



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y
ELÉCTRICA UNIDAD ZACATENCO
SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E
INVESTIGACIÓN**



PROGRAMA DE POSGRADO EN INGENIERÍA DE SISTEMAS

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA DE SISTEMAS

**DIAGNÓSTICO DE INCIDENTES OCURRIDOS EN EL SISTEMA
DE TRANSPORTE COLECTIVO METRO DE LA CIUDAD DE
MÉXICO**

**P R E S E N T A
ING. YAIR ÁLVAREZ RUIZ**

D I R E C T O R D E T E S I S

**DR. JAIME REYNALDO SANTOS REYES
DR. DIEGO ALFREDO PADILLA PÉREZ**

I. RESUMEN

La evidencia de numerosas fuentes muestra que el uso del automóvil aparece estar disminuyendo por lo menos en los países desarrollados. Aunque esto no necesariamente es cierto para los países en vías desarrollo. Al mismo tiempo, el ferrocarril urbano (incluyendo sistemas de transporte metro) va en aumento y este hecho también está ocurriendo a tasas de cambio sin precedentes. Una de las razones por este cambio es que estos modos de transporte son considerados como sustentables. Los sistemas de transporte masivos como el metro y de trenes tienen un aspecto en común de que transportan miles de personas y que cuando ocurren incidentes y/o accidentes, miles de personas son afectadas.

En el caso de la CDMX, el metro es el principal medio de transporte de las personas con bajos recursos, lo que permite que pueda ser utilizado por toda la población. Asimismo, mejora la sustentabilidad, estimula la disminución voluntaria en el uso del automóvil, y fomenta el apoyo a una estructura de uso de suelo ambientalmente más favorable. Uno de los mayores problemas del metro se genera cuando hay fallas, por ejemplo, en los sistemas eléctricos, electrónicos, entre otros, se tienen interrupciones en el avance de los trenes de estación a estación, siendo el primer afectado los usuarios. Muchas de las fallas ocurridas suelen ser originadas por errores humanos y a veces por cuestiones técnicas, ocasionando retrasos en los trenes, provocando problemas de tránsito al momento de apoyar con transporte terrestre para solventar la movilidad de las personas y pérdidas económicas.

El objetivo planteado en este trabajo es el de diagnosticar los tipos de incidentes y su impacto en los retardos del sistema de transporte metro de la CDMX, así contribuir al diseño de políticas de prevención para la eliminación y/o disminución del impacto de estos. Algunos de los resultados más relevantes sobre el análisis de incidentes ocurridos de enero-julio del 2015 muestran lo siguiente: a) han ocurrido un total de 17,887 incidentes en todo el metro; b) las líneas más críticas con relación al número de incidentes fueron: las líneas 1 y 3 con el 20.8% y 17.92%, respectivamente; las líneas 4 y 6 resultaron los menos críticos, ambos con el 2.8% (504/17887); c) las líneas 1, 2 y 3 fueron las más afectadas por los retardos (en minutos) causados por las diferentes categorías de incidentes.

Los resultados de este proyecto podrían contribuir al diseño e implementación de políticas de prevención de incidentes y así poder eliminar y/o disminuir el impacto de estos.

II. ABSTRACT

Evidence from numerous sources shows that car use appears to be declining at least in developed countries. Although this is not necessarily true for developing countries. At the same time, urban rail (including metro transport systems) is on the rise and this is also happening at unprecedented rates of change. One of the reasons for this change is that these modes of transport are considered as sustainable. Mass transportation systems such as the metro and trains have a common aspect that they transport thousands of people and that when incidents and / or accidents occur, thousands of people are affected.

In the case of CDMX, the metro is the main means of transportation for people with low resources, which allows it to be used by the entire population. It also improves sustainability, encourages voluntary reduction in car use, and encourages support for an environmentally more favourable land use structure. One of the biggest problems of the metro is generated when there are failures, for example, in electrical systems, electronics, among others, there are interruptions in the progress of trains from station to station, the first affected users. Many of the failures occurred are usually caused by human errors and sometimes by technical issues, causing delays in trains, causing traffic problems when supporting land transport to solve the mobility of people and economic losses.

The objective set out in this paper is to diagnose the types of incidents and their impact on the delays of the metro transport system of the CDMX, thus contributing to the design of prevention policies for the elimination and / or reduction of their impact. Some of the most relevant results on the analysis of incidents that occurred in January-July 2015 show the following: a) a total of 17,887 incidents have occurred throughout the metro; b) the most critical lines in relation to the number of incidents were: lines 1 and 3 with 20.8% and 17.92%, respectively; lines 4 and 6 were the least critical, both with 2.8% (504/17887); c) Lines 1, 2 and 3 were the most affected by the delays (in minutes) caused by the different categories of incidents.

The results of this project could contribute to the design and implementation of incident prevention policies and thus eliminate and / or diminish the impact of these.

AGRADECIMIENTOS

La culminación del presente trabajo de tesis no se hubiese logrado de no haber sido por el gran apoyo del Dr. Jaime Reynaldo Santos Reyes quien me brindó su confianza y haber sido mi asesor durante el desarrollo de este tan importante trabajo de tesis.

DEDICATORIAS

La terminación de una etapa muy importante en mi vida se ve plasmada y reflejada en el presente trabajo de tesis, el cual no se hubiera logrado sin el apoyo de todas aquellas personas que han confiado infinitamente en mí, por ello dedico el presente a:

Mis Padres quienes en todo momento y sin importar la circunstancias me han brindado su apoyo y comprensión incondicional en todas y cada una de las etapas de mi vida.

Mi Familia, por el tiempo que nos dimos de compartir nuestras alegrías y tristezas, muchas gracias: Isabel Albarrán, Yair Álvarez Albarrán y Lucinda Álvarez Albarrán.

Ing. Yair Álvarez Ruiz

ÍNDICE

I.	RESUMEN.....	I
II.	SUMARY	II
CAPÍTULO 1 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN.....		1
1.1	Transporte Masivo y Accidentes e Incidentes-Contexto Internacional	1
1.1.1	Descenso del uso de automóvil y el ascenso del ferrocarril y/o metro	2
1.1.2	Aspectos negativos del transporte ferroviario	4
1.1.2.1	Accidentes, incidentes de metro	4
1.2	Transporte Masivo y Accidentes e Incidentes-Contexto nacional.....	5
1.2.1	Impacto del transporte masivo en la CDMX.....	5
1.2.2	Ejemplo de las consecuencias de un incidente en el metro de la CDMX.....	6
1.3	Justificación del Proyecto de Investigación	7
1.4	Objetivos de la investigación	8
1.4.1	Objetivo General.....	8
1.4.2	Objetivos Particulares.....	8
a)	Contactar al STC metro para la obtención de los datos sobre incidentes en dicho sistema.....	8
b)	Realizar un análisis estadístico descriptivo de los tipos de incidentes que han ocurrido en las doce líneas del metro de la CDMX por año, mes y su impacto en retardos de operación del metro.....	8
c)	Identificar los incidentes más críticos (y menos críticos) por cada línea del metro	8
d)	Identificar los incidentes que causan el mayor retardo en las líneas del metro.....	8
1.5	Conclusiones del Capítulo.....	9
CAPÍTULO 2 REVISIÓN DE LA LITERATURA.....		8
2.1	Transporte Metro Rápido y Eficiente	9
2.2	Importancia de Prevención de Incidentes	10
2.2.1	Triangulo de seguridad.....	10
2.3	Gestión de Incidentes	13
2.4	Reportes de Investigación	15
2.5	Conclusiones del Capítulo.....	19
CAPÍTULO 3 MARCO TEÓRICO Y METODOLÓGICO.....		19
3.1.	Contexto Espacial y Temporal	19
3.2.	El Concepto de Sistemas	20
3.3.	Accidentes vs Incidentes	21
3.4.	Categorías de Variables	22
3.5.	Conclusiones del Capítulo.....	24
CAPÍTULO 4 ANÁLISIS DE INCIDENTES EN EL METRO DE LA CDMX		25
4.1.	Algunas Consideraciones Sobre el Análisis.....	25
4.1.1	Incidentes y tipo de datos	25

4.1.2 Nomenclatura usada por el metro	25
4.2. Resultados del análisis de incidentes en el metro	27
4.2.1 Incidentes totales y por línea	27
4.1.2 Incidentes por línea	29
4.1.3 Incidentes por mes	33
4.1.4 Total de incidentes por área del metro	39
4.2. Consecuencias de los Incidentes	40
4.2.1 Retardos por línea	40
4.2.2 Retardos por diferentes categorías de incidentes	40
4.3. Conclusiones del Capítulo	44
CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES Y FUTURO TRABAJO	45
5.1. Conclusiones	45
5.1.1 Relación con los Incidentes Totales y por Línea	45
5.1.2 Relación a Incidentes Totales por Tipo de Incidente	45
5.1.3 Incidentes por Línea	46
5.1.4 Relación con Incidentes por mes	47
5.1.5 Total de incidentes por área del metro	47
5.2. Conclusiones sobre las consecuencias de los incidentes	47
5.2.1 Retardos por línea	47
5.2.2 Retardos por diferentes categorías de incidentes	48
5.3 Limitaciones	48
5.4. Futuros Trabajos	48
Referencias Bibliográficas	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Algunos países europeos con sistemas de tren ligero (Konig & Heipp, 2012)	3
Figura 1.2 Accidentes en el metro en China (Ding, et al., 2017).	4
Figura 1.3 Tipos de accidentes identificados en el estudio de Ding, et al, (2017).	5
Figura 1.4 Número de noticias relacionadas con incidentes del metro de la CDMX en Google	6
Figura 1.5 Afectaciones causadas por una falla en el metro en marzo del 2017.....	7
Figura 2.1 Modelo conceptual del Capítulo 2.	8
Figura 2.2 Ranking de las diferentes capacidades del metro (UNHABITAT, 2013).....	9
Figura 2.3 “Triángulo de seguridad” de Heinrich (1931).	11
Figura 2.4 “Triángulo de seguridad” modificado de McSween y Moran (2017).	12
Figura 2.5 Fases de un modelo de la administración de incidentes.	13
Figura 3.1 Contexto espacial del sistema de transporte metro de la CDMX.....	19
Figura 3.2 Cronología de la construcción del metro de la CDMX (STCM, 2018).....	20
Figura 3.3 Sistema de transporte Metro.	21
Figura 4.1 Incidentes totales de enero-julio del 2015.	27
Figura 4.2 Distribución del total de incidentes ocurridos en metro de enero-julio del 2015.	28
Figura 4.3 Incidentes ocurridos por cada línea del metro.	30
Figura 4.4 Incidentes ocurridos por mes.....	34
Figura 4.5 Incidentes ocurridos por cada línea del metro.	35
Figura 4.6 Total de incidentes por área en el metro.	39
Figura 4.7 Incidentes ocurridos por cada línea del metro.	42
Figura 4.8 Incidentes ocurridos por cada línea del metro.	44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Resumen de las investigaciones reportadas en la literatura sobre diferentes aspectos del sistema de transporte metro.	15
Tabla 3.1 Variables consideradas en el análisis de incidentes.	22
Tabla 3.2 Descripción de los tipos de incidentes considerados en el análisis (STCM, 1990).....	23
Tabla 4.1Clasificación de áreas en el metro (Metro, 2018).	25
Tabla 4.2 Clasificación del tipo de incidentes ocurridos en el metro (Metro, 2018).	26
Tabla 4.3 Resumen de los parámetros estadísticos descriptivos de los incidentes	28
Tabla 4.4 Resumen de los parámetros estadísticos descriptivos de cada línea.....	29
Tabla 4.5 Resumen de los parámetros estadísticos de los incidentes por mes.	34

CAPÍTULO 1 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

El Capítulo presenta la problemática existente en sistemas de transporte masivos como es el caso del metro de la CDMX. El capítulo está organizado como sigue: la sección 1.1 presenta la importancia y el aspecto negativo del transporte masivo como el metro en el contexto internacional. Algunos ejemplos de evidencia de la problemática en relación con la falla del metro se discuten en la sección 1.2. En la sección 1.3 se presenta la justificación del proyecto de tesis. Los objetivos planteados en el proyecto de tesis se presentan en la sección 1.4. Finalmente, algunas de las conclusiones más relevantes del Capítulo se presentan en la sección 1.5.

1.1 Transporte Masivo y Accidentes e Incidentes-Contexto Internacional

En general, cualquier modo de transporte hace que las personas se muevan, pero no solamente facilita la movilidad de las personas, sino también bienes/mercancías (van Wee, 2007; Badland y Schofield, 2005; de Dios y Willumsen, 2001). En los países en vías de desarrollo, al aumentar los ingresos de la población, el uso de automóviles, y el uso de camiones para el transporte de mercancías, se han incrementado dramáticamente en las últimas décadas (Van Wee, 2007).

Aparte de los beneficios que trae a la sociedad, desafortunadamente, el transporte también tiene causa problemas para la población (Van Wee, 2007; Dorland y Jansen, 1997; Eyre, et al., 1997; Newton, 1997). Por ejemplo, el reconocimiento del impacto del tráfico urbano en el medio ambiente data desde los años sesenta, en los países occidentales, las urbes del mundo sufren cada vez más el tráfico urbano; este sufrimiento incluye, entre otras cosas, accidentes, congestión, ruido y contaminación del aire (Berghlund, et al., 1999; Van Wee, 2007; Dorland y Jansen, 1997). Además, desde principios de los 70s y 80s, se han reconocido los impactos ambientales globales, tales como el agotamiento de los combustibles fósiles y el cambio climático (Meadows, 1972; WCED 1987).

Un desafío importante es encontrar un equilibrio entre lo positivo y negativo. En otras palabras, se requiere de un transporte sustentable; es decir, un balance entre los aspectos económicos, la sociedad y el medio ambiente.

1.1.1 Descenso del uso de automóvil y el ascenso del ferrocarril y/o metro

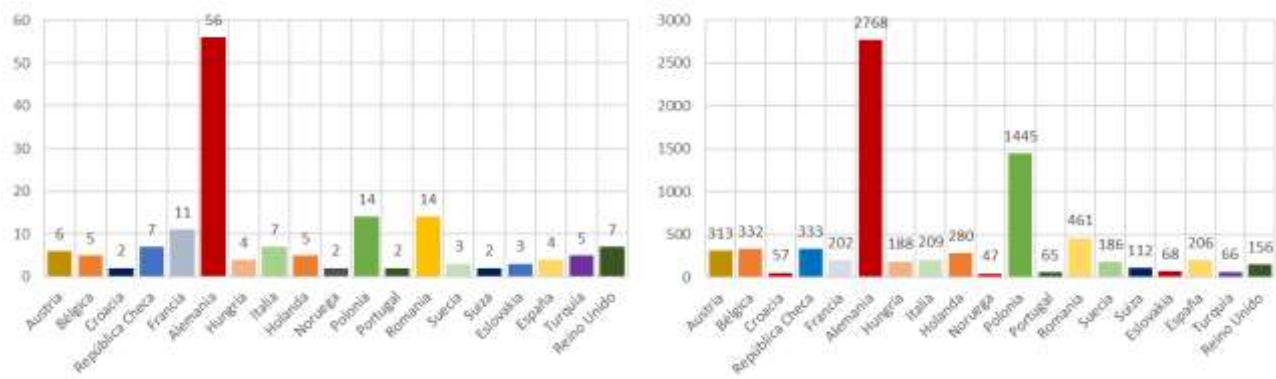
1.1.1.1 Descenso del uso del automóvil en los países desarrollados

El Instituto de Brookings en Washington, EUA, fue la primera organización en reconocer un nuevo fenómeno en las ciudades de los países desarrolladas del mundo, es decir, la disminución del uso de automóviles (Puentes & Tomer 2009). De acuerdo con los datos publicados en la literatura, el siglo XXI está presenciando el fin de la dependencia del automóvil en los mismos países y ciudades que dieron origen al mismo (Newman & Kenworthy, 2015).

Por ejemplo, Puentes y Tomer (2009) mostraron que entre 2004 y 2010 hubo una disminución en el uso del automóvil fue evidente. Al igual, Sivak (2015) encontró que estas tendencias continuaron en 2013. Stanley y Barrett (2010) encontraron también una tendencia similar en ciudades australianas en un nivel similar, por ejemplo, el uso del automóvil alcanzó su punto máximo en 2004. Desde entonces, Newman & Kenworthy (2015) han seguido estas tendencias en todas las ciudades australianas, incluyendo las pequeños como Canberra (Australia) donde la congestión no es un problema; sin embargo, el uso del coche per cápita continuó su tendencia a la baja (Newman & Kenworthy, 2011).

1.1.1.2 El ascenso y el ascenso del ferrocarril urbano

De acuerdo con los autores Newman & Kenworthy (2015), hay un importante renacimiento del modo de transporte ferroviario a nivel mundial, incluidos los siguientes: el tren ligero, el cual puede funcionar en calles; tren de metro (por ejemplo, metro moderno); tren de transporte pesado (por ejemplo, tren suburbano), y recientemente trenes de alta velocidad (por ejemplo, trenes ultrarrápidos que corren entre grandes ciudades). Lo anterior refleja las preocupaciones de autoridades (municipales, regionales, etc.) sobre la necesidad de hacer que sus sistemas de transporte sean más sostenibles de reducir las emisiones de CO2 ante el calentamiento global (Newman et al. 2009).



a). Ciudades donde tren ligero ha sido implementado;

b). Km de vías instalada

Figura 1.1 Algunos países europeos con sistemas de tren ligero (Konig & Heipp, 2012)

Por ejemplo, en Europa, la mayoría de las ciudades se construyeron alrededor de sistemas ferroviarios suburbanos. En los últimos años se ha visto una reactivación del tren ligero y consecuentemente ha sido una importante adición al ferrocarril en la mayoría de las ciudades europeas (Fig. 1.1). Por ejemplo, Konig & Heipp (2012), reporta que al menos 65 ciudades europeas construyeron sistemas de trenes ligeros nuevos o ampliados entre 1980 y 2007, lo cual elevó el número de ciudades europeas con trenes ligeros a más de 160 (Fig. 1.1)

En la Fig. 1.1 a, b se muestra claramente el continuo crecimiento de la implementación del tren ligero (según datos del 2007). Por ejemplo, en la figura se observa que Alemania lidera en número de ciudades y de kilometraje del sistema de transporte de tren ligero con 6 y 1,768 Km, respectivamente. Le siguen Francia (11), Italia (7), República Checa (7), con el número de ciudades que han adoptado estos sistemas de transporte.

Ding, et al., (2017) argumenta que, durante 10 años, el kilometraje de operación de la línea de tránsito ferroviario urbano de China ha crecido muy rápido. Por ejemplo, los autores mencionan que, a finales de 2015, 33 ciudades han instalado el sistema metro, y la cantidad total de líneas operativas ha alcanzado un total de 96, el millaje operacional total ha alcanzado 4000 km. Sun y Guan (2016) afirman que de acuerdo con un informe anual de operaciones de tráfico de Shanghai, China, se realizaron 6,585 mil millones de viajes durante el año 2014, es decir, alrededor de 18.04 millones viajes por día, en los que el sistema de metro de Shanghai.

1.1.2 Aspectos negativos del transporte ferroviario

1.1.2.1 Accidentes, incidentes de metro

Las redes de transporte público masivos son generalmente indispensables para la movilidad en áreas urbanas, y las redes de metro son componentes vitales de los sistemas de tránsito en las principales ciudades del mundo. Además de la enorme capacidad de transporte de estos sistemas, también brindan en principio una experiencia en los servicios de puntualidad y rapidez. Sin embargo, hay aspectos negativos como cuando ocurren accidentes. Esto es, dadas las grandes cantidades de usuarios que se transportan en ella, cuando accidentes/incidentes ocurren, normalmente afectan a miles de usuarios.

Por ejemplo, Ding, et al., (2017) han reportado los accidentes que han ocurrido en el metro de China (Figs. 1.2 a,b y 1.3). Tal es el caso del incendio en el metro de Daegu en Corea del Sur que ocurrió el 18 de febrero de 2003, lo que causó la muerte de 198 personas y 146 personas, y causó pérdidas de propiedad de hasta 4 Mil millones 700 millones de Won (Balducelli y D'Esposito, 2000).

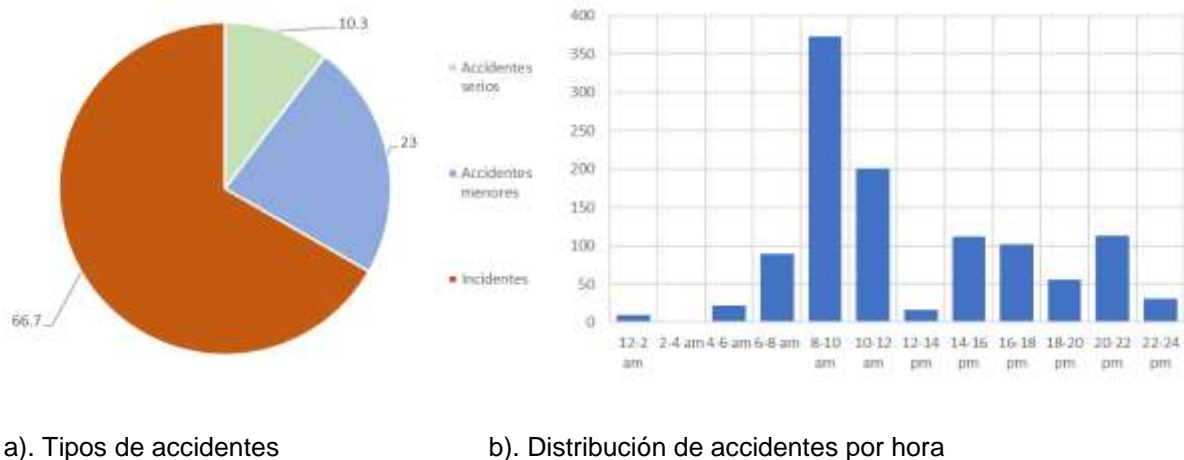


Figura 1.2 Accidentes en el metro en China (Ding, et al., 2017).

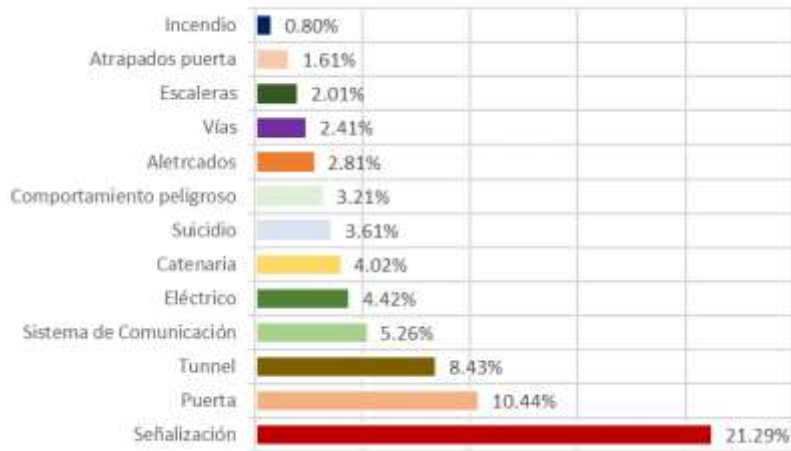


Figura 1.3 Tipos de accidentes identificados en el estudio de Ding, et al, (2017).

Kyriakidis et al., (2012) también han reportado que el 27 de septiembre de 2011, más de 260 personas resultaron heridas en un accidente de tren en Shanghai (China). Estos y otros accidentes relacionados con trenes que han ocurrido en el mundo han tenido grandes repercusiones sociales por el impacto de estos. Lo anterior obliga a las autoridades responsables de la seguridad de dichos modos de transporte de la implementación de políticas de prevención, así como disponer de manera eficiente sistemas de emergencia durante los incidentes de tráfico ferroviario.

1.2 Transporte Masivo y Accidentes e Incidentes-Contexto Nacional

1.2.1 Impacto del transporte masivo en la CDMX

El Sistema de Transporte Colectivo (STC) metro de la CDMX no ha sido exenta de accidentes/incidentes, pero no hay reportes oficiales sobre éstos. Sin embargo, no hay un día sin que los usuarios sean afectados por los incidentes. Tampoco hay un día en que no aparezcan noticias sobre estos.

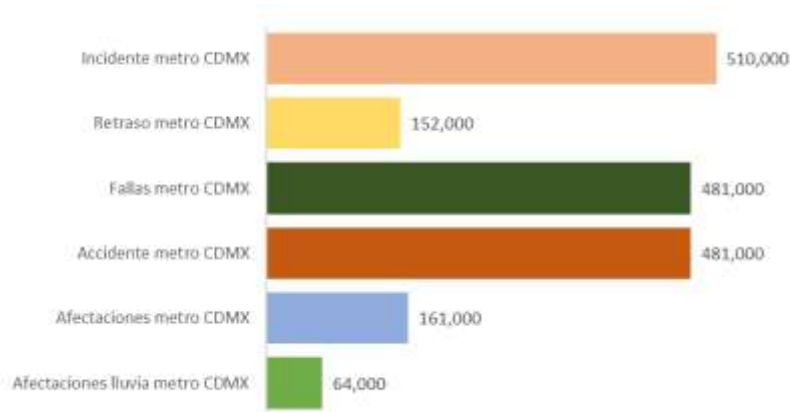


Figura 1.4 Número de noticias relacionadas con incidentes del metro de la CDMX en Google

Para tener una idea sobre la cantidad de noticias publicadas sobre incidentes y afectaciones en el metro de la CDMX, se realizó una serie de búsquedas por “Google” empleando las siguientes palabras clave: “Incidente metro CDMX”, “Retraso metro CDMX”, “Fallas metro CDMX”, “Accidente metro CDMX”, “Afectaciones metro CDMX”, “Afectaciones lluvia metro CDMX”. Los resultados se muestran en la Fig. 1.4.

1.2.2 Ejemplo de las consecuencias de un incidente en el metro de la CDMX

El 3 de marzo de 2017, a las 18:19 hrs, la Línea 3 del metro suspendió su servicio (de la estación Balderas a Indios Verdes) debido a un incidente relacionado con un “aparato de vía”, quedando en funcionamiento solamente de la estación Balderas con dirección a Universidad (Macías, 2017). Debido a este incidente, los pasajeros que viajaban en el convoy afectado quedaron atrapados en el túnel, lo cual les obligó a caminar por el túnel para llegar a la estación y así salir a la calle para buscar otros modos de transporte (Fig. 1.5 a,b). Dado que el incidente ocurrió en horas-pico, se estima que dicha falla afectó a aproximadamente 47 mil usuarios, que buscaron modos de transporte alternativos para llegar a sus hogares (Fig. 1.5c,d).



a). Usuarios saliendo del metro (Páramo, 2017) b). Usuarios buscando transporte (Macías, 2017)



c). Usuarios usando transporte alternativo (Macías, 2017).

Figura 1.5 Afectaciones causadas por una falla en el metro en marzo del 2017.

1.3 Justificación del Proyecto de Investigación

La evidencia de numerosas fuentes muestra que el uso del automóvil aparece estar disminuyendo por lo menos en los países desarrollados (Newman & Kenworthy, 2015; König & Heipp, 2012; Newman, et al., 2009; véase también la sección 1.1). Aunque esto no necesariamente es cierto para los países en vías desarrollo (Newman & Kenworthy, 2015). Al mismo tiempo, el ferrocarril urbano (incluyendo sistemas de transporte metro) va en aumento y este hecho también está ocurriendo a tasas de cambio sin precedentes (Ding, et al., 2017; Sun & Guan, 2016; König & Heipp, 2012). Una de las razones por este cambio es que estos modos de transporte son considerados como sustentables (Newman & Kenworthy, 2015).

Los sistemas de transporte masivos como el metro y de trenes tienen un aspecto en común de que transportan miles de personas y que cuando ocurren incidentes y/o accidentes, miles de personas son afectadas (Zhang, et al., 2016; Zhou, et al., 2017; Páramo, 2017; Macías, 2017).

En el caso de la CDMX, el metro es el principal medio de transporte de las personas con bajos recursos, lo que permite que pueda ser utilizado por toda la población. Asimismo, mejora la sustentabilidad, estimula la disminución voluntaria en el uso del automóvil, y fomenta el apoyo a una estructura de uso de suelo ambientalmente más favorable.

Como se evidenció en las secciones 1.1.2 y 1.2, uno de los mayores problemas del metro se genera cuando hay fallas, por ejemplo, en los sistemas eléctricos, electrónicos, entre otros, se tienen interrupciones en el avance de los trenes de estación a estación, siendo el

primer afectado los usuarios. Muchas de las fallas ocurridas suelen ser originadas por errores humanos y a veces por cuestiones técnicas, ocasionando retrasos en los trenes, provocando problemas de tránsito al momento de apoyar con transporte terrestre para solventar la movilidad de las personas y pérdidas económicas (Véase la sección 1.2 y Fig. 1.5).

Para implantar políticas de prevención sobre esta problemática, en primer lugar, es importante diagnosticar los tipos de incidentes que conllevan a dichos retardos en la operación del metro. Este proyecto de tesis se enfoca a la identificación de estos incidentes, así como su impacto en los retrasos. Una vez identificados, es posible diseñar políticas de prevención y así poder eliminar y/o disminuir el impacto de estos.

1.4 Objetivos de la Investigación

1.4.1 Objetivo general

Diagnosticar los tipos de incidentes y su impacto en los retardos del sistema de transporte metro de la CDMX, así contribuir al diseño de políticas de prevención para la eliminación y/o disminución del impacto de estos.

1.4.2 Objetivos particulares

- a) Contactar al STC metro para la obtención de los datos sobre incidentes en dicho sistema.
- b) Realizar un análisis estadístico descriptivo de los tipos de incidentes que han ocurrido en las doce líneas del metro de la CDMX por año, mes y su impacto en retardos de operación del metro.
- c) Identificar los incidentes más críticos (y menos críticos) por cada línea del metro
- d) Identificar los incidentes que causan el mayor retardo en las líneas del metro
- e) Documentar los resultados generados de la investigación.

1.5 Conclusiones del Capítulo

La Conclusión más relevante de este Capítulo es la identificación de la problemática existente de los transportes masivos como el caso del metro. Es decir, que son sistemas vulnerables a fallas y que cuando estos ocurren, miles de personas pueden ser afectadas. De ahí la importancia de investigar los tipos de incidentes que ocurren en estos sistemas. Una vez identificados los impactos de estos se podrían diseñar políticas de prevención de incidentes.

El siguiente capítulo presenta la revisión de la literatura.

CAPÍTULO 2 REVISIÓN DE LA LITERATURA

En el Capítulo 1 se presentó la problemática asociada con accidentes e incidentes con relación a transporte masivos como el sistema de transporte metro, tanto en el contexto internacional y nacional. El objetivo de este Capítulo es el de presentar algunos conceptos teóricos e investigaciones publicados en la literatura en el contexto de este proyecto de tesis. El Capítulo está organizado como sigue (Fig. 2.1): la sección 2.1 presenta una discusión sobre el transporte metro y el impacto de este modo de transporte en el mundo. Investigaciones que se han reportado sobre la importancia de la prevención de incidentes se discute en la sección 2.2. La sección 2.3 presenta una breve descripción sobre uno de los modelos de administración de incidentes. Un resumen sobre las investigaciones publicadas en la literatura sobre temas relacionados con incidentes y accidentes, entre otros, en el tópico del sistema de transporte masivo metro. Finalmente, las conclusiones más relevantes del Capítulo se presentan en la sección 2.5.

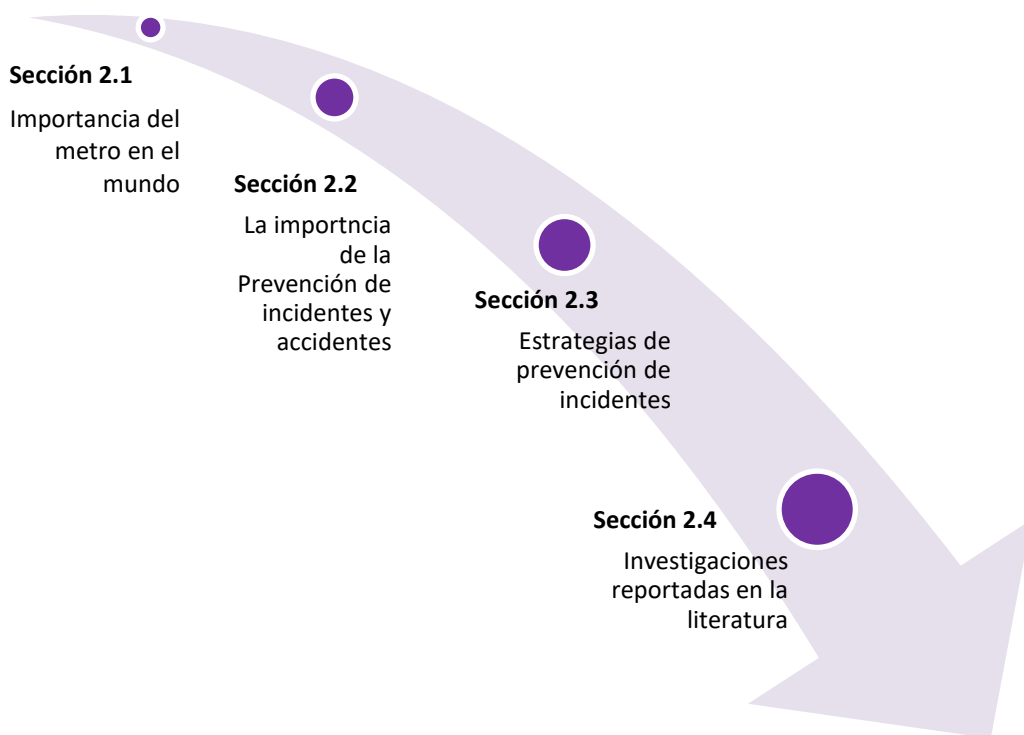


Figura 2.1 Modelo conceptual del Capítulo 2.

2.1 Transporte Metro Rápido y Eficiente

De acuerdo con el reporte del Banco Mundial (World Bank, 2002), el metro, tren ligero y Metrobús (BRT, por sus siglas en inglés) proporcionan una movilidad urbana que puede considerarse como rápida, cómoda y rentable. De acuerdo con el reporte, estos modos de transporte público tienen una capacidad de operación y un rendimiento muy superiores en comparación, por ejemplo, con el transporte por carretera, como autobuses, taxis, microbuses, etc.

Las ciudades que han implementado sistemas de transporte masivos han tenido beneficios importantes; por ejemplo, contribuyen a mejorar la eficiencia de la economía urbana al reducir el costo y el tiempo de viaje; pueden aumentar el nivel de actividad económica en las ciudades, mejorando así las economías de aglomeración que son cruciales para la prosperidad de las áreas urbanas (UNHABITAT, 2013). En el contexto de nuestro estudio, estos modos de transporte reducen la congestión vial, lo que luego brindaría otros beneficios económicos y ambientales (véase la sección 1.1 del Capítulo 1), así como también mejoran el acceso a oportunidades y servicios en las ciudades (World Bank, 2002).

El sistema de transporte masivo metro exhibe una gran capacidad y una alta frecuencia de servicio (UNHABITAT, 2013). Con este modo de transporte es posible tener una capacidad de carga de más de 30,000 pasajeros por hora en una sola dirección (ERRAC-UITP, 2009). Así que, el metro es la opción de transporte público urbano más costosa, ya se requieren grandes inversiones y, a menudo, se implementan como la opción preferida de las grandes ciudades donde la demanda justifica ese alto costo de capital (ERRAC-UITP, 2009).

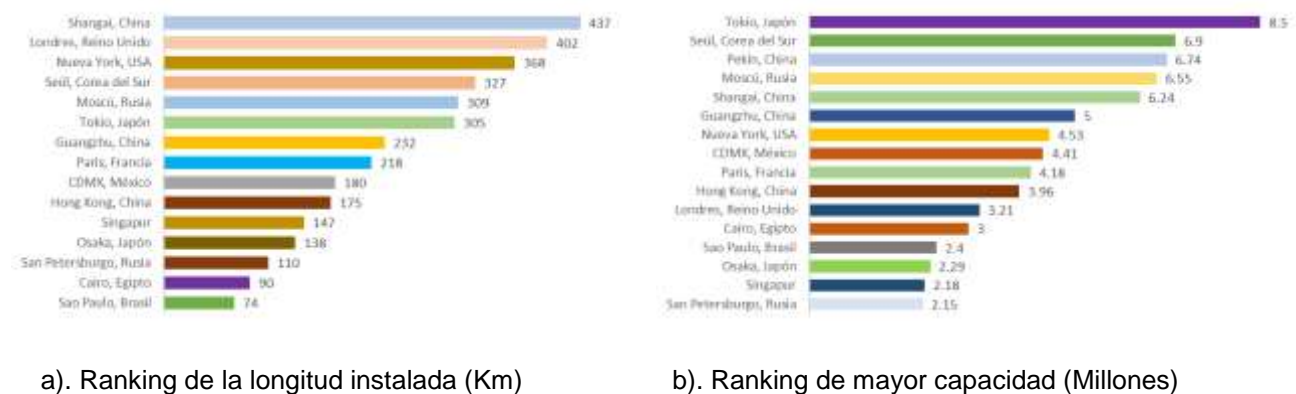


Figura 2.2 Ranking de las diferentes capacidades del metro (UNHABITAT, 2013).

La Fig. 2.2 muestra las ciudades que cuentan con sistemas de transporte metro con mayor longitud de vías instalada, así como los que transportan más pasajeros. Es destacable que seis de estos 16 sistemas se encuentran en ciudades de países en vías de desarrollo, mientras que el resto se encuentra en ciudades de países desarrollados (UNHABITAT, 2013).

La Fig. 2.2a muestra que las primeras dos ciudades que cuentan con mayor capacidad de vía instalada son Shanghai (China) y Londres (Reino Unido) con 437 Km y 402 Km, respectivamente. La CDMX se ubica en el noveno lugar con 180 km de vía. La Fig. 2.2.b muestra la distribución de los principales sistemas de metro del mundo con un promedio diario de usuarios de más de 2 millones de pasajeros por día. Se observa que los sistemas de metro más usados son los de Tokio (Japón), Seúl (República de Corea) y Beijing (China) con 8,5 millones, 6,9 millones y 6,7 millones de pasajeros por día, respectivamente.

Sin embargo, como se discutió en el Capítulo 1, el metro (y los otros modos de transporte masivo) son muy vulnerables a incidentes/accidentes. Cuando estos eventos ocurren normalmente su impacto es muy significativo en términos de pérdida de retrasos, pérdidas económicas, y en algunos casos, lesiones y fatalidades.

2.2 Importancia de Prevención de Incidentes

2.2.1 Triángulo de seguridad

La Ley de Heinrich (1931) y su "triángulo de seguridad" se han vuelto como una referencia en el área de la seguridad industrial. En el diseño original, Heinrich daba a entender que, para cada 300 incidentes, hubo 29 lesiones menores y 1 lesión mayor. El triángulo resalta las categorías de incidentes y la probabilidad decreciente de ocurrencia del accidente mientras 'subes' en el triángulo verticalmente.

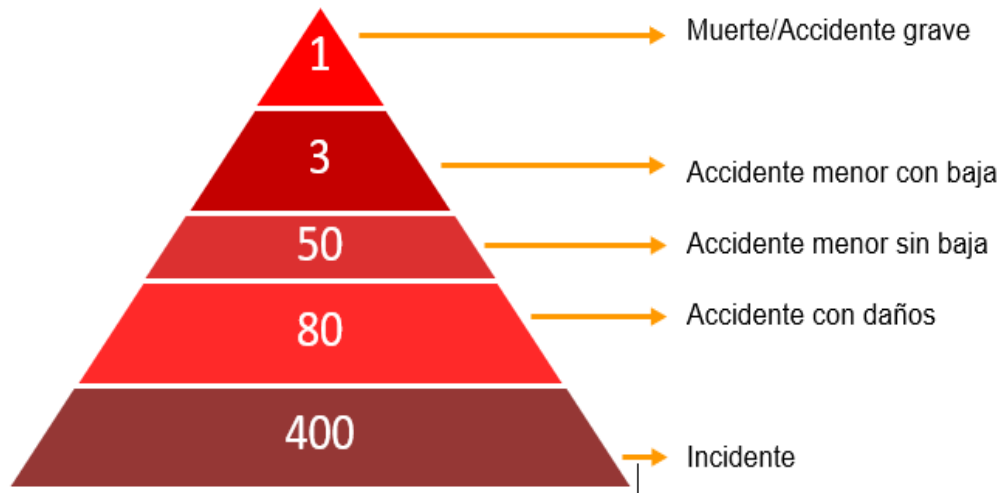


Figura 2.3 "Triángulo de seguridad" de Heinrich (1931).

A lo largo de las décadas, investigadores han refinado el modelo, por ejemplo, Pearson, en 1975, llevó a cabo un estudio sobre accidentes a partir de una muestra de un Millón de accidentes y encontró que, por cada accidente grave, se produjeron 3 accidentes menores con baja, 50 sin baja, 80 accidentes con daños materiales y 400 incidentes (CCOO, 2008); ver Fig. 2.3.

Sin embargo, Krause y Murray (2012), McSween (2015) y Manuele (2002), entre otros investigadores, cuestionan el modelo de Heinrich (y Pearson) por el hecho de que el triángulo no predice adecuadamente los incidentes que conducen a los accidentes.

Así que McSween y Moran (2017) han modificado el modelo de triángulo original incluyendo otras agregando otras características ambientales fundamentales en la parte inferior del triángulo. El comportamiento en riesgo no puede estar solo en la parte inferior del triángulo (Fig. 2.4). Esto es, los autores argumentan que tanto en el análisis de la causa raíz como en el análisis funcional, el comportamiento de un trabajador no puede considerarse la única causa raíz de un incidente/accidente (Malott y Shane, 2016).

Es conocido que los incidentes tienen múltiples causas, que a menudo incluyen eventos no aparentes (Johnson, et al., 2016). Las acciones de un trabajador están influenciadas por tantas otras variables, por lo que el contexto de trabajo del empleado debe ser analizado para tener una verdadera influencia en acciones más seguras en el lugar de trabajo.



Figura 2.4 “Triángulo de seguridad” modificado de McSween y Moran (2017).

McSween y Moran (2017) han enfatizado en la distinción entre lo que ellos llaman “Problemas del proceso” y “Resultados de seguridad”. Los “Problemas de proceso” incluyen los siguientes (véase los tres niveles de la base de la pirámide en la Fig. 2.4):

- En riesgo de comportamiento
- Peligro físico
- Otro fallo del sistema

Los “Resultados de seguridad” están definidos por las siguientes capas del triángulo:

- Muertes y lesiones graves.
- Incidentes de tiempo perdido
- Incidentes registrables
- conatos de primeros auxilios / incidentes

Esto es importante porque los profesionales de la seguridad y los comités de seguridad deben entender no solo los problemas, pero también los resultados de la seguridad.

Pero ¿cuál es la lección más importante del triángulo de seguridad en relación con los incidentes? De lo expuesto anteriormente, tanto el modelo original propuesto por Heinrich, Pearson y la versión modificada por McSween y Moran (2017), exponen claramente que antes de que ocurra un accidente (con lesiones graves o una fatalidad) es probable que se tengan evidencias (en las capas de la base del triángulo) que se tienen que mejorar para que los accidentes no lleguen a ocurrir (la última capa superior de la pirámide).

De lo anterior se infiere la importancia de analizar y tener una mejor comprensión de los incidentes que ocurren en cualquier proceso incluyendo cualquier sistema de transporte para así diseñar políticas de prevención en dichos sistemas.

2.3 Gestión de Incidentes

Existen numerosas fuentes de información sobre enfoques a la gestión de incidentes y en todo tipo de industrias (Freibott, 2013). Sin embargo, desde una perspectiva conceptual para cualquier organización que se enfrente a este problema, se requiere de un enfoque sistemático para lograrlo. Por ejemplo, Freibot (2013) ha propuesto los siguientes pasos a seguir para crear una gestión efectiva de incidentes (Fig. 2.5):

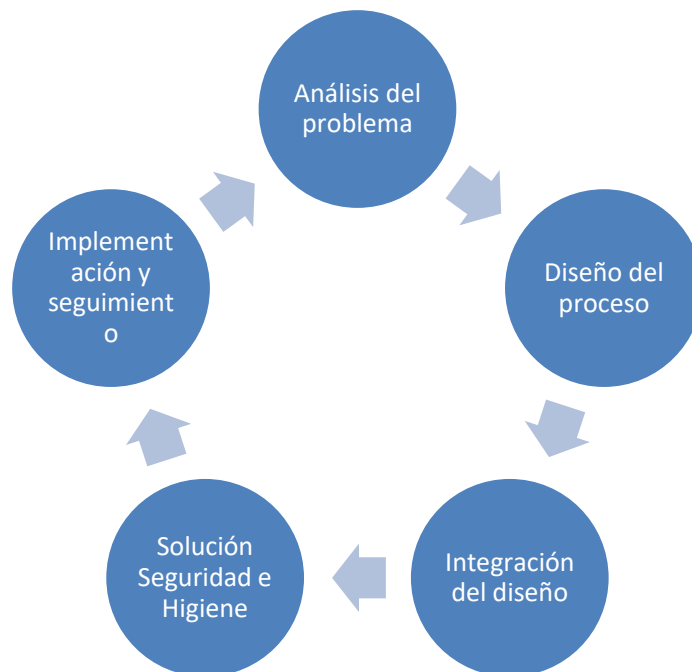


Figura 2.5 Fases de un modelo de la administración de incidentes.

- Análisis de problemas
- Diseño de procesos
- Diseño de integración
- Configuración de la solución
- Implementación flexible

A continuación, se describen brevemente cada una de las etapas de la Fig. 2.5.

Análisis del problema. En esta primera etapa, según el autor, se requiere llevar a cabo un análisis detallado y conciso de la situación actual de los procesos, de las problemáticas existentes, por ejemplo, en relación con el estado de los equipos instalados, así como de los factores humanos. Véase por ejemplo las capas de la base del triángulo de seguridad

de la Fig. 2.4. También, es importante fijar los objetivos que se han establecido para el nuevo enfoque de la gestión de incidentes.

Diseño del proceso. Si es una nueva instalación, es importante llevar a cabo un diseño detallado. El autor argumenta que dicho diseño no debe centrarse solamente en las funciones, sino que también en los procesos; se argumenta que estos procesos que en muchos casos son interdisciplinarios e interdisciplinarios (es decir que es necesario incluir el factor humano y no necesariamente los componentes físicos de las instalaciones).

En el caso de la gestión de incidentes, esto se hace evidente cuando se diseña el flujo de acción e información desde el primer informe hasta que se cierran las actividades finales relacionadas, por ejemplo, con la captación de incidentes, análisis, investigación, así como el diseño de políticas de la prevención, etc.

Diseño de integración. El autor argumenta que es necesario integrar las áreas funcionales; es decir, dónde se requiere información y de qué áreas, etc. La complejidad involucrada en la interacción de los diferentes departamentos de cualquier organización, así que para que una gestión de incidentes sea exitosa es necesario tener un alto grado de colaboración y, por consiguiente, la interacción dentro del sistema es un factor importante para el éxito.

Sistema de Seguridad e Higiene. De acuerdo con el autor, es importante implementar un sistema de gestión de riesgos para así facilitar la gestión de incidentes. En dicho sistema se deberían tener funciones relacionadas con la evaluación de riesgos, que incluyen entre otros aspectos las etapas de identificación de peligros, análisis de los riesgos y finalmente determinar su aceptabilidad.

Implementación flexible, En la última etapa, el autor hace hincapié en la importancia, del buen funcionamiento del sistema de administración de incidentes, e cual debe manejarse como implementación flexible. Según el autor, un factor clave de éxito para las organizaciones hoy en día es mantener el ritmo y mantener el impulso como organización-aprendizaje. La base de este proceso de aprendizaje y mejora es la capacidad de cualquier organización de una buena administración de incidentes.

El autor también enfatiza en que un sistema de gestión de incidentes exitoso debe proporcionar primero las herramientas y los medios para medir el éxito del sistema (como el desarrollo de números de incidentes y paneles de control), pero también debe tener una funcionalidad de monitoreo para garantizar la eficiencia de los procesos y actividades inherentes. Sólo en base a este aprendizaje es posible impulsar la mejora.

2.4 Reportes de Investigación

En esta sección se presentan algunos ejemplos de los resultados de investigaciones que se han realizado en relación a transformadores eléctricos.

Tabla 2.1 Resumen de las investigaciones reportadas en la literatura sobre diferentes aspectos del sistema de transporte metro.

Autor	Área	Descripción
Kyriakidis, et al., (2012).	Accidentes en construcción, operación del metro	Los autores presentan los resultados de los 27precursores analizados, para el período 2002-2009, los clasificaron en categorías: desempeño humano; fallas técnicas; pasajeros: incendio; Acción maliciosa y de administración. Para evaluar la seguridad, se desarrolló un cuestionario para evaluar los siguientes criterios de madurez de seguridad para el metro: publicación de informes de seguridad; periodicidad del seguimiento de la seguridad; priorización de incidentes relacionados con la seguridad; esfuerzos para mitigar riesgos y evitar incidentes; Descripción de los procedimientos de seguridad y seguimiento de riesgos residuales. El análisis estadístico indica una correlación positiva entre las lesiones y los eventos más importantes, así como entre las lesiones y los precursores. El puntaje de madurez de seguridad se correlaciona con lesiones, pero no con precursores, eventos principales o muertes.
Zhou, et al., (2013)		Lo autores del artículo argumentan los accidentes ocurren con frecuencia en la construcción del metro subterráneo debido a su complejidad. Estos accidentes causan grandes pérdidas debido a que la mayoría de las obras de metro se ubican en el centro de ciudades muy congestionadas. Por lo tanto, la gestión de la seguridad es una prioridad en la industria de la construcción del metro. El artículo propone un enfoque para la gestión de la seguridad utilizando tecnología de visualización. La información de la fase de diseño sobre los componentes de construcción y la programación se ha recopilado para formular un modelo de 4 dimensiones (4D). Los resultados muestran que el enfoque propuesto puede ser una herramienta de colaboración, análisis virtual y predicción para diseñadores, gerentes de proyectos de sitio, ingenieros de seguridad y otros participantes con

		seguridad en tiempo real.
Zhang, et al., (2016)		Los autores de artículo se enfocan al estudio de la seguridad en el metro de Shanghai, China. La base de datos de incidentes de operaciones de metro adaptables (MOID) se presenta con detalles de todos Incidentes ocurridos en la operación de metro. Se encontraron 24 precursores de accidentes son identificados en el metro de Shanghai. Esta investigación sería propicio para el análisis de riesgos de seguridad operacional en la identificación de precursores relevantes en la gestión de la seguridad operacional y evaluar el nivel de seguridad como herramienta cualitativa.
Ding, et al., (2014)	Construcción en el metro	Los autores presentan un enfoque sistemático para la Gestión de Seguridad de Procesos en General (OPSM) en la construcción de túneles, incluyendo diseño de sistemas de seguridad, análisis, control y evaluación de efectos. El túnel del Metro de Wuhan Yangtze, en China, se utiliza como un caso de estudio. En el túnel se requiere una máquina de protección de lodos para pasar a través de un Eje con una profundidad de cubierta de 42 m, una presión hidráulica de 0,44 MPa y un radio de curva de 350 m. Los autores emplean el software de elementos finitos ANSYS para simular un modelo numérico de la perforación, así investigar la distribución del campo de tensión en la pared congelada y verificar la confiabilidad del esquema seleccionado. Finalmente, se ponen las medidas de control en respuesta a todos los problemas técnicos. El enfoque OPSM puede ser aplicado por profesionales de la industria para proporcionar directrices efectivas para la gestión de la seguridad en la construcción de túneles urbanos, y para aumentar la probabilidad de un éxito Proyecto en un entorno complejo.
Haddad, et al., (2013)	Aspectos económicos	La red de metro de São Paulo alcanza los 74,2. kilómetros de longitud y está involucrado en alrededor del 20% de los viajes de transporte público Transporte, potenciando la movilidad y productividad de los trabajadores. Los autores presentan una metodología para evaluar los impactos económicos más amplios de los sistemas subterráneos

		<p>existentes Infraestructura del metro. Los autores consideraron los vínculos entre movilidad, accesibilidad y trabajo. La productividad en el contexto de un sistema metropolitano detallado integrado en la economía. Los resultados de simulación a partir de un modelo de equilibrio general computable espacial integrado a un modelo de transporte, sugiere impactos económicos positivos que van más allá. Los límites de la ciudad. Mientras que el 32% de los impactos corresponde a la ciudad de São Paulo, el resto. El 68% beneficia a otros municipios del área metropolitana (11%), en el estado de São Paulo (12.0%) y en el resto del país (45%). El impacto estimado en el anual. El PIB brasileño es equivalente a aproximadamente el 65% del costo de construcción del conjunto red.</p>
Graham, et al., (2003)		<p>En este artículo los autores examinan las economías de escala y densidad en el transporte ferroviario urbano. Aísla los efectos de retornos constantes y no constantes en la producción y el crecimiento de la productividad utilizando datos relacionados con 17 sistemas ferroviarios en ciudades de todo el mundo. Las estimaciones revelan rendimientos constantes a escala, pero rendimientos crecientes a densidad. El modelo de productividad muestra que el cambio total de la productividad de los factores ha sido de gran importancia para diferenciar. El análisis de productividad laboral media confirma la importancia de los cambios a otros factores de la producción y el cambio tecnológico para explicar los cambios.</p>
Fraszczyk, et al., (2014)	<p>Características de diferentes instalaciones del metro de diferentes países</p>	<p>Los autores presentan los resultados de una comparación entre cuatro sistemas de transporte Metro de cuatro diferentes países europeos. Un sistema de este tipo utiliza corredores ferroviarios dedicados, puede funcionar bajo tierra o sobre el suelo y, a menudo, incluye túneles y viaductos. Aunque hay 148 ciudades en el mundo con sistemas de metro, cada sistema es diferente, en términos de diseño, longitud, capacidad, etc., ya que sirve para diferentes áreas geográficas y socioeconómicas. En este contexto, el documento presenta cuatro sistemas de metro europeos (Sofía, Varsovia, Lisboa y Tyne and Wear), presenta las dimensiones de los sistemas, el material rodante y las estrategias de venta de boletos y compara las similitudes y</p>

		<p>diferencias entre los sistemas. Los análisis sugieren una serie de recomendaciones y mejoras que, si se implementan, podrían beneficiar a otros sistemas de metro en Europa y más allá.</p>
<p>Musso y Vuchic (1998)</p>		<p>En este trabajo, los autores presentan los resultados de una investigación sobre el metro. El artículo se centra en sus características geométricas. El propósito del artículo es definir las medidas más importantes, indicadores, y características de formas geométricas que pueden mejorar los métodos predominantemente empíricos utilizados en el presente estudio. Una serie de indicadores seleccionados son entonces presentados. Varios indicadores que relacionan la red de metro con el tamaño de la ciudad y población expresan el grado de adecuación de la red para satisfacer las necesidades de la ciudad. Basados en experiencias de un número de sistemas de metro, así como características de los diferentes tipos de líneas (radial, diametral, circunferencial, y otros) son definidos. Estos permiten la evaluación de tipos de red, tales como radial-circunferencial contra redes de la red. Un análisis de las redes de metro en 10 ciudades diferentes se presenta para ilustrar las aplicaciones de materiales teóricos y empíricos. Los tipos de líneas y las descripciones de las redes son limitadas por limitaciones de espacio, pero ilustran la metodología, la cual puede ser utilizada de forma más completa, para un número de diferentes análisis de redes de metro, sus diseños, o sus extensiones.</p>

2.5 Conclusiones del Capítulo

Las conclusiones más relevantes con relación a la pregunta: ¿cuál es la lección más importante del triángulo de seguridad en relación con los incidentes? De lo expuesto en el capítulo, tanto el modelo original propuesto por Heinrich, Pearson y la versión modificada por Sween y Moran (2017), exponen claramente que antes de que ocurra un accidente (con lesiones graves o una fatalidad) es probable que se tengan evidencias (en las capas de la base del triángulo) que se tienen que mejorar para que las accidentes no lleguen a ocurrir (la última capa superior de la pirámide). De lo anterior se infiere la importancia de analizar y tener una mejor comprensión de los incidentes que ocurren en cualquier proceso incluyendo cualquier sistema de transporte para así diseñar políticas de prevención en dichos sistemas.

El siguiente capítulo presente el marco metodológico.

CAPÍTULO 3 MARCO TEÓRICO Y METODOLÓGICO

Este capítulo presenta algunas consideraciones teóricas y metodológicas para el desarrollo del proyecto de tesis. En particular los datos son del periodo de seis meses del año 2005. La sección 3.1 presenta algunas consideraciones sobre el contexto temporal y espacial del caso de estudio. La sección presenta algunos conceptos de sistemas. Una distinción entre accidente e incidente se presenta en la sección 3.3. Un resumen de las variables consideradas en el análisis se presenta en la sección 3.4. Finalmente, las conclusiones más relevantes del Capítulo se presentan en la sección 3.5.

3.1. Contexto Espacial y Temporal

La Fig. 3.1 muestra la ubicación geográfica del sistema bajo estudio, es decir la red del sistema de transporte metro ubicada en la CDMX y parte del Edo. De México.



a). Mapa CDMX (Google-map, 2018)

b). Mapa metro (STCM, 2018)

Figura 3.1 Contexto espacial del sistema de transporte metro de la CDMX.

Como se mencionó en el capítulo 1, el objetivo del proyecto es el de llevar a cabo un diagnóstico de los incidentes que han ocurrido en la red del metro, es decir incidentes que han ocurrido en todas las líneas del sistema. Es importante tener en cuenta, el contexto espacial del caso de estudio, ya que nos permite dimensionar, por ejemplo, las posibles implicaciones de la falla del metro. Por ejemplo, una falla en las vías del metro en el 2017 causó la afectación de más de 40,000 usuarios y el colapso vial del área norte de la CDMX (Páramo, 2017; Macías, 2017; ver sección 1.2 de capítulo 1).

La Fig. 3.2 muestra una línea de tiempo de la evolución de la construcción y puesta en marcha del sistema de transporte metro. Es muy importante conocer, entre otros factores, la antigüedad de las líneas ya que podría ser una variable importante en el diagnóstico de incidentes ocurridos en el metro.

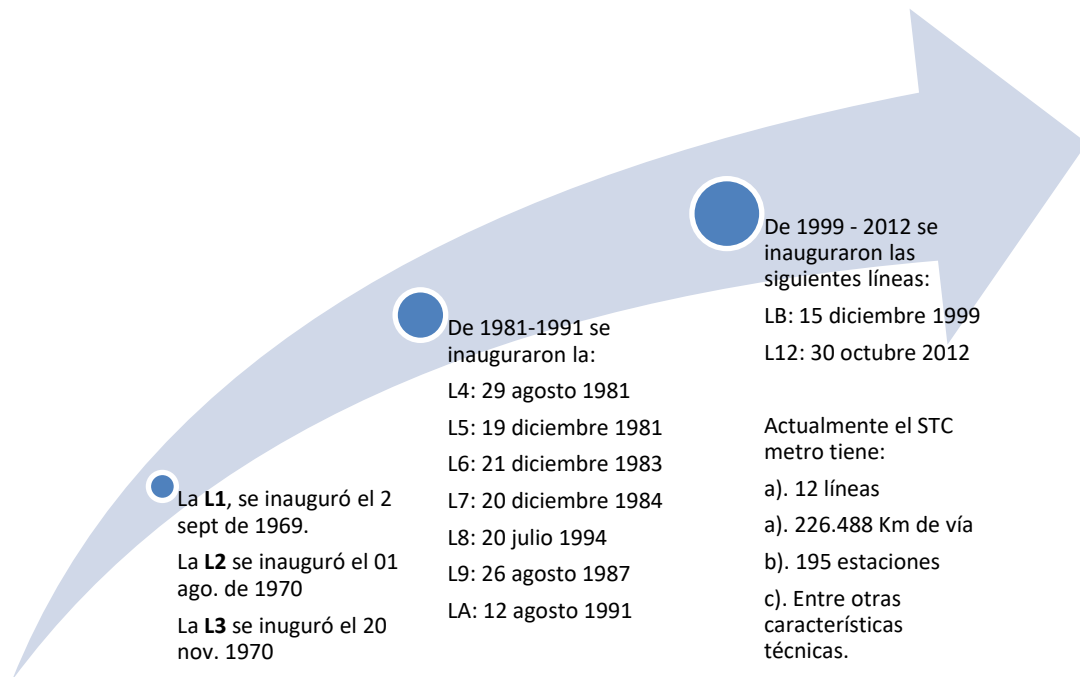


Figura 3.2 Cronología de la construcción del metro de la CDMX (STCM, 2018).

3.2. El Concepto de Sistemas

En términos generales, un sistema puede ser definido como un conjunto de partes interrelacionadas y que interactúan entre sí para lograr una meta (Johannsen, 1975). Por ejemplo, el metro podría considerarse como un sistema. Así el sistema metro está constituido por partes o subsistemas (por ejemplo, cada una de las líneas podría considerarse como un subsistema) interrelacionados cuya función es la de transportar a los usuarios (Fig. 3.3). Por ejemplo, Johannsen (1975, p.56) define a un subsistema como “un conjunto de partes e interrelaciones que se encuentra estructural y funcionalmente, dentro de un sistema mayor, y que posee sus propias características”.

Otras de las características de un sistema es su ambiente y frontera (Fig. 3.3). En este trabajo de tesis, podemos definir la frontera del sistema metro como los límites donde alcanza cada una de las líneas del metro que conforma el sistema. Así que todos aquellos factores externos que se encuentren fuera de las fronteras serán considerados como parte del ambiente del sistema.

Es importante mencionar que este proyecto no se enfoca al diseño y/o diagnóstico del sistema metro como tal; sin embargo, es interesante conceptualizar el sistema desde esta perspectiva del pensamiento sistémico.

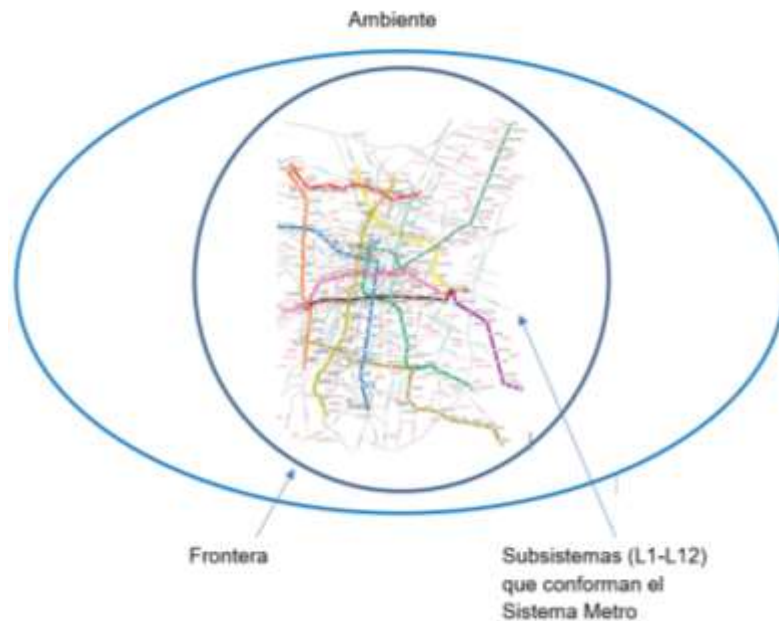


Figura 3.3 Sistema de transporte Metro.

3.3. Accidentes vs Incidentes

De acuerdo con la norma Oficial Mexicana NOM-019-STPS (2005), un accidente de trabajo se define como:

“toda lesión orgánica o perturbación funcional, inmediata o posterior, o la muerte, producida repentinamente en ejercicio o con motivo del trabajo, cualesquiera que sean el lugar y el tiempo en que se preste”

De igual manera, la norma define a un incidente como:

“acontecimiento no deseado que ocasiona o puede ocasionar daños al proceso, maquinaria, equipo y/o a las instalaciones del centro de trabajo, pero que, en circunstancias diferentes, podría haber derivado en lesiones para las personas y que requiere ser investigado para considerarlo en la adopción de medidas preventivas”.

Pero ¿Cómo se define incidente por otras organizaciones internacionales? Por ejemplo, el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), define a un incidente como (citado en CCOO, 2008): *“cualquier suceso no esperado ni deseado que NO dando lugar a pérdidas de la salud o lesiones a las personas puede ocasionar daños a la*

propiedad, equipos, productos o al medio ambiente, pérdidas de producción o aumento de las responsabilidades legales”.

De lo anterior, se puede argumentar que un accidente puede causar lesiones a personas mientras que un incidente puede ocasionar daños a equipo, maquinaria, interrupción de operaciones, etc. Por lo consiguiente, en este proyecto se analizarán incidentes ocurridos en las líneas del metro y los resultados se presentan en el siguiente Capítulo.

3.4. Categorías de Variables

En este trabajo se adoptó la metodología propuesta por la INEGI (2008) en el análisis de accidentes y la Tabla 3.1 resume las principales variables.

Tabla 3.1 Variables consideradas en el análisis de incidentes.

Incidentes	Incidentes
Línea de ocurrencia	Líneas 1-12 del metro
Área de ocurrencia	Área I, II, III, IV V, VI, VII, VIII
Fecha de ocurrencia del incidente	Año Mes Día de la semana Hora
Tipo de incidente	APE PA TDSD P ROEV TL AU IL L ZB EB MI RVFV C DP SAS AR RIE Otros

Los detalles del Área y el tipo de incidentes considerados en el análisis se describen en la siguiente Tabla 3.2.

Tabla 3.2 Descripción de los tipos de incidentes considerados en el análisis (STCM, 1990).

Variable	Descripción	Descripción
APE	Accionamiento de palanca de Emergencia (KFS)	Una palanca que está debajo del tren y apaga el tren de forma inmediata.
PA	Pilotaje Automático	Es cuando el tren lo pones en manejo automático, ya que el tren también se maneja en sistema manual.
TDSD	Tren desalocado para Satisfacer Demanda	Es cuando el regulador de pcc manda el tren directo a una estación, tomando en cuenta la afluencia de usuarios (cuando la capacidad de gente es superior a lo permitido).
P	Puertas	Significa que las puertas están cerradas o abiertas.
ROEV	Retiro de Objeto Extraño en vías	Es cuando a uno de los usuarios se la cae una bolsa, mochila, paraguas, celulares, ropa, etc.
TL	Tracción lenta	Hay dos formas de tracción lenta, la primera es cuando hay un tren en mal estado en la próxima estación y la segunda cuando está lloviendo.
AU	Afluencia de Usuarios	Es cuando en las estaciones hay gran demanda de usuarios.
IL	Incidente en línea (IF)	Es cuando ocurren incidentes en las estaciones como por ejemplo fallas de lámparas en los torniquetes.
L	Lluvia	Cuando afecta a las estaciones que van sobre superficie, ejemplo líneas 4 y 5, así como parte de las líneas 2, 3, 8, 9, línea B y la 12
ZB	Zapata /balatas	Son parte del tren y sirven para el frenado
E0B	Elemento Apagado/baja tensión	Es cuando un símbolo nos avisa que una parte del tren está apagado.
MI	Motriz Inactiva	Cuando uno de los motores del tren no está en funcionamiento.
RVFV	Reducción de Velocidad por Falla en Vías	Es cuando los compañeros de instalaciones fijas están supervisando las vías de los trenes.
C	Compresor	El significado del compresor es una parte del tren que está dedicada para el almacenamiento del aire y se encuentra en la parte baja del convoy.
DP	Descenso de presión	Es cuando los trenes tienen la presión de aire baja y emiten una señal.
SAS	Sistema Antifranquiamiento de Señal	Este equipo es para cortar la energía en las terminales y cuando el conductor quiere avanzar sin que le despachador le indique.

AR	Accionamiento de Ruptor (CUAT)	Es cuando se requiere de un corte de energía de urgencia en alta tensión.
RIE	Revisión de Instalación y/o Equipo (IF)	Los compañeros de instalaciones fijas revisan los equipos de las estaciones y verificando que estén funcionando correctamente.
Otros	Incidente menores	Fallas en lámparas, escaleras eléctricas, líneas de seguridad borradas, etc.

3.5. Conclusiones del Capítulo

Las conclusiones más relevantes del Capítulo es la distinción entre un accidente e incidente, lo cual es importante en este trabajo de tesis. Es decir, las consecuencias de los incidentes en nuestro caso de estudio repercuten fundamentalmente en una interrupción de operaciones del metro; en otras palabras, los retardos de las líneas.

El siguiente Capítulo 4, se presentan y discuten a detalles los incidentes y sus consecuencias.

CAPÍTULO 4 ANÁLISIS DE INCIDENTES EN EL METRO DE LA CDMX

Este capítulo presenta los resultados del análisis de incidentes ocurridos en el metro del periodo comprendido de enero-julio del 2015. La sección 4.1 presenta algunas consideraciones más importantes sobre el análisis; es decir, el concepto de incidente, así como la clasificación de las áreas claves del metro y la clasificación de los incidentes. Los resultados más relevantes sobre los incidentes se describen en la sección 4.2. Finalmente, la sección 4.3 se presentan las conclusiones más relevantes del Capítulo.

4.1. Algunas Consideraciones Sobre el Análisis

4.1.1 Incidentes y tipo de datos

En el capítulo III, se discutió sobre el concepto de accidentes e incidentes. Este trabajo se centra en un diagnóstico sobre los incidentes que han ocurrido en el sistema de transporte metro de enero-julio del 2015. (Un incidente se refiere a un evento que no tiene ninguna consecuencia en términos de lesiones ya sea menores, graves que hayan causado la muerte al personal).

El tipo de dato recopilación son los considerados como del tipo secundario; es decir datos que han sido recopilados por el metro. La cantidad de datos obtenidos fueron de aproximadamente 22,000 en un periodo de siete meses.

4.1.2 Nomenclatura usada por el metro

En el presente trabajo de tesis se empleará la clasificación de las áreas de metro de acuerdo con lo mostrado en la Tabla 4.1; es decir, el análisis cubre ocho áreas del metro.

Tabla 4.1 Clasificación de áreas en el metro (Metro, 2018).

Área	Descripción
I	En general se refiere a la gerencia de líneas dentro del metro
II	Se refiere a las instalaciones fijas como vías, etc.
III	Se refiere a todo lo relacionado con el material rodante
IV	Se encarga de todo aquello que es ajeno' al metro
V	Todo lo relacionado con la Seguridad industrial e higiene en el metro
VI	Todo aquello relacionado con una 'situación indefinida' en el metro
VII	Todo aquello relacionado con obras en las instalaciones del metro
VIII	Todo aquello relacionado con la vigilancia dentro del metro

La Tabla 4.2 muestra la clasificación que emplea el metro en el registro de sus incidentes. Con la finalidad de no crear confusión, en este proyecto se decidió mantener la misma clasificación en el análisis.

Tabla 4.2 Clasificación del tipo de incidentes ocurridos en el metro (Metro, 2018).

Tipo incidente	Descripción
APE	Accionamiento de Palanca de Emergencia (KFS)
PA	Pilotaje Automático
TDSD	Tren Desalojado para Satisfacer Demanda
P	Puertas
ROEV	Retiro de Objeto Extraño en Vías
TL	Tracción Lenta
AU	Afluencia de Usuarios
IL	Incidente en Línea (IF)
L	Lluvia
ZB	Zapatas/Balatas
EB	Elemento Apagado/Baja Tensión
MI	Motriz Inactiva
RVFV	Reducción de Velocidad por Falla en Vías
C	Compresor
DP	Descenso de Presión
SAS	Sistema Antifranqueamiento de Señal
AR	Accionamiento de Ruptor (CUAT)
RIE	Revisión de Instalación y/o Equipo (IF)
Otros	Incidentes menores

Las siguientes subsecciones presentan los resultados del análisis en el siguiente orden:

- Incidentes totales por línea
- Incidentes totales por tipo de incidente
- Incidentes por línea
- Incidentes por mes
- Incidentes por área (Tabla 4.1)

A continuación, se presentan los resultados de cada uno de los puntos listados anteriormente.

4.2. Resultados del análisis de incidentes en el metro

4.2.1 Incidentes totales y por línea

De acuerdo con el análisis, del periodo de enero-julio del 2015, ha habido un total de 17,887 incidentes relacionados con los listados en la Tabla 4.2 y mostrados en la distribución de la Fig. 4.1. Se observa claramente que las líneas más críticas con relación al número de incidentes son las líneas 1 y 3 con el 20.8% (3,722/17,887) y 17.92% (3,206/17,887), respectivamente. La línea 7 ocupa el tercer lugar con el 9.93% (N=1,776). Las líneas 4 y 6 resultaron los menos críticos, ambos con el 2.8% (504/17887).

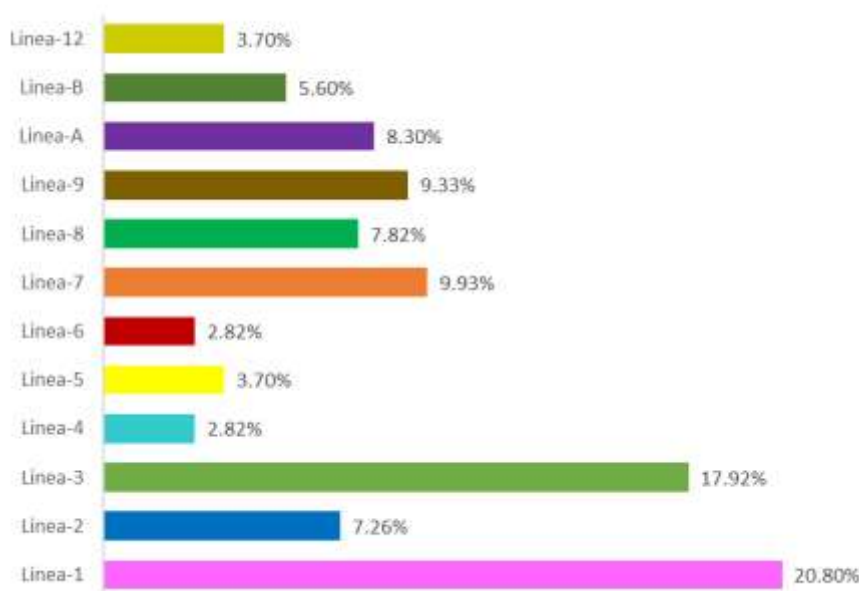


Figura 4.1 Incidentes totales de enero-julio del 2015.

La Fig. 4.2 muestra los resultados del total de incidentes que han ocurrido por el tipo de incidente de acuerdo con la clasificación del metro definido en la Tabla 4.2. La Tabla 4.3 muestra un resumen de los parámetros descriptivos de dichos incidentes. De la Fig. 4.2 se observa claramente que los incidentes catalogados dentro de la categoría “APE” (“Accionamiento de Palanca de Emergencia”) fueron los más críticos con el 20.53% (3,673/17,887) con una Media (M)=306.1 y Desviación Estándar (DE) = 302.16; a esta categoría le siguen los incidentes asociados con “PA” (“Pilotaje Automático”) y “TDSD” (“Tren Desalojado para Satisfacer Demanda”), los cuales representaron el 11.65% (M=173.7; DE=136.7) y 10.74% (M=240.12; DE=319), respectivamente. Los incidentes con una menor frecuencia de ocurrencia fueron los siguientes: “RIE” (“Revisión de Instalación

y/o Equipo”), y “AR” (“Accionamiento de Ruptor”), con el 1.33% (M=23.8; DE=24) y 1.40% (M=21; DE=16.90) respectivamente.

Tabla 4.3 Resumen de los parámetros estadísticos descriptivos de los incidentes

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación Estándar	Varianza
APE	12	4.00	941.00	306.0833	302.15783	91299.356
PA	12	11.00	469.00	173.6667	136.69165	18684.606
TDSD	8	2.00	767.00	240.1250	319.00938	101766.982
P	12	6.00	290.00	129.0833	96.00990	9217.902
ROEV	12	1.00	244.00	126.5833	64.60715	4174.083
TL	11	3.00	438.00	129.6364	159.06242	25300.855
AU	12	1.00	341.00	81.4167	110.57491	12226.811
IL	12	10.00	113.00	70.3333	32.18507	1035.879
L	11	1.00	125.00	72.0909	38.41472	1475.691
ZB	11	7.00	107.00	50.5455	32.70279	1069.473
EB	11	2.00	139.00	44.7273	44.39615	1971.018
MI	11	6.00	65.00	37.0909	21.91554	480.291
RVFV	5	2.00	127.00	60.8000	54.40312	2959.700
C	11	2.00	208.00	26.9091	61.18244	3743.291
DP	11	5.00	78.00	26.7273	24.14991	583.218
SAS	11	1.00	104.00	23.7273	33.27489	1107.218
AR	12	2.00	57.00	21.0000	16.87386	284.727
RIE	10	4.00	86.00	23.8000	24.04071	577.956

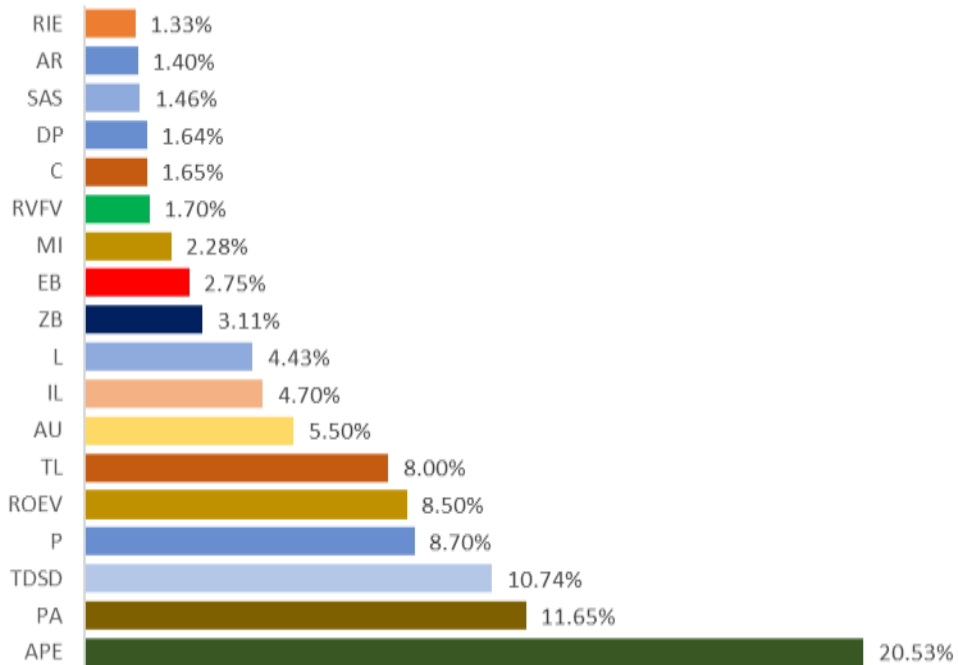


Figura 4.2 Distribución del total de incidentes ocurridos en metro de enero-julio del 2015.

4.1.2 Incidentes por línea

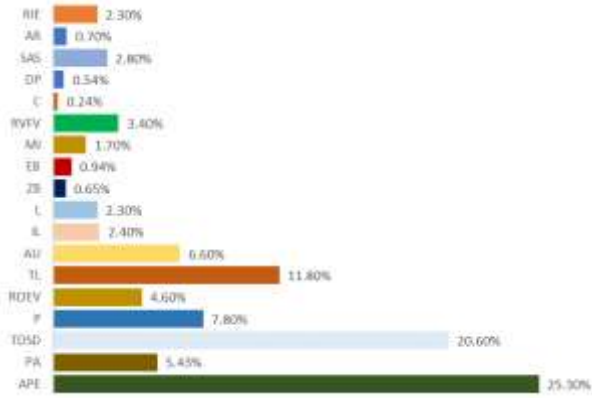
Esta subsección presenta los resultados del análisis sobre los incidentes ocurridos por cada línea del metro. La Tabla 4.4 resume los principales parámetros estadísticos de los incidentes ocurridos en cada línea del metro. La Fig. 4.3 presenta las distribuciones de los incidentes ocurridos en cada una de las líneas del metro.

Tabla 4.4 Resumen de los parámetros estadísticos descriptivos de cada línea

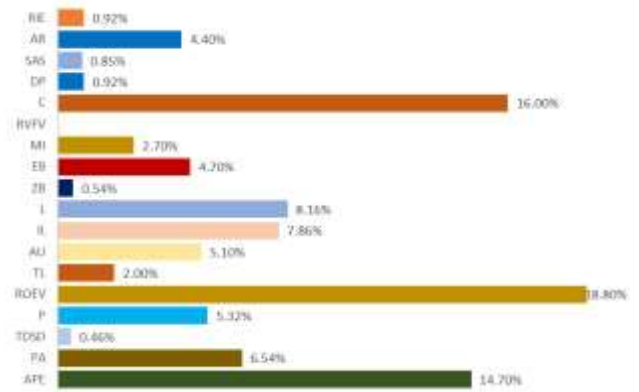
	N	Rango	Mínimo	Máximo	Media	Desviación Estándar	Varianza
Linea-1	19	932.00	9.00	941.00	240.3684	293.68487	86250.801
Linea-2	18	519.00	6.00	525.00	101.2778	127.79202	16330.801
Linea-3	19	778.00	4.00	782.00	208.4211	260.02891	67615.035
Linea-4	16	124.00	2.00	126.00	39.3750	34.30233	1176.650
Linea-5	18	264.00	2.00	266.00	51.3333	62.20460	3869.412
Linea-6	17	183.00	1.00	184.00	40.4706	47.27991	2235.390
Linea-7	18	318.00	11.00	329.00	116.9444	96.83368	9376.761
Linea-8	18	332.00	2.00	334.00	91.1111	109.47731	11985.281
Linea-9	19	370.00	3.00	373.00	104.3158	102.76892	10561.450
Linea-A	17	468.00	1.00	469.00	100.0000	151.75474	23029.500
Linea-B	19	400.00	2.00	402.00	73.9474	103.39486	10690.497
Linea-12	9	418.00	2.00	420.00	93.0000	145.09135	21051.500

Como se mencionó en la sección anterior, la Línea-1, resultó ser la más crítica en el número de incidentes con un total de 3,772 (Media (M) =240.36; Desviación Estándar (DE) =293.7). La categoría de “APE” (“Accionamiento de Palancas de Emergencia”) resultó ser la más crítica con el 25.3% (941/3,722; véase Fig. 4.3a). Le siguen los incidentes relacionados con “TDSD” (“Tren Desalojado para Satisfacer Demanda”) con el 20.60% (767/3,772) y “TL” (“Tracción Lenta”) con el 11.8% (438/3,772). Los tres incidentes con menos ocurrencia en el periodo de análisis fueron los siguientes: “C” (“Compresor”) con el 0.24%; “DP” (“Descenso de Presión”) con el 0.54%; y finalmente “ZB” (“Zapatas/Balatas”) con el 0.65%.

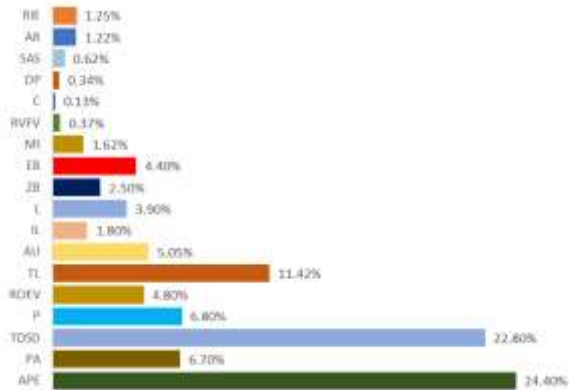
La Línea-2 ocupó el segundo lugar en el número de ocurrencia de incidentes con un total de 1,298 (M=101.3; DE= 127.8; véase Tabla 4.4 y Fig. 4.3b). Las tres categorías más críticas fueron las siguientes: “ROEV” (“Retiro de Objetos en Vías”) con el 18.8% (244/1,298), “C” (“Compresor”) con el 16%, y “APE” (“Accionamiento de Palancas de Emergencia”) con el 14.7%. Las dos categorías de incidentes con menos ocurrencia fueron: “TDSD” (0.46%) y “ZB” (0.54%). Finalmente, no se registraron incidentes en la categoría de “RVFV” (“Reducción de Velocidad por Fallas en Vías”).



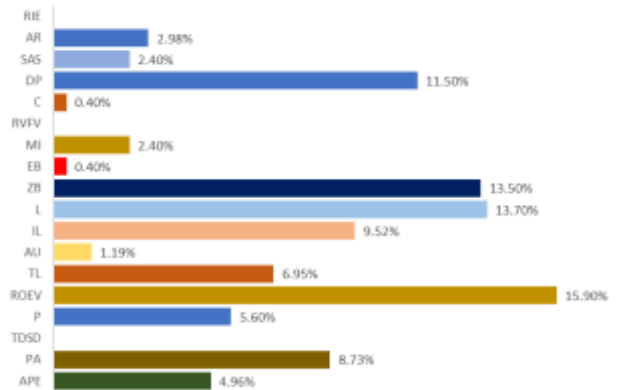
a). Linea-1



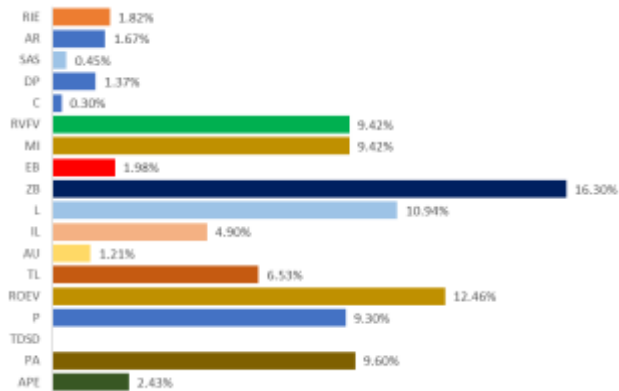
b). Linea-2



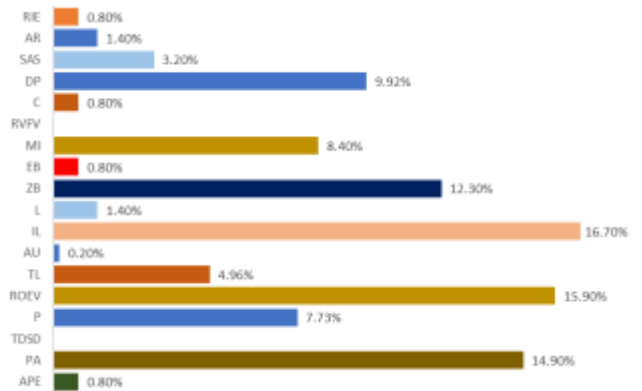
b). Linea-3



c). Linea-4



d). Linea-5



e). Linea-6

Figura 4.3 Incidentes ocurridos por cada línea del metro.

El total de incidentes ocurridos en la Línea-3 fue de 3,206 (M=208.42; DE= 260; véase Tabla 4.4 y Fig. 4.3c). Las tres categorías más críticas fueron las siguientes: “APE” (24.4%), “TDSD” (22.8%), y “TL” (11.42%). Las tres categorías de incidentes con menos frecuencia de ocurrencia fueron: “C” (0.13%), “DP” (0.34) y “RVPV” (0.37%).

El total de incidentes ocurridos en la Línea-4 fue de 504 (M=39.375; DE= 34.30; véase Tabla 4.4 y Fig. 4.3d). Las tres categorías con una mayor frecuencia de ocurrencia fueron las siguientes: “ROEV” (15.9%), “L” (“Lluvia”) (13.7%), y “ZB” (13.5%). Las dos categorías de incidentes con menos frecuencia de ocurrencia fueron las siguientes: “C” (0.4%) y “EB” (0.40%). Finalmente, cabe destacar que en las siguientes categorías no se registró ningún incidente: “RIE” (“Revisión de Equipo y/o Instalación”), “RVFV” (“Reducción de Velocidad por Fallas en Vías”) y “TDSD” (“Tren Desalojado para Satisfacer Demanda”).

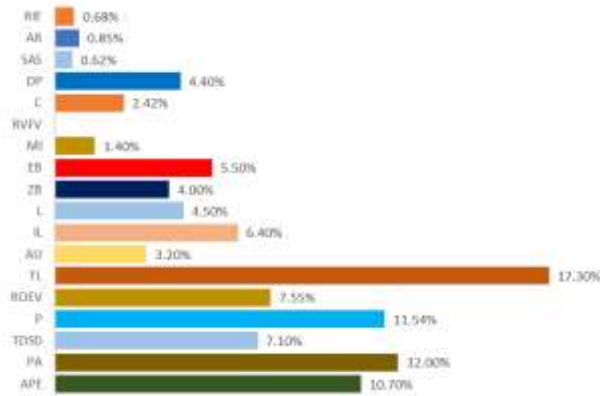
En la Línea-5 se registró un total de 658 incidentes (M=51.33; DE=62.20; véase Tabla 4.4 y Fig. 4.3e). Las tres categorías más críticas fueron las siguientes: “ZB” (16.3%), “ROEV” (12.46%), y “L” (10.94%). Las dos categorías de incidentes con menos frecuencia de ocurrencia fueron las siguientes: “C” (0.13%), y “SAS” (“Sistema Antifranqueamiento de Señal”) (0.45%). Finalmente, la categoría “TDSD” no se registró ningún incidente.

El total de incidentes ocurridos en la Línea-6 fue de 504 (M=40.47; DE= 47.3; véase Tabla 4.4 y Fig. 4.3f). Las tres categorías más críticas fueron las siguientes: “IL” (16.7%), “ROEV” (15.9%), y “PA” (14.9%). Las tres categorías de incidentes con menos frecuencia de ocurrencia fueron las siguientes: “C” y “EB” (“Elemento Apagado/Baja Tensión”) ambas con el 0.8% y “AU” (“Afluencia de Usuarios”) con el 0.2%. Finalmente, en las categorías “TDSD” y “RVFV” no se registró ningún incidente.

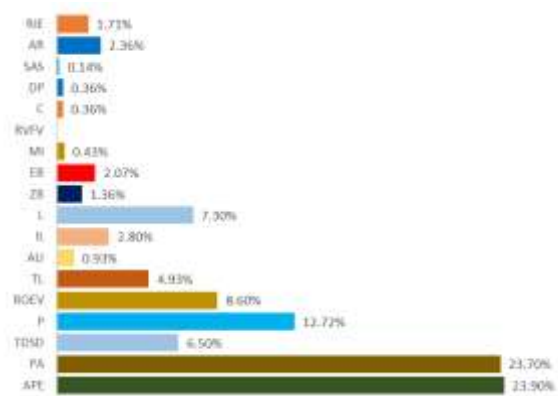
La Línea-7 registró 1,776 incidentes (M=116.95; DE= 96.83; véase Tabla 4.4 y Fig. 4.3g). Las tres categorías más críticas fueron las siguientes: “TL” (17.3%), “PA” (12%), y “PA” (11.54%). Las dos categorías de incidentes con menos frecuencia de ocurrencia fueron las siguientes: “SAS” (0.62%) y “RIE” (“Revisión de Instalación y/o Equipo”) con el 0.68%. Finalmente, en la categoría “RVFV” no registró ningún incidente.

La Línea-8 registró un total de 1,399 incidentes (M= 91.11; DE= 109.50; véase Tabla 4.4 y Fig. 4.3h). Las tres categorías más críticas fueron las siguientes: “APE” (23.9%), “PA” (23.7%), y “P” (12.72%). Las tres categorías de incidentes con menos frecuencia de

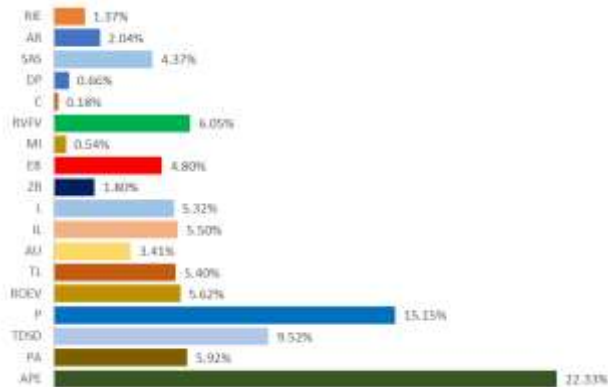
ocurrencia fueron las siguientes: “C” y “DP” ambas con el 0.36%, y “MI” (“Motriz Inactiva”) con el 0.43%. Finalmente, en la categoría “RVFV” no se registró ningún incidente.



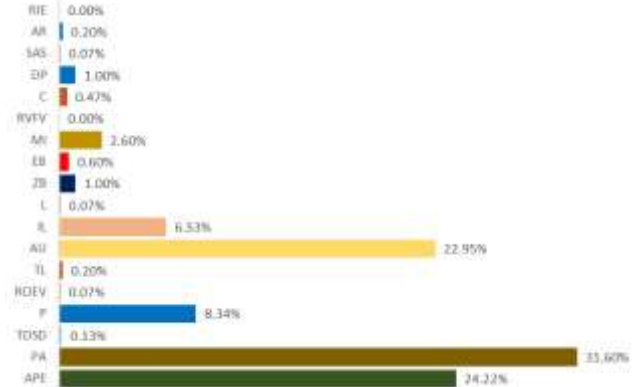
f). Linea-7



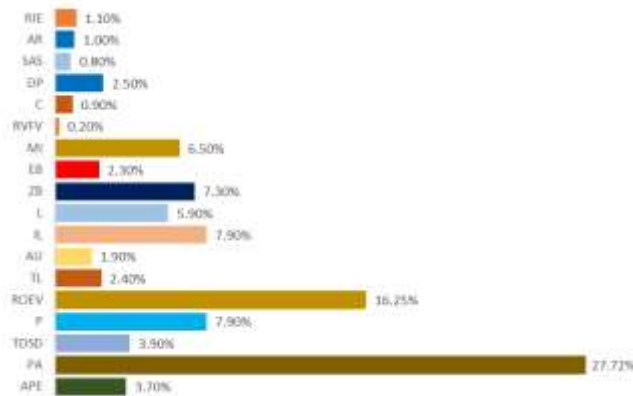
g). Linea-8



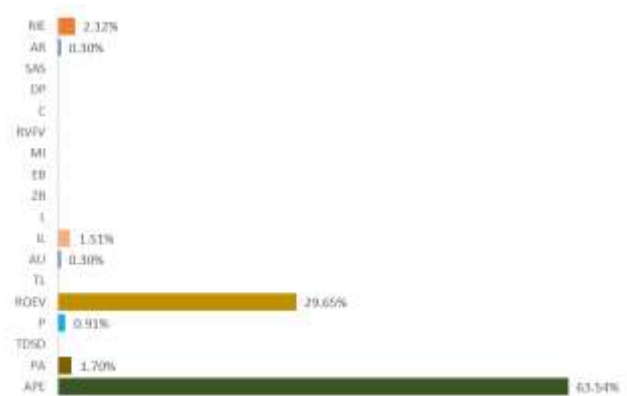
h). Linea-9



i). Linea-A



j). Linea-B



k). Linea-12

Figura 4.3 Continuación.

El total de incidentes ocurridos en La Línea-9 fue de 1,670 ($M=104.31$; $DE= 102.80$; véase Tabla 4.4 y Fig. 4.3i). Las tres categorías más críticas fueron las siguientes: “APE” (22.33%), “PA” (15.5%), y “P” (9.52%). Las tres categorías de incidentes con menos frecuencia de ocurrencia fueron: “C” (0.18%), “MI” (0.54) y “DP” (0.66%).

El total de incidentes ocurridos en la Línea-A fue de 1,486 ($M=100$; $DE= 151.80$; véase Tabla 4.4 y Fig. 4.3j). Las tres categorías más críticas fueron las siguientes: “PA” (31.6%), “APE” (24.22%), y “AU” (22.95%). Las tres categorías de incidentes con menos frecuencia de ocurrencia fueron: “SAS”, “L” y “ROEV” todas con el 0.07%. Finalmente, en las categorías “RIE” y “RVFV” no se registró ningún incidente.

El total de incidentes ocurridos en la Línea-B fue de 1,003 ($M=73.95$; $DE= 103.40$; véase Tabla 4.4 y Fig. 4.3k). Las tres categorías más críticas fueron las siguientes: “PA” (27.72%), “ROEV” (16.25%), y “IL” (7.90%). Las tres categorías de incidentes con menos frecuencia de ocurrencia fueron: “RVFV” (0.20%), “SAS” (0.8%) y “C” (0.9%).

En la Línea-12, el total de incidentes fue de 661 ($M=93$; $DE=145$; véase Tabla 4.4 y Fig. 4.3l). Las tres categorías más críticas fueron las siguientes: “APE” (63.54%), “ROEV” (29.65%), y “RIE” (2.12%). Las dos categorías de incidentes con menos frecuencia de ocurrencia fueron: “AU” (0.3%), “AR” (0.3%). Las categorías “SAS” (“Sistema Antifranqueamiento de Señal”), “DP” (“Descenso de Presión”), “C” (“Compresor”), “RVFV” (“Reducción de Velocidad por Falla en Vías”), “MI” (“Motriz Inactiva”), “EB” (“Elemento Apagado/Baja Tensión”), “ZB” (“Zapatillas/Balatas”), “L” (“Lluvia”), “TL” (“Tracción Lenta”) y “TDSD” (“Tren Desalojado para Satisfacer Demanda”) no registraron ningún incidente.

4.1.3 Incidentes por mes

La Fig. 4.4 muestra la distribución de los incidentes ocurridos durante el periodo de siete meses (17,887 incidentes). La Tabla 4.5 presenta un resumen de los parámetros descriptivos de los incidentes por mes.

De acuerdo con la figura los meses de mayo ($M=382.60$; $DE= 378.25$), junio ($M= 672.95$; $DE= 704.75$) y julio ($M= 579.60$; $DE= 624.60$) fueron los que registraron el mayor número de incidentes y en el siguiente orden, con el 16.75% (2995/17,887), 15.84% (2834/17,887), y 14.2% (2541/17887) respectivamente. En el mes de enero se registró el 12.3%.

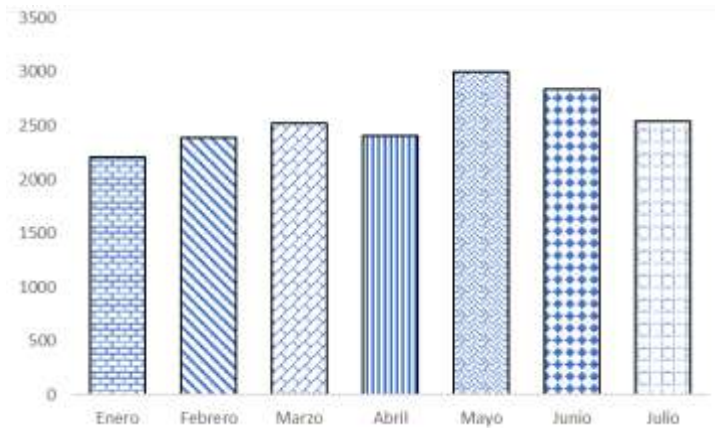


Figura 4.4 Incidentes ocurridos por mes.

Tabla 4.5 Resumen de los parámetros estadísticos de los incidentes por mes.

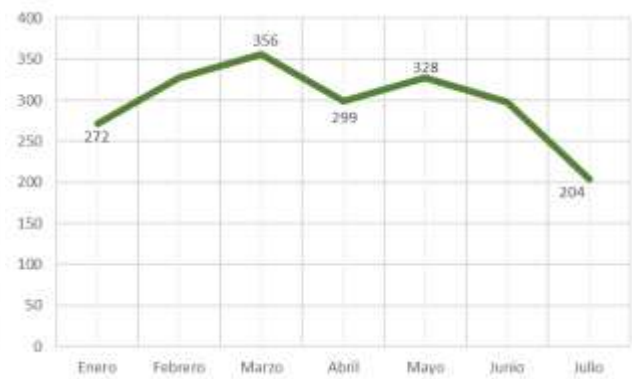
	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación Estándar	Varianza
ENE	18	15.00	1192.00	382.5556	378.25563	143077.320
FEB	17	34.00	1433.00	437.4118	412.89754	170484.382
MAR	17	31.00	1478.00	526.8824	516.98052	267268.860
ABR	18	36.00	1330.00	480.2778	446.49258	199355.624
MAY	18	62.00	5510.00	814.9444	1262.70454	1594422.761
JUN	18	55.00	2663.00	672.9444	704.75123	496674.291
JUL	18	74.00	2424.00	579.6111	624.55717	390071.663

La Fig. 4.5 muestra una distribución de cada una de las categorías de incidentes que han ocurrido en metro; todos ellos de acuerdo con el criterio de clasificación del metro mostrado en la Tabla 4.2.

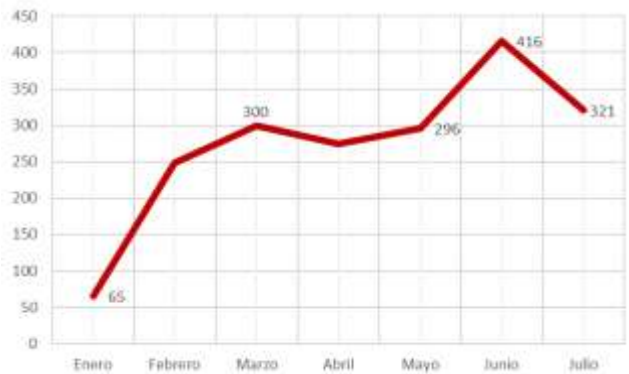
La Fig. 4.5a muestra la distribución del incidente “APE” durante el periodo de análisis. El mes de mayo (16.14%; 593/3,673) registró el número más alto de incidentes y enero el más bajo (12.6%; 463/3,673). La Fig. 4.5b muestra los resultados para el caso de la categoría “PA”. Se observa que una tendencia a la baja en la frecuencia de ocurrencia a partir del mes de mayo-julio con los siguientes porcentajes 15.7% (328/2,084), 14.3% (298/2,084) y 9.8% (204/2,084) respectivamente.

Los resultados de la distribución de incidentes para los casos de “TDSD” y “P” se muestran la Fig. 4.5c, d. Para el caso de la categoría “TDSD”, se observa una tendencia al alza en la frecuencia de ocurrencia de incidentes; por ejemplo, en el mes de enero se registró el

3.34% (65/1,921), alcanzando un máximo el mes de junio con el 21.7% (416). La Fig. 4.5d muestra que hay una tendencia a la baja para el caso de la categoría “P”. Dicha tendencia se observa a partir del mes de abril (15.75%; 244/1,921) a julio (10.9%).



a). “APE” (“Accionamiento de Palanca de Emergencia”) b). “PA” (“Pilotaje Automático”)



c). “TDSD” (“Tren Desalojado para Satisfacer Demanda”) d). “P” (“Puertas”)



e). “ROEV” (“Retiro Objeto Extraño Vías”)

f). “TL” (“Tracción Lenta”)

Figura 4.5 Incidentes ocurridos por cada línea del metro.

La Fig. 4.5e muestra la distribución del incidente “ROEV” durante el periodo de análisis. El mes de marzo registró el número más alto de incidentes (16.06%; 244/1,519) y los meses de junio y julio los más bajos, ambos con el 14.35%. La Fig. 4.5f muestra los resultados para el caso de la categoría “TL”. En general, se observa una tendencia al alza en la frecuencia de ocurrencia; por ejemplo, el mes de enero registró el más bajo número de incidentes (9.6%; 135/1,426) y alcanzando el número más alto en el mes de mayo 17.4%.

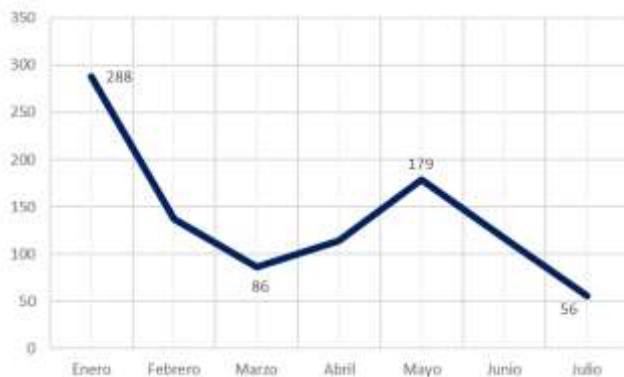
Los resultados de la distribución de incidentes relacionados con las categorías “AU” y “IL” se muestran en la Fig. 4.5g, h. Para el caso de la categoría “AU”, se observa claramente una tendencia a la baja en la frecuencia de ocurrencia de incidentes en el periodo de análisis; por ejemplo, en el mes de enero se registró el máximo de 29.5% (288/977) y un mínimo en el mes de julio del 5.7% (56). La Fig. 4.5h muestra que hay una tendencia a la baja para el caso de la categoría “IL”, pero no tan pronunciada como en el caso anterior. Dicha tendencia se observa a partir del mes de abril (16.6%; 140/844) a julio (15%).

La Fig. 4.5i muestra la distribución del incidente “L” durante el periodo de análisis y se observa una tendencia al alza. En el mes de enero se registró el número más bajo de incidentes (16.06%; 6/793) y los meses de mayo (30.64%; 243/793) y julio los más altos (22.6%). La Fig. 4.5j muestra los resultados para el caso de la categoría “ZB”. En general, se observa una tendencia al alza, aunque no tan pronunciada como en el caso anterior; por ejemplo, el mes de enero registró el más bajo número de incidentes (11.33%; 63/556) y alcanzando el número más alto en el mes de junio (17.4%).

Los resultados de la distribución de incidentes relacionados con las categorías “EB” y “MI” se muestran en la Fig. 4.5k, l. Por ejemplo, para el caso de la categoría “EB”, se observa claramente una tendencia a la baja; por ejemplo, en el mes de enero se registró el 17.1% (84/492) de incidentes y un 12.80% en el mes de julio. La Fig. 4.5l muestra también que hay una tendencia a la baja más pronunciada que en el caso anterior para el caso de la categoría “MI”. El mes de enero registró el 22.3% (91/408) de incidentes y el mes de julio el más bajo con el 11.5%.

La Fig. 4.5m muestra la distribución de la categoría de incidentes “RVFV” durante el periodo de análisis y se observa una tendencia al alza. En los meses de febrero y marzo no se registró ningún incidente y los meses de mayor ocurrencia fueron junio y julio con

112 (36.8%; 112/304) y 81 (26.6%) respectivamente. La Fig. 4.5n muestra los resultados para el caso de la categoría “C”. En general, se observa también una tendencia al alza, aunque no tan pronunciada como en el caso anterior; por ejemplo, el mes de enero registró el 13.50% (40/296) de incidentes y alcanzando el número más alto en el mes de julio (23%).



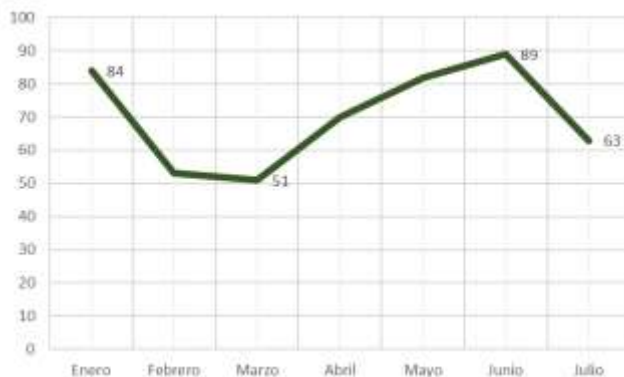
g). “AU” (“Afluencia de Usuarios”)

h). “IL” (“Incidente en Línea”)



i). “L” (“Lluvia”)

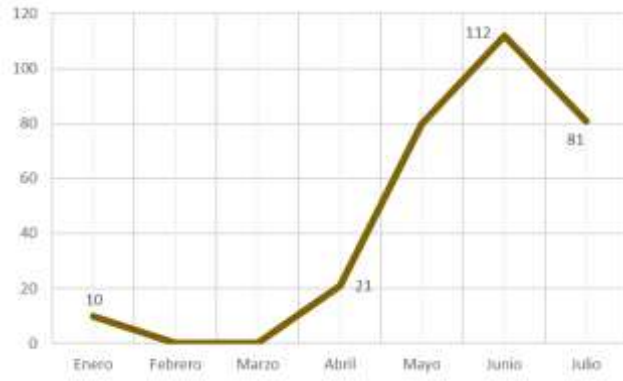
j). “ZB” (“Zapatas/Balatas”)



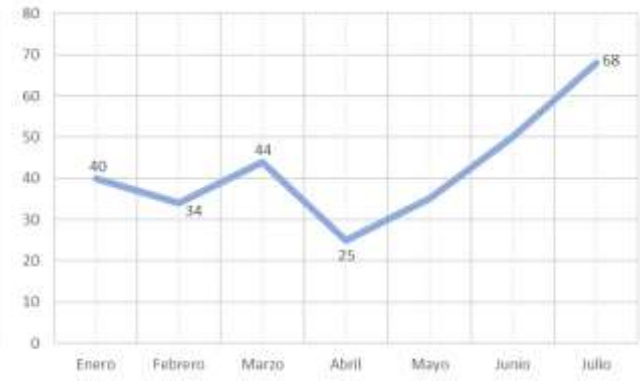
k). “EB” (“Elemento Apagado/Baja Tensión”)

l). “MI” (“Motriz Inactiva”)

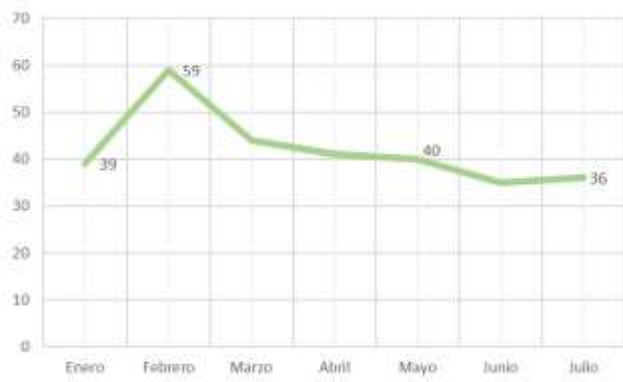
Figura 4.5 Continuación.



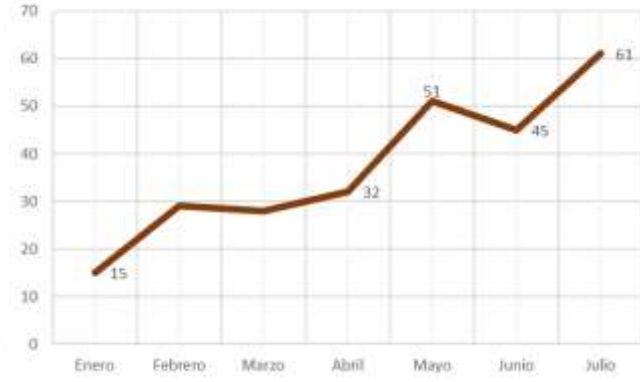
m). “RVFV” (“Reducción Velocidad Falla en Vías”)



n). “C” (“Compresor”)



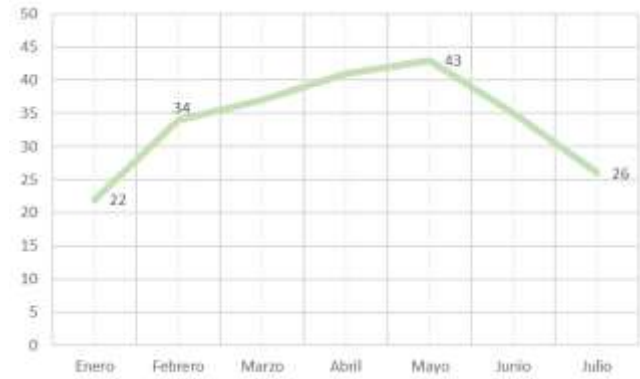
ñ). “DP” (“Descenso de Presión”)



o). “SAS” (“Sistema Señalamiento de Señal”)



p). “AR” (“Accionamiento de Ruptor”)



q). “RIE” (“Revisión Instalación y/o Equipo”)

Figura 4.5 Continuación.

Los resultados de la distribución de incidentes relacionados con las categorías “DP” y “SAS” se muestran en la Fig. 4.5ñ, o. Para el caso de la categoría “DP”, se observa claramente una tendencia a la baja a partir del mes de febrero registrando un total de 59 incidentes (20%; 59/294) y el mes de julio registró 36 (12.24%). La Fig. 4.5o muestra que hay una tendencia claramente al alza para el caso de la categoría “SAS”. Dicha tendencia se observa a partir del mes de enero (5.74%; 15/261) a julio (23.4%).

La Fig. 4.5p muestra la distribución de la categoría de incidentes “AR” durante el periodo de análisis y se observa una tendencia al alza. El mes de enero se registró el 13.09% (33/252) de incidentes y en el mes de julio se registró el más alto con el 23.4%. La Fig. 4.5q muestra los resultados para el caso de la categoría “RIE”. En general, se observa también una tendencia al alza muy pronunciada de enero-mayo con el 9.24% (22/238) y 18.06% respectivamente; a partir del mes de mayo a julio hay una caída de la frecuencia de incidentes.

4.1.4 Total de incidentes por área del metro

En la Tabla 4.1 se mencionaron las principales áreas del metro donde cada una de las categorías de incidentes tiene algún impacto (Fig. 4.6).

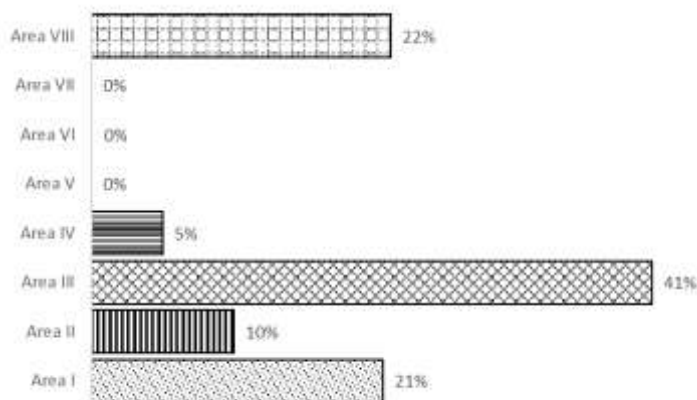


Figura 4.6 Total de incidentes por área en el metro.

De la figura se observa que el Área III (Todo lo relacionado con el material rodante) ha sido el más afectado por los incidentes con el 41%, seguido del Área VIII (relacionada con la vigilancia dentro del metro) con el 22% y el Área I (relacionado con la gerencia de líneas) con el 21%.

Las áreas menos afectadas fueron las siguientes: Área V (área de seguridad industrial e higiene), Área VI (área relacionada con una “situación indefinida” dentro del metro) y Área

VII (relacionada con obras en instalaciones del metro), con el 0.022%, 0.055% y 0%, respectivamente.

4.2. Consecuencias de los Incidentes

4.2.1 Retardos por línea

Esta sección presenta los resultados de la distribución de los tiempos de retardos causados por la interrupción de las operaciones del metro causados por los diferentes incidentes. La Fig. 4.7 muestra la distribución de los tiempos en minutos, horas y días del retardo para cada línea.

Por ejemplo, la Fig. 4.7a muestra la distribución del tiempo total de retardo causado por las categorías de incidentes descritos anteriormente. De la figura se observa que las líneas 1, 2 y 3 son las más afectadas por los retardos (en minutos) causados por las diferentes categorías de incidentes (13,653, 7,405 y 12,615 respectivamente).

También se observa que las líneas menos afectadas por los retardos fueron la línea-4 y 6 con 34.7 hrs y 24 hrs (véase la Fig. 4.7b) respectivamente.

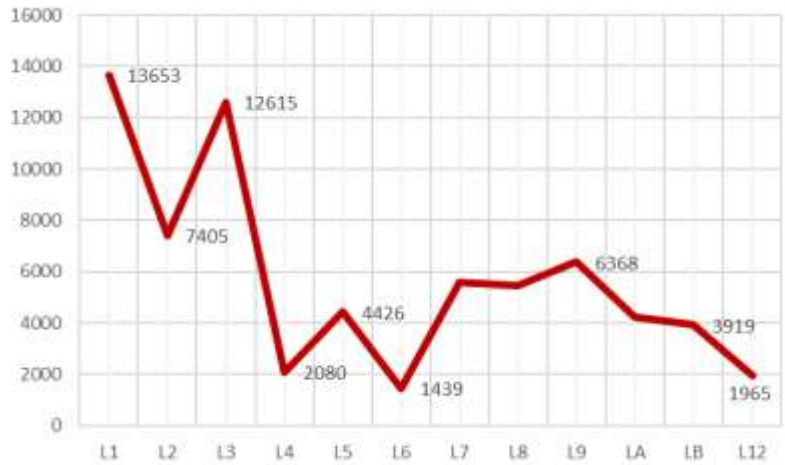
Finalmente, la Fig. 4.7c muestra el equivalente de los minutos perdidos en días. Las tres líneas que más tiempo se ha perdido en días fueron las siguientes (y en este orden): Línea-1 (9.5 días), Línea-3 (8.8 días), y Línea-2 (5.15 días). Las líneas en que menos tiempo de retraso causados por las diferentes categorías de incidentes fueron las siguientes: Línea-4 (1.45 días), Línea-12 (1.4 días), y Línea-6 (1 día).

4.2.2 Retardos por diferentes categorías de incidentes

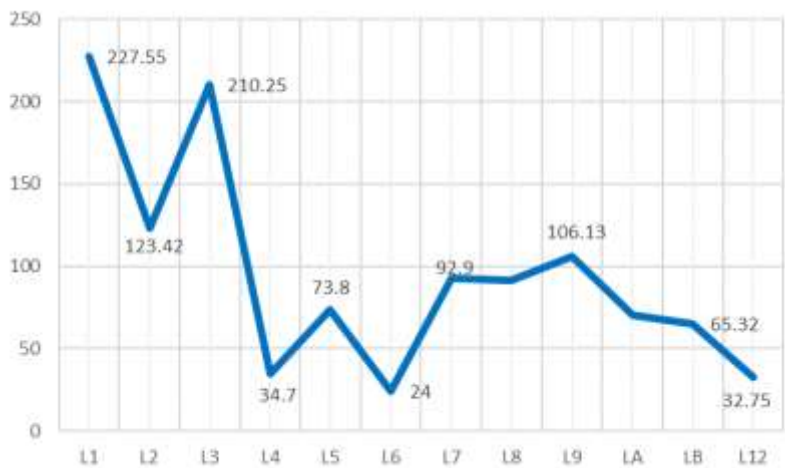
La sección 4.1.2 presentó los resultados de la frecuencia de ocurrencia de las diferentes categorías de incidentes que han ocurrido en el metro. En esta sección se presentan los resultados del impacto (retardos en las líneas) que han tenido cada una de las categorías de incidentes, y los resultados se muestran en la Fig. 4.8a-c.

La Fig. 4.8a muestra los tiempos de retardo en minutos, y se observa que la categoría asociada con al “Lluvia” es la que ha ocasionado más retardos en el metro de la Cd. En esta categoría se ha perdido un total de 13,451 minutos (Fig. 4.8a), equivalentes a 224 hrs (Fig. 4.8b) y 9.34 días (Fig. 4.8c). Le siguen a esta categoría las relacionadas con “APE” (“Accionamiento de Palanca de Emergencia”) y “TDSD” (“Tren Desalojado para Satisfacer Demanda”), con los siguientes tiempos de retraso: “APE” (9,887 min; 164.8 hrs; 6.9 días), y “TDSD” (7,617 min; 126.95 hrs; 5.3 días).

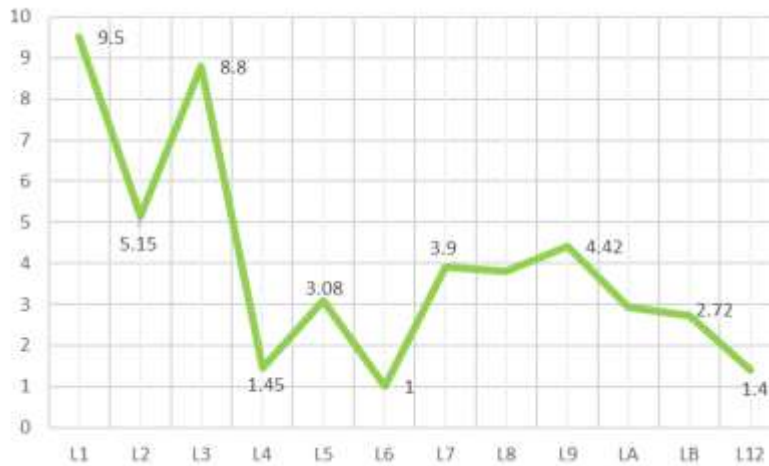
Las categorías de incidentes con menor afectación con relación a los retardos del metro fueron los siguientes: “RIE” (Revisión Instalación y/o Equipo”) con 941 min; 15.7 hrs; y 0.65 días; “AR” (Accionamiento de Ruptor) con 602 min, 10 hrs, 0.42 días; y “SAS” (Sistema Señalamiento Señal) con 310 min, 5.2 hrs, y 0.21 días.



a). Tiempo total de retardos por línea en Minutos.



b). Tiempo total de retardos por línea en Horas.



c). Tiempo total de retardos por línea en Días

Figura 4.7 Incidentes ocurridos por cada línea del metro.

En relación las deficiencias de las líneas más críticas (sección 4.1.1) ha habido una gran cantidad de reportes en los medios de comunicación masiva sobre estas deficiencias. Una explicación de lo anterior puede deberse a que la infraestructura (instalaciones fijas, eléctricas, sistemas de control, etc., véase Tabla 4.2) de las líneas 1, 2 y 3 se han degradado por la antigüedad de las líneas; además, la falta de mantenimiento agrava aún más la situación de estas líneas. Por ejemplo, Robles (2015), reporta sobre las deficiencias de estas líneas:

“Las líneas 1,2 y 3 del Metro de la ciudad de México tienen una antigüedad, en promedio, de casi 46 años, por lo que requieren una actualización tecnológica para hacer frente a la obsolescencia de los equipos y brindar un mejor servicio, establece el diagnóstico que presentó un par de días el nuevo titular del Sistema de Transporte Colectivo (STC) Metro”

De manera similar, el líder sindical en el año 2015 manifestó de la urgencia de dar mantenimiento en las líneas 1,2 y 12 ya que dichas instalaciones están muy deterioradas. Además, el líder del sindicato afirmó que (Expansión, 2015):

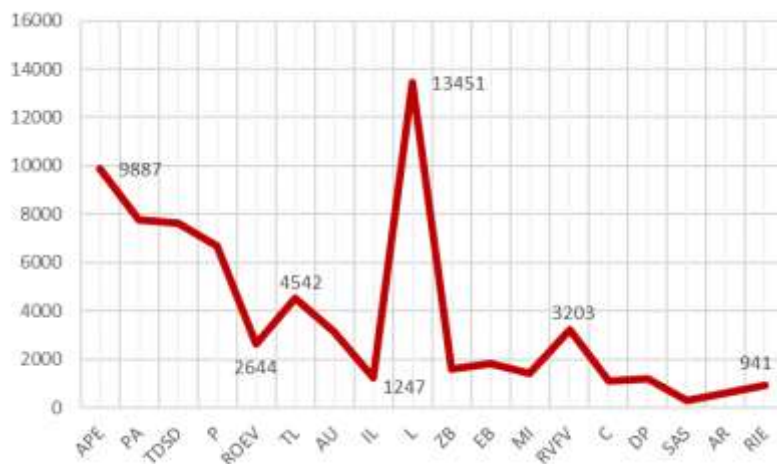
“La línea uno está prácticamente a punto de un incidente grave, hay que rehabilitarla en su totalidad”.

En cuanto a la categoría “L” (“Lluvia), que resultó ser la que más afecta en los retardos de las líneas del metro, hay una gran evidencia en los medios de comunicación masiva sobre las afectaciones causadas por la lluvia. Por ejemplo, en el portal de la Asamblea Legislativa del D.F., el Diputado Orlando Anaya, argumentó lo siguiente (ALDF, 2015):

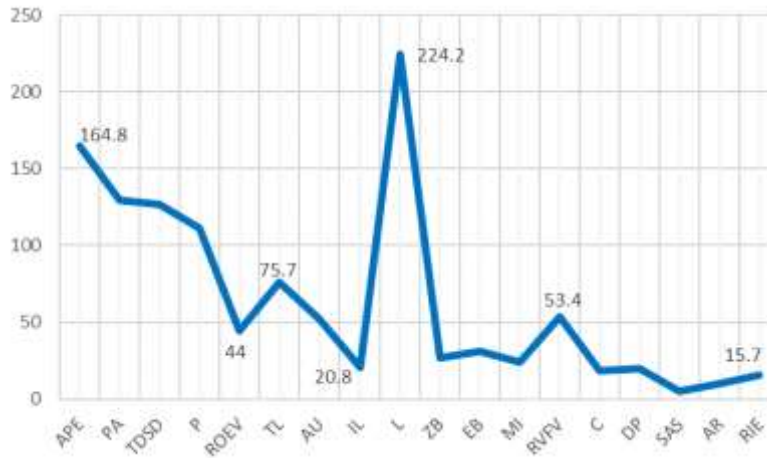
“Las crisis más fuertes por lluvias que se vivieron en el Metro el año pasado comenzaron desde mayo, cuando debido a la saturación en la red del drenaje, el agua ingresó desde el exterior a pasillos de las estaciones Cuatro Caminos, Panteones y Tacuba de la Línea 2 alcanzando hasta 15 cm de altura. Esta semana en el DF ya comenzamos con las primeras lluvias fuertes del año, y debido al cambio climático que vivimos resulta complicado saber con exactitud cuándo se pueden presentar tormentas, por lo que el Metro debe de estar preparado para no sufrir afectaciones, garantizar el servicio y proteger a los usuarios”

Además, declaró también:

“Cuando llueve, el promedio de retraso va de los 50 a los 70 minutos, lo que afecta gravemente a los usuarios que se ven perjudicados para llegar a sus centros laborales, escolares o cualquier destino. Además de la espera que ocasionan las aglomeraciones, ya que, debido a la cantidad de personas, resulta imposible abordar un tren, por lo que se debe esperar aún más. Es muy importante, garantizar el abasto de trenes; enviar trenes vacíos que ayuden a la movilización de las personas en las estaciones en las que se presentan mayor cantidad de personas” (ALDF, 2015).



a). Tiempo total de retardos por categoría de incidentes en Minutos.



b). Tiempo total de retardos por categoría de incidentes en Horas.



c). Tiempo total de retardos por categoría de incidentes en Días.

Figura 4.8 Incidentes ocurridos por cada línea del metro.

4.3. Conclusiones del Capítulo

Este capítulo presenta algunos resultados sobre un análisis de las principales causas de incidentes que han ocurrido en el metro. En particular los datos son del periodo de seis meses del año 2005. La sección 4.1 presenta algunas consideraciones sobre el análisis; es decir el concepto de incidente, así como la clasificación de las áreas claves del metro y la clasificación de los incidentes. Finalmente, la sección 4.2 se presentan los resultados estadísticos sobre los incidentes ocurridos en el metro de enero-julio del 2015.

CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES Y FUTURO TRABAJO

En el Capítulo 1 se ha presentado la problemática y la justificación del proyecto de tesis. La revisión de la literatura en relación con la importancia y aspectos negativos sobre los sistemas de transporte masivos como es el caso del metro, así como investigaciones reportadas en la literatura sobre incidentes, accidentes y enfoques en la gestión de incidentes, se han reportado en el Capítulo 2. En el Capítulo 3, se presentaron el contexto espacial y temporal del caso de estudio, así como una descripción de las principales variables consideradas en el análisis de los incidentes ocurridos en el metro. Los resultados del análisis de los incidentes se discuten en el Capítulo 4. En este último capítulo se presentan las principales conclusiones del trabajo de investigación. El Capítulo está organizado como sigue: la sección 5.1 presenta las principales conclusiones sobre los incidentes ocurridos en cada línea del metro para el periodo de análisis. La sección 5.2 presenta las conclusiones más relevantes sobre el análisis de las consecuencias de los incidentes, es decir de los retardos en la operación del metro. Las limitaciones más relevantes del estudio se presentan en la sección 5.3. Finalmente, la sección 5.4 presenta los futuros trabajos de investigación.

5.1. Conclusiones

5.1.1 Relación con los Incidentes Totales y por Línea

- a) De acuerdo con el análisis, del periodo de enero-julio del 2015, ha habido un total de 17,887 incidentes relacionados con los listados en la Tabla 4.2 del Capítulo 4.
- b) Las líneas más críticas con relación al número de incidentes son las líneas 1 y 3 con el 20.8% (3,722/17,887) y 17.92% (3,206/17,887), respectivamente. La línea 7 ocupa el tercer lugar con el 9.93% (N=1,776).
- c) Las líneas 4 y 6 resultaron los menos críticos, ambos con el 2.8% (504/17887).

5.1.2 Relación a Incidentes Totales por Tipo de Incidente

- a) Los incidentes catalogados dentro de la categoría “APE” (“Accionamiento de Palanca de Emergencia”) fueron los más críticos con el 20.53% (3,673/17,887) con una Media (M)=306.1 y Desviación Estándar (DE) = 302.16; a esta categoría le siguen los incidentes asociados con “PA” (“Pilotaje Automático”) y “TDSD” (“Tren Desalojado para

Satisfacer Demanda”), los cuales representaron el 11.65% (M=173.7; DE=136.7) y 10.74% (M=240.12; DE=319), respectivamente.

- b) Los incidentes con una menor frecuencia de ocurrencia fueron los siguientes: “RIE” (“Revisión de Instalación y/o Equipo”), y “AR” (“Accionamiento de Ruptor”), con el 1.33% (M=23.8; DE=24) y 1.40% (M=21; DE=16.90) respectivamente.

5.1.3 Incidentes por Línea

a) Línea-1:

- ✓ La categoría de “APE” (“Accionamiento de Palancas de Emergencia”) resultó ser la más crítica con el 25.3%. Le siguen los incidentes relacionados con “TDSD” (“Tren Desalojado para Satisfacer Demanda”) con el 20.60% y “TL” (“Tracción Lenta”) con el 11.8%.
- ✓ Los tres incidentes con menos ocurrencia en el periodo de análisis fueron los siguientes: “C” (“Compresor”) con el 0.24%; “DP” (“Descenso de Presión”) con el 0.54%; y finalmente “ZB” (“Zapatillas/Balatas”) con el 0.65%.

b) Línea-2:

- ✓ Las tres categorías más críticas fueron las siguientes: “ROEV” (“Retiro de Objetos en Vías”) con el 18.8%, “C” (“Compresor”) con el 16%, y “APE” (“Accionamiento de Palancas de Emergencia”) con el 14.7%.
- ✓ Las dos categorías de incidentes con menos ocurrencia fueron: “TDSD” (0.46%) y “ZB” (0.54%).
- ✓ Finalmente, no se registraron incidentes en la categoría de “RVFV” (“Reducción de Velocidad por Fallas en Vías”).

c) Línea-4:

- ✓ Las tres categorías con una mayor frecuencia de ocurrencia fueron las siguientes: “ROEV” (15.9%), “L” (“Lluvia”) (13.7%), y “ZB” (13.5%).
- ✓ Las dos categorías de incidentes con menos frecuencia de ocurrencia fueron las siguientes: “C” (0.4%) y “EB” (0.40%).
- ✓ Finalmente, cabe destacar que en las siguientes categorías no se registró ningún incidente: “RIE” (“Revisión de Equipo y/o Instalación”), “RVFV” (“Reducción de Velocidad por Fallas en Vías”) y “TDSD” (“Tren Desalojado para Satisfacer Demanda”).

d) Línea-5:

- ✓ Las tres categorías más críticas fueron las siguientes: “ZB” (16.3%), “ROEV” (12.46%), y “L” (10.94%).
- ✓ Las dos categorías de incidentes con menos frecuencia de ocurrencia fueron las siguientes: “C” (0.13%), y “SAS” (“Sistema Antifranqueamiento de Señal”) (0.45%). Finalmente, la categoría “TDSD” no se registró ningún incidente.

5.1.4 Relación con Incidentes por mes

a) Los meses de mayo (M=382.60; DE= 378.25), junio (M= 672.95; DE= 704.75) y julio (M= 579.60; DE= 624.60) fueron los que registraron el mayor número de incidentes y en el siguiente orden, con el 16.75% (2995/17,887), 15.84% (2834/17,887), y 14.2% (2541/17887) respectivamente.

5.1.5 Total de incidentes por área del metro

- b) De la figura se observa que el Área III (Todo lo relacionado con el material rodante) ha sido el más afectado por los incidentes con el 41%, seguido del Área VIII (relacionada con la vigilancia dentro del metro) con el 22% y el Área I (relacionado con la gerencia de líneas) con el 21%.
- c) Las áreas menos afectadas fueron las siguientes: Área V (área de seguridad industrial e higiene), Área VI (área relacionada con una “situación indefinida” dentro del metro) y Área VII (relacionada con obras en instalaciones del metro), con el 0.022%, 0.055% y 0%, respectivamente.

5.2. Conclusiones sobre las consecuencias de los incidentes

5.2.1 Retardos por línea

- a) Las líneas 1, 2 y 3 son las más afectadas por los retardos (en minutos) causados por las diferentes categorías de incidentes (13,653, 7,405 y 12,615 respectivamente).
- b) Las líneas menos afectadas por los retardos fueron la línea-4 y 6 con 34.7 hrs y 24 hrs (véase la Fig. 4.7b) respectivamente.

- c) Las tres líneas que más tiempo se ha perdido en días fueron las siguientes (y en este orden): Línea-1 (9.5 días), Línea-3 (8.8 días), y Línea-2 (5.15 días).
- d) Las líneas en que menos tiempo de retraso causados por las diferentes categorías de incidentes fueron las siguientes: Línea-4 (1.45 días), Línea-12 (1.4 días), y Línea-6 (1 día).

5.2.2 Retardos por diferentes categorías de incidentes

- a) La categoría asociada con al “Lluvia” es la que ha ocasionado más retardos en el metro de la Cd. En esta categoría se ha perdido un total de 13,451 minutos (Fig. 4.8a), equivalentes a 224 hrs (Fig. 4.8b) y 9.34 días (Fig. 4.8c). Le siguen a esta categoría las relacionadas con “APE” (“Accionamiento de Palanca de Emergencia”) y “TDSD” (“Tren Desalojado para Satisfacer Demanda”), con los siguientes tiempos de retraso: “APE” (9,887 min; 164.8 hrs; 6.9 días), y “TDSD” (7,617 min; 126.95 hrs; 5.3 días).
- b) Las categorías de incidentes con menor afectación con relación a los retardos del metro fueron los siguientes: “RIE” (Revisión Instalación y/o Equipo”) con 941 min; 15.7 hrs; y 0.65 días; “AR” (Accionamiento de Ruptor) con 602 min, 10 hrs, 0.42 días; y “SAS” (Sistema Antifranquiamiento Señal) con 310 min, 5.2 hrs, y 0.21 días.

5.3 Limitaciones

Las principales limitaciones de este proyecto de tesis fueron las siguientes:

- a) Los tipos de datos empleados en este análisis fue la relacionada con la calidad de los datos sobre los incidentes en el análisis. Es decir, se usaron datos del tipo secundario, es decir, datos que ya se han compilado por parte del Metro.
- b) Debido a lo anterior, se tiene la desventaja de la validez y confiabilidad de los datos y en consecuencia la validez de los resultados presentados en este reporte.

5.4. Futuros Trabajos

Con base en la investigación realizada y las conclusiones generadas, se plantean los siguientes futuros trabajos:

- a) Analizar los datos sobre los incidentes ocurridos en el semestre de agosto-diciembre del año 2015.
- b) Analizar los incidentes ocurridos en los años 2015-2018.

Referencias Bibliográficas

- ALDF (Asamblea Legislativa del DF). (2015). Riesgo de colapso en el STC Metro por lluvias. Acceso en: <http://aldf.gob.mx/comsoc-riesgo-colapso-stc-metro-por-lluvias--20870.html> [Fecha de Acceso: 20 de agosto de 2018].
- Badland H, Schofield G. (2005). Transport, urban design, and physical activity: an evidence-based update. *Transportation Research*, D 10:177–196.
- Balducelli, C., D'Esposito, C. (2000). Genetic agents in an EDSS system to optimize resources management and risk object evacuation. *Safety Science*, vol. 35 (13), 59–73.
- Berglund B, Lindvall T, Schwela DH (eds.) (1999). *Guidelines for community noise*. World Health Organization, Geneva.
- CCOO (Comisión Obrera nacional de Catalunya). (2008). Accidentes e incidentes de trabajo. Fundación para la Prevención de riesgos laborales. Catalunya, 2008.
- de Dios Ortuzar J, Willumsen L.G. (2001). *Modelling transport*, 3rd edn. Wiley, Chichester.
- Ding, L., Zhang, L., Wu, X., Skibniewski, M. J., & Qunzhou, Y. (2014). Safety management in tunnel construction: Case study of Wuhan metro construction in China. *Safety Science*, vol. 62, 8-15.
- Ding, X., Yang, X., Hu, H., & Liu, Z. (2017). The safety management of urban rail transit based on operation fault log. *Safety Science*, vol. 94, 10-16.
- Dorland C, Jansen HMA (1997) *ExternE Transport – the Netherlands*. Dutch case studies on transport externalities. Institute for Environmental Studies (IVM), Free University, Amsterdam.
- ERRAC (European Rail Research Advisory Council) and UITP (International Association of Public Transport). (2009). *Metro, Light Rail and Tram Systems in Europe*, ERRAC Roadmaps, http://www.uitp.org/files/ERRAC_MetroLR_&TramSystemsinEurope.pdf. [Fecha de Acceso: 20 de octubre 2018].
- Expansión. (2015). Tres líneas del Metro requieren mantenimiento urgente: Sindicato. Acceso en: <https://expansion.mx/nacional/2015/05/19/tres-lineas-del-metro-requieren-mantenimiento-urgente-sindicato> [Fecha de Acceso: 20 de agosto de 2018].
- Eyre NJ, Ozdemiroglu E, Pearce DW, Steele P (1997) Fuel and location effects on the damage costs of transport emissions. *Journal of Transport Economic Policy*, 31:5–24.
- Google-map. (2018). Mapa de la CDMX. Acceso en: <https://www.google.com.mx/maps/place/Ciudad+de+M%C3%A9xico,+CDMX/@19.3882347,-99.3096658,10.69z/data=!4m5!3m4!1s0x85ce0026db097507:0x54061076265ee841!8m2!3d19.4326077!4d-99.133208>. [Fecha de Acceso: 10 de septiembre 2018].

- Graham, D.J., Couto, A., Adeney, W.E., Glaister, S. (2003). Economies of scale and density in urban rail transport: effects on productivity. *Transportation Research Part-E*, vol. 39, 443–458.
- Haddad, E.A., Hewings, G.J.D., Porsse, A.A., Van Leeuwen, E.S., & Vieira, R.S. (2013). The underground economy: Tracking the wider impacts of the Sao Paulo subway system. NEREUS (The University of Sao Paulo Regional and Urban Economics Lab.), Brazil.
- Heinrich, H. W. (1931). *Industrial accident prevention: A scientific approach*. New York, NY: McGraw-Hill.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2009). *Síntesis Metodológica de la Estadística de Accidentes de Tránsito Terrestre en Zonas Urbanas y Suburbanas (ATUS)*. México.
- Johansen, O.B. (1975). *Introducción a la teoría general de sistemas*. Limusa, México.
- Johnson, D., McSween, T. E., & Polluck, R. (2016, June 27–29). Applying systems thinking to improve safety. Proceedings of the ASSE Professional Development Conference and Exposition, Atlanta, GA.
- Konig, H. and Heipp, G. (2012). *The Modern Tram in Europe: Research Report*. Munich: Municher Verkehrsgesellschaft GMBH (MVG).
- Krause, T. R., & Murray, G. (2012, June 3–6). On the prevention of serious injuries and fatalities. Proceedings of the ASSE Professional Development Conference and Exposition, Denver, CO.
- Kyriakidis, M., Hirsch, R., & Majumdar, A. (2012). Metro railway safety: An analysis of accident precursors. *Safety Science*, vol. 50, 1535-1548.
- Macías, R. (2017). *Miles quedaron sin transporte por falta de metro*. Acceso en: <https://www.la-prensa.com.mx/metropoli/155527-miles-quedan-sin-transporte-por-falta-de-metro> [Fecha de acceso: 14 de octubre 2018].
- Malott, R. W., & Shane, J. T. (2016). *Principles of Behavior*. New York, NY: Routledge.
- Manuele, F. A. (2002). *Heinrich revisited: Truisms or myths*. Itasca, IL: National Safety Council.
- McSween, T. & Moran, D.J. (2017). Assessing and preventing serious incidents with behavioural science: Enhancing Heinrich's triangle for the 21st Century. *Journal of Organizational Behaviour Management*, vol. 37, Nos. 3-4, 283-300.
- Meadows D.L. (1972). *The Limits to growth – A report for the club of Rome project*. Universe Books, New York.
- Musso, A., & Vuchic, V.R. (1998). Characteristics of Metro Networks and Methodology for Their Evaluation, *Transportation Research Record*, 1162, 22-38.
- Newman, P. and Kenworthy, J. (2011). Peak car use: Understanding the demise of automobile dependence. *World Transport Policy and Practice* 17 (2), p. 32–42.
- Newman, P., Boyer, H. and Beatley, T. (2009). *Resilient Cities: Responding to Peak Oil and Climate Change*. Washington, DC: Island Press.

- Newman, P., Kenworthy, J. (2015). *The end of automobile dependence-How cities are moving beyond car-based planning*. Island Press, London, UK.
- Newton PN (ed.) (1997) *Reshaping cities for a more sustainable future – exploring the link between urban form, air quality, energy and greenhouse gas emissions*. Research Monograph 6, Melbourne: Australian Housing and Research Institute (AHURI). Acceso en: [http://www.ea.gov.au/atmosphere/airquality/urban-air/urban air docs.html](http://www.ea.gov.au/atmosphere/airquality/urban-air/urban%20air%20docs.html). [Fecha de acceso: 20 octubre 2018].
- NOM (Norma Oficial Mexicana). (2005). Norma Oficial Mexicana NOM-019-STPS-2004, Constitución, organización y funcionamiento de las comisiones de seguridad e higiene en los centros de trabajo. Diario Oficial, México.
- Páramo, A. (2017). Así fue el caos en la Línea 3 del metro. Acceso en: <https://www.excelsior.com.mx/comunidad/2017/03/04/1149974#imagen-7> [Fecha de Acceso: 10 de septiembre 2018].
- Puentes, R. and Tomer, A. (2009). *The Road Less Travelled: An Analysis of Vehicle Miles Travelled Trends in the U.S. Metropolitan Infrastructure Initiative Series*. Washington, DC: Brookings Institute.
- Robles, J. (2015). Falta mantenimiento a líneas 1,2 y 3 del Metro, reconocen. Acceso en: <https://www.eluniversal.com.mx/articulo/metropoli/df/2015/08/14/falta-mantenimiento-lineas-1-2-y-3-del-metro-reconocen> [Fecha de Acceso: 20 de agosto de 2018].
- Sivak, M. (2015). *Has Motorization in the U.S. Peaked? Part 7 Update through 2013*: University of Michigan Transportation Research Institute. Report no. UMTRI-2015-10. March. Available from: www.umich.edu/~umtriswt/PDF/UMTRI-2015-10_Abstract_English.pdf [Accessed 28 Mar 2015].
- Stanley, J. and Barret, S. (2010). *Moving People—Solutions for a Growing Australia: Report*. Canberra/Brussels: Australasian Railway Association / Bus Industry Confederation, International Association of Public Transport (UITP).
- STCM (Sistema de Transporte Colectivo Metro). (2018). *Cronología del metro*. Acceso en: <https://www.metro.cdmx.gob.mx/operacion/cronologia-del-metro> [Fecha de Acceso: 07 septiembre 2018].
- STCM. (1990). *Manual para la elaboración de reportes para trabajadores del STC*. CDMX.
- Sun, D.J., & Guan, S. (2016). Measuring vulnerability of urban metro network from line operation perspective. *Transportation Research, Part A*, 94, 348-359.
- UNHABITAT (United Nations Human Settlements Programme). (2013). *Planning and design for sustainable urban mobility-Global report on human settlements 2013*. Routledge.
- Van Wee B (2007) *Environmental effects of urban traffic*. In: Garling T, Steg L (eds.) *Threats from car traffic to the quality of urban life. Problems, causes, and solutions*. Elsevier, Amsterdam.
- WCED (World Commission on Environment and Development). (1987). *Our common future*. Oxford University Press, Oxford.

- World Bank. (2002). *Cities on the Move: A World Bank Urban Transport Strategy Review*, World Bank, Washington, DC, USA. Acceso en: http://siteresources.worldbank.org/INTURBANTRANSPORT/Resources/cities_on_the_move.pdf. [Fecha de Acceso: 20 de octubre 2018]
- World Bank. (2002). *Urban Transport in the Europe and Central Asia Region: World Bank Experience and Strategy*, Infrastructure and Energy Services Department, Europe and Central Asia Region, Washington, DC, December, http://www.thepep.org/ClearingHouse/docfiles/World_Bank_Urban.pdf. [Fecha de Acceso: 20 de octubre 2018].
- Zhang, X., Deng, Y., Li, Q., Skitmore, M., & Zhou, Z. (2016). An incident database for improving metro safety: The case of shanghai. *Safety Science*, vol. 84, 88-96.
- Zhou, Y., Ding, L.Y., & Chen, L.J. (2013). Application of 4D visualization technology for safety management in metro construction. *Safety Science*, vol. 34, 25-36.