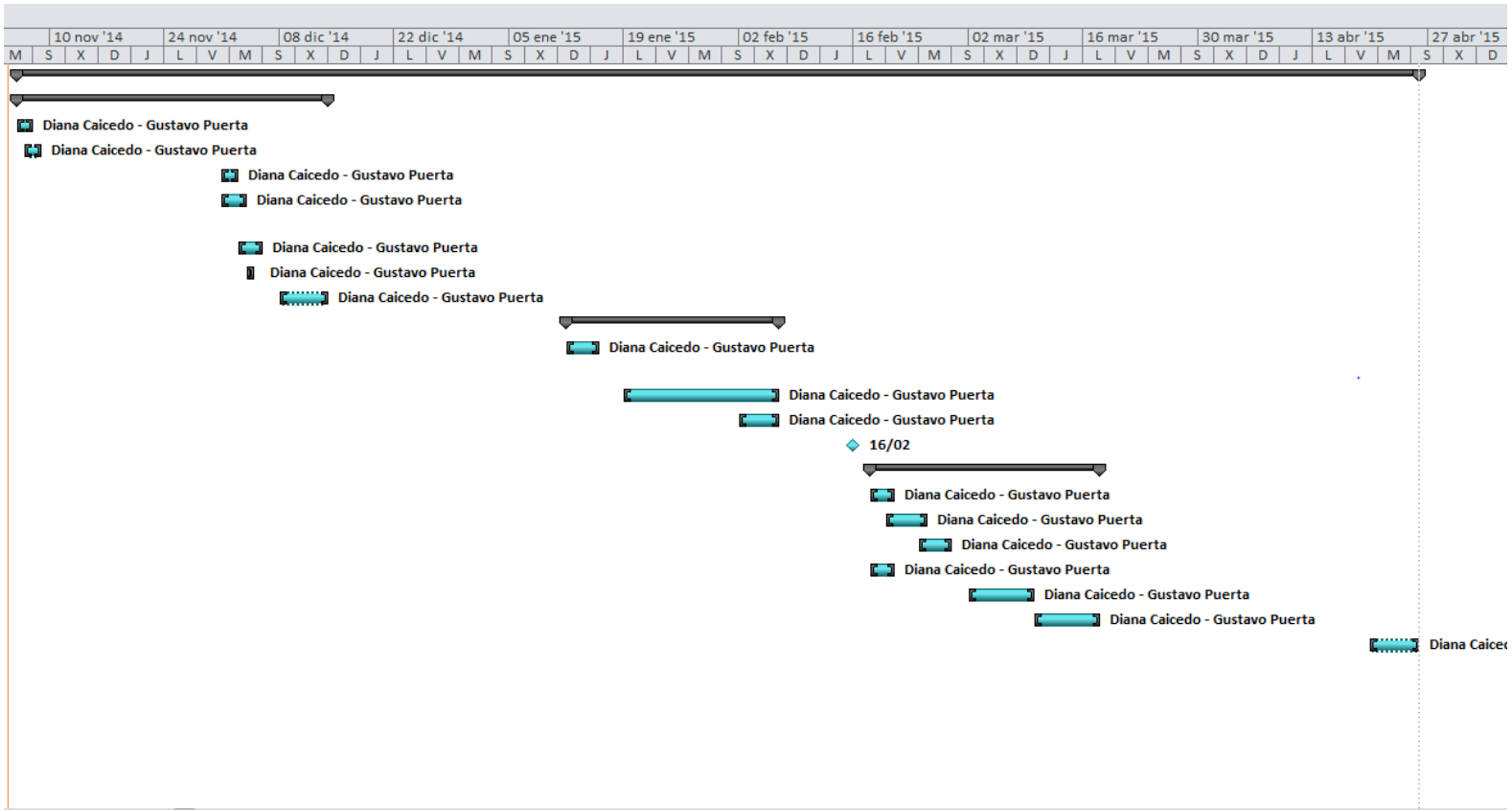


Ilustración 3 Cronología del Proyecto

Por medio del cronograma, se puede dar evidencia de las fases que comprenderá el proyecto desde su inicio hasta su finalización, entre las que se destacan el estudio de la situación actual, la propuesta de la herramienta de la simulación, el desarrollo de la herramienta, las conclusiones y recomendaciones. Estas cuatro etapas macro, nombradas anteriormente, reúnen un listado de actividades las cuales permitirán alcanzar cada uno de los objetivos del proyecto.

3.2 RECURSOS DEL PROYECTO

Para llevar a cabo este proyecto se considerarán los siguientes recursos:

- **Financieros:** no se cuenta con recursos económicos externos, todos los costos del proyecto serán suministrados por los investigadores los cuales se prevé que estarán relacionados a gastos de actividades de apoyo.
- **Tecnológicos:** se necesitará al menos un computador para la documentación del proyecto, con acceso a redes y bases de datos para la investigación y comunicación.

Se requerirá que el equipo utilizado ofrezca el paquete completo de Microsoft. Dentro de los programas que incluye el paquete es relevante el programa Excel puesto que a través del programa de hojas electrónicas se realizará el desarrollo de la herramienta de simulación. También serán necesarios programas de Microsoft Office Word y Microsoft Office Visio los cuales permitirán documentar y copilar la información relacionada al proyecto.

- **Humanos:** Investigadores, tutor temático, miembros del Benemérito Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Cali.

4. MARCO DE REFERENCIA

4.1 ANTECEDENTES O ESTUDIOS PREVIOS

Para desarrollar el proyecto se investigaron propuestas de mejoras realizadas en los procesos llevados a cabo por los bomberos independiente de la aplicación de herramientas de simulación registradas en artículos de revistas especializadas con el fin de contextualizar en qué ámbitos se desarrollan herramientas que permiten mejorar el servicio a la comunidad.

Se encontró documentación sobre la implementación de un sistema único de información llamado “Commander” usado por el Cuerpo de Bomberos de Santiago en Chile el cual permitió mejorar los tiempos de reacción frente a una emergencia. Esta investigación es relevante pues implementando una aplicación se logró cambiar un promedio de seis a menos de cuatro minutos). El sistema llamado Commander¹ considera una nueva forma de despachar vehículos de emergencia al coordinar los imprevistos entre el camión de bomberos y la central mediante tabletas para evitar incluso los inconvenientes del tránsito.

También se indago avances del proyecto REBA² (Revisión de Equipamientos de Bomberos de Asturias) el cual crea una alternativa para mejorar el proceso de salida al reemplazar el sistema manual que se utilizaba en la central de bomberos de Asturias por un sistema para automatizar las revisiones del equipamiento de

¹ Commander es una aplicación diseñado por Daniel Espinoza y Fernando Ordóñez, en colaboración con el Cuerpo de Bomberos de Santiago (CBS) en 2013, Chile.

² El Proyecto REBA fue desarrollado por la Fundación para el Fomento en Asturias de la Investigación Científica Aplicada y la Tecnología (FICYT) en el 2012 para la central de Bomberos de Asturias, España. El proyecto también conto con el apoyo de la empresa SICO.

bomberos, controlar el estado de estos implementos y si se encuentran en el lugar correcto de forma que se logre avisar anticipadamente de la caducidad de cada uno de los elementos y en el proceso si algún implemento de seguridad se usa incorrectamente.

En cuanto a proyectos orientados más específicamente al desarrollo de software especializado o herramientas computacionales se han encontrado diferentes proyectos y programas. Uno de los más relevantes es el “Índices de Peligro y Simulación de Incendios Forestales en el Ambiente Para Baja California”³ el cual tiene como finalidad desarrollar un sistema de información geográfica (SIG) integrando los índices de peligro e información meteorológica que permite indicar las zonas propensas a ignición y su grado de dispersión en cuanto los incendios que se presentan en las zonas forestales y afectan una cantidad significativa de hectáreas.

Además se encuentra el proyecto desarrollado entre el Departamento de Gestión Forestal y su Medio Ambiente y la Universidad de Chile titulado “Estudio Del Comportamiento Del Fuego Mediante Simulación De Incendios Forestales En Chile”⁴. El trabajo es desarrollado por medio de un laboratorio de incendios forestales y el propósito de su desarrollo es validar sistema KITRAL⁵ el cual permite simular la velocidad de propagación de incendios una vez han ocurrido. Uno de los aportes valiosos de este estudio es la identificación y el análisis de 16

³ Un estudio desarrollado en la Universidad Autónoma de Baja California producido por Jorge I. Sepúlveda Betancourt, Walter Raúl Zúñiga, Luis Vizcarra Corral y Alejandro Gomero Portilla en el año 2003.

⁴ El estudio es producto del trabajo realizado por Miguel Castillo Soto del Laboratorio de Incendios Forestales y la Facultad de Ciencias Forestales y Conservación de la Naturaleza y Roberto Garfias Salinas del Departamento de Gestión Forestal y su Medio Ambiente de Chile en el año 2010.

⁵ un sistema computacional desarrollado por la Facultad de Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Chile que dirige y compuesto por un software capaz de realizar un exhaustivo análisis de los incendios.

variables de relacionadas a la naturaleza de los incendios registrados y el acople realizado mediante un proceso de simulación para predecir futuros incendios.

Otro aporte en cuanto a herramientas que permiten prever el comportamiento de los incendios es la Simulación dinámica de incendios mediante FDS⁶ e implementado mediante CYPE⁷. Este proyecto si bien está enfocado más a la industria que a la atención general de emergencias de incendio en la zona urbano es particularmente interesante pues no solo hace un modelado matemático teniendo en cuenta diferentes variables específicas de las condiciones de infraestructura de una industria específica sino que además permite al usuario visualizar gráficamente mediante un modelo en 3D el grado de impacto, orientación y velocidad de un escenario de incendio en determinado edificio.

⁶ FDS es el motor de cálculo su siglas hacen referencia a “Fire Dynamics Simulator” desarrollado por el NIST (National Institute of Standards and Technology, USA)

⁷ CYPECAD MEP es un programa para el diseño y dimensionamiento de la envolvente, la distribución, y las instalaciones del edificio sobre un modelo 3D integrado con los distintos elementos del edificio.

4.2 MARCO TEORICO

En este proyecto de grado se hará uso exhaustivo de varios conceptos, entre los que más se destacan, simulación y mapeo de riesgos, ya que por medio de estas herramientas se lograrán los objetivos propuestos para el proyecto.

4.2.1 CLASIFICACION DE RIESGOS

Este concepto es de vital importancia para el desarrollo del proyecto, puesto que plantea la clasificación de unos factores o variables según la magnitud de las consecuencias que pueda generar la aparición u ocurrencia de dicha variable.

La clasificación de riesgos en esencia es un aspecto complicado de medir y de establecer, puesto que un riesgo recibe denominaciones cualitativas como “menor, medio, sin penalización, etc.” Para contrarrestar esto, a los riesgos se les atribuyen valores los cuales corresponde a costos o probabilidades.

En primera instancia es preciso definir el concepto de riesgo, que según Castejón Vilella e influenciado por Goodner definen riesgo como: “pérdida estimada producida en un periodo de tiempo por un cierto fallo”, con lo que el riesgo se expresaría:

$$\frac{\text{Daño esperado}}{\text{Tiempo}}$$

Ecuación 1 Expresión del riesgo según Vilella - Tomado de Metodos de evaluación de riesgos laborales

Para identificar o estimar el riesgo se pueden tomar dos clases de métodos, los cuales difieren en la complejidad del método y en la gravedad o impacto del posible suceso. Dichos métodos son:

- Métodos simplificados: este tipo de método se emplea cuando no es razonable esperar consecuencias catastróficas de la actualización del riesgo. Este método también es usado cuando no se dispone de otros métodos apropiados.
- Métodos complejos: este es usado cuando las consecuencias de la actualización de riesgos pueden llegar a ser bastante graves pese a una baja probabilidad de ocurrencia (Rubio Romero, 2004).

Los métodos de evaluación de riesgo también pueden clasificarse según la propuesta de Santamaría Ramiro y Braña Aisa, la cual menciona que los metodos pueden ser:

- Comparativos: se basan en la experiencia previa acumulada en un campo determinado, bien como registro de accidentes o situaciones previas.
- Índices de riesgo: son útiles para indicar las áreas de mayor concentración de riesgos.
- Generalizados: proporcionan esquemas de razonamiento aplicables en principio a cualquier situación convirtiéndolos en análisis de mucha utilidad.

Según lo anteriormente mencionado se podría decir que para el desarrollo de este proyecto se llevara a cabo una metodología de evaluación de riesgo con características de un método complejo como lo menciona Rubio Romero, además de ser un método comparativo puesto que se tendrá en cuenta la experiencia de la entidad (BCBVC), que según Santamaría Ramiro hace referencia a los registros de los incidentes que la entidad atiende.

En el caso específico de este proyecto, se tomó como referencia el modelo RAC (Perason Educacion - Ejemplar para evaluación)⁸, Código de evaluación de riesgos – por sus siglas en inglés, el cual fue creado y es utilizado por La Fuerza

⁸ RAC; Risk Assessment Code

Aérea de Estados Unidos. Este modelo involucra la probabilidad de ocurrencia y la escala del riesgo. Este modelo maneja cuatro niveles de gravedad y cuatro niveles de probabilidad de percances (ver ilustración 4).

		<i>Probabilidad de Incidentes</i>			
		A	B	C	D
Gravedad	I	1	1	2	3
	II	1	2	3	4
	III	2	3	4	5
	IV	3	4	5	5

Ilustración 4 Modelo RAC - Adaptado del libro Seguridad industrial y salud

La gravedad de los percances en el modelo RAC, están definidas como las filas de la matriz, los cuales representan las lesiones físicas, desde un tratamiento médico menor hasta la muerte, además incluyen el costo de los daños materiales.

Por otro lado se encuentra la probabilidad de los percances, que hace referencia a la probabilidad de ocurrencia del percance en el tiempo. En la matriz se representan con las columnas.

El cruce entre la gravedad y la probabilidad de los percances, se denota con un número el cual representa Las designaciones del RAC, que son:

1. Peligro inminente
2. Serio
3. Moderado
4. Menor
5. Insignificante

4.2.2 PROGRAMACIÓN LINEAL – ASIGNACIÓN DE RECURSOS

Gran parte de las decisiones administrativas, se ven relacionadas con utilizar a la máxima eficacia los recursos de una compañía. Dichos recursos hacen referencia a maquinaria, mano de obra, dinero, tiempo, espacio de almacenamiento y materia prima.

Para brindar apoyo y ayuda en la toma de decisiones, existe la programación lineal como herramienta. ¿Qué es programación Lineal? Es una técnica de modelado matemático ampliamente utilizada, diseñada para los administradores en la planificación y toma de decisiones con respecto a la asignación de recursos. El termino programación hace referencia a la modelación y solución de un problema (Render, Stair, & Hanna, 2006).

Como todo modelo la programación lineal también presenta unas propiedades, que son:

1. Los problemas buscan maximizar o minimizar un objetivo.
2. Las restricciones limitan el grado al cual el objetivo puede ser alcanzado.
3. Debe haber alternativas disponibles.
4. Las relaciones matemáticas deben ser lineales.

4.2.3 MAPA DE RIESGOS

Mapa de riesgos, hace referencia al documento que contiene información sobre los riesgos existentes en un lugar específico. Este a su vez permite identificar los peligros y localizar y valorar los riesgos existentes, así como conocer el grado de exposición a que están sometidos los grupos cercanos (Cortés, 2007). En el caso de este proyecto de grado este concepto permitirá elaborar un mapa de riesgos en

la ciudad de Cali cuya finalidad será identificar las zonas de la ciudad con mayor frecuencia de emergencias a atender.

Según la definición de Cortés Díaz sobre que es un mapa de riesgos, esta herramienta tiene dos objetivos principales:

- Identificar, localizar y valorar los riesgos existentes en una determinada empresa y las condiciones de trabajo relacionados con ellos.
- Conocer el número de trabajadores expuesto a los diferentes riesgos en función de departamentos o secciones, horarios o turnos (Cortés, 2007).

Par el objetivo específico el proyecto se tomará como referencia los dos factores anteriores contextualizándolos a la situación de interés para este trabajo que sería:

- Identificar, localizar y valorar el riesgo de las comunas de Cali, además de las identificar características de dichas comunas.

Como se mencionaba anteriormente por medio de esta herramienta se podrá establecer un mapa donde se identifique las zonas de mayor riesgo o de mayor frecuencia según el tipo de emergencia en la ciudad de Cali y así priorizar según los datos obtenidos.

4.2.4 SIMULACIÓN

A lo largo de la historia, y desde la aparición de este término, se han generado varias definiciones, unas más generales o amplias que otras por parte de varios autores, como:

“Simulación es el proceso de diseñar y desarrollar un modelo computarizado de un sistema o proceso y conducir experimentos con este modelo con el propósito de

entender el comportamiento del sistema o evaluar varias estrategias con las cuales se puede operar el sistema.” Robert E. Shannon.

Pero se podría decir mediante una definición rápida o sencilla que simulación es la imitación de un proceso específico o un sistema en su totalidad, con el fin de obtener información⁹. Para ampliar el significado de simulación es importante conocer y entender otros componentes que interactúan, como se menciona en el libro de Introducción a la investigación de operaciones: un modelo de simulación sintetiza el sistema con su construcción de cada componente y de cada evento. Después el modelo corre el sistema simulado para obtener observaciones estadísticas del desempeño del sistema como resultado de los diferentes eventos generados de manera aleatoria. Debido a que las corridas de simulación, por lo general, requieren la generación y el procesado de una gran cantidad de datos, es inevitable que estos experimentos estadísticos simulados se lleven a cabo en una computadora (Hillier & Lieberman, 1997).

Para el caso específico de este proyecto se desarrollará el diseño (simulación) de una herramienta de análisis, la cual permita clasificar las zonas por su nivel de riesgo. Para hacer posible la herramienta de este proyecto es necesario contar con un modelo el cual procese y analice la frecuencia de los incidentes en un periodo de tiempo (así identificar las zonas de mayor riesgo); para lograr esto el modelo debe construirse bajo los siguientes parámetros o pasos (Coss Bu, 2003):

- *Definir el estado del sistema* (como el número de clientes en un sistema de colas). Se debe conocer el entorno del sistema que se va a intervenir, lo cual comprende ítems como: su relación con otros sistemas, sus restricciones, las variables que interactúan dentro del sistema y sus interrelaciones, las medidas de efectividad que se van a utilizar para definir

⁹ Un ejemplo de simulación, es el simulador de vuelo de un avión en el túnel de viento.

y estudiar el sistema y los resultados que se esperan obtener con el modelo.

- *Formulación del modelo.* Definir y construir el modelo con el cual se pretende obtener los resultados deseados. Aquí es necesario definir todas las variables que forman parte del sistema y sus relaciones lógicas. Además de establecer los diagramas de flujo que describan el modelo completamente.
- *Colección de datos.* Se debe definir con claridad y exactitud los datos que el modelo va a requerir para reproducir los resultados esperados.
- *Implementación del modelo en la computadora.* Con el modelo definido se escoge un lenguaje para llevar a cabo la simulación.
- *Validación.* Esta etapa es de vital importancia ya que es en ella en la que se puede detallar deficiencias de la formulación del modelo o los datos con los que se alimenta el mismo. Para hacer la validación del modelo se cuentan con distintos métodos como:
 1. La opinión de expertos sobre los resultados de la simulación.
 2. La exactitud con que se predicen datos históricos.
 3. La exactitud en la predicción del futuro.
 4. La comprobación de falla del modelo de simulación al utilizar datos que hacen fallar al sistema real.
 5. La aceptación y confianza de la persona que hará uso de los resultados que arroje el experimento de simulación.
- *Experimentación.* Este paso solo se realiza después de que el modelo ha sido validado; este consiste en generar los datos esperados y realizar el análisis de sensibilidad de los índices requeridos.
- *Interpretación.* Los datos obtenidos en la simulación son interpretados y con base en esa interpretación tomar una decisión.
- *Documentación.* Hace referencia a la manera como se explica el funcionamiento del modelo a terceros, esto puede lograrse por medio de

manuales de usuario los cuales facilitan la interacción y el uso del modelo desarrollado.

4.3 EL BENEMÉRITO CUERPO DE BOMBEROS VOLUNTARIOS DE SANTIAGO DE CALI

Para definir el cuerpo de Bomberos de Cali es preciso contextualizar la reglamentación bajo la cual se rige en tanto que los Cuerpos de Bomberos Voluntarios, Oficiales y Aeronáuticos están bajo la Ley 1575 del 21 de Agosto de 2012, “Ley General de Bomberos de Colombia” y sus Decretos reglamentarios; por las resoluciones y directrices que dicte la Junta Nacional de Bomberos de acuerdo al Reglamento Administrativo, Operativo, Técnico y Académico De Los Bomberos De Colombia.

La historia de los bomberos de Cali inicia aproximadamente en 1925 cuando se constituyó un grupo de hombres que se encargara de apagar incendios llamado “los apagadores” posteriormente en el 1927 se organizaría formalmente el cuerpo de bomberos pues la ciudad de Cali se encontraba en expansión y la frecuencia de incendios era alta. Por otro lado se debe tener presente que el Cuerpo de Bomberos de Cali es el cuerpo de bomberos mejor preparado de Colombia y uno de los mejores de Latinoamérica.¹⁰

¹⁰ De acuerdo a los resultados del I Encuentro Internacional de Bomberos que se realizó en Argentina en Agosto del 2013, evento en el cual se obtuvieron los menores tiempos en los simulacros de emergencias, incluso el cuerpo de bomberos de Cali obtuvo el mejor resultado entre Ecuador, Paraguay, Uruguay, Brasil, Chile, México y Argentina.

4.3.1 ESTACIONES DE BOMBEROS DE LA CIUDAD DE CALI

Actualmente la ciudad de Santiago de Cali cuenta con nueve estaciones de bomberos, identificadas por esta institución con los códigos, X_n , donde n es un numero de 1 a 9 haciendo referencia a las estaciones existentes. Cada estación atiende un número específico de comunas.

Código de la estación	Nombre de la estación	Comunas que atiende
X_1	Central	2, 3, 4
X_2	Alameda	3, 9, 19
X_3	Oriental	4, 7, 8, 9, 10, 12
X_4	Villa del Sur	10, 11, 12, 13, 16, 17
X_5	Occidental	17, 18, 19, 20,22
X_6	Aguacatal	1, 2, 19
X_7	Aguablanca	7, 13, 14, 15, 21
X_8	Norte	2, 4, 5, 6, 7

Tabla 2 Información de estaciones - Fuente los Autores

Según las entrevistas realizadas y el contacto establecido con los miembros del BCBVC, ellos mencionan cada una de las estaciones asociándolas a una función específica o especialidad marcada; sin embargo todas las estaciones cuentan con el equipo (tecnológico y humano) para atender cualquier eventualidad. Por lo anteriormente nombrado, en cada estación hay profesionales en todo tipo de incidente para dar respuesta oportuna en caso de que llegase a ocurrir.

4.3.2 TIPOS DE MAQUINARIA UTILIZADOS EN EL BCBVC

Además de ese personal humano también se cuenta con un equipo tecnológico para cada situación, el cual ayude al bombero en su labor. Los recursos tecnológicos se asocian al tipo de máquina y manejan la siguiente descripción:

- Máquinas Extintoras o Principales:

Estos camiones están configurados para llevar una cantidad considerable de personal (bomberos) además de estar equipados con un buen número de herramientas como mangueras, escaleras, extintores, hachas, equipos de respiración, camillas, primeros auxilios, etc.

Al estar equipado con distintos tipos de herramientas, lo hace convierte en una herramienta flexible pues no está diseñado para una función específica, sino que puede enfrentarse a varios tipos de misiones como incendios a baja y mediana altura, accidentes de tráfico, rescate y salvamento.



Ilustración 5 Camión Principal - Fuente BCBVC

- Máquinas de Alturas:

Este tipo de camión está diseñado para atender incidentes a grandes alturas, donde por lo general las escaleras telescópicas no pueden llegar. Entre las principales funciones de esta máquina se encuentran:

- Permitir el acceso y la salida de los bomberos y las víctimas desde grandes alturas.
- Proporcionar agua para la extinción de incendios a grandes alturas.
- Brindar una plataforma de trabajo en altura sin arriesgar al personal.

- Todo terreno UNIMOG:

Este tipo de camión está diseñado para combatir los incendios forestales, ya que su diseño le permite transitar por terrenos de difícil acceso. Como es el único

camión apto para este tipo de terrenos, cuenta con su propio tanque de agua con una capacidad aproximada de 8000 Lts. Según la configuración de este vehículo, este podría atender además incidentes en estructuras colapsadas.



Ilustración 6 Camión UNIMOG - Fuente BCBVC

- Ambulancias:

Maquina diseñada para el transporte de personas lesionadas en cualquier tipo de incidente. Por lo general acuden a todo tipo de emergencia. Este tipo de vehículos es nuevo en la institución y solo se encuentra en 3 de las estaciones: Alameda (X_2) con dos unidades, Aguacatal (X_6) y Aguablanca (X_7) con una unidad respectivamente.

El BCBVC tiene proyectado, asignar una ambulancia para cada una de las estaciones.

- Máquinas Cisternas:

Estos camiones están diseñados con una función específica de transportar grandes cantidades de agua. Estos son ideales en zonas donde el abastecimiento de agua es de gran dificultad como lo son las zonas rurales.



Ilustración 7 Camión Cisterna - Fuente BCBVC

- Máquinas de ataque rápido:

Camión equipado con las herramientas específicas que necesita el personal bomberil, como lo son equipo contra incendios, rescate vertical y urbano, sistemas de respiración autónomos. Este vehículo se diferencia de una maquina extintora en el tamaño.



Ilustración 8 Camion de ataque rapido - Fuente BCBVC

5. CONTRIBUCION INTELECTUAL

Se presenta la oportunidad de que mediante el análisis de las características de un incidente (lugar de ocurrencia, tipo de incidente, etc.) registradas por parte del Benemérito Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Cali se pueda lograr una herramienta de análisis que permita lograr una clasificación de zonas por su nivel de riesgo.

El cuerpo de Bomberos de la ciudad de Cali realiza un aporte de gran magnitud a la ciudadanía pues sus acciones abarcan una gran cantidad de emergencias y accidentes de todo tipo durante el año, por lo que sus funciones y efectividad tienen un alto impacto social. Es por este motivo que los autores del presente proyecto han decidido poner al servicio de esta empresa algunas herramientas de análisis de datos estadísticos, asignación de recursos, conocimientos de clasificación de riesgos, para que a través de la implementación de esta herramienta se puedan proponer mejoras a los procesos de asignación que se llevan a cabo en las estaciones y que inciden directamente en el servicio que ellos prestan y por lo tanto en su labor de mantener a los civiles de la ciudad a salvo cuando se presente algún incidente.

Para lograr los objetivos de este proyecto se utilizarán conocimientos de esquematización de procesos además de contrastar el proceso con la información consignada en el Reglamento Administrativo, Operativo, Técnico y Académico De Los Bomberos De Colombia sobre Atención y Calificación de emergencias, así como lo estipulado según la Escuela Interamericana de Bomberos de Cali y por supuesto con lo que sucede en la realidad de las estaciones. Con el diagnóstico inicial de los procesos de recepción, salida y atención se podrá implementar de manera eficiente la herramienta de análisis de tal manera que interactúe con los factores que afectan el proceso y lograr conocer el comportamiento de emergencias en la ciudad, para que mediante el análisis de los resultados de la

herramienta de análisis se puedan proponer estrategias de asignación de recursos.

A través del uso de conocimientos de Ingeniería Industrial se desea realizar un aporte no solo en el aspecto operativo de los procesos de las estaciones de bomberos sino lograr también reforzar o incentivar por medio de los resultados obtenidos en este proyecto la cultura de los bomberos ya que si bien, esta institución está posicionada como la mejor del país y se ha posicionado como uno de las mejores de Latinoamérica, se debe mantener con una filosofía de mejoramiento continuo, es decir, revisar los procesos continuamente implementando metodologías, herramientas o tecnologías que no se hayan usado o no se hayan realizado con anteriormente para mantener el mejor servicio del país y salvar más vidas en la comunidad caleña.

6. SITUACION ACTUAL DE BENEMERITO CUERPO DE BOMBEROS VOLUNTARIOS DE CALI

6.1 ENFOQUE METODOLOGICO

Para evaluar la situación actual de la empresa se propone seguir un método mixto,¹¹ el cual se entiende como una integración entre el método cualitativo y cuantitativo para lograr una comprensión más completa sobre el comportamiento de los incendios y el proceso de salida de los bomberos.

6.2 PROTOCOLO DE RECOLECCION DE DATOS

Para la recolección, interpretación y análisis de los datos se realizara la distinción de tres fases. La primera realizará el desarrollo del enfoque cuantitativo, la segunda para el desarrollo cualitativo y la tercera la presentación de los resultados encontrados en el análisis e integración de las dos primeras etapas.

A continuación se exponen los propósitos de cada fase de la metodología mixta para la recolección y análisis de datos:

¹¹ Entendiendo el método mixto dado la clasificación descrita por Samperi en el texto Metodología de la investigación.

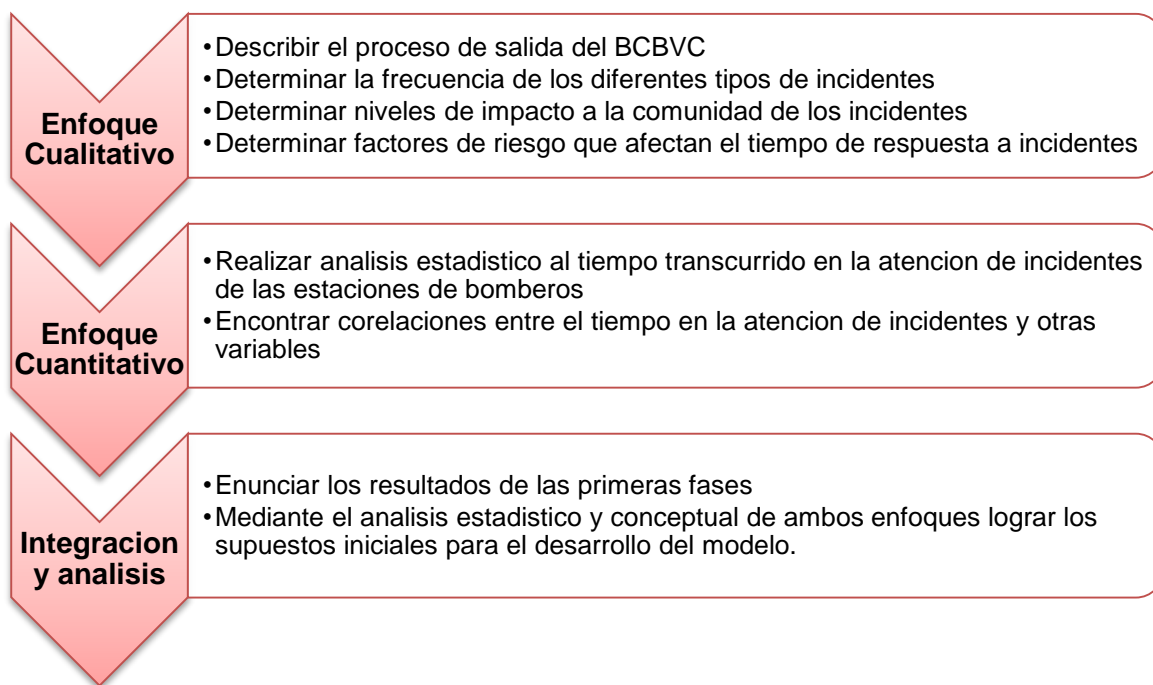


Ilustración 9 Tratamiento de datos del proyecto - Los Autores

6.2.1 ENFOQUE CUALITATIVO:

6.2.1.1 DESCRIBIR PROCESO DE SALIDA PARA LA ATENCION DE INCIDENTES DEL BCBVC

Con el fin de dimensionar el estado actual del proceso de salida del BCBVC se realizó mediante observación¹² la documentación del proceso de salida, el cual lo entendemos como el proceso que comprende todos los procedimientos realizados desde que se recibe la alarma de emergencia en la central de despacho hasta que el primer bombero logra llegar al lugar de incidente. Para el ejercicio de este proyecto se tomara el aspecto interno de dicho proceso.

¹² Para respaldar el proceso de observación se realizó un registro en video de los procesos observados bajo la autorización del Comando del Benemérito Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Cali, este proceso fue llevado a cabo en la Escuela Interamericana de Bomberos de Cali.

A continuación se presenta el diagrama de flujo donde se comprenden las acciones secuenciales que se realizan para la atención de los diferentes tipos de incidentes. Para su diagramación se realizó una observación del proceso en diferentes estaciones¹³, en su construcción cuenta el proceso de recepción de emergencia y de clasificación de emergencia descritos en el reglamento¹⁴.

¹³ Debe notarse que en cuanto al equipo de dotación puede haber diferentes elementos de acuerdo al incidente, sin embargo para ilustrar el proyecto el diagrama comprenderá el proceso general independiente del tipo de emergencia.

¹⁴ Capítulo XXIV del Reglamento Administrativo, Operativo, Técnico y Académico De Los Bomberos De Colombia sobre Atención y Calificación de emergencias.

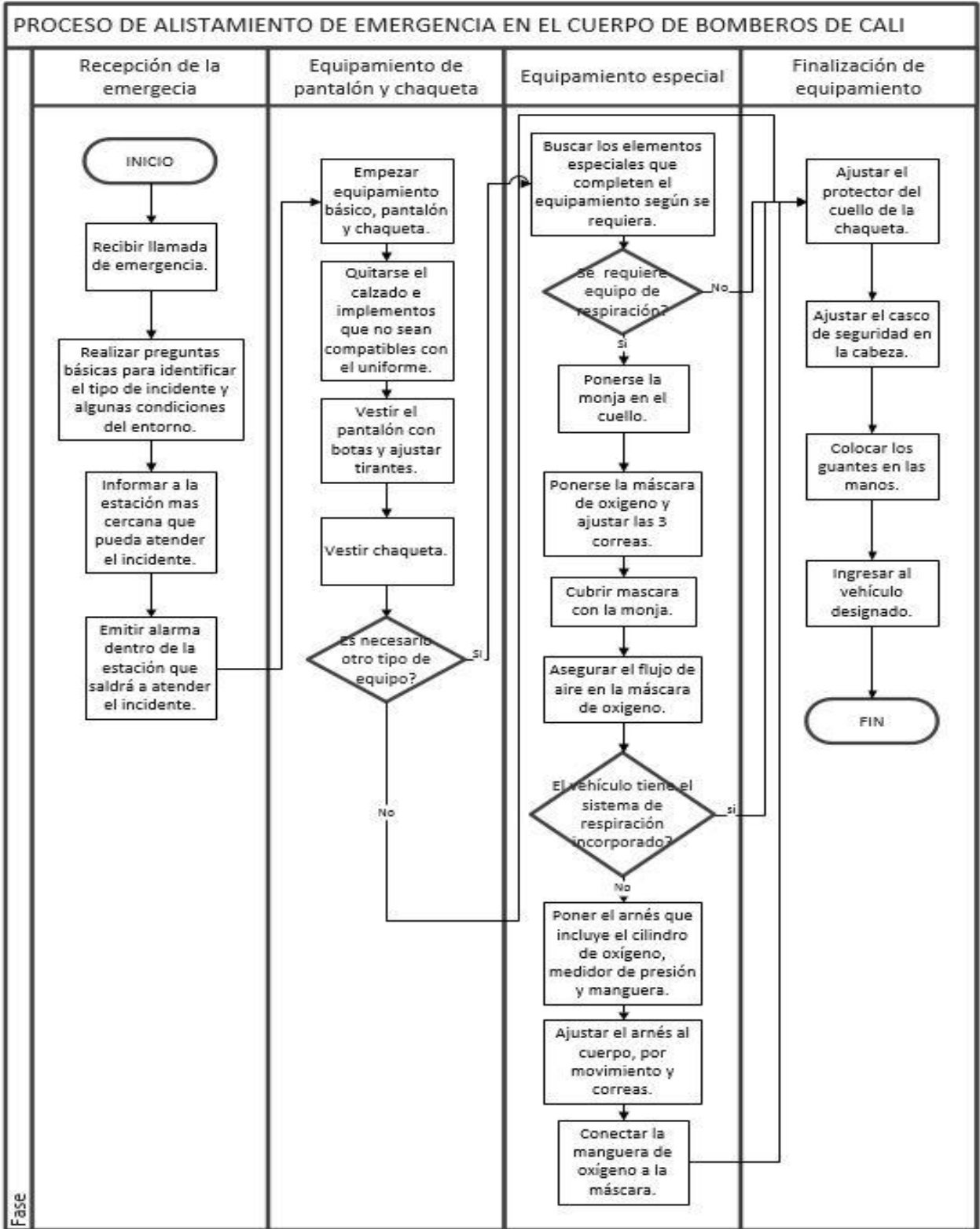


Ilustración 10 Diagrama del proceso de salida – Los Autores

6.2.1.2 DETERMINAR NIVELES DE IMPACTO A LA COMUNIDAD DE LOS INCIDENTES

Ahora, con fin de conocer cuál de los tipos de incidente tienen mayor impacto en la comunidad se realizó una serie de entrevistas¹⁵ a un grupo de 32 bomberos de la ciudad de Cali de un total de 100 con que cuenta la institución, de diferentes rangos para que en términos de pérdidas humanas y materiales dieran una puntuación en la escala del 1 al 10 lo que consideraban el nivel de consecuencias de los diferentes incidentes, tomando como 10 el más grave.

TIPO DE INCIDENTE	PROMEDIO
INCENDIO ESTRUCTURAL	8
RESCATE DE EMERGENCIA	8
RESCATE POR ACCIDENTE DE TRANSITO	7
INCENDIO FORESTAL	7
RESCATE O RECUPERACION DE ANIMALES	5
CONTROL O INCIDENTE CON ABEJAS	4
INCENDIO DE BASURAS, ARBOLES Y OTROS NO CLASIFICADOS	3

Tabla 3 Impacto del incidente - Los Autores

¹⁵ Las entrevistas realizadas fueron hechas de forma individual a un grupo de 10 bomberos. EL formato de entrevista es de clase estructurada bajo un formato de preguntas presente en el anexo No. 1. El tamaño de muestra fue seleccionado de una población de 300 bomberos de la ciudad de Cali.

De este ejercicio se concluyó que en consenso de los bomberos entrevistados afirman que de los 7 tipos de incidente más frecuentes el que genera un impacto negativo mayor es el incendio estructural y el rescate de personas, mientras que el menos grave es el incendio de basura y el control de abejas.

6.2.2 ENFOQUE CUANTITATIVO:

Para realizar un diagnóstico sobre el comportamiento de los incidentes en Cali se realizará un análisis de la información suministrada por el BCBVC por medio de los registros históricos del software utilizado por el cuerpo de bomberos de Cali¹⁶, el cual registra cada incidente atendido por algún miembro del cuerpo de bomberos y las características propias de la emergencia.

6.2.2.1 DETERMINAR LA FRECUENCIA DE LOS DIFERENTES TIPOS DE INCIDENTES

Se procesara la información recolectada en los registros proveídos por el Benemérito Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Cali con el fin de poder medir la frecuencia de los diferentes tipos de incidentes y poder orientar el proyecto hacia aquellas emergencias que tienen más relevancia en términos de frecuencia. En los registros del cuerpo de bomberos se encontró que existen 21 tipos de emergencia diferentes a los que el BCBVC da atención. En la siguiente tabla se expone la frecuencia de estos incidentes en el último año.

TIPO DE INCIDENTE	FRECUENCIA
CONTROL O INCIDENTE CON ABEJAS	1658

¹⁶ La información proveída por el software del Benemérito Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Cali será mencionada exclusivamente con el fin de presente proyecto como ejercicio académico de acuerdo a la autorización de la central de telemática de la entidad.

INCENDIO FORESTAL	963
INCENDIO ESTRUCTURAL	651
RESCATE DE EMERGENCIA	496
RESCATE O RECUPERACION DE ANIMALES	408
RESCATE POR ACCIDENTE DE TRANSITO	361
INCENDIO DE BASURAS Y OTROS NO CLASIFICADOS EN VÍA PÚBLICA	212
CAIDA DE ARBOLES, POSTES, ESTR. LIVIANAS, SIN LESIONADOS	189
INCENDIO VEHICULAR	185
ESCAPE DE GAS, (Natural o Propano)	104
INCENDIO ELECTRICO EN VÍA PÚBLICA	93
RESCATE POR ATENCIÓN DE ENFERMO	88
INCENDIO DE BASURAS, ÁRBOLES Y OTROS NO CLASIFICADOS	50
INUNDACION SIN PERSONAS LESIONADAS	48
DESLIZAMIENTOS SIN PERSONAS LESIONADAS	30
INCIDENTE HAZ-MAT	25
REBROTE DE FUEGO DE INCENDIO ANTERIOR	25
COLAPSO DE ESTRUCTURAS SIN PERSONAS LESIONADAS	21
RESCATE DE PERSONA POR INTENTO DE SUICIDIO O SUICIDIO	16
ESCAPE DE GAS EN VEHÍCULO, (sin fuego)	15
DERRAME DE LIQUIDOS Y COMBUSTIBLES EN LA VÍA PÚBLICA	14

Tabla 4 Frecuencia de incidentes en el año 2014 - Los Autores

Ahora, para determinar cuáles son los incidentes más relevantes se tomara como criterio aquellos tipos de incidentes que ocasionan al menos el 80% del total de incidentes registrados en la ciudad de Cali. A continuación se presenta un diagrama de Pareto bajo el cual se puede integrar información sobre la frecuencia de los diferentes tipos de incidentes y su porcentaje de ocurrencia acumulado en orden ascendente.

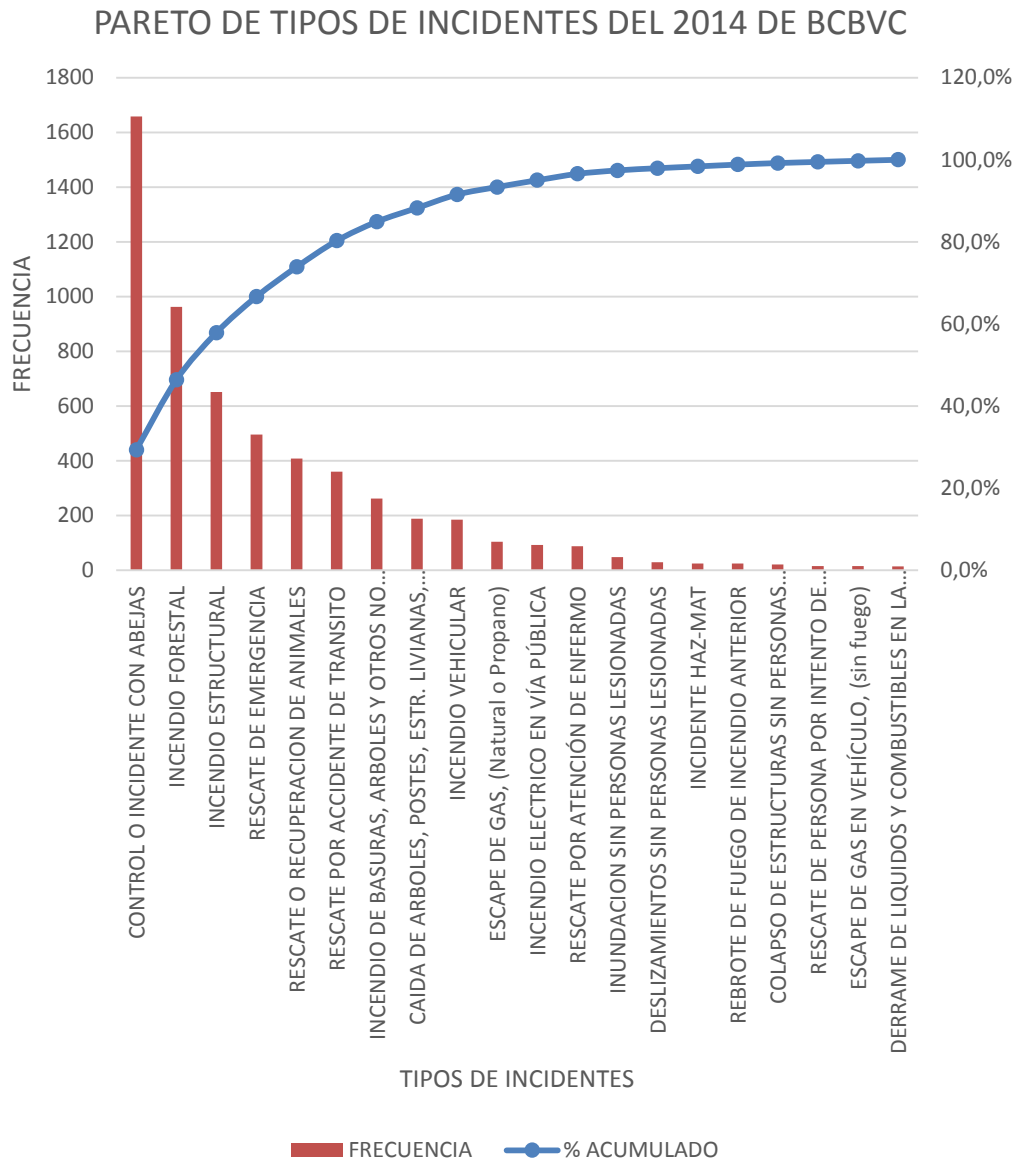


Ilustración 11 Pareto de incidentes - Los Autores

Mediante el análisis del porcentaje acumulado de incidentes podemos concluir que el 85% de los incidentes que suceden en Cali está dado por seis (6) tipos de incidentes diferentes de los 20 diferenciados por la entidad. Es así como se puede decir que los incidentes de mayor relevancia son los siguientes:

- Control o incidente con abejas
- Incendio forestal
- Incendio estructural
- Rescate de emergencia
- Rescate o recuperación de animales
- Rescate por accidente de tránsito

6.2.2.2 ANÁLISIS DE LA FRECUENCIA DE INCIDENTES EN LA CIUDAD DE CALI

Con el fin de lograr un mayor acercamiento al comportamiento real y poder evidenciar comportamientos estacionarios o tendencias en la disposición de los datos, se realizó la consulta de los incidentes que han sucedido entre el 01 de Enero del 2014 hasta el 31 de Diciembre de mismo año.

De la información recolectada en los registros obtenidos, inicialmente el análisis estadístico se centrará en la frecuencia los incidentes durante el 2014.

Como primera medida se realizará una observación a los datos, con el fin de identificar aspectos importantes como: Incidentes ocurridos por mes durante el 2014 y la zonificación por comunas de los incidentes de dicho año.

- Incidentes ocurridos por mes durante el 2014:

En este primer análisis se puede observar que los meses donde se presentó una cantidad mayor de incidentes fueron Julio y Agosto (ver ilustración 9), con 694 y 718 incidentes respectivamente (ver ilustración 12), lo que puede relacionar este

hecho con la temporada seca o de verano en Colombia la cual se presenta en estos mismos meses generalmente.

Etiquetas de fila	Cuenta de Fecha
Enero	359
Febrero	477
Marzo	541
Abril	469
Mayo	406
Junio	446
Julio	694
Agosto	718
Septiembre	502
Octubre	490
Noviembre	373
Diciembre	505
Total general	5980

Tabla 5 Cantidad de incidentes mensuales - Los Autores

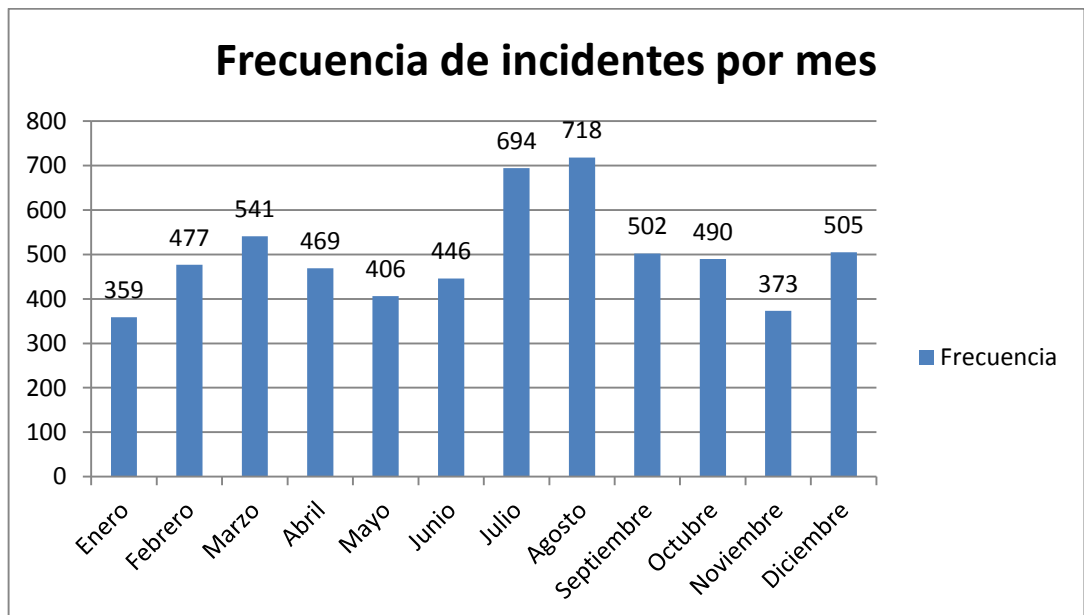


Ilustración 12 Frecuencia de incidentes mensual del 2015 - Los Autores

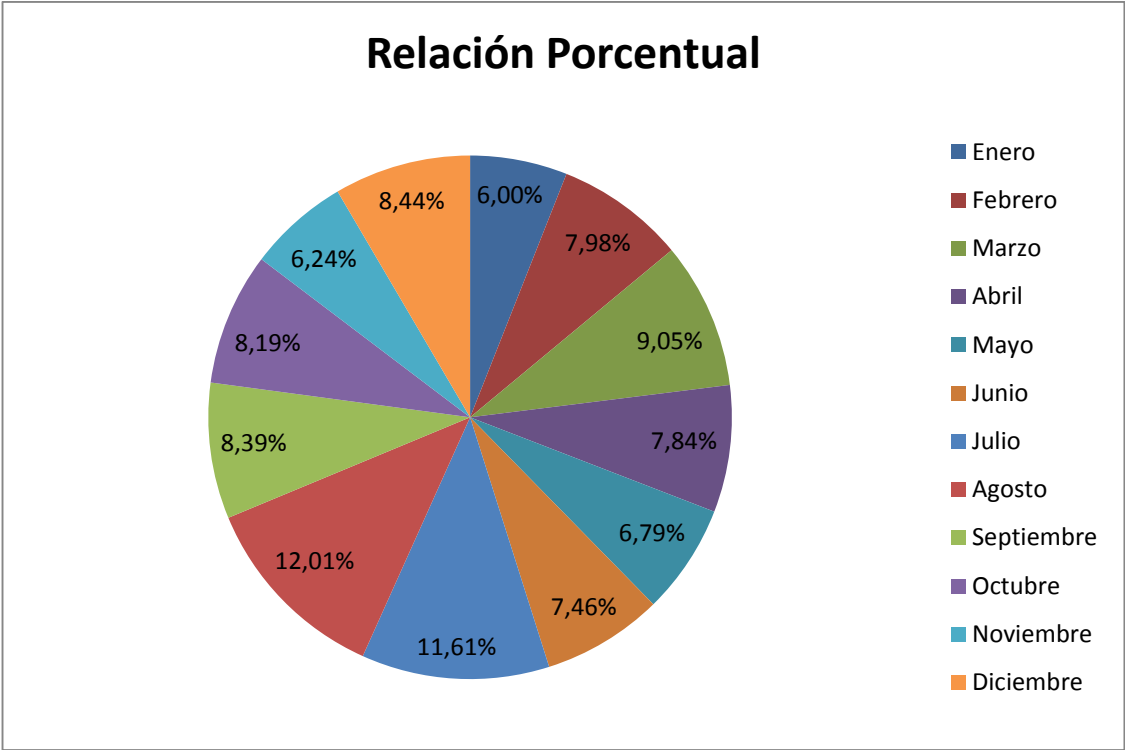


Ilustración 13 Relación Porcentual de los incidentes mensuales - Los Autores

El alto número de incidentes durante Julio y Agosto se debe principalmente a dos factores, los Incendios forestales e incidentes con abejas. El primero de ellos es atribuido en gran medida a la falta de conciencia ciudadana en la población caleña la cual bota desechos en los cerros o zonas verdes aledañas a la ciudad y que sumado a la temporada seca, propician este tipo de incidentes. En cuanto al segundo factor, se puede decir que el clima de la ciudad de Cali es propicio o ideal para el hábitat de esta especie (abejas), según los datos recolectados del año 2014 se observa que los incidentes con abejas mantienen una frecuencia alta durante todos los meses de dicho año.

Etiquetas de fila	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total general
APOYO A OTROS CUERPOS DE BOMBEROS		2	1			1		6		2	1	1	14
CAIDA DE ARBOLES, POSTES, ESTR. LIVIANAS, SIN LESIONADOS										23	15	17	55
CAIDA DE ARBOLES, POSTES, ESTRUCTURAS LIVIANAS, SIN PERSONAS LESIONADAS	13	13	17	17	20	9	8	17	20				134
COLAPSO DE ESTRUCTURAS SIN PERSONAS LESIONADAS	6	2	2		1	1		1	2		4	2	21
CONTROL O INCIDENTE CON ABEJAS	85	174	229	169	150	129	138	143	62	133	99	147	1658
DERRAME DE LIQUIDOS Y COMBUSTIBLES EN LA VÍA PÚBLICA	2	3		1		1		1	1		4	1	14
DESPLAZAMIENTOS SIN PERSONAS LESIONADAS	5		1	2	1	1	1			1	18		30
ESCAPE DE GAS EN VEHÍCULO, (sin fuego)	1	3		1	3		1	2	1	1		2	15
ESCAPE DE GAS, (Natural o Propano)	4	10	10	10	7	8	11	3	13	10	10	8	104
FALSA ALARMA	14	19	15	18	13	23	36	35	27	16	13	25	254
INCENDIO DE BASURAS Y OTROS NO CLASIFICADOS EN VÍA PÚBLICA	15	28	9		12	29	42	44	33				212
INCENDIO DE BASURAS, ÁRBOLES Y OTROS NO CLASIFICADOS										13	15	22	50
INCENDIO DE MATERIALES INFLAMABLES O HAZ-MAT	1	1							1				3
INCENDIO ELECTRICO EN VÍA PÚBLICA	3	4	8		3	7	9	12	15	11	10	11	93
INCENDIO ESTRUCTURAL	55	49	51	45	49	59	45	67	58	63	50	60	651
INCENDIO FORESTAL	36	46	51	84	17	58	243	242	116	38	4	28	963
INCENDIO VEHICULAR	16	15	13	6	13	25	21	13	28	8	8	19	185
INCIDENTE HAZ-MAT		2	1	2	1	2	1	2	5	3	1	2	22
INUNDACION SIN PERSONAS LESIONADAS	5	2	16	1	3	1	2	1	3	6	7	1	48
OTROS NO CLASIFICADOS	4	3		5	8	7	7		9	5	4	8	60
REBROTE DE FUEGO DE INCENDIO ANTERIOR	1					1	3	6	8	4	2		25
RESCATE DE EMERGENCIA	33	32	43	36	43	31	35	49	33	67	40	54	496
RESCATE DE PERSONA POR INTENTO DE SUICIDIO O SUICIDIO	2		1	1	2	1	3		1	2	1	2	16
RESCATE O RECUPERACION DE ANIMALES	27	32	29	34	31	24	44	38	32	39	30	48	408
RESCATE POR ACCIDENTE DE TRANSITO	23	33	36	29	16	23	33	29	30	40	28	41	361
RESCATE POR ATENCIÓN DE ENFERMO	8	4	8	8	13	5	11	7	4	5	9	6	88
Total general	359	477	541	469	406	446	694	718	502	490	373	505	5980

Ilustración 14 Tipo de incidentes por mes del 2014 - Los Autores

De este mismo análisis, incidentes ocurridos por mes durante el 2014, se puede calcular el número promedio de incidentes mensuales y diarios, que equivalen a 498 y 16 incidentes respectivamente. Lo que permite ratificar el alto volumen de incidentes que atiende esta entidad y la magnitud de su labor para con la comunidad caleña.

De la ilustración 12, se puede resaltar que las falsas alarmas tienen una frecuencia alta (254) en relación con otro tipo de incidentes. A pesar que las falsas alarmas representan un 4% del total de incidentes del 2014.

El tipo de incidente de mayor frecuencia durante el 2014 fueron los producidos por las abejas. Estos representaron aproximadamente el 28% de los incidentes totales de dicho año.

El 62% de los incendios forestales ocurridos en el 2014, se presentaron en el trimestre correspondiente a los meses Julio, Agosto, Septiembre; en los cuales hay temporada de verano con incremento en los vientos lo cual hace más fácil la propagación de este tipo de incidentes.

- Zonificación por comunas de los incidentes:

En este segundo análisis, se pretende identificar los espacios geográficos donde se presenta la mayor frecuencia de incidentes. Durante el desarrollo de esta observación se pudo notar que dichos incidentes no solo ocurren en el perímetro urbano de Cali sino también en lugares aledaños como corregimientos y ciudades vecinas.

A pesar de que se presentan incidentes fuera de la ciudad, los incidentes que ocurrieron dentro de ella corresponden al 93% del total en el año 2014, con una

cantidad de 5574 incidentes. Por lo anteriormente nombrado se centrará la atención a aquellas zonas dentro del perímetro urbano, que hacen referencia a las 22 comunas de Cali.

Según el análisis por comunas, las de mayor frecuencia de incidentes son la 2, 17 y 19, los cuales representan aproximadamente el 11%, el 8% y el 9 % respectivamente, donde el tipo de mayor incidencia es el incendio forestal con una frecuencia de 139 incidentes para la comuna 2, y el control de abejas con una frecuencia de 120 y 141 incidentes para las comunas 17 y 19 respectivamente. Mientras que la comuna de menor frecuencia de incidentes es la comuna 9, que representa aproximadamente el 3%.

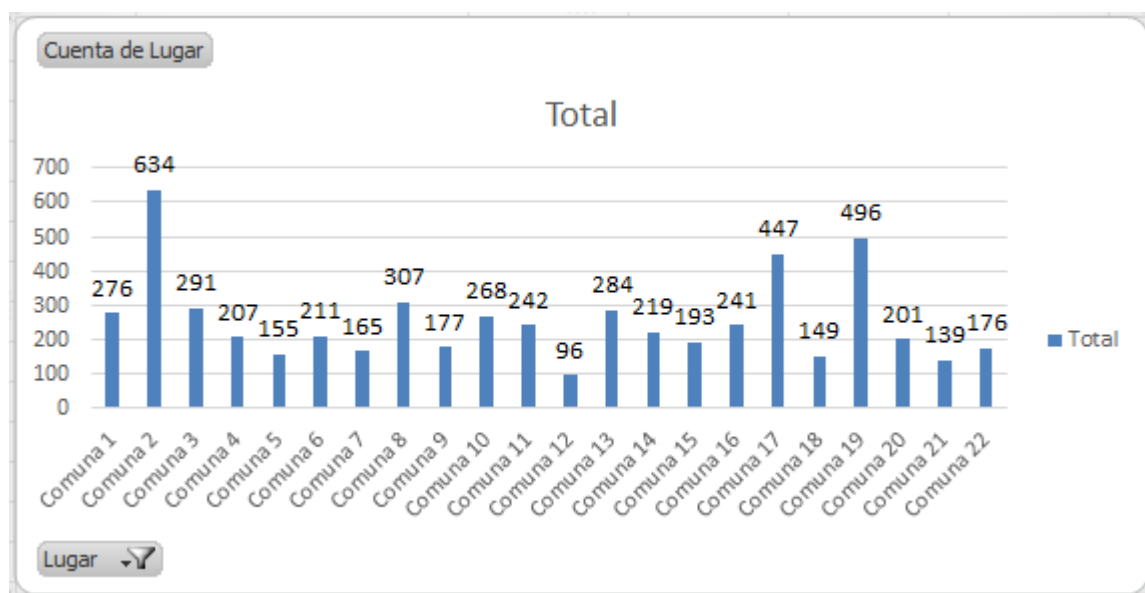


Ilustración 15 Frecuencia de incidentes por comunas - Los Autores

Según el análisis realizado en cuanto a la frecuencia de incidentes durante el año 2014, se encontró que el sector de Cali con mayor numero incidentes fue la comuna 2, con 634 incidentes. De este total de incidentes, apropiadamente el 22% corresponde a incendios forestales, seguido por los incidentes con abejas por apropiadamente el 20%.

Para contextualizar un poco el anterior análisis se procederá a hacer una descripción de las comunas que registran una mayor frecuencia de incidentes. Dicha descripción comprenderá los barrios de esas comunas y el estrato socioeconómico.

- Barrios por comunas:

COMUNA 2			
Altos de Menga	Chipichape	La Paz	Santa Rita
Arboledas	Dapa	Menga	Santa Teresita
Área Libre-Parque del Amor.	El Bosque	Normandía	Sector Altos de Normandía-Bataclán
Arroyohondo	Granada	Pacará	Urbanización La Flora
Brisas de los Álamos	Juanambú	Prados del Norte	Urbanización La Merced
Centenario	La Campiña	San Vicente	Versalles
Ciudad los Álamos	La Flora	Santa Mónica	Vipasa

Ilustración 16 Barrios Comuna 2 - Fuente los Autores

COMUNA 17	
La Playa	La Hacienda
Primero de Mayo	Los Portales - Nuevo Rey
Ciudadela Comfandi	Cañaverales - Los Samanes
Ciudad Universitaria	El Limonar
Caney	Bosques del Limonar
Lilí	Cataya
Santa Anita - La Selva	Gran Limonar
El Ingenio	Unicentro Cali

Mayapán - Las Vegas	Ciudadela Pasoancho
Las Quintas de Don Simón	Prados de Limonar
Ciudad Capri	Urbanización San Joaquin

Ilustración 17 Barrios Comuna 17 - Fuente los Autores

COMUNA 19			
El Refugio	Urbanización Militar	Miraflores	Los Fundadores
La Cascada	Cuarto de Legua-Guadalupe	3 de julio	Pampalinda
El Lido	Santa Barbara	El Cedro	Sector Cañaveralejo
Urbanización Tequendama	Tejares-Cristales	Champagnat	Guadalupe
Eucarístico	Unidad Residencial Santiago De Cali	Urbanización Colseguros	Sector La Sirena
San Fernando Nuevo	Unidad Residencial El Coliseo	Los Cámbulos	Sector Bosque Municipal
Urbanización Nueva Granada	Nueva Tequendama	El Mortiñal	Unidad Deportiva Alberto Galindo-Plaza De Toros.
Santa Isabel	Cañaveralejo-Seguros Patria	Bellavista	Camino Real
San Fernando Viejo	Joaquin Borrero Sinisterra		

Ilustración 18 Barrios Comuna 19 - Fuente los Autores

- Estrato socioeconómico de los barrios:

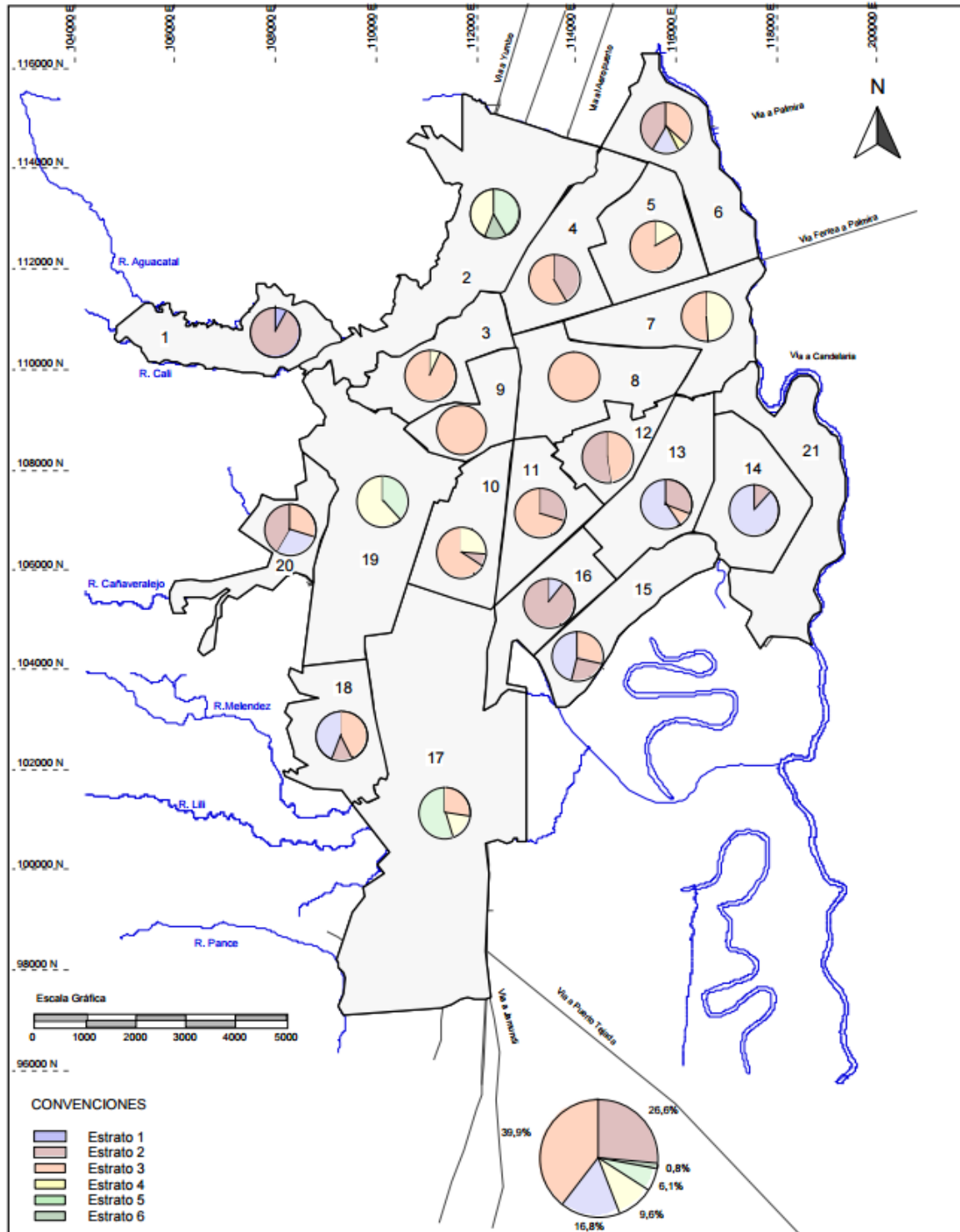


Ilustración 19 Estrato de las comunas de Cali - Fuente: planeacion.cali.gov.co

Con la información anteriormente dada (barrios por comunas y estratos por comunas) se puede observar que estos incidentes, control de abejas e incendios forestales, se presentan en gran número ya que las condiciones de dichas comunas presentan facilidad para su ocurrencia, alto número de zonas verdes o campestres.

En cuanto al factor socio – económico de dichas comunas se puede resaltar que comprenden barrios entre los estratos 3 y 5, lo que permite identificar que son comunas donde predomina el sector residencial. Los dos incidentes de mayor frecuencia son el control de abejas y el incendio forestal, el primero de ellos a pesar de ser el más recurrente, en cuestión de nivel de impacto es uno de los más bajos. Mientras que el incendio forestal es uno de los de mayor impacto, lo cual se vería reflejado en un número alto de pérdidas humanas pues son sectores residenciales (en especial la comuna 2).

7. DESARROLLO DE LA HERRAMIENTA DE ANALISIS

Se propone una herramienta de análisis para el Benemérito Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Cali la cual se desarrollara a partir de tres instancias:

Función	Descripción	Entradas	Criterios	Resultados
1. Clasificación zonas de riesgo	Provee información sobre el comportamiento de incendios y un análisis de riesgo por comuna.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Frecuencia de tipos de incidentes por comuna ▪ Probabilidad de ocurrencia de los tipos de incidentes ▪ Nivel de riesgo asociado a cada tipo de incidente ▪ Designación del riesgo por incidente y zona 	Variable Fijo Fijo Fijo	Tabla de clasificación de zonas de riesgo en la ciudad por magnitud

2. Asignación de Maquinas	Realiza la asignación de distintos tipos de máquinas a las estaciones existentes.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Asignación de comuna atendida a una estación existente 	Fijo	Propuesta de dos estaciones como mejores opciones para determinada maquina
		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Magnitud de riesgo por incidente 	Fijo	
		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Clasificación de máquinas usadas en las estaciones y los tipos de incidentes que pueden atender 	Variable	
		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Frecuencia de tipos de incidentes por comuna 	Fijo	

Tabla 6 Parámetros de Herramienta de análisis - Los autores

7.1 CLASIFICACION DE ZONAS DE RIESGO

Para realizar la clasificación de zona de riesgo se utilizó como guía el RAC por lo que en primera instancia para realizar la clasificación de riesgo se hará primero la distinción de cuatro niveles de probabilidad de riesgo y cuatro niveles de consecuencia.

7.1.1 DEFINICION DE NIVELES DE PROBABILIDAD DE OCURRENCIA

Para los niveles de probabilidad de riesgo se definición cuatro literales (A, B, C, D) en donde el A registra la mayor probabilidad de ocurrencia y el D la menor probabilidad. A continuación se presenta la tabla donde se describe

Probabilidad de incidente	% Ocurrencia		Descripción
	De	A	
D	0%	2%	Es poco probable que ocurra
C	2%	4%	Ocurrirá posiblemente en el transcurso del año
B	4%	6%	Ocurrirá probablemente en el transcurso del año
A	6%	30%	Es probable que ocurra en un plazo breve (80% de los incidentes registrados)

Tabla 7 Probabilidad de incidentes - Los Autores

En la definición de los cuatro niveles de probabilidad de riesgo se tuvieron en cuenta las frecuencias de ocurrencia registradas en el año 2014 de todos los incidentes de ese periodo, de forma que el primer nivel (A) se le asignó su rango de porcentaje (%) de ocurrencia de acuerdo al rango de frecuencia que tienen los 6 tipos de incidentes que ocasionan el 80% de los incidentes en el año.

Para los niveles B, C y D, se asignó una división del rango de porcentaje (%) de ocurrencia en donde se encuentran los tipos de incidentes que causaron tan solo el 30% de los incidentes atendidos por el cuerpo de bomberos en el año 2014.

7.1.2 DEFINICION DE NIVELES DE GRAVEDAD DEL INCIDENTE

Ahora, para la asignación de los niveles de gravedad se siguió el estándar manejado por el RAC adicionando un nuevo nivel que incluye los niveles mínimos o nulos de impacto de un incidente. El nivel I se define como el nivel de menor impacto negativo en términos de vidas humanas y/o pérdidas materiales y el nivel V como el nivel de mayor impacto. Así sé que obtiene la siguiente clasificación de niveles de gravedad:

NIVELES DE GRAVEDAD DEL INCIDENTE

Gravedad	Descripción
I	No hay lesionados ni pérdidas materiales
II	No hay incapacitación, se usan primeros auxilios, tratamientos médicos menores y la pérdida material es mínima
III	Pérdida de recursos o daño de materiales menor
IV	Discapacidad parcial permanente, discapacidad total temporal por más de un año o pérdida de recursos materiales significativa
V	Muerte o discapacidad total permanente, pérdida de recursos o daño por destrucción material en exceso

Tabla 8 Gravedad del Incidente - Los Autores

Al integrar la probabilidad y nivel de riesgo se obtendrá la magnitud de cada riesgo para posteriormente asociar esta magnitud de riesgo a cada zona de la ciudad, las cuales se definirán como las comunas de la ciudad de Santiago de Cali. Para

determinar la magnitud del riesgo de nuevo la guía propuesta por el RAC de forma que obtenemos la siguiente tabla para la clasificación de cada tipo de incidente:

CLASIFICACION DE MAGITUD DE RIESGO				
RIESGO	PROBABILIDAD DE INCIDENTES			
	GRAVEDAD	A	B	C
I	1	1	2	3
II	1	2	3	4
III	2	3	4	5
IV	3	4	5	5
V	4	5	5	5

Tabla 9 Magnitud del Riesgo - Los Autores

Se procedió a realizar la asignación a cada tipo de incidente su nivel de magnitud de riesgo basada en el nivel de probabilidad que se presentaba de acuerdo a su porcentaje (%) de ocurrencia y su nivel de gravedad asociado¹⁷.

¹⁷ El nivel de gravedad asociado se obtuvo de la información recolectada en las entrevistas realizadas en la fase de recolección de datos descrita en el numeral 6.2.1 de Enfoque cualitativo.

Asignación de magnitud del riesgo a incidentes	Gravedad	Probabilidad	Clase de probabilidad	Magnitud de riesgo
Tipo de incidente				
Control o incidente con abejas.	I	29,3%	A	1
Incendio forestal.	II	17,0%	A	1
Incendio estructural.	III	11,5%	A	2
Rescate de emergencia.	V	8,8%	A	4
Rescate o recuperación de animales.	I	7,2%	A	1
Rescate por accidente de tránsito.	II	6,4%	A	1
Incendio de basuras, árboles y otros no clasificados.	III	4,6%	B	3
Caída de árboles, postes, estr. Livianas, sin lesionados.	V	3,3%	C	5
Incendio vehicular.	II	3,3%	C	3
Escape de gas, (natural o propano).	II	1,8%	D	4
Incendio eléctrico en vía pública.	IV	1,6%	D	5
Rescate por atención de enfermo.	IV	1,6%	D	5
Inundación sin personas lesionadas.	II	0,8%	D	4
Deslizamientos sin personas lesionadas.	IV	0,5%	D	5
Incidente haz-mat.	II	0,4%	D	4
Rebote de fuego de incendio anterior.	I	0,4%	D	3
Colapso de estructuras sin personas lesionadas.	II	0,4%	D	4
Rescate de persona por intento de suicidio o suicidio.	III	0,3%	D	5
Escape de gas en vehículo, (sin fuego).	V	0,3%	D	5
Derrame de líquidos y combustibles en la vía pública.	II	0,2%	D	4

Tabla 10 Asignación de Magnitud a Incidentes - Los Autores

7.1.3 PUNTAJE DE NIVEL DE RIESGO

Con esta asociación de forma que se pueda puntuar cada comuna según la frecuencia de ocurrencia de los diferentes tipos de incidentes. La puntuación se definirá como “P” y será el resultado de la suma por comuna de los productos de la frecuencia¹⁸ de cada tipo de incidente ocurrido en su zona geográfica por su magnitud de riesgo.

Comuna	Puntuac	Frec. Rel Acum.
Comuna 2	1902	13,06%
Comuna 19	1279	21,85%
Comuna 17	1231	30,30%
Comuna 1	952	36,84%
Comuna 3	820	42,48%
Comuna 8	784	47,86%
Comuna 13	622	52,13%
Comuna 11	597	56,23%
Comuna 10	590	60,29%
Comuna 20	584	64,30%
Comuna 16	542	68,02%
Comuna 4	525	71,63%
Comuna 14	521	75,20%
Comuna 6	499	78,63%
Comuna 15	485	81,96%
Comuna 22	460	85,12%
Comuna 9	427	88,06%
Comuna 18	411	90,88%
Comuna 5	402	93,64%
Comuna 7	394	96,35%
Comuna 21	307	98,45%
Comuna 12	225	100,00%

¹⁸ La frecuencia de cada tipo de incidente es resultado de la recolección y organización de información realizada en el protocolo de recolección de datos y se encuentra descrita en el numeral 6.2.1.2 del presente documento.

Ilustración 18 Puntuación de riesgo por comuna - Los Autores

7.1.4 INTERFAZ DE RESULTADOS DE ZONA DE RIESGO

Ahora con cada valor de puntuación de nivel de riesgo asignado a cada incidente, se organizan los resultados de forma descendente de forma que se puedan obtener una lista de las comunas de la ciudad en el orden de su puntuación, siendo la de mayor puntuación de nivel de riesgo la que requiriera más atención.

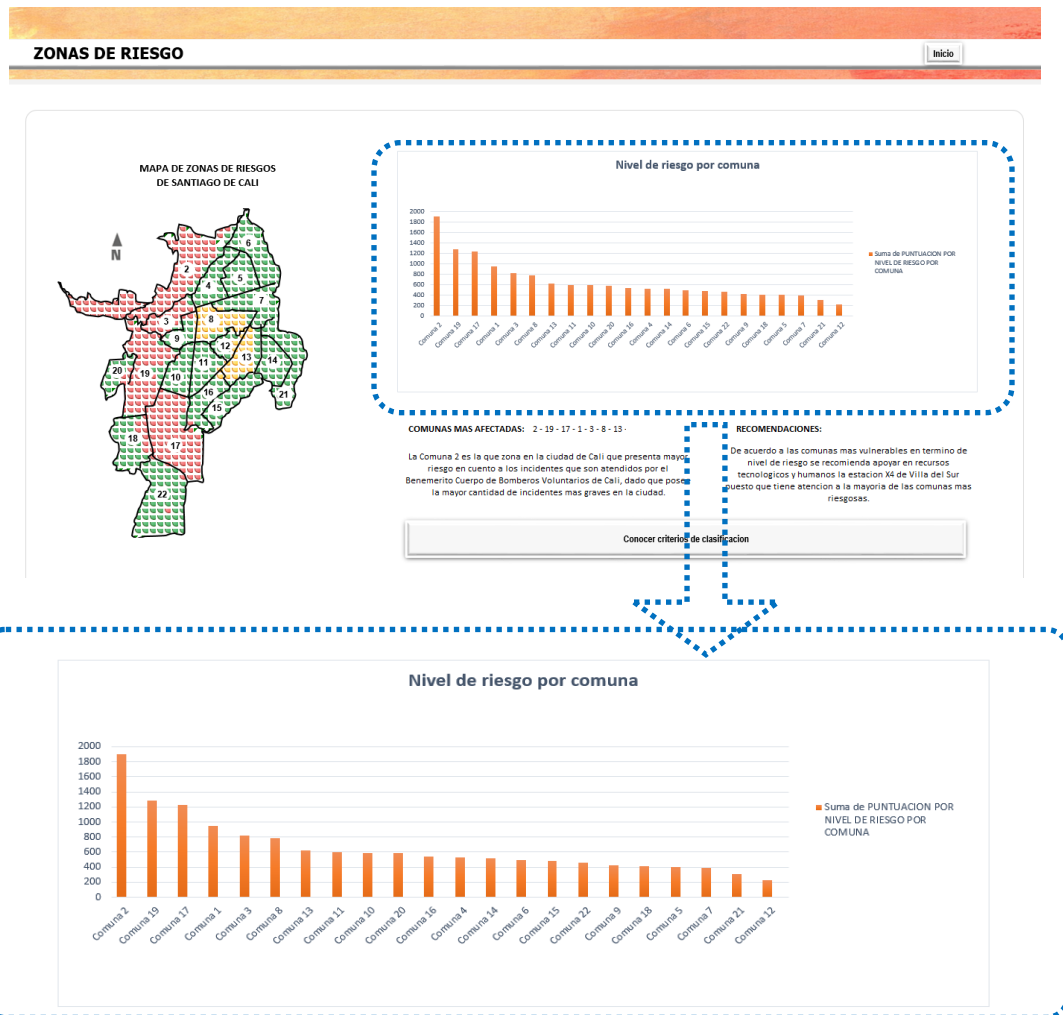


Ilustración 20 Interfaz para los resultados de zonas de riesgo - Los Autores

Estos resultados se presentan al usuario de forma gráfica para facilitar su comprensión, en un diagrama de barras donde se indica la puntuación y el orden de las comunas según su riesgo. Por otra parte también se presenta un mapa de la ciudad de Cali dividido en las comunas y asociadas a un color de acuerdo a su puntuación, siendo el color rojo para las más riesgosas, amarillo para las de riesgo medio y verde para las zonas de menor riesgo.

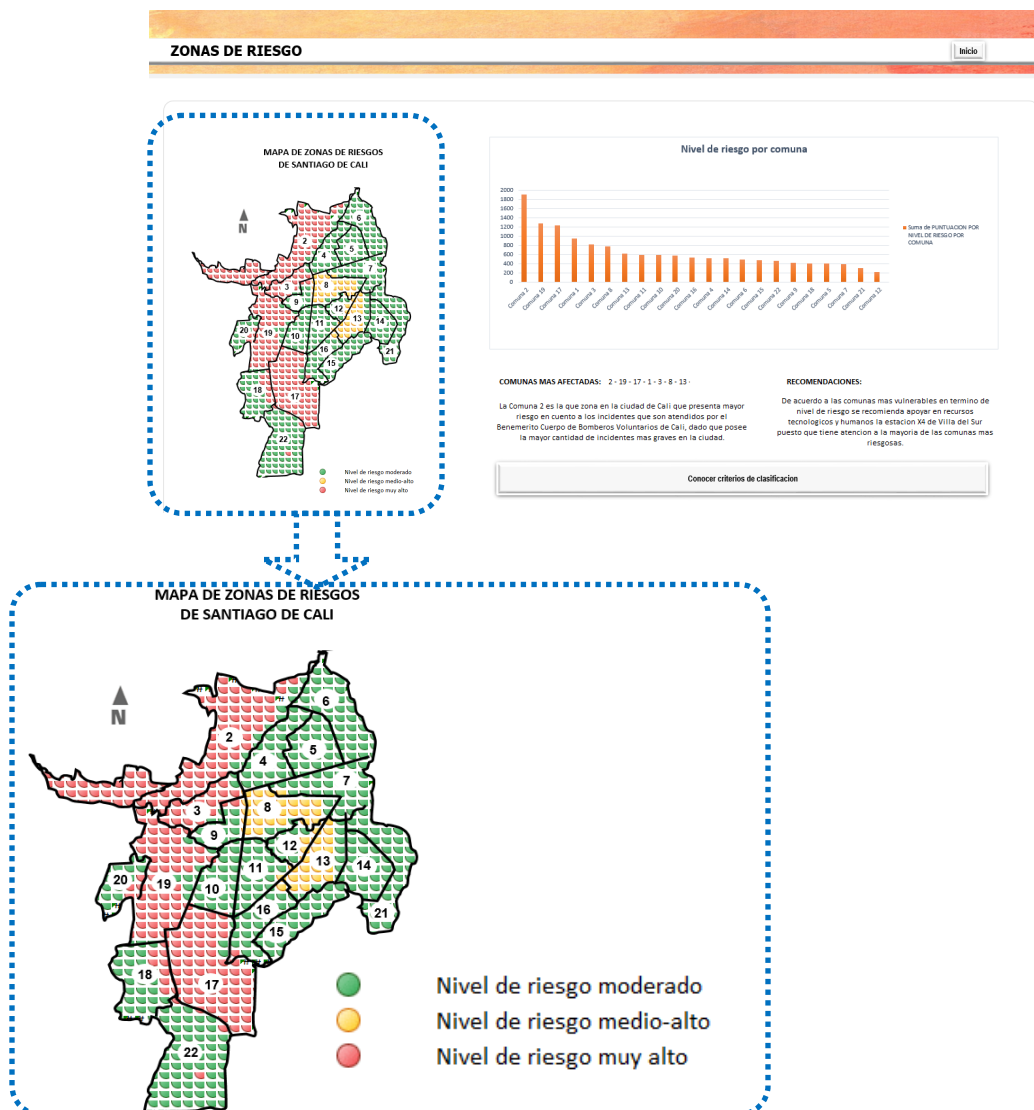


Ilustración 21 Mapa de zona de riesgos dado por la interfaz - Los Autores

7.2 ASIGNACION DE MÁQUINAS

Para realizar la asignación de maquina se tendrá en cuenta el tipo de incidente que atiende cada máquina, la frecuencia y nivel de riesgo de cada tipo de incidente atendido por dicha máquina para cada estación de bomberos existentes.

7.2.1 SITUACIÓN ACTUAL DE LA ASIGNACIÓN DE MÁQUINAS

Actualmente el proceso de asignación de nuevas máquinas, se realiza mediante una reunión en la cual se encuentran altos cargos de la institución, y por medio de esta se toma la decisión del lugar donde debe ser dirigido el nuevo recurso. Este proceso es realizado basado en la experiencia adquirida en el día a día de la actividad.

En este proceso de la toma de decisión, hacia donde destinar el nuevo recurso, no se evidencian unos criterios claros (solo basados en la experiencia) que conlleven a tomar la decisión sobre la asignación.

7.2.2 INTRODUCCION DE PARAMETROS

En cuanto a la interacción con el usuario se propondrá una lista de las maquinas que existen actualmente en las estaciones del BCVBC como maquinas predeterminadas con determinados tipos de emergencia, sin embargo se dejara abierta la opción de modificar los tipos de incidentes que pueden atender cada máquina de forma que se facilite la interacción con el usuario (ver Anexo 4 - interfaz de interacción para asignar una nueva máquina).

ASIGNACION DE MAQUINAS DE BOMBEROS

Tipo de maquina

Camión cisterna

Estimar estacion
recomendada

Tipo de incidente que la maquina Camión cisterna puede atender:

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> CAIDA DE ARBOLES, POSTES, ESTR. LIVIANAS, SIN LESIONADOS | <input checked="" type="checkbox"/> INCENDIO DE BASURAS, ARBOLES Y OTROS MATERIALES |
| <input type="checkbox"/> COLAPSO DE ESTRUCTURAS SIN PERSONAS LESIONADAS | <input checked="" type="checkbox"/> INCENDIO ELECTRICO EN VÍA PÚBLICA |
| <input type="checkbox"/> CONTROL O INCIDENTE CON ABEJAS | <input checked="" type="checkbox"/> INCENDIO ESTRUCTURAL |
| <input type="checkbox"/> DERRAME DE LIQUIDOS Y COMBUSTIBLES EN LA VÍA PÚBLICA | <input checked="" type="checkbox"/> INCENDIO FORESTAL |
| <input type="checkbox"/> DESLIZAMIENTOS | <input checked="" type="checkbox"/> INCENDIO VEHICULAR |
| <input type="checkbox"/> ESCAPE DE GAS EN VEHÍCULO, (sin fuego) | <input type="checkbox"/> INCIDENTE HAZ-MAT |
| <input type="checkbox"/> ESCAPE DE GAS, (Natural o Propano) | <input type="checkbox"/> INUNDACION |

Ilustración 22 Fragmento de interfaz para elegir opciones de maquina e incidentes - Los autores

Tipo de incidente	Estado	Camión bomba	Camión de escala giratoria	Camión cisterna	Unidad de rescate	Unidad de materiales peligrosos	Camión forestal	Nueva maquina
Caída de árboles, postes, estr. Livianas, sin lesionados	Falso	Falso	Falso	Falso	Falso	Falso	Falso	Falso
Colapso de estructuras sin personas lesionadas	Falso	Falso	Falso	Falso	Falso	Falso	Falso	Falso
Control o incidente con abejas	Verdadero	Falso	Verdadero	Falso	Falso	Falso	Falso	Falso
Derrame de líquidos y combustibles en la vía pública	Falso	Falso	Falso	Falso	Falso	Verdadero	Falso	Falso
Deslizamientos	Falso	Falso	Falso	Falso	Verdadero	Falso	Falso	Falso
Escape de gas en vehículo, (sin fuego)	Falso	Falso	Falso	Falso	Falso	Verdadero	Falso	Falso
Escape de gas, (natural o propano)	Falso	Falso	Falso	Falso	Falso	Verdadero	Falso	Falso

Incendio de basuras, árboles y otros no clasificados	Falso	Verdadero	Falso	Falso	Falso	Falso	Falso	Falso
Incendio eléctrico en vía pública	Falso	Verdadero	Falso	Falso	Falso	Falso	Falso	Falso
Incendio estructural	Verdadero	Verdadero	Verdadero	Falso	Falso	Falso	Falso	Falso
Incendio forestal	Falso	Verdadero	Falso	Falso	Falso	Falso	Verdadero	Falso
Incendio vehicular	Falso	Verdadero	Falso	Falso	Falso	Falso	Falso	Falso
Incidente haz-mat	Falso	Falso	Falso	Falso	Falso	Verdadero	Falso	Falso
Inundación	Falso	Falso	Falso	Falso	Verdadero	Falso	Falso	Falso
Rebote de fuego de incendio anterior	Falso	Verdadero	Falso	Falso	Falso	Falso	Falso	Falso
Rescate de emergencia	Falso	Falso	Falso	Falso	Falso	Falso	Falso	Falso
Rescate de persona por intento de suicidio o suicidio	Verdadero	Falso	Verdadero	Falso	Verdadero	Falso	Falso	Falso
Rescate o recuperación de animales	Verdadero	Falso	Verdadero	Falso	Verdadero	Falso	Falso	Falso
Rescate por accidente de tránsito	Falso	Falso	Falso	Falso	Verdadero	Falso	Falso	Falso
Rescate por atención de enfermo	Falso	Falso	Falso	Falso	Verdadero	Falso	Falso	Falso

Tabla 11 Asignación de Maquinas a incidentes - Los autores

El usuario deberá asignar dos parámetros de entrada, siendo el primero el tipo de máquina, al cual denominaremos con la letra “i”, y el segundo corresponderá a la cantidad de dicha máquina que desee asignar, esta cantidad la denominaremos como la variable “M”.

7.2.2 METODO DE ASIGNACION PARA LA HERRAMIENTA

Utilizando un método de asignación de programación entera o binaria en donde se asignara una maquina a una única estación de acuerdo a la puntuación de riesgo para las estaciones, la cual se obtiene de la frecuencia de los incidentes atendidos por la maquina dada como parámetro de entrada la herramienta y su nivel de riesgo de acuerdo a los resultados encontrados en la función de clasificación de zonas de riesgos.

Es así como la asignación de máquinas se estructura teniendo en cuenta los siguientes elementos:

Variable de Decisión X: Utilizamos las siguientes variables de decisión binarias. Como resultado se obtendrá un vector de componentes binarios (los valores son 1 o 0), esto permitirá asignar a la maquina consultada una estación sugerida manipulándolo como una variable entera.

$$X_{ij} = \begin{cases} 1: \text{Si la maquina se asigna } i \text{ a la estacion } j \\ 0: \text{Si la maquina } i \text{ no se asigna a la estacion} \\ i: \text{tipo de maquina ingresada por el usuario} \\ j: \text{Estacion } X1, X2, X3, X4, X5, X6, X7 \text{ y } X8 \end{cases}$$

Ecuación 2 Variable de decisión X - Fuente los Autores

Función Objetivo: Se plantea una función objetivo la cual tendrá como finalidad maximizar la cobertura que ofrecerá la maquina i a la comunidad teniendo como criterio su puntuación de riesgo de acuerdo a los incidentes que atiende cada estación y su nivel de riesgo.

$$\text{Maximizar } \sum_{i=\text{Maquina}}^{\text{Maquina}} \sum_{j=X1}^{X8} P_{ij} * X_{ij}$$

Ecuación 3 Función Objetivo - Fuente Los autores

Donde P_{ij} corresponde a la puntuación para el tipo de maquina i en la estación j . En esta matriz se integra la información obtenida de la primera fase del programa donde se calculó el nivel de riesgo de cada tipo de incidente. De forma que el vector P_{ij} se puede definir de la siguiente manera:

$$P_{ij} = \sum_{n=1}^{20} \sum_{j=X1}^{X8} R_n * F_{nj} \left\{ \begin{array}{l} i \text{ no se asigna a la estacion} \\ R: \text{ Nivel de riesgo} \\ F: \text{ frecuencia de incidente} \\ n: \text{ tipo de incidente} \\ i: \text{ tipo de maquina} \\ j: \text{ Estacion } X1, X2, X3, X4, X5, X6, X7 \text{ y } X8 \end{array} \right.$$

Ecuación 4 Matriz P - Fuente los Autores

Restricciones: En cuanto a las restricciones del modelo se tiene que una maquina solo puede estar asignada a una estación dado a que tiene una restricción geográfica y no podría estar simultáneamente en dos estaciones al tiempo. Esta restricción está representada por la siguiente expresión:

$$\sum_{j=X1}^{X8} X_{ij} = 1$$

Ecuación 5 Restricciones - Fuente Los Autores

También dada la naturaleza de la variable se obtiene la restricción en donde el resultado debe ser un número entero positivo.

Ahora, se realiza mediante la macro *SolverBomberos()*¹⁹ el proceso de maximizar utilizando la herramienta Solver de Microsoft Excel y programándola como macro en el programa Visual Basic. Esta macro permite a la herramienta que al ingresar el vector X_{ij} como variable y se le atribuyen las restricciones correspondientes en las características de la aplicación Solver y se pueda establecer cuál es la mejor estación para la máquina que se desea asignar. ()

¹⁹ Para conocer en detalle el código de la macro SolverBomberos() revisar Anexo 3 del documento.

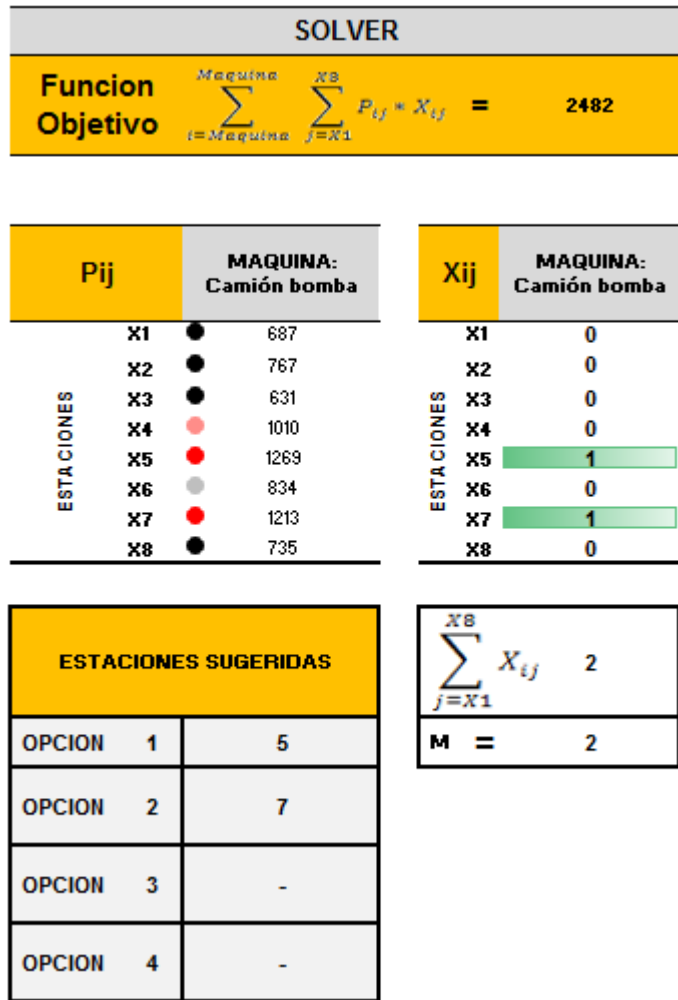


Ilustración 23 Interfaz Solver - Fuente los Autores

Como resultado se obtiene un vector el cual indica cual es la estación más iniciada para asignar la nueva máquina. También se propuso que en la solución del problema de asignación se brindara la información sobre la segunda mejor opción en términos de maximizar el alcance del servicio prestado por la máquina que indique el usuario.

7.2.3 INTERFAZ DE RESULTADOS DE ASIGNACION

Para presentar los resultados se presenta un resumen de información relevante con respecto a la maquina asignada y la estación elegida. Esta información para el usuario incluye para cada opción sugerida:

El porcentaje (%) de incidentes atendidos del total de los tipos de incidentes que atiende el tipo de maquina indicada para esa estación, de forma que permita conocer en términos de proporción la relevancia de la estación en la ciudad para la atención de los tipos de emergencia predeterminados.

El porcentaje (%) que tiene dicha estación por encima del promedio de los incidentes de este tipo atendidos por otras estaciones. Básicamente es un punto de comparación con las otras estaciones, la herramienta obtiene un promedio general de los incidentes atendido por la maquina seleccionada y los pasa a términos porcentuales para posteriormente hallar la diferencia con la proporción de la estación elegida.

Por ejemplo: el resultado del porcentaje indicado es 50%, quiere decir que esa estación atiende el 50% más incidentes de ese tipo que las demás estaciones en promedio.

ASIGNACION DE MAQUINAS DE BOMBERO

Estacion sugerida: **Siloe** para **Camión bomba**

La estacion sugerida para la maquina tipo Camión bomba es la X5 que corresponde a la estacion Siloe y como segunda opcion de asignacion se recomienda la estacion X7 correspondiente a la estacion de Los Mangos.

OPCION 1

X5 Siloe

Esta estacion presenta mayor frecuencia de incidentes atendidos por el Camión bomba

% Atendido del total de los tipos de incidentes que atiende el Camión bomba **19%**

% por encima del promedio de los incidentes de este tipo atendidos por otras estaciones **50%**



Maquinas existentes en la estacion Siloe:

- Camión bomba
- Camión de escala giratoria
- Camión cisterna
- Unidad de rescate
- Unidad de materiales peligrosos

Ilustración 24 Segmento de interfaz de la asignación de máquinas - Los Autores

7.3 MANUAL DE USUARIO PARA LA HERRAMIENTA DE ANALISIS

El objetivo de este documento es explicar el funcionamiento de la herramienta de análisis del comportamiento de incidentes para el proceso de atención de emergencias del Benemérito Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Cali.

Esta herramienta permite al usuario conocer las zonas de mayor riesgo en el perímetro urbano de la ciudad de Cali. Con el análisis anterior, zonas de mayor riesgo, el usuario también puede evaluar la posible necesidad de asignar nuevas máquinas a una determinada estación, las cuales permitan mejorar el servicio.

Además con la intención de que el usuario pueda interactuar con la herramienta se explica cómo se puede realizar un mantenimiento del sistema, alimentándolo con mayor información acerca de los incidentes (frecuencia, zona donde ocurrieron). Además de editar los tipos de máquinas existentes y las funcionalidades de las mismas.

El manual del usuario se puede encontrar en el anexo digital.

8. RESULTADOS

8.1 VALIDACIÓN

Durante el proceso de desarrollo de este proyecto, en sus diferentes etapas, desde la planeación, la construcción y la finalización, se ha contado con el acompañamiento del BCBVC. Esta entidad ha aportado con puntos de vista que permitieron orientar la finalidad o propósito de la herramienta desarrollada,

además sugerir y opinar en el desarrollo de la misma para finalmente ser entregada y comprobada por ellos.

El proceso de validación se realizó con el jefe de departamento de telemática, quien es la persona encargada de realizar procesos de análisis, manejo de datos y participa en las juntas de asignación de recursos, además de dirigir actualmente varios proyectos de innovación y tecnológicos en la institución. También se hizo con un grupo de bomberos que el designó para hacer la interacción con la herramienta.

El proceso de validación se hizo con pruebas a la herramienta inicialmente con respecto al aspecto de funcionamiento de la misma tanto en la identificación por medio del mapa de Cali de las zonas de mayor riesgo como el proceso de asignación de nuevas máquinas. Dicho proceso de la realización de pruebas, permitió al grupo de bomberos visualizar la zona de riesgos, conocer las estaciones a donde podría asignar un camión cisterna además de corregir algunas funcionalidades de los tipos de máquinas existentes.

“Efectivamente suple una necesidad para permitirnos tomar decisiones y tener una base real que no dependa de lo que pensamos culturalmente.” *Sgto. Leonardo Bernal*

8.2 CONCLUSIONES

Las zonas de mayor riesgo en la ciudad de Cali de acuerdo con los resultados de la herramienta ASIGBOM desarrollada corresponden a las comunas 2,19, 17, 1 y 13 las cuales presentan el mayor nivel de riesgo entre las 22 comunas analizadas (Ilustración 18 Puntuación de riesgo por comuna).

Por otra parte al realizar un contraste con la información recolectada en las entrevistas realizadas inicialmente (Anexo 1) se puede encontrar una divergencia entre las zonas que miembros del cuerpo de bomberos creen que son las áreas de mayor riesgo (determinadas como las comunas 8, 13 y 14) y las que da como resultado el mapa de zona de riesgos generado por la herramienta desarrollada.

El análisis de los incidentes sucedidos en el año 2014 permitieron definir que de los 20 tipos de incidentes tan solo 6 tipos de incidentes proporcionan el 80% de las ocurrencias en la ciudad de Cali (ver diagrama de Pareto, Ilustración 25 - Pareto de Incidentes). Estos incidentes corresponden a control de abejas, incendio forestal, incendio estructural, rescate de emergencia, rescate o recuperación de animales y rescate por accidente de tránsito.

Esta herramienta hace parte del mejoramiento continuo de la institución, puesto que esta gira en torno o va en miras de mejorar un proceso que se lleva a cabo en el BCBVC, que es la asignación de máquinas, lo cual garantizaría una mejora para esta institución vista desde la parte interna y externa de la misma.

Con el uso de la herramienta de análisis desarrollada una persona del cuerpo de bomberos puede aprovechar el registro de incidentes que ofrece el software del Benemérito Cuerpo de Bomberos de Voluntarios de Cali para identificar cuáles son las áreas de mayor riesgo por comuna en la ciudad de Cali de acuerdo a los criterios de frecuencia y nivel de gravedad de cada uno, además con esta información la herramienta también se puede indicar cuales son las estaciones que atienden estas comunas de forma que se indica exactamente donde se puede hacer una inversión adicional o algún plan de acción para mejorar el servicio que se presta a la comunidad.

Se encontró que la herramienta tiene como limitación el ingreso de los parámetros (delimitados en la ilustración 26, Parámetros de Herramienta de análisis), ya que con los datos base la herramienta se alimenta para realizar los respectivos cálculos de niveles de riesgo con teoría de salud ocupacional y de asignación de máquinas. Uno de los errores más frecuentes hallados en los datos ofrecidos por el software fue el error de crear un incidente dos veces con diferentes nombres, este tipo de errores dificulta el manejo de información.

La herramienta desarrollada en Microsoft Excel fue validada por el cuerpo de bomberos y es posible que se use como base para el desarrollo de un software especializado puesto que integra y analiza los registros históricos que maneja el departamento de telemática de Benemérito Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Cali con conocimientos de ingeniería que permiten ofrecer una guía para la asignación de recursos.

Al encontrar que la experiencia de los bomberos, decía que las comunas de mayor nivel de riesgo eran las que comprendían el oriente de Cali, pero los resultados obtenidos mostraban que había una inconsistencia en dicha versión. Dicha inconsistencia se debía a que atribuían el nivel de riesgo al factor cultural, inseguridad para la prestación del servicio.

8.3 RECOMENDACIONES

Se recomienda revisar los errores de registro dobles de forma que se agrupen bajo un solo nombre los incidentes de la misma naturaleza. También si es posible no permitir datos inverosímiles en los tiempos de registro como valores de cero (0)

minutos o tiempos de respuesta de más de 12 horas que corresponden a errores de registro.

Realizar campañas preventivas a la comunidad, de tal forma que se genere consciencia frente a algunos tipos de incidentes; puesto que pueden reducir su frecuencia si la ciudadanía comprendiera el papel que ellos también juegan en la labor del BCBVC. Un ejemplo claro es la generación de campañas en contra de desechar residuos en las zonas rurales, puesto que estos podrían aumentar la probabilidad de generar incendios forestales.

Al momento de realizar plan de mejora o la creación de una nueva estación de bomberos en ciudad debería considerarse el mapa de zona de riesgos.

9. BIBLIOGRAFÍA

(MarcadorDePosición1)

Cao Abad, R. (2002). *Introducción a la simulación y a la teoría de colas*. Coruña.

Cortés, J. M. (2007). *Técnicas de prevención de riesgos laborales: seguridad e higiene del trabajo*. Madrid.

Coss Bu, R. (2003). *Simulación un enfoque práctico*. México: Editorial Limusa S.A.

García, Á. A. (1998). *Conceptos de organización industrial*. Barcelona, España: Marcombo S.A.

Hillier, F. S., & Lieberman, G. J. (1997). *Introducción a la investigación de operaciones* (Novena Edición ed.). México: Mc Graw Hill.

Olavarrieta de la Torre, J. (1999). *Conceptos generales de productividad, sistemas, normalización y competitividad para la pequeña y mediana empresa*. México, D.F.

Perason Educacion - Ejemplar para evaluación. *Seguridad Industrial y Salud*. Mexico.

Render, B., Stair, R., & Hanna, M. (2006). *Metodos cuantitativos para los negocios* (Novena ed.).

Rivera Cadavid, L. (2013). Justificación conceptual de un modelo de implemetación de Lean Manufacturing. *Revista Heuristica* , 16.

Sánchez, J. L., & Rajadell, M. (2010). *Lean Manufacturing La evidencia de una necesidad*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.

Shingo, S. (1985). *A Revolution in Manufacturing: The SMED System*. United States of America: CRC Press.

10. ANEXOS

ANEXO 1 - FORMATO DE ENCUESTA APLICADA A MIEMBROS DEL BCBVC.

Universidad Icesi

Nombre:

Cargo:

Años de experiencia:

Buenos días, las siguientes preguntas se realizan con un fin académico para el desarrollo del proyecto de grado "Herramienta de análisis del comportamiento de incidentes para el proceso de atención de emergencias del benemérito cuerpo de bomberos voluntarios de Cali". La información suministrada será utilizada evaluar factores que afectan el proceso de atención a incidentes por parte del Benemérito Cuerpo de Bomberos de Cali. Le agradeceremos su valioso tiempo para responder las siguientes preguntas:

1. Cuales considera que son las causas principales de los retrasos o prolongamientos de los tiempos de respuesta, tanto al interior de las estaciones como en el desplazamiento de las maquinas (por favor escriba al menos 3 causas).

a) _____

c) _____

b) _____

d) _____

2. Considera que el tiempo transcurrido entre la recepción de llamada de emergencia y el momento en que el primer bombero llega al lugar del incidente esta entre:

De 1 minutos a 3 minutos

De 6 minutos a 8 minutos

De 3 minutos a 6 minutos

De 8 minutos en adelante

3. ¿Las estaciones se encuentran especializadas por algún tipo de incidente? Sí hay especialización, 2. como se definió la especialización de las estaciones? Que tipos de emergencia atiende cada estación?

4. ¿La asignación de máquinas y bomberos es igual en todas las estaciones? Como se realiza?

R/

5. ¿Cuál cree que es el área mas critica o de mayor riesgo en la ciudad? (barrio, comuna, zona, etc.)

R/

6. ¿Hay algún tipo de clasificación de zonas críticas o áreas de mayor riesgo para la ciudad de Cali? Si la hay, como se realizó?

R/

7. ¿Cómo miden el nivel de impacto de los incidentes en términos de pérdidas humanas y materiales?

R/

8. ¿Cuáles considera que son el tipo de incidentes más graves que atiende el cuerpo de bomberos en pérdidas humanas y materiales?

R/

9. ¿De los siguientes tipos de emergencia por favor de una calificación del 1 al 10 para el nivel de impacto ocasionado en términos de pérdidas humanas o materiales. (Siendo el 1 el menos grave y el 10 el incidente más grave).

TIPO DE INCIDENTE	NIVEL DE IMPACTO
Control o incidente con abejas	
Incendio forestal	
Incendio estructural	
Rescate de emergencia	
Rescate de animales	
Rescate por accidente de transito	
Incendio de basuras, árboles y otros no clasificados	

ANEXO 2 – INTERFAZ INICIAL DE LA HERAMIENTA DE ANALISIS



ANEXO 3 – CÓDIGO DE LA MACRO SOLVERBOMBEROS()

```
Sub SolverBomberos ()
'
' SolverBomberos Macro

' Sirve para resolver el problema de asignacion mediante el
' uso de solver se forma que pueda maximizar el valor P de la
' matriz dada
'

Range("AL37").Select|
'Se indican las restricciones de asignacion:

SolverOk SetCell:="$AL$37", MaxMinVal:=1, ValueOf:=0, ByChange:="$AL$41:$AL$48" _
, Engine:=1, EngineDesc:="GRG Nonlinear"
SolverDelete CellRef:="$AL$41:$AL$48", Relation:=1, FormulaText:="1"
SolverOk SetCell:="$AL$37", MaxMinVal:=1, ValueOf:=0, ByChange:="$AL$41:$AL$48" _
, Engine:=1, EngineDesc:="GRG Nonlinear"
SolverAdd CellRef:="$AL$41:$AL$48", Relation:=1, FormulaText:="1"
SolverOk SetCell:="$AL$37", MaxMinVal:=1, ValueOf:=0, ByChange:="$AL$41:$AL$48" _
, Engine:=1, EngineDesc:="GRG Nonlinear"
SolverDelete CellRef:="$AL$41:$AL$48", Relation:=4
SolverOk SetCell:="$AL$37", MaxMinVal:=1, ValueOf:=0, ByChange:="$AL$41:$AL$48" _
, Engine:=1, EngineDesc:="GRG Nonlinear"

' Se indica la condicion binaria de los resultado, al ser enteros y estar
' limitados entre los valores 1 y 0, dado a que una maquina no puede estar
' simultaneamente en mas de una estacion a la vez.

SolverAdd CellRef:="$AL$41:$AL$48", Relation:=4, FormulaText:="entero"
SolverOk SetCell:="$AL$37", MaxMinVal:=1, ValueOf:=0, ByChange:="$AL$41:$AL$48" _
, Engine:=1, EngineDesc:="GRG Nonlinear"
SolverDelete CellRef:="$AL$50", Relation:=2, FormulaText:="$AL$51"
SolverOk SetCell:="$AL$37", MaxMinVal:=1, ValueOf:=0, ByChange:="$AL$41:$AL$48" _
, Engine:=1, EngineDesc:="GRG Nonlinear"
SolverAdd CellRef:="$AL$50", Relation:=2, FormulaText:="$AL$51"
SolverOk SetCell:="$AL$37", MaxMinVal:=1, ValueOf:=0, ByChange:="$AL$41:$AL$48" _
, Engine:=1, EngineDesc:="GRG Nonlinear"
SolverOk SetCell:="$AL$37", MaxMinVal:=1, ValueOf:=0, ByChange:="$AL$41:$AL$48" _
, Engine:=1, EngineDesc:="GRG Nonlinear"

' Activando la referencia Solver de excel desde las herramientas de Visual Basic
' se corre la herramienta

SolverSolve
```

ANEXO 4 - INTERFAZ DE INTERACCIÓN PARA ASIGNAR UNA NUEVA MAQUINA

ASIGNACION DE MAQUINAS DE BOMBEROS Inicio

Tipo de maquina

Tipo de incidente que la maquina Camión bomba puede atender:

- | | | |
|---|---|--|
| <input type="checkbox"/> CAIDA DE ARBOLES, POSTES, ESTR. LIVIANAS, SIN LESIONADOS | <input checked="" type="checkbox"/> INCENDIO DE BASURAS, ARBOLES Y OTROS MATERIALES | <input checked="" type="checkbox"/> REBROTE DE FUEGO DE INCENDIO ANTERIOR |
| <input type="checkbox"/> COLAPSO DE ESTRUCTURAS SIN PERSONAS LESIONADAS | <input checked="" type="checkbox"/> INCENDIO ELECTRICO EN VÍA PÚBLICA | <input type="checkbox"/> RESCATE DE EMERGENCIA |
| <input type="checkbox"/> CONTROL O INCIDENTE CON ABEJAS | <input checked="" type="checkbox"/> INCENDIO ESTRUCTURAL | <input type="checkbox"/> RESCATE DE PERSONA POR INTENTO DE SUICIDIO O SUICIDIO |
| <input type="checkbox"/> DERRAME DE LIQUIDOS Y COMBUSTIBLES EN LA VÍA PÚBLICA | <input checked="" type="checkbox"/> INCENDIO FORESTAL | <input type="checkbox"/> RESCATE O RECUPERACION DE ANIMALES |
| <input type="checkbox"/> DESLIZAMIENTOS | <input checked="" type="checkbox"/> INCENDIO VEHICULAR | <input type="checkbox"/> RESCATE POR ACCIDENTE DE TRANSITO |
| <input type="checkbox"/> ESCAPE DE GAS EN VEHÍCULO, (sin fuego) | <input type="checkbox"/> INCIDENTE HAZ-MAT | <input type="checkbox"/> RESCATE POR ATENCIÓN DE ENFERMO |
| <input type="checkbox"/> ESCAPE DE GAS, (Natural o Propano) | <input type="checkbox"/> INUNDACION | |