

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**MANUAL PARA LA GESTIÓN DE RIESGOS EN
TÚNELES Y ESTACIONES, APLICABLES A LOS
SISTEMAS DE FERROCARRILES Y METROS**

REALIZADO POR

**PEÑALOZA C. ENRIQUE
VIVAS R. MAYERLING**

PROFESOR GUIA

ING. GABRIEL VANORIO

FECHA

MARZO 2011

ÍNDICE

CONTENIDO

CAPÍTULO 1. TEMA DE INVESTIGACIÓN.....	11
1.1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
1.2.- OBJETIVOS.....	16
1.2.1.- OBJETIVO GENERAL	16
1.2.2.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
1.3.- ALCANCES Y LIMITACIONES	16
1.3.1.- ALCANCES.....	16
1.3.2.- LIMITACIONES.....	16
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	13
2.1.- RIESGO.....	21
2.1.1.- DEFINICIÓN.....	21
2.1.2.- CLASIFICACIÓN DEL RIESGO.....	21
2.1.2.1.- RIESGO INDIVIDUAL	21
2.1.2.2.- RIESGO COLECTIVO O SOCIAL.....	21
2.1.3.- PROBABILIDAD O FRECUENCIA CON LA QUE SE DAN SUCESOS DE PELIGRO.....	21
2.1.4.- NIVELES DE GRAVEDAD DEL PELIGRO	22
2.1.5.- NIVELES DE ACEPTACIÓN DE RIESGOS	23
2.2.- ANÁLISIS DE RIESGOS.....	24
2.2.1.- DEFINICIÓN.....	24
2.2.2.- METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS DE RIESGOS.....	24
2.3.- GESTIÓN DE RIESGOS.....	25

2.3.1.- DEFINICIÓN	25
2.3.2.- PROCEDIMIENTOS PARA LA GESTIÓN DE RIESGOS	26
2.4.- RIESGOS EN TÚNELES Y ESTACIONES	27
2.4.1.- ESTADO DEL ARTE	28
2.4.2.- TÚNELES.....	28
2.4.2.1.- DEFINICIÓN	28
2.4.2.2.- SECCIÓN DE TÚNEL ÚNICO.....	28
2.4.2.2.1.- RIESGO EN TUNEL ÚNICO	29
2.4.2.3.- SECCIÓN DE TÚNEL DOBLE	29
2.4.2.3.1.- RIESGOS EN SECCIÓN DE TUNEL DOBLE	29
2.4.3.- ESTACIONES.....	29
2.4.3.1.- DEFINICIÓN	29
2.4.3.2.- ESTACIÓN DE ANDÉN CENTRAL	30
2.4.3.3.- ESTACIÓN DE ANDÉN LATERAL	30
2.4.3.4.- RIESGOS EN LOS ANDENES	31
2.5.- EQUIPAMIENTO PARA LA GESTIÓN DE RIESGO	31
2.5.1.- SISTEMA DE SEÑALIZACIÓN	31
2.5.2.- ESCALERAS DE EMERGENCIA	32
2.5.3.- ASCENSORES.....	32
2.5.4.- SISTEMAS CONTRA INCENDIOS.....	34
2.5.4.1.- EXTINTORES.....	34
2.5.4.2.- SISTEMA DE MANGUERA Y COLUMNA SECA.....	35
2.5.5.- VENTILACIÓN DE EMERGENCIA.....	35
2.5.5.1.- VENTILACIÓN EN CASO DE INCENDIO EN LOS TÚNELES.....	35
2.5.5.2.- VENTILACIÓN EN CASO DE INCENDIO EN ESTACIONES	36
2.5.6.- ILUMINACIÓN DE EMERGENCIA	37
2.5.7.- DISPOSITIVOS DE COMUNICACIÓN.....	38
2.6.- TEORÍA DE ESCAPE	39
2.6.1.- CURVAS DE ESCAPE.....	39

2.6.1.1.- TIEMPO DISPONIBLE	41
2.6.1.2.- TIEMPO REQUERIDO.....	41
2.6.1.3.- DETECCIÓN Y TOMA DE DECISIONES	41
2.6.1.4.- ADVERTENCIA	41
2.6.1.5.- RESPUESTA.....	41
2.6.1.6.- EVACUACIÓN	41
2.6.1.6.1.- EVACUACIÓN PREVENTIVA	41
2.6.1.6.2.- EVACUACIÓN FORZADA	41
2.7.- NORMAS INTERNACIONALES.....	42
2.7.1.- UNE-EN 50126 (2005). APLICACIONES FERROVIARIAS. ESPECIFICACIÓN Y DEMOSTRACIÓN DE LA FIABILIDAD, LA DISPONIBILIDAD, LA MANTENIBILIDAD Y LA SEGURIDAD.....	42
2.7.2.- NFPA 130. (EDICIÓN 2010). ESTÁNDAR SOBRE SISTEMAS FERROVIARIOS PARA TRANSPORTE DE VEHÍCULOS Y VIAJEROS SOBRE RIELES.....	43
2.7.3.- ETI: ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DE INTEROPERABILIDAD SOBRE SEGURIDAD EN LOS TÚNELES EN LOS SISTEMAS FERROVIARIOS TRANSEUROPEOS CONVENCIONAL Y DE ALTA VELOCIDAD (DECISIÓN 2008/163/CE).....	44
2.8.- APLICACIÓN DE NORMATIVAS	45
2.8.1.- EN SISTEMAS DE FERROCARRILES.....	45
2.8.2.- EN SISTEMAS METROS.....	46
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA	51
3.1.- PARÁMETROS A VERIFICAR.....	51
3.1.1.- EN ESTACIONES.....	52
3.1.1.1.- ANDÉN CENTRAL	52
3.1.1.2.- ANDEN LATERAL	52
3.1.1.3.- ESCALERAS.....	52
3.1.1.3.1.- FIJAS	52
3.1.1.3.2.- MECÁNICAS.....	53
3.1.1.4.- SALIDAS.....	53

3.1.1.4.1.- SISTEMAS DE ACCESOS Y SALIDAS	53
3.1.1.4.1.1.-CONTROL DE BOLETOS	53
3.1.1.4.1.2.- TORNQUETES.....	54
3.1.1.5.- ZONAS DE CONEXIÓN Y OTRAS ÁREAS.....	54
3.1.1.6.- TIEMPOS DE EVACUACIÓN.....	55
3.1.1.7.- CÁLCULO DE CARGA OCUPACIONAL	56
3.1.2.- EN TÚNELES	57
3.1.2.1.- PARA SISTEMAS DE FERROCARRILES.....	57
3.1.2.1.1.- EVACUACIÓN DE EMERGENCIA.....	57
3.1.2.1.2.- SALIDAS DE EMERGENCIA	57
3.1.2.1.2.1- ZONA SEGURA.....	57
3.1.2.1.2.2.- SALIDAS DE EMERGENCIA A LA SUPERFICIE LATERALES Y/O VERTICALES	58
3.1.2.1.2.3.- GALERÍAS TRANSVERSALES (PASILLOS TRANSVERSALES AL OTRO TUBO).....	58
3.1.2.1.2.4.- SOLUCIONES TÉCNICAS ALTERNATIVAS	59
3.1.2.1.3.- PASILLOS DE EVACUACION	59
3.1.2.2.- PARA SISTEMAS METRO.....	60
3.1.2.2.1.- SALIDAS DE EMERGENCIA	60
3.1.2.2.2.- GALERÍAS TRANSVERSALES	60
3.3.- HOJA DE CÁLCULO DE TIEMPOS DE EVACUACIÓN.....	61
CAPÍTULO 4. CASO DE APLICACIÓN PRÁCTICA DE LA METODOLOGÍA	61
4.1.- CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE ESTUDIO	65
4.2.- ANÁLISIS DEL RIESGO.....	66
4.3.- APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA.....	67

FIGURAS

FIGURA 1: Diagrama de Procesos de Análisis de Riesgo.....	25
FIGURA 2: Principales Riesgos en túneles y estaciones.....	27
FIGURA 3: Sección de túnel único.	28
FIGURA 4: Sección de túnel doble	30
FIGURA 5: Sección de estación con andén central	30
FIGURA 6: Sección de estación con andén lateral	31
FIGURA 7: Extintores manuales.....	34
FIGURA 8: Sistema de manguera y columna seca.....	35
FIGURA 9: Ventilación en caso de incendio en los túneles.	36
FIGURA 10: Ventilación en caso de incendio en las estaciones.....	37
FIGURA 11: Diferentes fases de la evacuación.....	39
FIGURA 12: Tiempos de evacuación.....	40
FIGURA 13: Línea de tiempo de evacuación general.....	40
FIGURA 14: Análisis de Seguridad.....	51

ECUACIONES

Ecuación N° 1. Tiempo de flujo del control de boletos (F_{fb}).....	53
Ecuación N° 2. Tiempo espera en los controles de boletos (W_{fb}).....	53
Ecuación N° 3. Tiempo de flujo de salidas de la zona de conexión (F_c).	54
Ecuación N° 4. Tiempo de espera en salidas en zonas de conexión (W_c).....	54
Ecuación N° 5. Tiempo de espera en cualquier elemento de circulación adicional (W_N).....	55
Ecuación N° 6. Tiempo de flujo de salida del andén (F_p).....	55
Ecuación N° 7. Tiempo total de evacuación (T_{ts}).....	55
Ecuación N° 8. Tiempo de espera en las salidas del andén (W_p).	56

RESUMEN

“MANUAL PARA LA GESTIÓN DE RIESGOS EN TÚNELES Y ESTACIONES, APLICABLES A LOS SISTEMAS DE FERROCARRILES Y METROS”

Autores: Peñaloza C., Enrique.
Vivas R., Mayerling.

Tutor: Ing. Gabriel Vanorio.

Caracas, Marzo 2011

El presente Trabajo Especial de Grado, consiste en el desarrollo de un Manual para la Verificación de las Condiciones Mínimas de Prevención de Riesgos de Incendio, basándose fundamentalmente en la aplicación de las normas la NFPA 130 (2010) y la Especificación Técnica de interoperabilidad (Decisión 2008/163/CE) en el marco de una gestión de riesgos. Este manual incluye Hojas de cálculo realizadas en Excel 2007, las cuales permiten determinar los tiempos de evacuación establecidos por la NFPA 130 y una serie de criterios mínimos necesarios que se deben cumplir en túneles ferroviarios, establecidos por la norma y así como por la Especificación Técnica de interoperabilidad (Decisión 2008/163/CE).

Como caso de estudio se aplica el manual a una de las estaciones que formará parte del proyecto de la línea 1 del Metro de Panamá, que actualmente se encuentra en construcción.

El estudio se hará partiendo de la configuración básica de las zonas que conforman la estación: las áreas de desplazamiento y los elementos que las componen (las escaleras, control de boletos, salidas de emergencia, etc.).

Una vez obtenidos los resultados, serán expresados en tablas, a fin de facilitar la comprensión del lector, asimismo podrán ser comparados con los valores establecidos por la norma y de ser necesario se realizarán las recomendaciones pertinentes.

INTRODUCCIÓN

Con el desarrollo económico y social de las naciones, resulta cada vez más importante la conexión entre diferentes lugares. Por tal razón, se hace más común el uso del transporte masivo tanto en sistemas urbanos como en suburbanos, lo cual conduce a uno de los ejemplos de transporte público más utilizados como lo son los de Sistemas Ferroviarios.

A medida que transcurre el tiempo, los Sistemas Ferroviarios se hacen más populares por el hecho de poder transportar un elevado número de pasajeros de un lugar a otro en un corto período de tiempo, sin embargo, por el gran volumen de personas que transportan estos sistemas, se hace necesario garantizar la seguridad de los mismos.

El ingeniero, como su nombre lo indica, es el encargado de utilizar su ingenio no sólo para la creación de las estructuras necesarias, sino también para garantizar y evaluar la seguridad en éstas.

Para la evaluación de la seguridad en Túneles y Estaciones Ferroviarias, existen diversas normativas internacionales que plantean elementos a verificar para garantizar una adecuada gestión del riesgo, entre las cuales se encuentran la NFPA130 (2010) y la Especificación Técnica de Interoperabilidad sobre seguridad en los túneles en los sistemas ferroviarios transeuropeos convencional y de alta velocidad (Decisión 2008/163/CE).

La NFPA 130 (2010) es la principal Norma de seguridad a utilizar en caso de incendio, ya que indica parámetros que se deben cumplir tanto en los Túneles como en las Estaciones, los cuales son aplicables a Sistemas de Ferrocarriles y a Sistemas Metro.

Por su parte, la Especificación Técnica de interoperabilidad (Decisión 2008/163/CE) verifica la gestión de riesgos en túneles y establece además criterios que son aplicables para los Sistemas de Ferrocarriles. Es importante mencionar que la Especificación Técnica no es aplicable para Sistemas Metro.

En cuanto al objeto de estudio del trabajo es la Gestión de Riesgos en Túneles y Estaciones Ferroviarias, la cual se garantiza mediante la aplicación de las normativas correspondientes. También, se incluirá la implementación de hojas de cálculos a través del Programa Excel 2007, basadas en lo descrito en la NFPA 130 (2010) éstas permiten el cómputo automatizado de los tiempos de evacuación en las Estaciones Ferroviarias con la introducción de algunos datos de la estación.

Asimismo, se evaluará los tiempos de evacuación en una Estación de un sistema de estudio, mediante la aplicación de las hojas de cálculos realizadas.

El tema de investigación se encuentra desarrollado de la siguiente forma:

- **CAPÍTULO 1. TEMA DE INVESTIGACIÓN.**

Consiste en el planteamiento de la problemática que conlleva a la realización del trabajo, así como los objetivos que se esperan lograr con el mismo y las limitaciones existentes.

- **CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.**

Incluye los conceptos y consideraciones básicas necesarias para el entendimiento y sustentación del trabajo.

- **CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA.**

Se establece un proceso en el que se indica cuáles son los parámetros y de qué manera se deben verificar según cada normativa. Se incluye además la descripción de las hojas de cálculo desarrolladas.

- **CAPÍTULO 4. CASO DE ESTUDIO.**

Presenta la descripción del sistema a evaluar, su correspondiente análisis de riesgo, los resultados obtenidos por la aplicación de la metodología en Estaciones a través de las hojas de cálculo y el análisis de los mismos.

Al final del tomo, se incluye un Cd en el cual se encuentran las hojas de cálculo realizadas, así como los ejemplos con los cuales fueron calibradas y la verificación del caso de estudio. Asimismo, el manual para la utilización de dichas hojas de cálculo está identificado como ANEXO 1.

CAPÍTULO 1

TEMA DE INVESTIGACIÓN



1.1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los Sistemas Ferroviarios en el mundo han desempeñado un rol protagónico en la evolución de la sociedad moderna. A principios del siglo XIX aparece la primera locomotora, la cual era utilizada para transportar carbón en cortas distancias, más adelante, a mediados de 1830, la máquina se comenzó a utilizar como medio para trasladar pasajeros, llegando entonces a desarrollar dos funciones, el traslado de cargas y personas.

Actualmente, el Sistema Ferroviario se utiliza para recorrer grandes distancias y, en los centros urbanos, sirven para trasladar a las personas de un sitio a otro en poco tiempo.

Debido al ritmo de vida acelerado de la sociedad moderna, el crecimiento poblacional y las campañas que promueven cada vez más el uso de sistemas de transporte masivo, los metros y ferrocarriles se ven en la necesidad de prestar servicios a mayor cantidad de pasajeros, lo que trae como consecuencia que existan concentraciones de personas cada vez mayores en las estaciones.

Lo antes expuesto, hace imperiosa la necesidad de salvaguardar y garantizar la seguridad de los usuarios del servicio al momento de que ocurra una emergencia y evidentemente, en cualquier parte del mismo. Esta aseveración deriva de la formación de organismos, los cuales se basan en estadísticas de accidentes ocurridos, los analizan y posteriormente generan normativas en las que se especifican criterios necesarios para resguardar a los usuarios ante cualquier incidente.

Entre algunos de los accidentes que han ocurrido se pueden destacar los siguientes:

- **Incendio del funicular de Kitzsteinhorn, Austria. (Noviembre 2000)**
3.400 m de longitud. A 600 m de la boca del túnel un cortocircuito provoca un incendio. Mueren por inhalación de humos 155 personas. Tan solo sobreviven 9 personas.
- **Túnel del Mont Blanc. (Marzo 1999)**
El accidente de un camión bajo el túnel que une Francia con Italia causa 35 Muertos. Los servicios de bomberos habían alertado previamente de que en caso de emergencia las operaciones de rescate sería extremadamente Complicadas.
- **Tauern Tunnel, Austria. (Mayo 1999)**
12 personas pierden la vida. Al igual que en el accidente del Mont Blanc, no existía un túnel para la evacuación paralelo al principal ni un sistema de extinción efectivo.



1.2.- OBJETIVOS

1.2.1.- OBJETIVO GENERAL

Analizar el Estado del Arte y principales normativas relacionadas con la Gestión de Riesgos en Túneles y Estaciones, con el fin de proponer una metodología que permita evaluar las condiciones de seguridad de los Sistemas Ferroviarios.

1.2.2.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar las principales normativas internacionales que rigen la materia.
- Estudiar los principios básicos de la Gestión de Riesgos en los Sistemas Ferroviarios.
- Plantear una metodología para el diseño, aplicación y/o verificación de medidas de seguridad a través del cálculo de los tiempos de evacuación en las Estaciones Ferroviarias.
- Aplicar la metodología propuesta a un caso de estudio.

1.3.- ALCANCES Y LIMITACIONES

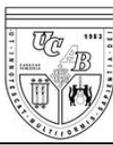
1.3.1.- ALCANCES

El trabajo tiene como finalidad la implementación de las normativas NFPA 130, Especificación Técnica de interoperabilidad (Decisión 2008/163/CE) y UNE-EN 50126 en la verificación de los diseños de los túneles y estaciones de sistemas de metro y ferrocarriles, para determinar si existe el cumplimiento o no de los requisitos mínimos necesarios que resguardan la seguridad de los usuarios.

1.3.2.- LIMITACIONES

El Análisis de la Seguridad se limita a los túneles y estaciones, considerando el incendio como el mayor peligro y asumiendo que si se cumplen con los requisitos mínimos para salvaguardar a los usuarios al ocurrir este incidente se podría garantizar su seguridad ante cualquier otro evento riesgoso.

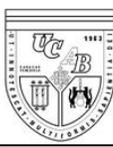
En cuanto al equipamiento para la Gestión de Riesgos que se describe en este documento, aunque se debe exigir el cumplimiento del mismo, estos parámetros se consideran complementarios y por lo tanto no se incluyen como parte de la evaluación correspondiente a este estudio.



En las hojas de cálculo, para la verificación del ancho mínimo de circulación en andenes, no se considera la posibilidad de que las escaleras mecánicas y fijas se encuentren ubicadas una al lado de la otra.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO



2.1.- RIESGO

2.1.1.- DEFINICIÓN

Riesgo, de acuerdo al Diccionario de la Lengua Española significa contingencia o proximidad de un daño.

Según PDVSA, (1993) el riesgo se refiere a *“una medida de pérdidas económicas o lesiones humanas en términos de la probabilidad de ocurrencia de un accidente (frecuencia) y la magnitud de las pérdidas o de las lesiones (consecuencias).”*

El riesgo también se puede reconocer como la existencia de un peligro, vulnerabilidad y consecuencias. Siendo el peligro un fenómeno de carácter natural o tecnológico que pueda acarrear daños a la población, a los bienes materiales o a la naturaleza. La vulnerabilidad se refiere al grado de susceptibilidad que se tiene ante determinada amenaza; y las consecuencias involucran los daños específicos que se puedan generar por el desarrollo de un peligro.

2.1.2.- CLASIFICACIÓN DEL RIESGO

Cuando se estudia el riesgo en personas, suele diferenciarse en dos formas, al que está sometido un determinado individuo y al que afectará a un grupo de personas en caso de ocurrir el accidente.

2.1.2.1.- RIESGO INDIVIDUAL

Es el riesgo al que está sometida una persona como resultado de su exposición a un peligro. El riesgo individual puede variar significativamente dependiendo de las características del individuo y de su nivel de exposición al peligro.

2.1.2.2.- RIESGO COLECTIVO O SOCIAL

Es el riesgo al que se encuentra sometida una población o un grupo de personas por su exposición a un mismo peligro. Es importante mencionar, que cuando el riesgo es colectivo se toma en cuenta el número de personas expuestas.

2.1.3.- PROBABILIDAD O FRECUENCIA CON LA QUE SE DAN SUCESOS DE PELIGRO

Categorización de la frecuencia del suceso peligroso según la Norma Española UNE-EN-50126



- **Frecuente:** Es probable que ocurra con frecuencia. El peligro se experimenta continuamente.
- **Probable:** Se dará varias veces. Puede esperarse que el peligro ocurra con frecuencia.
- **Ocasional:** Es probable que se dé varias veces. Puede esperarse que el peligro ocurra varias veces.
- **Remoto:** Puede esperarse que se dé alguna vez en el ciclo del sistema. Puede razonablemente esperarse que el peligro ocurra.
- **Improbable:** Es improbable, aunque posible que ocurra. Puede suponerse que el peligro ocurrirá excepcionalmente.
- **Increíble:** Es extremadamente improbable que ocurra. Puede suponerse que el peligro pueda o no ocurrir.

2.1.4.- NIVELES DE GRAVEDAD DEL PELIGRO

La gravedad del peligro se clasifica como catastrófica, crítica, mínima o insignificante dependiendo de las consecuencias que podría generar sobre las personas, medio ambiente o el servicio, en caso de que se dé una contingencia.

A continuación se especifican los niveles de gravedad del peligro:

Nivel de Gravedad	Consecuencia para las personas o el medio ambiente.	Consecuencia para el servicio
Catastrófico	Víctimas mortales y/o múltiples heridas graves y/o daños importantes al medio ambiente.	
Crítico	Una sola víctima mortal y/o herida grave y/o daños señalados al medio ambiente.	Pérdida de un sistema principal.
Mínimo	Heridas menores y/o peligro señalado al medio ambiente.	Daño grave a sistema o sistemas.
Insignificante	Posible herida menor.	Daño menor a sistema.

TABLA 2. Niveles de Gravedad del peligro.

Fuente: Norma Española UNE-EN-50126

2.1.5.- NIVELES DE ACEPTACIÓN DE RIESGOS

Catalogar un riesgo como aceptable o no, es una labor compleja y subjetiva, ya que va a depender de la opinión de cada persona. En función de unificar criterios, se tomó como referencia la Norma Española UNE-EN-50126, la cual define categorías cualitativas de riesgos y las acciones que deben tomarse ante cada categoría.

Niveles de aceptación del Riesgo de acuerdo a la Norma Española UNE-EN-50126:

- Riesgo Intolerable: Debe eliminarse.
- Riesgo No Deseable: Debe aceptarse sólo cuando la reducción del riesgo sea impracticable y con el acuerdo de la Autoridad Ferroviaria o del Organismo Regulador de la Seguridad, según proceda.
- Riesgo Tolerable: Aceptable con un control adecuado y con el acuerdo de la Autoridad Ferroviaria.
- Riesgo insignificante: Aceptable con o sin el acuerdo de la Autoridad Ferroviaria.

Asimismo, en esta norma se organizan las categorías de riesgo según la frecuencia con la que ocurre el suceso peligroso y los niveles de gravedad de un peligro de la siguiente manera:

* Frecuencia con que ocurre un suceso de peligro	Niveles de Riesgo			
	Frecuente	No Deseable	Intolerable	Intolerable
Probable	Tolerable	No Deseable	Intolerable	Intolerable
Ocasional	Tolerable	No Deseable	No Deseable	Intolerable
Remoto	Insignificante	Tolerable	No Deseable	No Deseable
Improbable	Insignificante	Insignificante	Tolerable	Tolerable
Increible	Insignificante	Insignificante	Insignificante	Insignificante
	Insignificante	Mínimo	Crítico	Catastrófico
Niveles de Gravedad de las Consecuencias de un Peligro				

TABLA 1. Niveles de Aceptación de Riesgo.
Fuente: Norma Española UNE-EN-50126 (Tabla 6)



2.2.- ANÁLISIS DE RIESGOS

2.2.1.- DEFINICIÓN

“Es un proceso de calidad total o mejora continua, que busca estimar las probabilidades de que se presenten acontecimientos indeseables, permitiendo medir la magnitud de dichos impactos negativos en el transcurso de ciertos intervalos específicos de tiempo” (Jesús G. Martínez Ponce, 2002)

2.2.2.- METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS DE RIESGOS

La metodología del análisis de riesgo a emplear se basa principalmente en estudiar los niveles de aceptación de riesgos, para así realizar posteriormente una adecuada gestión de riesgo, haciendo la selección de los controles para mitigar un posible evento negativo.

Los pasos que se deben llevar a cabo para realizar un apropiado análisis de riesgo son los siguientes:

1.-Evaluación de Riesgo: Identificación de las amenazas que se pueden presentar.

2.-Determinación de la frecuencia: Según las categorías típicas de probabilidad o frecuencia con la que ocurren sucesos de peligro de la Norma Española UNE-EN-50126.

3.-Análisis del impacto: Según los niveles de gravedad de un peligro de la Norma Española UNE-EN-50126

4.-Definición del nivel de riesgo correspondiente: Clasificación como intolerable, no deseable, tolerable o insignificante, según tabla 1, esta clasificación indica si el riesgo puede ser aceptado o si deben tomarse controles para eliminarlo.

A continuación se muestra la Figura 1, en la cual se puede observar el diagrama de procesos de Análisis de Riesgo, el cual sirve de guía para llevar a cabo el Análisis de riesgo de forma adecuada.

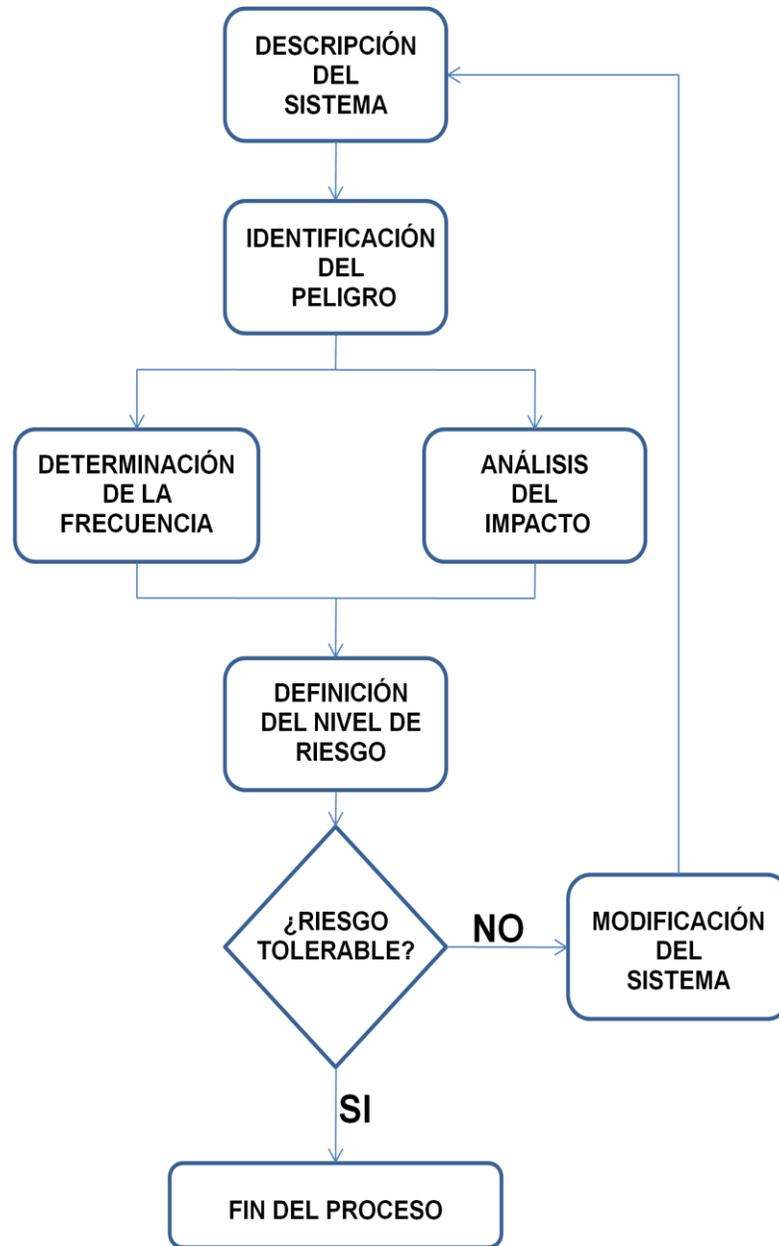


FIGURA 1: Diagrama de Procesos de Análisis de Riesgo.

2.3.- GESTIÓN DE RIESGOS

2.3.1.- DEFINICIÓN

La Gestión de Riesgos es el paso siguiente al análisis de riesgos y consiste en la alianza entre la toma de decisiones, la organización y la implementación de estrategias que conducen a reducir el impacto de amenazas



naturales y de desastres ambientales y/o tecnológicos. El objetivo principal de la gestión de riesgos es evitar o limitar los efectos adversos de los desastres.

La Gestión de Riesgos de Desastres puede ser:

A) GESTIÓN DE RIESGO PROSPECTIVA:

Se evita la generación de nuevas condiciones de vulnerabilidad.

B) GESTIÓN DE RIESGO CORRECTIVA:

Se busca reducir las condiciones de vulnerabilidad existentes.

C) GESTIÓN DE RIESGO REACTIVA:

Se busca responder de la mejor manera ante situaciones de desastre (preparativos para la emergencia y reconstrucción).

2.3.2.- PROCEDIMIENTOS PARA LA GESTIÓN DE RIESGOS

La gestión de riesgos se puede llevar a cabo a través de 3 pasos, los cuales son:

a.- La reducción del riesgo: En ella se agrupan las acciones de prevención, disminución de vulnerabilidades y preparación, es decir, se refiere a las actividades y medidas tomadas anticipadamente para asegurar una respuesta eficaz ante la ocurrencia de peligros

b.- La respuesta: Se refiere al conjunto de acciones y medidas aplicadas durante el transcurso de la emergencia o desastre, a fin de reducir sus efectos.

c.- La reconstrucción: Es la fase posterior al desastre y contempla la recuperación del estado pre-desastre, tomando en cuenta las medidas de prevención y mitigación necesarias, de acuerdo con las lecciones dejadas por el desastre.

La manera de realizar una adecuada reducción de riesgos mediante la ingeniería consiste en plantear medidas de seguridad como lo son: uso de materiales no incendiarios, la planificación de salidas de emergencias o áreas de resguardo, la instalación de ventilación de emergencia y otros dispositivos funcionales aún durante una situación de peligro.

Por otra parte, al actuar en la reducción de riesgos, se afecta de forma directa y positiva la respuesta ante el peligro, ya que al contar con instalaciones preventivas, se puede actuar mediante el modo auto-salvamento, haciendo uso de ellas, lo cual se convertiría en una respuesta adecuada y segura ante el peligro, lo que anteriormente se consideraba una medida preventiva.

Otro aspecto a considerar por la ingeniería en los procedimientos para la gestión de riesgos es la reconstrucción, que si bien es cierto que su función no es la de salvar vidas, no menos verdadero es que su misión también es importante, puesto que se trata de la recuperación del área afectada. En consecuencia, se considera elemental tratar de reconstruir el área afectada, de forma tal que lo ocurrido no vuelva a suceder, de ser posible o que sus proporciones sean menores.

2.4.- RIESGOS EN TÚNELES Y ESTACIONES

Existen tres riesgos principales que pueden presentarse en los túneles y estaciones, los cuales son: el descarrilamiento, la colisión de trenes y el incendio. Estos pueden presentarse por separado o puede desencadenarse uno como consecuencia del otro, tal como se indica en la Figura 2.

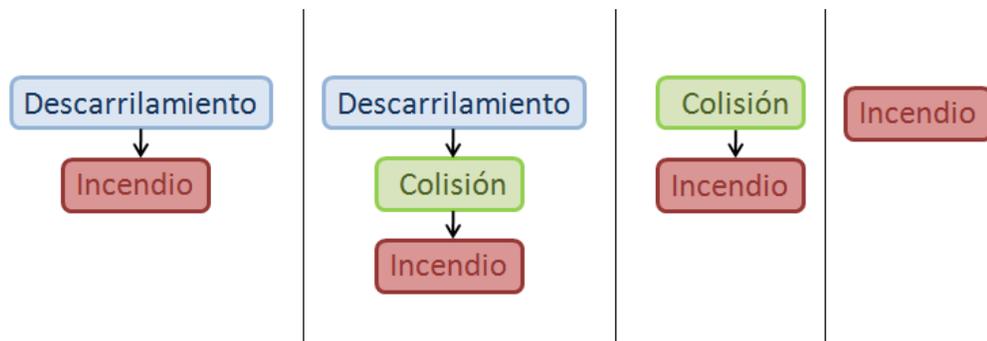


FIGURA 2: Principales Riesgos en túneles y estaciones.

Al comparar las consecuencias que pueden generar de estos tres riesgos, se considera el incendio como el evento de mayor peligro para los usuarios. Tomando en cuenta además, que al presentarse el descarrilamiento y/o colisión puede llegar a producirse el incendio, se define este último como el riesgo máximo, lo cual permite asumir que al realizar la gestión del riesgo incendio en túneles y estaciones, se estará también garantizando la seguridad de los usuarios en caso de presentarse descarrilamiento, colisión o cualquier otro incidente menor.

Es importante recalcar que la colisión y el descarrilamiento no son los únicos motivos por los que se puede generar un incendio en el sistema, también existen otros factores que pueden desencadenarlo, pero se asumen estos dos como los más relevantes, ya que son los que pueden generar mayor impacto en los usuarios.

2.4.1.- ESTADO DEL ARTE

El Estado del arte se refiere al conocimiento más avanzado e innovador de un tema en específico.

Dentro del ambiente tecnológico industrial, se entiende como "estado del arte" todos aquellos desarrollos de última tecnología realizados a un producto, que han sido probados en la industria y aceptados.

En los túneles y estaciones ferroviarias el estado del arte se refiere a la arquitectura y distribución de los espacios que comprenden el sistema.

2.4.2.- TÚNELES

2.4.2.1.- DEFINICIÓN

Son estructuras subterráneas y un componente fundamental de los sistemas ferroviarios. Por el hecho de encontrarse bajo la superficie, se hace más difícil el acceso de ayuda en aquellos eventos que ponen en riesgo la integridad de los usuarios. Asimismo, por ser un área cerrada se pueden concentrar gases que dificultan la visibilidad y producen daños a los usuarios.

Existen diversos tipos de secciones para túneles ferroviarios, las más comunes en la práctica son: la sección de túnel único y la sección de túnel doble.

2.4.2.2.- SECCIÓN DE TÚNEL ÚNICO

La sección de túnel único consta de una sola galería la cual es común para ambos trenes que se dirigen en sentidos contrarios. Estas galerías pueden o no tener un muro anti-incendios para dividir ambas direcciones. Estos túneles deben poseer áreas de resguardos o salidas de emergencia ubicadas a ciertas distancias de acuerdo a lo establecido en las normas que rigen la materia.

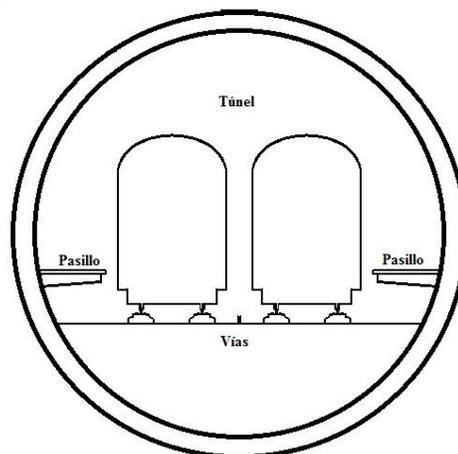


FIGURA 3: Sección de túnel único.

2.4.2.2.1.- RIESGO EN TUNEL ÚNICO

Para la tipología de sección de túnel único, existe una mayor probabilidad de colisión entre trenes. De ocurrir un incendio en cualquiera de los sentidos, el otro también podría verse afectado de manera directa.

2.4.2.3.- SECCIÓN DE TUNEL DOBLE

La sección de túnel doble consta de dos galerías, una para cada dirección de los trenes. Por lo general, el diámetro de estas secciones es menor al de los túneles de sección única.

Por el hecho de ser túneles independientes se hace necesaria la conexión entre ellos y esto se realiza a través de galerías transversales, las cuales funcionan como vía de escape al ocurrir un accidente en cualquiera de ellos, esto permite utilizar el túnel adyacente como refugio y a su vez como vía de escape.

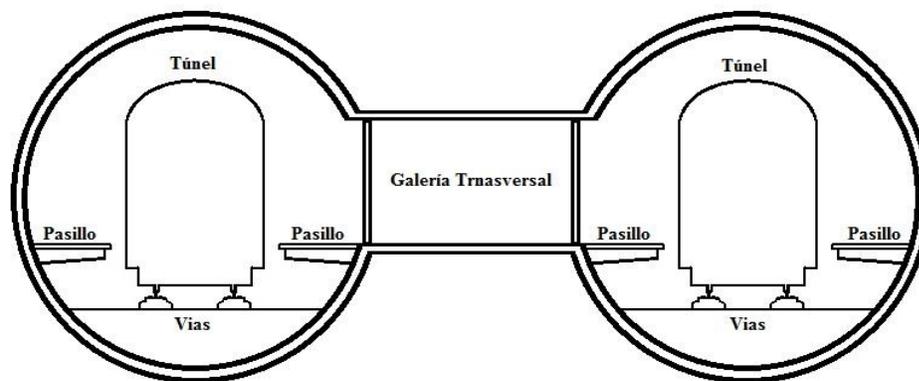


FIGURA 4: Sección de túnel doble.

2.4.2.3.1.- RIESGOS EN SECCIÓN DE TUNEL DOBLE

Al ocurrir un accidente, en ciertas ocasiones se bloquean las entradas a las galerías transversales, esto trae como consecuencia que se utilice el mismo túnel como vía de escape, situación que puede ocasionar daños a los usuarios.

2.4.3.- ESTACIONES

2.4.3.1.- DEFINICIÓN

Son un componente del sistema ferroviario cuya función es la de alojar a los usuarios de dicho sistema para realizar el embarque y desembarque del material rodante. Las estaciones podrían encontrarse a desnivel de la superficie, lo que hace que su diseño requiera de medidas más estrictas, de tal forma que se garantice la seguridad de los pasajeros.

Dentro de las estaciones es posible que se susciten incendios, las causas que los provocan pueden ser múltiples, entre ellas: la colisión de un tren o las fallas eléctricas que traigan consigo chispas. En caso de que se produzca un incendio en estas áreas, se crea un ambiente de alto riesgo, debido al flujo de personas que lo transitan frecuentemente.

Existen dos tipos de estaciones: la estación de andén central y la estación de andén lateral.

2.4.3.2.- ESTACIÓN DE ANDÉN CENTRAL

La característica principal, como su nombre lo indica, es que poseen un solo andén en el centro de la estación, en el cual convergen los pasajeros que embarcan y desembarcan los trenes como se observa en la Figura 5.

La implementación de este tipo de estaciones está fundamentalmente condicionada por la construcción de túneles de doble sección.

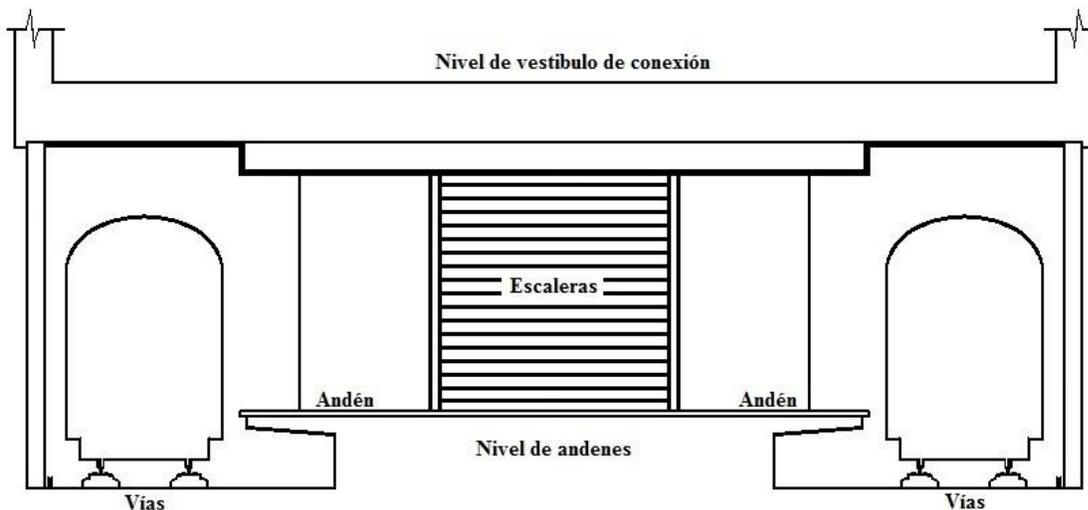


FIGURA 5: Sección de estación con andén central.

2.4.3.3.- ESTACIÓN DE ANDÉN LATERAL

La distribución estructural de este tipo de estación consta de dos andenes que se encuentran a los lados de ella y los trenes que arriban lo hacen ingresando entre los dos andenes como se observa en la Figura 6.

Esta tipología de estaciones se aplica en sitios con suficiente espacio ya que su sección es más amplia y, generalmente, su implementación está vinculada a la construcción de túneles de doble vía con sección única.

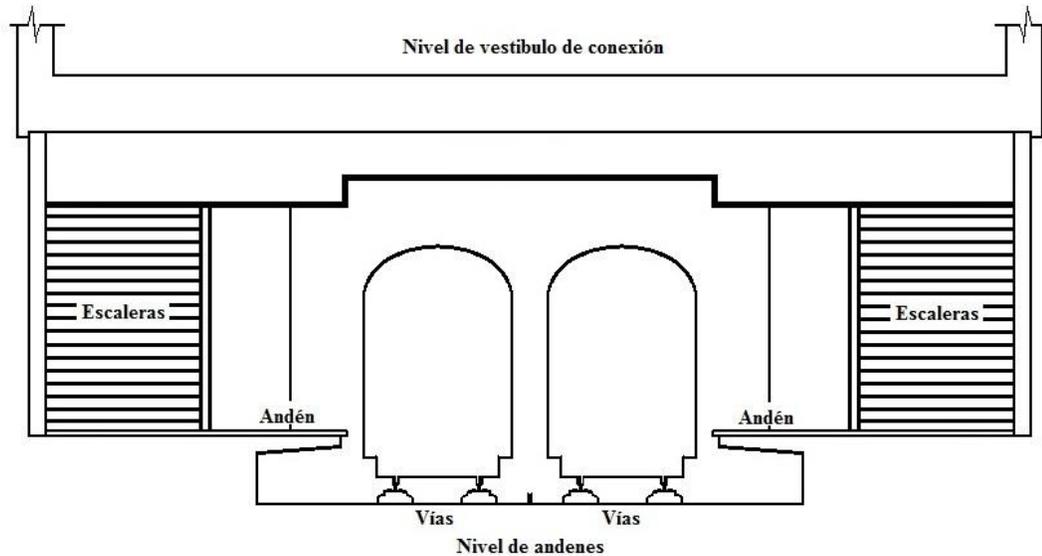


FIGURA 6: Sección de estación con andén lateral.

2.4.3.4.- RIESGOS EN LOS ANDENES

Durante una situación de peligro, es posible que se congestione y dificulte la evacuación de las personas a través de las escaleras, asimismo, puede hallarse una escalera mecánica fuera de servicio, por lo que la distancia a recorrer sobre el andén podría ser mayor, aumentando así el tiempo de salida.

2.5.- EQUIPAMIENTO PARA LA GESTIÓN DE RIESGO

Para realizar una adecuada Gestión de Riesgos se hace necesario contar con elementos que permitan y faciliten evacuar las instalaciones de la manera más rápida y segura posible, es por esto que a continuación se describe parte del equipamiento básico necesario con el que deben contar los Sistemas Ferroviarios para llevar a cabo dicha Gestión

2.5.1.- SISTEMA DE SEÑALIZACIÓN

El objetivo principal de los Sistemas de Señalización es orientar e informar.

Se pueden diferenciar dos Sistemas de Señalización, el primero de uso operativo, el cual se debe encargar de identificar la ocurrencia de un desastre, y el segundo tiene la función de orientar a los usuarios hacia una evacuación segura.



En cuanto a la señalización de uso operativo, este es un componente fundamental en el proceso de evacuación, este permite identificar el lugar donde ocurre el incidente y alertar a los operadores del sistema de la ocurrencia del mismo.

Según la norma NFPA 130 (2010) se tiene que:

“Los paneles deberán avisar mediante alarma auditiva de la activación de cualquiera de los detectores de calor o humo de las estación mostrando visualmente la localización del detector activado o la alarma.

Se deberán establecer zonas separadas en los paneles avisadores de la estación local para controlar el flujo de agua de los sistemas de rociadores y supervisar las válvulas de control principal.”

En el caso de la señalización guiada a los usuarios, es importante que esta se realice según las normas existentes en cada país, de forma de que resulten lo más visibles y útiles posibles. Esta señalización resulta de vital importancia para lograr una adecuada Gestión de Riesgo, especialmente cuando se habla de una Gestión de Riesgo Reactiva, ya que una vez que ocurre el desastre se hace necesario guiar a los usuarios del sistema por las vías de escape diseñadas especialmente para evacuar la zona afectada. De no existir estos sistemas, se dificulta lograr la evacuación de una manera segura inclusive si los elementos de evacuación cumplen con los parámetros mínimos establecidos por la norma.

2.5.2.- ESCALERAS DE EMERGENCIA

Las escaleras de emergencia son aquellas que llevan del sitio del accidente hasta el lugar seguro de manera directa, y conforman uno de los elementos más importante para realizar la evacuación de la estación. Estas no son obligatorias dentro de la arquitectura de la estación en el caso de que las escaleras fijas y mecánicas sean suficientes para evacuar la carga ocupacional de la estación en el tiempo requerido.

2.5.3.- ASCENSORES

Los ascensores se pueden considerar como una vía para la evacuación de las estaciones en situación de emergencia, siempre y cuando éstos no hayan sido afectados directamente por el incendio. Éste es un medio que si se encuentra en condiciones óptimas para el momento de la evacuación, facilitaría el traslado de las personas que están dentro de la estación, sobre todo si se trata de movilizar a personas discapacitadas.

Para que los ascensores puedan ser considerados parte de los medios de evacuación se deben tomar en cuenta varias consideraciones, las cuales expresa la norma NFPA 130 (2010) de la siguiente manera:

“5.5.6.3.3.1 Los ascensores que cumplan los requisitos de las secciones 5.5.6.3.3.2 a la 5.5.6.3.3.4 podrán ser tomados en cuenta como parte de los medios de capacidad de salida de las estaciones.

*5.5.6.3.3.2 **Capacidad y números.** Cuando los ascensores se cuentan como una contribución a los medios de la capacidad de salida, se debe aplicar lo siguiente:*

(1) No deben comprender más de 50 por ciento de la capacidad de salida necesaria.

(2) Por lo menos se considera un ascensor fuera de servicio, y un ascensor estará reservado para el servicio contra incendios. [Cuando una estación tiene dos o menos ascensores, esta disposición debe interpretarse como que los elevadores no se cuentan como contribuyentes a la capacidad de salida].

*(3) * la capacidad de cada ascensor será la capacidad de carga del ascensor en 30 minutos.*

*5.5.6.3.3.3 **Área de espera.** Los elevadores que se cuentan como una contribución a los medios de la capacidad de salida tienen que ser accesados a través de las zonas de espera que se deben diseñar de la siguiente manera:*

(1) Las zonas de espera deben estar separadas de la plataforma por una separación hermética de humos de incendio que tenga resistencia al fuego por al menos 1 hora, pero no menos que el tiempo necesario para evacuar la zona de carga de los ocupantes de espera.

(2) Por lo menos se podrá acceder a una escalera desde la zona de espera.

(3) El tamaño del área de espera será tal que dé cabida a una persona por cada 0,46 m² (5 pies²).

(4) Si la zona de espera incluye porciones de la plataforma un área de 460 mm no será tomada en cuenta para los cálculos.

(5) Para la activación del control de humo en la plataforma o en zonas adyacentes a las vías del tren, el área de espera deberá tener a una presión mínima de 25 Pa. (ó 0.051 pulgadas de columna de agua)

(6) El área de espera deberán estar provistos de dispositivos de alarma de emergencia de voz con comunicación en los dos sentidos con el centro de sistema de control de las operaciones.

5.5.6.3.3.4 Características de diseño. Los ascensores que contribuyen a los medios de la capacidad de salida tienen que ser diseñado de la siguiente manera:

(1) Se deberán separar las cajas de ejes de los ascensores con barreras de fuego que deben tener una clasificación de resistencia al fuego de dos horas.

(2) El diseño deberá limitar el flujo de agua en el eje.

(3) No más de dos elevadores utilizados para los medios de acceso o salida compartirán la misma sala de máquinas.

(4) Las salas de máquinas estarán separados unos de otros por la separación de fuego que tiene una mínima resistencia al fuego de 2 horas.

(5) Los ascensores estarán conectados a la energía eléctrica de emergencia.

(6) Durante la evacuación de emergencia, los ascensores sólo circularán entre el nivel de la plataforma de incidentes y un punto de seguridad. [Traducido]"

2.5.4.- SISTEMAS CONTRA INCENDIOS

2.5.4.1.- EXTINTORES

Partiendo de la idea del auto-salvamento es necesario que los usuarios tengan la posibilidad de hacer uso de los extintores dispuestos a lo largo de la estación. Según indica la NFPA 130 (2010): “Se deberá disponer de extintores portátiles en número, tamaño, tipo, y localización según o determine la autoridad competente. [Traducido]"

Asimismo, se debe cumplir con el mantenimiento y prueba de los extintores.



FIGURA 7: Extintores manuales.

Fuente: <http://www.sisdeconmalaga.com/extintores-malaga.php>

2.5.4.2.- SISTEMA DE MANGUERA Y COLUMNA SECA

Estos sistemas son utilizados para la extinción del incendio y únicamente deben ser manipulados por los bomberos, de acuerdo a la NFPA 130 (2010):

“No deberá exigirse que los sistemas de manguera y columna seca estén encerrados en una construcción resistente al fuego si se cumplen con las condiciones siguientes:

El sistema está alimentado por dos puntos o desde dos lugares.

Hay instaladas válvulas de aislamiento, separadas no más de 245m (800ft). [Traducido]”



FIGURA 8: Sistema de manguera y columna seca.

Fuente: <http://administrandocomunidades.blogspot.com/>

2.5.5.- VENTILACIÓN DE EMERGENCIA

La ventilación de emergencia es un componente fundamental del sistema de túneles y estaciones en caso de ocurrir un incendio, ya que controlan los humos producidos y de esta manera se facilita el desplazamiento de los usuarios.

Un buen sistema de ventilación de emergencia ayuda en la evacuación de los túneles o estaciones que se encuentran afectados, pues complementa los demás elementos anteriormente especificados.

2.5.5.1.- VENTILACIÓN EN CASO DE INCENDIO EN LOS TÚNELES

“Para definir las estrategias de ventilación en caso de incendio es de vital importancia que la opción tomada sea la más segura de las posibles, que se pueda establecer automáticamente mediante los sensores dispuestos y que no deba modificarse en caso de que el foco se mueva.

En caso de que un tren empiece a arder en el interior de un túnel la mejor opción es que el tren intente llegar a la estación, ya

que la evacuación de los pasajeros será más rápida y se facilita el acceso de los equipos de emergencia.

Cuando se detecta la presencia de un incendio en el túnel, los ventiladores de los pozos entre estación se pondrán en funcionamiento para extraer el humo con caudales de aire definidos para la situación de emergencia, se mantiene la impulsión en los andenes de las estaciones próximas y se activa la ventilación de impulsión de los vestíbulos potenciando la sobrepresión de estas estancias que impedirán la entrada del humo procedente del túnel, consiguiéndose el confinamiento del humo entre el punto del incendio y uno de los pozos entre estación a través del cual se expulsará. En estas condiciones prevalece la suposición de que habrá más gente en las estaciones que en el tren y que se supone que la mitad del pasaje del tren efectúa la evacuación en cada sentido.

La velocidad del aire en estas situaciones no deberá ser excesiva para evitar turbulencias y la mezcla del humo y los gases en toda la sección del túnel, con la consiguiente desestratificación del humo que lleva a la pérdida de visibilidad y de las condiciones compatibles con la evacuación.” SANZ y VERA (2009)

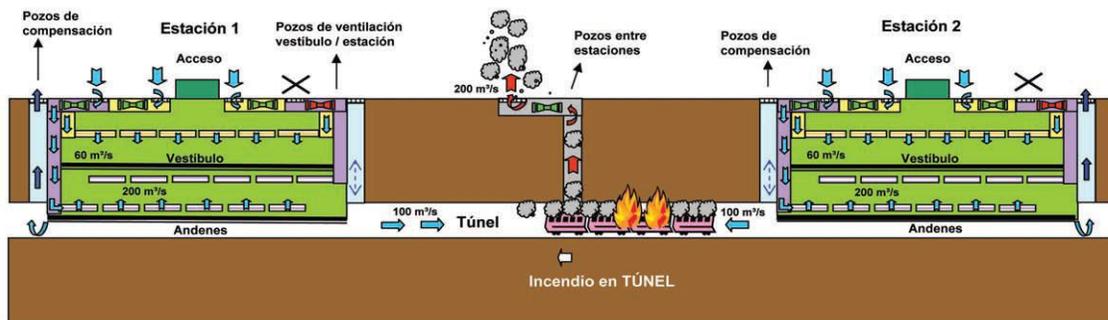


FIGURA 9: Ventilación en caso de incendio en los túneles.

Fuente: Diseño y estrategias de ventilación en nuevos ferrocarriles suburbanos. 2009.

2.5.5.2.- VENTILACIÓN EN CASO DE INCENDIO EN ESTACIONES

“Si el incendio se detecta en los andenes de la estación o el tren ardiendo en movimiento llega a la misma, se paralizarán de inmediato los equipos de impulsión de aire y entrarán en funcionamiento los de extracción con los caudales de aire definidos para emergencia, evacuándose el humo por los pozos de ventilación de los andenes.

“Todos los equipos del vestíbulo (reversibles), impulsarán aire sobrepresionándolo y evitando que el humo se propague hasta él por las escaleras. Los equipos de los pozos entre estación permanecerán parados. En algunos casos se decide hacerlos trabajar en impulsión mediante equipos reversibles con la finalidad de potenciar el confinamiento del humo en el punto de origen (la estación) y evitar la propagación por los túneles, pero con esta estrategia se podrán plantear situaciones críticas de difícil detección donde cualquier demora agravará los resultados.” SANZ y VERA (2009)

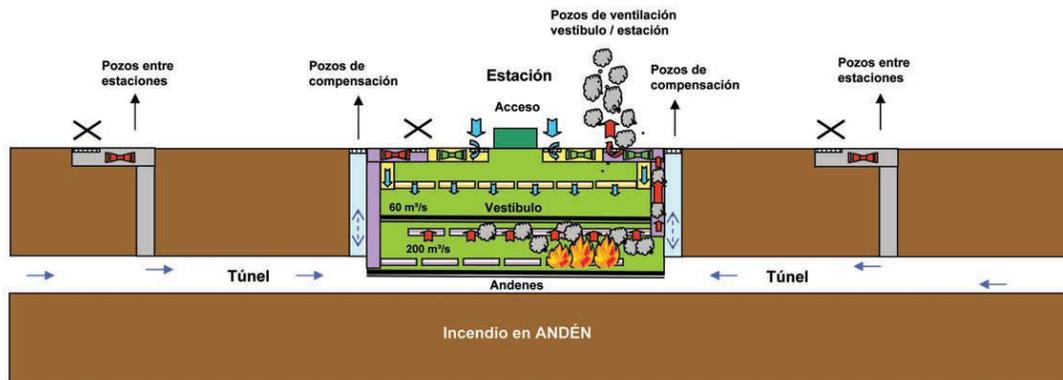


FIGURA 10: Ventilación en caso de incendio en las estaciones.

Fuente: Diseño y estrategias de ventilación en nuevos ferrocarriles suburbanos. 2009.

2.5.6.- ILUMINACIÓN DE EMERGENCIA

En la Decisión 2008/163/CE de la Especificación Técnica de interoperabilidad se indica:

“Sección 2.2.1 del anexo III (Energía): El funcionamiento de las instalaciones de alimentación de energía no debe poner en peligro la seguridad de los trenes ni de las personas (usuarios, personal de explotación, habitantes del entorno y terceros).

A bordo de los trenes deberá existir un sistema de alumbrado de emergencia con intensidad y autonomía suficientes. (...)

4.2.2.8. Alumbrado de emergencia en las vías de evacuación

Esta especificación se aplica a todos los túneles continuos de más de 500 m de longitud.

Se instalará alumbrado de emergencia para guiar a los pasajeros y al personal a una zona segura en caso de emergencia.

Es aceptable la iluminación por medios diferentes de la electricidad, siempre que cumpla la función prevista.



La iluminación deberá ajustarse a lo dispuesto a continuación:

Tubo de vía única: un lado (el mismo que el pasillo).

Tubo de doble vía: ambos lados.

Posición de las luces: por encima del pasillo, lo más bajo posible, para no irrumpir en el espacio libre para el paso de personas, o bien incrustada en los pasamanos.

La luminancia será al menos 1 lux al nivel del pasillo.

Autonomía y fiabilidad: alimentación eléctrica garantizada para emergencias y otras necesidades que asegure una disponibilidad de, al menos, 90 minutos.

Si las luces de emergencia se desconectan en condiciones normales de funcionamiento, será posible encenderlas por los dos medio siguientes

— manualmente desde el interior del túnel a intervalos de 250m.

— por el explotador del túnel mediante control remoto.”
Especificación Técnica de interoperabilidad (Decisión 2008/163/CE).

2.5.7.- DISPOSITIVOS DE COMUNICACIÓN

La Decisión 2008/163/CE de la Especificación Técnica de interoperabilidad expresa lo siguiente respecto a este tema:

“Sección 2.4.1 del anexo III (Material rodante). «Deben existir dispositivos que, en caso de peligro, permitan a los pasajeros señalarlo al conductor y al personal de tren ponerse en contacto con el mismo.»(...)

4.2.2.10. Comunicación de emergencia

Deberá haber comunicación por radio, en cada túnel, entre el tren y el centro de control mediante GSM-R. No son necesarios otros sistemas de comunicación complementarios como teléfonos de emergencia.

Asimismo, tendrá que haber continuidad por radio para que los servicios de rescate se comuniquen con sus instalaciones de mando sobre el terreno. El sistema permitirá que los servicios de socorro puedan utilizar su propio equipo de comunicación.(...)

Los trenes deben llevar un sistema de sonorización que permita que el personal a bordo del tren y el personal de control en tierra puedan dirigir mensajes a los pasajeros.”

2.6.- TEORÍA DE ESCAPE

Sebastian Jonkman (2007) se refiere al escape como el movimiento de personas desde una zona expuesta hasta una zona segura.

Todo incendio tiene como consecuencia Efectos Físicos, que se refieren a la transformación total o parcial del área afectada. Los daños ocasionados por el incendio alteran significativamente el desplazamiento de las personas a través de las vías de escape.

Las alteraciones producidas en el área afectada pueden también generar un cambio en la percepción de las personas, ocasionando cambios en su comportamiento. En el caso de escape, los afectados deberán evacuar a pesar de los efectos físicos generados por el incendio lo que disminuye la velocidad de desplazamiento y a su vez aumenta el tiempo de desalojo del área.

2.6.1.- CURVAS DE ESCAPE

Las curvas de escape son un método gráfico que permite identificar el tiempo requerido para salir de manera segura del área afectada por el incendio.

Estas curvas están constituidas por dos parámetros fundamentales los cuales muestran la distancia que se debe recorrer para llegar a un área segura y el tiempo de traslado, de este modo se puede identificar el tipo de evacuación que se debe realizar, dependiendo de la fase en la que se encuentre la emergencia, tal como se puede observar en las Figuras 11 y 12.

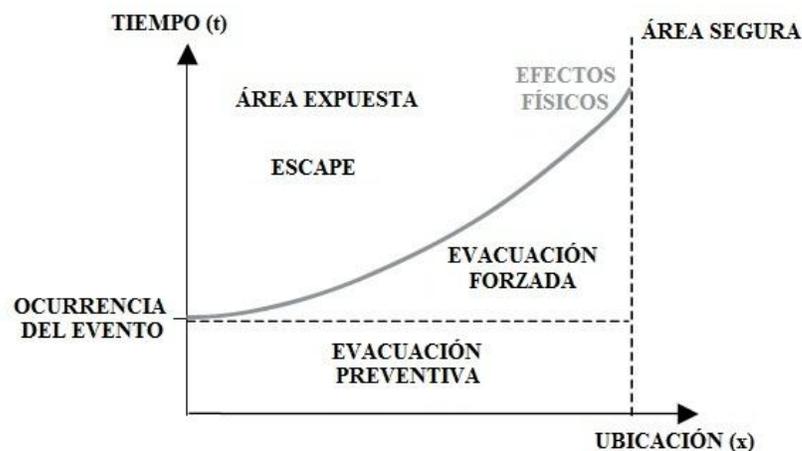


FIGURA 11: Diferentes fases de la evacuación.

Fuente: *Loss of life estimation in flood risk assessment Theory and applications* 2007. [traducido]

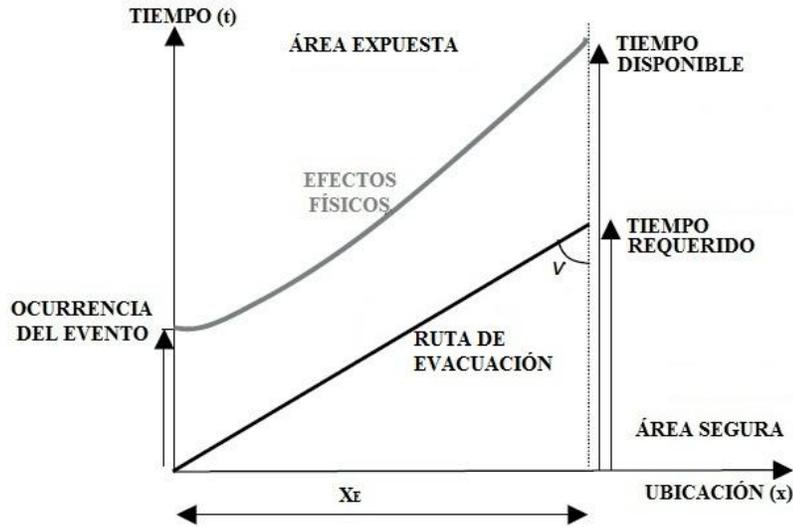


FIGURA 12: Tiempos de evacuación.

Fuente: *Loss of life estimation in flood risk assessment Theory and applications* 2007. [traducido]

Los tiempos que se observan en la Figura 12, están constituidos por cuatro fases fundamentales, las cuales forman parte del proceso de evacuación del área afectada. Cada una de estas fases implica un tiempo, que sumados establecen el tiempo máximo requerido para desalojar el área, esto se puede apreciar de forma clara a través de la Línea de tiempo de evacuación general indicada en la Figura 13.

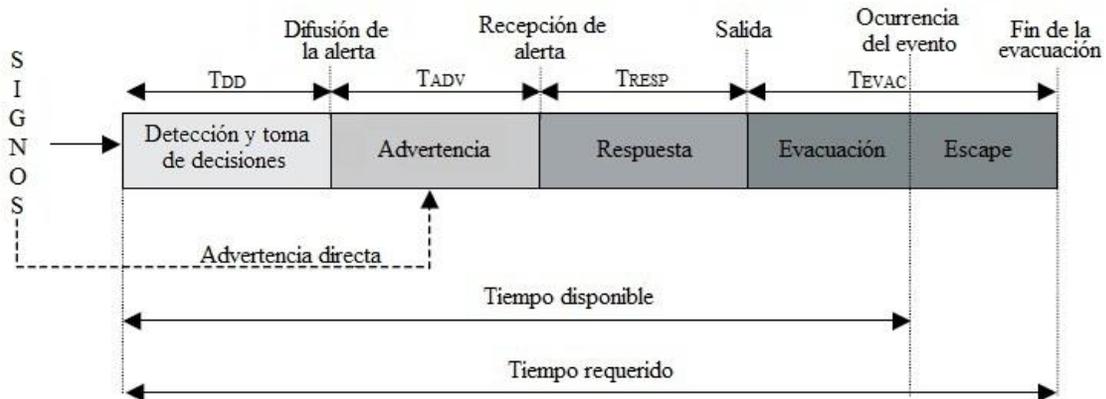


FIGURA 13: Línea de tiempo de evacuación general.

Fuente: *“Loss of life estimation in flood risk assessment Theory and applications”* 2007. [traducido]



2.6.1.1.- TIEMPO DISPONIBLE

Es el necesario para abarcar las cuatro fases que se producen al ocurrir un incendio y debe ser suficiente para desalojar el área afectada de manera segura sin producirse víctimas.

2.6.1.2.- TIEMPO REQUERIDO

Es el necesario para evacuar a los usuarios del área afectada antes de que se produzca el incendio, también se debe cumplir las cuatro fases anteriores y este tiempo puede ser mayor o menor al disponible. Si el tiempo es menor se logra la evacuación completa del área afectada de manera segura, de lo contrario, si el tiempo disponible es mayor no se garantiza la evacuación de manera segura, pudiendo ocurrir víctimas en el incidente.

2.6.1.3.- DETECCIÓN Y TOMA DE DECISIONES

Antes de producirse un incendio pueden ocurrir señales que facilitan su predicción, esto permite que se pueda identificar el peligro y así tomar las decisiones respectivas en la evacuación del área.

2.6.1.4.- ADVERTENCIA

Una vez detectado el incendio y luego de haber tomado las decisiones pertinentes, se advierte a los usuarios de la existencia del peligro.

2.6.1.5.- RESPUESTA

Al recibir la señal de alerta los usuarios reaccionan ante ella y comienzan el proceso de evacuación.

2.6.1.6.- EVACUACIÓN

Consiste en el traslado de los usuarios desde el área en peligro hasta el área segura.

2.6.1.6.1.- EVACUACIÓN PREVENTIVA

Consiste en el desalojo del área propensa a ser afectada por el incendio antes de que este se inicie.

2.6.1.6.2.- EVACUACIÓN FORZADA

Consiste en el desalojo del área una vez que se ha iniciado el incendio, pero evitando que las personas sean perjudicadas por los efectos del mismo.

Dado que las velocidades de propagación del calor y del humo en los Túneles y Estaciones Ferroviarias son muy altas, los usuarios deben actuar por



sus propios medios para realizar el escape de manera exitosa, a esto se le conoce como Autosalvamento.

2.7.- NORMAS INTERNACIONALES

2.7.1.- UNE-EN 50126 (2005). APLICACIONES FERROVIARIAS. ESPECIFICACIÓN Y DEMOSTRACIÓN DE LA FIABILIDAD, LA DISPONIBILIDAD, LA MANTENIBILIDAD Y LA SEGURIDAD.

Esta es la versión española de la Norma Europea que se dedica al entendimiento de la gestión de la Fiabilidad, la Disponibilidad, la Mantenibilidad y la Seguridad o gestión RAMS (Por sus siglas en inglés Reability, Availability, Maintainability and Safety) en este caso referente a los Sistemas Ferroviarios.

Según la UNE-EN 50126 (2005) se entiende por:

Disponibilidad: La capacidad que tiene un producto de hallarse en situación de realizar una función requerida en condiciones determinadas en un momento dado o durante un intervalo de tiempo señalado, suponiendo que se faciliten los recursos externos requeridos. (...)

Mantenibilidad: La probabilidad de que una acción dada de mantenimiento activo, correspondiente a un elemento en condiciones de utilización dadas, pueda ser llevado a cabo en un intervalo de tiempo cuando el mantenimiento se realiza en condiciones establecidas y se utilizan procedimientos y recursos establecidos.

Mantenimiento: La combinación de todas las acciones técnicas y administrativas, incluidas las acciones de supervisión, destinadas a mantener un producto en el estado en el que pueda realizar una función requerida, o a devolverlo a dicho estado. (...)

Fiabilidad: La probabilidad de que un elemento pueda realizar una función requerida en condiciones determinadas durante un intervalo de tiempo determinado. (...)

Seguridad: Ausencia de riesgo inaceptable de daño.”

La norma UNE-EN 50126 (2005) considera la necesidad de documentar las actividades planificadas temporalmente, así como los recursos y acontecimientos que sirven para poner en práctica la estructura organizativa, los procedimientos, actividades, capacidades y recursos que garantizan el cumplimiento de los RAM relativos a aplicaciones ferroviarias. La misma, es aplicable tanto a sistemas nuevos, como a modificaciones de sistemas ya



existentes, ya que define procesos para la gestión RAMS para las diferentes fases del ciclo de vida del sistema.

La aplicación de esta norma al tema de estudio se encuentra especificada básicamente en el apartado 4.6 correspondiente a Riesgo. En este se detalla el Análisis de Riesgos y se hace posible de manera muy eficiente y bastante sencilla la evaluación de los niveles de riesgo a través de una serie de tablas, logrando así categorizar al incendio en túneles y estaciones.

2.7.2.- NFPA 130. (EDICIÓN 2010). ESTÁNDAR SOBRE SISTEMAS FERROVIARIOS PARA TRANSPORTE DE VEHÍCULOS Y VIAJEROS SOBRE RIELES.

La Asociación Nacional de Protección contra Incendios o NFPA (Por sus siglas en inglés: National Fire Protection Association) realizó la norma Estándar sobre sistemas ferroviarios para transporte de vehículos y viajeros sobre rieles (NFPA 130) la cual se origina principalmente por la necesidad de mantener la seguridad de los usuarios en las instalaciones de los sistemas, tanto en los ferrocarriles como en el metro; su principal objetivo es establecer un control y definir los parámetros mínimos necesarios para garantizar la seguridad de las personas.

“El comité para los sistemas de Transporte sobre Rieles fue creado en 1975 e inmediatamente comenzó a trabajar en el desarrollo de la NFPA 130. (...)

Durante la elaboración de este documento, varios incendios de importancia tuvieron lugar en sistemas de rieles aunque afortunadamente la pérdida de vidas fue reducida. El comité estableció que la pérdida reducida de vidas se debió principalmente a la suerte más que a cualquier plan preconcebido o al funcionamiento del sistema de protección.

El comité desarrolló material para los requisitos en materia de protección contra incendio para incluir en la NFPA 130, Normativa estándar para los Sistemas Ferroviarios para el Transporte de Vehículos y Viajeros sobre Rieles, Standard for Fixed Guideway Transit Systems.(...)

Además de estos cambios editoriales, había revisiones técnicas de los requisitos de evacuación para estaciones.

La edición del 2007 incluye revisiones que afectan los cálculos de estaciones, el uso de escaleras mecánicas como medio de evacuación, Resistencia al fuego interior de los vehículos y suministro de energía eléctrica a los sistemas de ventilación del túnel.



La edición de 2010 de la NFPA 130 incluye disposiciones que permiten que los ascensores sean contados como una contribución a los medios de salida en la estación. [Traducido]”

Se utiliza esta norma como guía principal para el diseño y la verificación de la seguridad en Sistemas Ferroviarios Subterráneos, ya que posee fórmulas que permiten determinar los tiempos de evacuación en Estaciones ante un incendio, de esta manera se puede comprobar si la estructura y los elementos que la componen son adecuados o no para garantizar el desalojo del sistema.

En el caso de los túneles, los criterios a verificar que contempla esta norma para garantizar la seguridad del Sistema Ferroviario, consisten en la implementación de medios de evacuación, tales como: Salidas de Emergencia y Galerías transversales, pero no se incluye el cálculo de los tiempos de evacuación.

2.7.3.- ETI: ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DE INTEROPERABILIDAD SOBRE SEGURIDAD EN LOS TÚNELES EN LOS SISTEMAS FERROVIARIOS TRANSEUROPEOS CONVENCIONAL Y DE ALTA VELOCIDAD (DECISIÓN 2008/163/CE).

Las Especificaciones Técnicas de Interoperabilidad (ETI) se realizaron en una primera instancia para el sistema ferroviario transeuropeo de Alta velocidad (Directiva 96/48/CE) y, posteriormente, para el transporte ferroviario transeuropeo convencional (Directiva 2001/16/CE).

En 2007, se unifican criterios con la decisión 2008/163/CE relativa a la especificación técnica de interoperabilidad sobre seguridad en los túneles en los sistemas ferroviarios transeuropeos convencional y de alta velocidad.

Dichas directivas definen interoperabilidad como *“Capacidad del Sistema Ferroviario Transeuropeo -de alta velocidad y convencional- para permitir la circulación segura e ininterrumpida de trenes, cumpliendo los rendimientos especificados”*.

En estas especificaciones se precisan los elementos primordiales de cada subsistema y sus interfaces con otros subsistemas. Especialmente, se establecen los componentes que resultan críticos para la interoperabilidad del sistema de ferrocarril en busca de garantizar la seguridad durante su funcionamiento.

Las medidas que en esta norma se describen pueden aplicarse a tres tipo de incidentes: incidentes en caliente, incidentes fríos y parada prologada.

Se consideran incidentes calientes: incendio, explosión seguida de incendio, y emisión de humos o gases tóxicos.



“El principal peligro es el incendio. Se supone que éste se inicia en un tren de viajeros o vehículo automotor y alcanza plenas dimensiones a los 15 minutos de la ignición. Se descubre el fuego y se da la alarma durante estos primeros 15 minutos.

Siempre que sea posible el tren ha de salir del túnel. Si el tren se para, los viajeros son evacuados, bajo la dirección de la tripulación o mediante auto-rescate, a una zona segura.

Se consideran incidentes fríos a la colisión y al descarrilamiento. Las medidas específicas para túneles se concentran en las instalaciones de entrada/salida en las que se apoya la evacuación y la intervención de los efectivos de socorro. La diferencia con los supuestos calientes es que no hay limitaciones de tiempo debido a la creación de un entorno hostil debido al fuego.

La parada prolongada (una parada no prevista en un túnel, sin incendio a bordo, durante más de 10 minutos) no es, por sí misma, una amenaza para los pasajeros y el personal. Sin embargo, puede provocar el pánico y dar lugar a una evacuación espontánea e incontrolada, con la consiguiente exposición a los peligros presentes en un entorno de túnel. [Para mantener controlada semejante situación, se debe prever en el plan de emergencia la decisión de efectuar una evacuación dependiendo de una evaluación de riesgos en caso de que los pasajeros permanezcan en el tren, y en caso de llevarse a cabo la evacuación, ésta debe realizarse en un plazo de 60 min a partir de la parada del tren]”

Se toma en cuenta esta normativa por referirse, específicamente, a los sistemas de túneles y se extrajeron de ella los parámetros mínimos que deben estar presentes en caso de ocurrir un incidente en caliente, de forma que se garantice la seguridad al sobrevenir un evento de este tipo. Asumiendo que éste evento es el más desfavorable, queda entonces verificada también, la seguridad para un incidente frío o una parada prolongada.

Esta normativa no especifica cálculos para la verificación de los tiempos empleados en caso de ser necesario un escape, sin embargo, se detalla el equipamiento propio para garantizar una evacuación segura.

2.8.- APLICACIÓN DE NORMATIVAS

2.8.1.- EN SISTEMAS DE FERROCARRILES.

Se denominan Ferrocarriles a los sistemas que se movilizan sobre vías férreas entre el centro de las ciudades y sus afueras o interconectando



diferentes localidades. Los sistemas de ferrocarriles se pueden utilizar para el transporte tanto de pasajeros como de carga.

Los Sistemas de Ferrocarriles suelen compartir los rieles entre ellos, y por estar alejados de los centros urbanos gran parte de su recorrido se realiza en áreas abierta, pudiendo estar también compuesto de túneles o elevados.

Para el caso de las Estaciones de los Sistemas de Ferrocarriles, la evaluación de los tiempos de evacuación se realiza por medio de la NFPA 130. (Edición 2010). Estándar sobre Sistemas Ferroviarios para Transporte de Vehículos y Viajeros sobre Rieles, la cual es aplicable para estaciones tanto subterráneas como elevadas o a nivel.

Por su parte en los Túneles de los Sistemas de Ferrocarriles, la normativa que se debe evaluar es la Especificación Técnica de Interoperabilidad sobre seguridad en los túneles en los sistemas ferroviarios transeuropeos convencionales y de alta velocidad C(2007) 6450, ya que esta es la normativa más explícita referente a seguridad en Túneles. Se debe tener presente, que ésta sólo se considera para el caso de sistemas de Ferrocarriles, pues considera, en primera instancia, intentar salir del túnel hacia un área abierta y sólo de no ser posible, se lleva a cabo la evacuación.

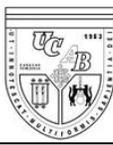
2.8.2.- EN SISTEMAS METROS

“El Metro es un medio de transporte masivo que consiste de una red de trenes urbanos que transitan por su propia vía, sobre rieles y sin ocupar los espacios viales actuales, desplazando pasajeros de manera eficiente y segura hasta la estación más cercana a su destino final.” Metro de Panamá

Las características fundamentales que diferencia al metro del resto de los sistemas ferroviarios es que éstos deben tener un sistema de rieles propio (no comparten sus vías con otro sistema) y que se refieren al transporte, que circula dentro de zonas urbanas, por lo tanto se parte del principio de que estos son subterráneos, aunque algunos de sus tramos puedan ser elevados o a nivel de la calle.

Para el caso de las estaciones de los Sistemas Metro, la evaluación de los tiempos de evacuación también se realiza por medio de la NFPA 130. (Edición 2010). Estándar sobre Sistemas Ferroviarios para Transporte de Vehículos y Viajeros sobre Rieles, la cual es aplicable para estaciones tanto subterráneas como elevadas o a nivel.

Cuando se trata de Túneles en Sistemas Metro, los parámetros a verificar son los correspondientes a la misma normativa que para estaciones (NFPA 130, 2010) ya que ésta es aplicable a los sistemas con vías férreas



subterráneas y cerradas en la mayor parte de su trayecto, lo que corresponde a las características de los Sistemas Metro.

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

3.1.- PARÁMETROS A VERIFICAR.

A continuación se presenta el flujograma que esquematiza el Análisis de Seguridad basado en túneles y estaciones a fin de corroborar que los tiempos estimados por la norma NFPA 130 (2010) se correspondan con los tiempos que arrojan las evaluaciones realizadas a los sistemas ferroviarios.

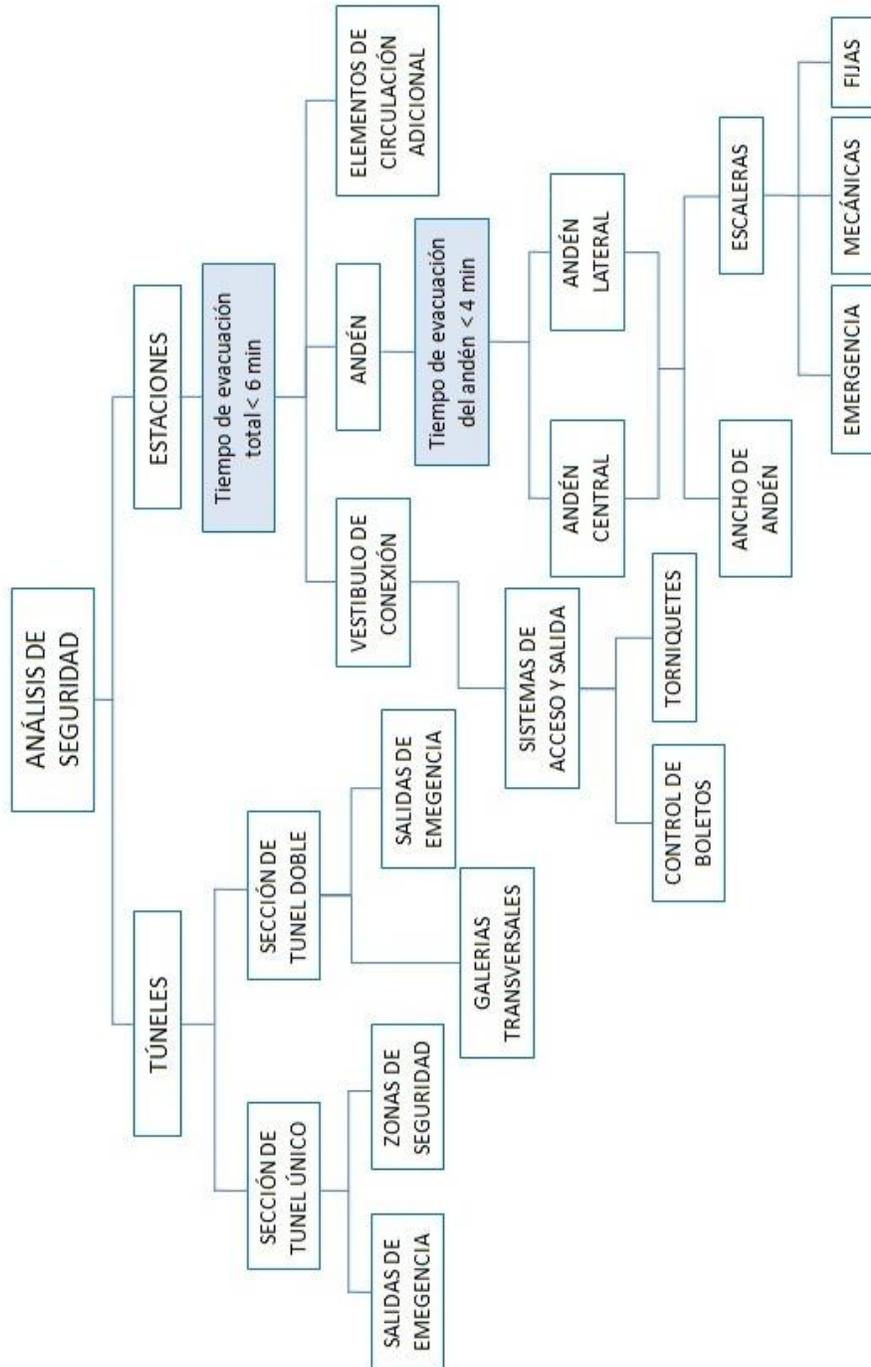


FIGURA 14: Análisis de Seguridad.



3.1.1.- EN ESTACIONES

Todos los criterios de los parámetros a verificar que se señalan en las estaciones, son extraídos de la Norma NFPA 130 Estándar sobre Sistemas Ferroviarios para Transporte de Vehículos y Viajeros sobre Rieles (Edición 2010).

3.1.1.1.- ANDÉN CENTRAL

Capacidad máxima de evacuación = 0,0819 personas/(mm*min)

Velocidad de desplazamiento = 38 m/min

Ancho libre mínimo = 1120 mm

Para calcular el ancho libre disponible en cada sentido del andén, se deberá reducir al valor del Ancho total- ancho de escaleras fijas, 750 mm (correspondientes a 300 mm por la pared de las escaleras en uno de los sentidos del andén y 450 mm por el lado abierto hacia las vías en ese sentido) y el resultado se dividirá entre dos para contemplar el ancho disponible en cada sentido del andén.

3.1.1.2.- ANDEN LATERAL

Capacidad máxima de evacuación = 0,0819 personas/(mm*min)

Velocidad de desplazamiento = 38 m/min

Ancho libre mínimo = 1120 mm.

El ancho libre mínimo en el caso de andén lateral, deberá compararse siempre con el resultado de = Ancho Total (mm) – 750 (mm) – ancho de las escaleras fijas.

Este ancho de 750 mm incluye 300 mm por pared a uno de los lados del andén y 450 mm por lado abierto hacia las vías.

3.1.1.3.- ESCALERAS

3.1.1.3.1.- FIJAS

Capacidad = 0,0555 personas/(mm*min)

Velocidad de desplazamiento = 15 m/min

Ancho libre mínimo = 1120 mm.



3.1.1.3.2.- MECÁNICAS

Capacidad = 0,0555 personas/(mm*min)

Velocidad de desplazamiento = 15 m/min

Ancho libre mínimo = 1120 mm.

Para calcular la capacidad de evacuación de las escaleras mecánicas en el apartado 5.5.6.3.2.7 de la NFPA 130, se indica que debe considerarse una de las escaleras existentes en cada nivel como fuera de servicio.

3.1.1.4.- SALIDAS

3.1.1.4.1.- SISTEMAS DE ACCESOS Y SALIDAS

Para el cálculo del tiempo de flujo del control de boletos (F_{fb}), se usa la siguiente fórmula:

$$F_{fb} = \frac{\text{Carga ocupacional del vestibulo de conexión}}{\text{Capacidad de salida de la barrera de billetes}}$$

Ecuación Nº 1. Tiempo de flujo del control de boletos (F_{fb}).

Asimismo, el tiempo de espera en los controles de boletos (W_{fb}) se consigue mediante la expresión:

$$W_{fb} = F_{fb} - F_p$$

Ecuación Nº 2. Tiempo espera en los controles de boletos (W_{fb})

Donde:

- F_p = Tiempo de flujo de salida del andén

3.1.1.4.1.1.-CONTROL DE BOLETOS

Capacidad en control de boletos: 50 personas/(mm*min)

Ancho libre mínimo (altura hasta 960mm)= 450 mm

Ancho libre mínimo (altura mayor a 960mm)= 710 mm



Altura máxima del Control de boletos= 1010mm

3.1.1.4.1.2.- TORNIQUETES

Capacidad en Torniquetes = 25 personas/(torniquete*min)

Ancho libre mínimo = 450mm

Altura máxima del torniquete= 900mm

} Extraído de Versión anterior.
(NFPA (2007))

3.1.1.5.- ZONAS DE CONEXIÓN Y OTRAS ÁREAS

En zonas donde se prevea una densidad de peatones inferior se puede hacer uso de los siguientes valores:

Velocidad de desplazamiento = 61 m/min

Consideración de área por persona = 0,46 m.

En caso de que exista una zona de conexión u otra área en la cual la densidad peatonal no se pueda considerar inferior, se debe usar el valor predeterminado en los andenes:

Velocidad de desplazamiento = 38 m/min

El tiempo de flujo de salidas de la zona de conexión (F_c) se calcula de la siguiente manera:

$$F_c = \frac{\text{Carga ocupacional de vestibulo de conexión}}{\text{Capacidad de salida de la zona de conexión}}$$

Ecuación N° 3. Tiempo de flujo de salidas de la zona de conexión (F_c).

Por su parte, el tiempo de espera en salidas en zonas de conexión (W_c) se obtiene mediante la ecuación:

$$W_c = F_c - \text{máx} (F_p \text{ ó } F_{fb})$$

Ecuación N° 4. Tiempo de espera en salidas en zonas de conexión (W_c).

Donde el valor a restar es el que resulte mayor entre el tiempo de flujo de flujo de salida del andén (F_p) y el tiempo de flujo de control de boletos (F_{fb}).

En tanto que el cálculo para el tiempo de espera en cualquier elemento de circulación adicional (W_N) se puede obtener mediante la fórmula:

$$W_N = F_N - \text{máx} (F_c, F_{fb} \text{ ó } F_p)$$

Ecuación N° 5. Tiempo de espera en cualquier elemento de circulación adicional (W_N).

Donde:

- F_N = Tiempo de flujo para cualquier elemento de circulación adicional.
- El valor a restar es el que resulte mayor entre el tiempo de flujo de salidas de la zona de conexión (F_c) el tiempo de flujo de control de boletos (F_{fb}) y el tiempo de flujo de flujo de salida del andén (F_p).

3.1.1.6.- TIEMPOS DE EVACUACIÓN

La norma especifica que el tiempo de flujo de salida del andén (F_p) correspondiente al tiempo de desalojo de éste, debe ser igual o menor a 4 minutos.

Este tiempo se calcula:

$$F_p = \frac{\text{Carga ocupacional del andén}}{\text{Capacidad de salida del andén}}$$

Ecuación N° 6. Tiempo de flujo de salida del andén (F_p).

En cuanto al tiempo total de evacuación (Tts) que se refiere al período que abarca desde que inicia el desalojo en los andenes hasta la salida a la superficie, se debe efectuar en un tiempo igual o menor a 6 minutos, y se expresa:

$$Tts = T + W_p + W_{fb} + W_c + W_N$$

Ecuación N° 7. Tiempo total de evacuación (Tts).

Donde:

- T = Tiempo total de desplazamiento para la ruta de salida más larga, calculado en función de las distancias y las velocidades de recorrido.

Conviene saber, que W_p se refiere al tiempo de espera en las salidas del andén y se obtiene mediante la ecuación:



$$W_p = F_p - T_p$$

Ecuación N° 8. Tiempo de espera en las salidas del andén (W_p).

Donde:

- T_p = Tiempo de desplazamiento del andén a un sitio seguro.

3.1.1.7.- CÁLCULO DE CARGA OCUPACIONAL

La carga ocupacional se refiere a la cantidad de personas que se encuentran en el andén en un tiempo determinado. Esta carga se utiliza para poder determinar si los medios de evacuación son suficientes o no para desalojar la estación en el tiempo que establece la norma.

Es necesario estimar la entrada de pasajeros en cada dirección en los 15 minutos picos, para esto se debe conocer el volumen diario de usuario en cada sentido y luego se hace uso de factores típicos, los cuales son:

- 12% del volumen diario de pasajeros en cada dirección, para calcular el número de usuarios en una hora pico.
- 30% del volumen de pasajeros durante la hora pico en cada dirección, para obtener el volumen de entrada de pasajeros en los 15 minutos pico.

Asimismo, según la Norma de Medios de Escape del Metro de Caracas (2007):

“Para calcular la carga de entrada de una estación se procederá así:

–Se determina el volumen de pasajeros entrando a la estación durante los quince (15) minutos pico, en la dirección de mayor demanda, se divide entre 15 y se multiplica por 10 minutos.

–Se determinan los volúmenes de entrada de pasajeros durante los quince (15) minutos pico, en las otras direcciones, dividiéndolo por el número de trenes que circulan en 15 minutos.”

Para el caso de estaciones con andén central, el cálculo de la carga ocupacional total consiste en la suma de ambos volúmenes establecidos por el Manual de Metro Caracas (2007) más la carga de un tren completamente lleno.



En el caso de estaciones con andenes laterales, se toma cada uno de los volúmenes obtenidos según el Manual e Metro Caracas para sus respectivos andenes y, se les suma a cada uno la carga de un tren completamente lleno, a fin de obtener la carga ocupacional en cada andén.

3.1.2.- EN TÚNELES

3.1.2.1.- PARA SISTEMAS DE FERROCARRILES

Todos los parámetros a verificar en el caso de los Túneles en sistemas de Ferrocarriles, que se enumeran a continuación, son extraídos de la Especificación Técnica de Interoperabilidad sobre seguridad en los túneles en los sistemas ferroviarios transeuropeos convencionales y de alta velocidad C(2007) 6450.

3.1.2.1.1.- EVACUACIÓN DE EMERGENCIA

Siempre que sea posible el tren ha de salir del túnel. El mando especial del freno de emergencia evita una parada no deseada en un túnel y, además, se aplican otras medidas para mantener la capacidad de desplazamiento a zona segura.

La evacuación y rescate debe considerarse en caso de que un tren haga una parada no deseada en un túnel, el uso de tipos adecuados de materiales con baja capacidad de propagación del fuego, baja toxicidad y baja densidad de humos contribuye a mantener un clima en el túnel aceptable para la evacuación. Si el tren se para, los viajeros serán evacuados, bajo la dirección de la tripulación o mediante auto rescate, a una zona segura. El material rodante y la infraestructura del túnel estarán diseñados de manera que permitan la evacuación del túnel.

También, se debe contar con que los servicios de rescate estén informados de cómo acceder a los túneles (y al interior del material rodante de ser necesario).

3.1.2.1.2.- SALIDAS DE EMERGENCIA

Deben existir salidas de emergencia y éstas deberán estar señalizadas. Por medio de las salidas de emergencia también se debe permitir el acceso para los servicios de rescate.

3.1.2.1.2.1- ZONA SEGURA

“4.2.2.6.1. Definición de zona segura

Una zona segura es un lugar fuera o dentro del túnel donde se aplican todos los criterios siguientes.

— Las condiciones existentes permiten la supervivencia.



- *Es posible el acceso de las personas con ayuda o sin ella.*
- *Puede hacerse un auto-rescate si se da la oportunidad o bien puede esperarse a ser socorrido por los servicios de rescate utilizando los procedimientos especificados en el plan de emergencia.*
- *La comunicación es posible bien por teléfono móvil o bien mediante conexión fija con el centro de control del administrador de la infraestructura.(...)*

El diseño del túnel tendrá en cuenta la necesidad de instalaciones que permitan el auto-rescate y la evacuación de los pasajeros del tren y el personal y, asimismo, permitan a los servicios de socorro rescatar a las personas en caso de incidente en un túnel.” Especificación Técnica de interoperabilidad (Decisión 2008/163/CE).

Las soluciones técnicas descritas como salidas de emergencia a la superficie, galerías transversales, y soluciones técnicas alternativas cumplen este requisito y deberá seleccionarse una de ellas.

3.1.2.1.2.2.- SALIDAS DE EMERGENCIA A LA SUPERFICIE LATERALES Y/O VERTICALES

“Deberá haber este tipo de salidas, como mínimo, cada 1000m.

Las dimensiones mínimas de las salidas de emergencia laterales o verticales serán 1,50 m de anchura y 2,25 m de altura. Las dimensiones mínimas de las aperturas de las puertas serán 1,40 m de anchura y 2,00 m de altura. Todas las salidas estarán equipadas con iluminación y señales.

Los requisitos de las salidas que funcionen como vías de acceso principales para los servicios de rescate se describen en 4.2.2.11 «Acceso para los servicios de rescate».” Especificación Técnica de interoperabilidad (Decisión 2008/163/CE).

3.1.2.1.2.3.- GALERÍAS TRANSVERSALES (PASILLOS TRANSVERSALES AL OTRO TUBO)

“Los pasillos transversales entre túneles independientes adyacentes permitirán que el túnel adyacente se use como zona segura. Estos pasillos deben estar equipados con luces y señales. Las dimensiones mínimas del pasillo transversal son 2,25 m de altura y 1,50 m de anchura. Las dimensiones mínimas de las puertas son:

2,00 m de altura y 1,40 m de anchura. Deberá haber pasillos transversales conformes con estos requisitos al menos cada 500 m.”
Especificación Técnica de interoperabilidad (Decisión 2008/163/CE).

3.1.2.1.2.4.- SOLUCIONES TÉCNICAS ALTERNATIVAS

“Se permiten soluciones técnicas alternativas que aporten zonas seguras con un nivel de seguridad, como mínimo, equivalente. Se efectuará un estudio técnico para justificar la solución alternativa, que deberá ser aprobada por la autoridad nacional competente.”
Especificación Técnica de interoperabilidad (Decisión 2008/163/CE).

Esta especificación se aplica a todos los túneles de más de 500 m de longitud.

Para sección de túnel doble, se requiere al menos de la construcción de un pasillo de evacuación por túnel colocado a uno de los lados de la vía, asimismo para sección de túnel único se hace necesaria la construcción de pasillos de evacuación a ambos lados del mismo.

Por otra parte, en túneles más anchos que estén conformados por más de dos vías, el acceso a los pasillos de evacuación debe ser posible desde cada vía.

3.1.2.1.3.- PASILLOS DE EVACUACION

“La anchura del pasillo será, al menos, de 0,75 m. (Esta anchura contempla el uso de sillas de rueda por personas con movilidad reducida). La distancia libre mínima vertical por encima del pasillo será de 2,25 m.

El nivel mínimo del pasillo estará dentro de la altura del carril. Se evitarán limitaciones locales provocadas por obstáculos en la zona de evacuación. La presencia de obstáculos no reducirá la anchura mínima a menos de 0,7 m y la longitud del obstáculo no superará los 2 m.

Se instalarán pasamanos aproximadamente 1 m por encima del pasillo que marquen una vía hacia una zona segura. Los pasamanos se colocarán fuera de la distancia libre mínima requerida del pasillo y con un ángulo entre 30° y 40° respecto al eje longitudinal del túnel a la entrada y la salida del obstáculo.”
Especificación Técnica de interoperabilidad (Decisión 2008/163/CE).



3.1.2.2.- PARA SISTEMAS METRO

En el caso de los Túneles en sistemas metro todos los parámetros a verificar que se enumeran a continuación son extraídos de la NFPA 130. Estándar sobre Sistemas Ferroviarios para Transporte de Vehículos y Viajeros sobre Rieles. (2010)

3.1.2.2.1.- SALIDAS DE EMERGENCIA

“6.2.2.2 Número y Ubicación de los Medios de Evacuación.

6.2.2.2.1 En el interior de vías de tren subterráneas y cerradas la distancia máxima entre salidas no deberá ser mayor de 762m (2500ft).

6.2.2.2.2 Para las escaleras de salida que se encuentran en vías del tren subterráneas o cerradas, el ancho de las escaleras de salida no estará obligado a superar 1120 mm (44 pulgadas). [Traducido] NFPA 130 (2010).

3.1.2.2.2.- GALERÍAS TRANSVERSALES

“6.2.2.3.1 Cuando las vías de tren en túneles estén separadas por un muro de 2 horas de grado de protección contrafuego o las vías de tren discurren por túneles gemelos, se deberá permitir utilizar galerías transversales en lugar de escaleras de emergencia.

6.2.2.3.2 Cuando se utilizan Galerías Transversales en lugar de escaleras de emergencia, se deberán aplicar los siguientes criterios:

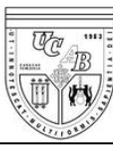
(1) Las galerías transversales no deberán estar distanciadas más de 244m (800ft) entre sí.

(2) Las galerías transversales no deberán estar alejadas más de 244m (800ft) de la estación o salida del túnel.

(3) Las galerías transversales deberán tener un ancho libre mínimo de 1120 mm (44 in.) y una altura de 2100mm (7ft.)

(4) Las aberturas en pasillos abiertos deberán estar protegidas mediante conjuntos de puertas contrafuego con un grado de protección de 1½ hora y autocierre.

(5) Se mantendrá un ambiente en la parte de las vías del tren que no es afectada por la emergencia y que se utiliza para la evacuación.



(6) El sistema de ventilación del túnel contaminado deberá ser diseñado para el control de humo en las proximidades de los pasajeros.

(7) Se tomarán medidas para evacuar a los pasajeros a través de la vía del tren no afectada a una estación cercana o hacia una salida de emergencia.

(8) Las disposiciones incluirán medidas para proteger a los pasajeros del tren que se aproxima y de otros peligros. [Traducido] NFPA 130 (2010).

3.3.- HOJA DE CÁLCULO DE TIEMPOS DE EVACUACIÓN

Las hojas de cálculo fueron diseñadas en el programa “Microsoft Office Excel 2007”, estas están basadas en las fórmulas expuestas por la norma NFPA 130 (2010), “Anexo C, Evacuación de Emergencia”, y permiten la cuantificación de los tiempos de evacuación a través de la introducción de datos de la estación.

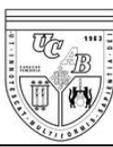
Esta hoja, constituye una herramienta de gran ayuda, pues simplifica el uso y entendimiento de la norma antes mencionada, también brinda beneficios en el diseño seguro y/o la verificación de las infraestructuras.

Es importante precisar, que las hojas de cálculo fueron calibradas con los ejemplos presentes en la norma tanto para andén central como para andén lateral.

Por otra parte, se incluye un manual para la utilización adecuada de estas hojas en el Anexo 1.

Nota: Las hojas de cálculo se incluyen un CD anexo al final del tomo junto con los ejemplos presentes en la norma utilizados para realizar su calibración.

CAPÍTULO 4
CASO DE APLICACIÓN PRÁCTICA
DE LA METODOLOGÍA



4.1.- CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE ESTUDIO

Actualmente, se encuentra en Proyecto La Línea 1 del Metro de Panamá, cuya inauguración se prevé para el año 2013.

“La Línea 1 del Metro de Panamá tiene un trazo mayoritariamente en dirección norte-sur y une la Estación Terminal Nacional de Autobuses, en "Albrook", con el Centro Comercial "Los Andes" en el norte del Área Metropolitana de la ciudad de Panamá y cuenta con una longitud de aproximadamente 13.7 kilómetros. Esta ruta está inserta en un corredor de alta demanda de transporte público.” Metro de Panamá

Éste contará con 2 estaciones terminales (1 definitiva y 1 provisional), 2 estaciones de transferencia con otros medios de transporte y para líneas futuras, y 9 estaciones de paso, para un total de 13 estaciones, de las cuales 8 serán subterráneas y 5 elevadas.

Las estaciones serán: Los Andes, Pan de Azúcar, San Miguelito, Pueblo Nuevo, 12 de Octubre, Vía Fernández de Córdoba, Vía Argentina, El Carmen, Hospitales, Marañón, 5 de Mayo, Curundu y Albrook.

La estación Marañón será la estudiada, de tipo subterránea y de andén lateral, para la cual se estima una cantidad de usuarios diarios total de 2858 personas en el sentido de mayor demanda (Andén Oeste), y 1241 personas en el sentido de menor demanda (Andén Este).

La modalidad de operación del Metro de la Ciudad Panamá será altamente automatizada, preferiblemente sin conductor y su intervalo de tiempo entre trenes será de 90 segundos.

En el Plano correspondiente al Nivel de Andenes (Anexo 2), se observa que el ancho total de cada andén es 5400 mm, asimismo cada uno consta de dos escaleras fijas de 1877 mm cada una, dos escaleras de emergencia de 1206 mm cada una y un ascensor.

En el Plano correspondiente al Nivel de Vestíbulo o Área de conexión (Anexo 3), se observa que se dispone de dos salidas (un Acceso Oeste y un Acceso Este) y de 14 torniquetes (Dos grupos de 7 torniquetes, uno en cada dirección de salida). Cada Grupo de torniquetes está, a su vez, acompañado de una puerta de servicio de 825 mm y una puerta de salida de emergencia de 982 mm. Tanto el Acceso Este, como el Oeste, constan de una Escalera Fija de 2243 mm y una Escalera Mecánica de 1202mm.

En cuanto a los desplazamientos por la ruta más larga: Sobre los andenes se consideró como ruta más larga aquella que abarca desde el centro de la estación hasta alguna de las escaleras fijas (considerando que la escalera



mecánica próxima estuviese fuera de servicio), y por ser andenes simétricos se obtuvo para cada andén una distancia a recorrer de 53,73 m. Sobre el vestíbulo de conexión, se consideró que la distancia más larga para la salida por el Acceso Este era la que provenía del andén Oeste con un recorrido de 69,43m. Por su parte, para la salida por el Acceso Oeste, la distancia más larga era la correspondiente al andén Este con un recorrido de 57,3 m.

Por medio del Plano de Sección de la Estación (Anexo 4), se puede obtener la altura entre el nivel de andenes y el nivel de conexión que es de 6,35 m., y la altura entre el nivel de conexión y el nivel de suelo que es de 9,9 m.

Una vez que se llega al nivel del suelo, es necesario determinar la distancia necesaria a recorrer desde el mismo al lugar seguro (fuera de la estación) la cual se puede observar en el Plano correspondiente al Nivel de Suelo (Anexo 5) y corresponde a 6,64m. para la Salida por el Acceso Oeste (Andén Este) y 4,68 m. para la Salida por el Acceso Este (Andén Oeste)

4.2.- ANÁLISIS DEL RIESGO

1.- Evaluación de riesgo:

El riesgo a evaluar es el incendio en la estaciones. Éste representa un riesgo de tipo colectivo o social, en el cual el número de personas expuestas depende del número de personas en la estación y/o en los trenes afectados.

Cuando existe riesgo social, también existe riesgo individual de cada persona afectada, que podría estudiarse por separado, sin embargo, como el caso de sistemas de metros y ferrocarriles se refiere a un servicio público, se estudia únicamente el riesgo social el cual resulta más importante siempre que se presente.

2.- Determinación de la frecuencia:

En cuanto a la frecuencia con que se da el suceso de peligro, el incendio corresponde a un evento OCASIONAL pues, aunque no es común que ocurra podría esperarse que se presente incluso más de una vez en un sistema.

3.- Análisis del impacto:

Se refiere a los niveles del peligro, en este caso, el incendio se clasifica como un evento cuyo nivel de gravedad es CATASTRÓFICO, puesto que en caso de ocurrir implicaría víctimas mortales y/o múltiples heridas graves los afectados, así como daños importantes al medio ambiente.



4.- Definición del nivel de riesgo:

Para determinar el nivel de aceptación del riesgo, se deben conocer los niveles de gravedad de las consecuencias de un peligro y la frecuencia con la que puede ocurrir la amenaza.

Según tabla 6 de la norma española UNE-EN 50126 para la determinación del nivel de aceptación del riesgo, el incendio en túneles y/o estaciones es un riesgo INTOLERABLE, por lo que éste debe eliminarse.

Ahora bien, debido a que no es posible la eliminación total del riesgo a producirse un incendio, se estudian los mecanismos de seguridad mediante los cuales se realizará la gestión de riesgos en busca de eliminar en su totalidad o disminuir en gran medida el número de víctimas mortales, lo cual se logra a través del uso de las normativas internacionales de seguridad existentes.

Según el diagrama 1 “Diagrama de proceso de análisis de riesgos”, luego de clasificar el riesgo, se debe verificar si el mismo es o no tolerable, y al resultar intolerable se hace necesaria una modificación del sistema, la cual consiste en la introducción de una serie de parámetros a verificar como medida preventiva, que conforman la gestión de riesgos.

4.3.- APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

Al introducir los datos de la estación en las hojas de cálculo, los resultados obtenidos para la verificación fueron los Siguietes:

Resultados de Andén Oeste.

ELEMENTOS DE EVACUACIÓN

A.- Andén a vestíbulo de conexión	Cantidad	Ancho (mm)	Ancho total (mm)	Capacidad (P/mm.min)	Personas por minuto
Escaleras fijas	2	1877	3754	0,0555	208
Escaleras mecánicas	2	1206	1206	0,0555	67
Escaleras de emergencia			0	0,0555	0
				Total	275



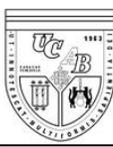
B.- Paso barrera de boletos	Cantidad	Ancho (mm)	Ancho total (mm)	Capacidad (P/mm.min)	Personas por minuto
Puertas de servicio	1	825	825	0,0819	68
Puertas de salida de emergencia	1	982	982	0,0819	80
Puerta recolectora de boletos		Capacidad de 50 personas por puerta			0
Torniquetes	7	Capacidad de 25 personas por puerta			175
				Total	323

C.- Barrera de boletos a lugar seguro (descarga al exterior)	Cantidad	Ancho (mm)	Ancho total (mm)	Capacidad (P/mm.min)	Personas por minuto
Escaleras fijas	1	2243	2243	0,0555	124
Escaleras mecánicas	1	1202	1202	0,0555	67
Escaleras de emergencia			0	0,0555	0
				Total	191

TIEMPO DE DESPLAZAMIENTO RUTA MÁS LARGA

D.- De andén a lugar seguro	Longitud (m)	Velocidad (m/min)	Tiempo (min)
Sobre el andén (T1)	53,73	38,0	1,41
Del andén al vestíbulo de conexión (T2)	6,35	15,0	0,42
Sobre el vestíbulo de conexión (T3)	69,43	38,0	1,83
Del vestíbulo de conexión a nivel del suelo (T4)	9,9	15,0	0,66
Del nivel del suelo a lugar seguro (T5)	4,68	38,0	0,12
Cualquier elemento de circulación adicional (T6)		61,0	0,00
		Tiempo Total de Desplazamiento	4,45

Carga ocupacional del andén	1157
Carga ocupacional del vestíbulo de conexión	1157
Capacidad de salida del andén	275
Capacidad de salida de la barrera de boletos	323
Capacidad de salida del vestíbulo de conexión	191

**VERIFICACIÓN DE TIEMPOS**

Tiempo total de desplazamiento para la ruta de salida más larga. (T)	4,45
Tiempo de flujo de salida del andén. (Desalojo del andén) (F _p)	4,20
Tiempo de desplazamiento del andén a un sitio seguro. (T _p)	1,41
Tiempo de espera en las salidas del andén. (W _p)	2,79
Tiempo de flujo de control de boletos. (F _{fb})	3,49
Tiempo de espera en controles de boletos. (W _{fb})	0,00
Tiempo de flujo de salidas de la zona de conexión. (F _c)	6,05
Tiempo de espera en salidas en zonas de conexión. (W _c)	1,85
Tiempo de flujo para cualquier elemento de circulación adicional. (F _N)	0,00
Tiempo de espera en cualquier elemento de circulación adicional. (W _N)	0,00
Tiempo total de salida. (T _{ts})	9,08

VERIFICACIÓN DE ANCHO DE A-1 ANDÉN OESTE

Ancho total de andén (mm)	4681,00
Ancho libre de circulación	1654,00

Resultados de Andén Este.**ELEMENTOS DE EVACUACIÓN**

A.- Andén a vestíbulo de conexión	Cantidad	Ancho (mm)	Ancho total (mm)	Capacidad (P/mm.min)	Personas por minuto
Escaleras fijas	2	1877	3754	0,0555	208
Escaleras mecánicas	2	1206	1206	0,0555	67
Escaleras de emergencia			0	0,0555	0
				Total	275

B.- Paso barrera de boletos	Cantidad	Ancho (mm)	Ancho total (mm)	Capacidad (P/mm.min)	Personas por minuto
Puertas de servicio	1	825	825	0,0819	68
Puertas de salida de emergencia	1	982	982	0,0819	80
Puerta recolectora de boletos		Capacidad de 50 personas por puerta			0
Torniquetes	7	Capacidad de 25 personas por puerta			175
				Total	323



C.- Barrera de boletos a lugar seguro (descarga al exterior)	Cantidad	Ancho (mm)	Ancho total (mm)	Capacidad (P/mm.min)	Personas por minuto
Escaleras fijas	1	2243	2243	0,0555	124
Escaleras mecánicas	0	1202	0	0,0555	0
Escaleras de emergencia			0	0,0555	0
				Total	124

TIEMPO DE DESPLAZAMIENTO RUTA MÁS LARGA

D.- De andén a lugar seguro	Longitud (m)	Velocidad (m/min)	Tiempo (min)
Sobre el andén (T1)	53,73	38,0	1,41
Del andén al vestíbulo de conexión (T2)	6,35	15,0	0,42
Sobre el vestíbulo de conexión (T3)	57,3	38,0	1,51
Del vestíbulo de conexión a nivel del suelo (T4)	9,9	15,0	0,66
Del nivel del suelo a lugar seguro (T5)	6,64	38,0	0,17
Cualquier elemento de circulación adicional (T6)		61,0	0,00
Tiempo Total de Desplazamiento			4,18

Carga ocupacional del andén	1097
Carga ocupacional del vestíbulo de conexión	1097
Capacidad de salida del andén	275
Capacidad de salida de la barrera de boletos	323
Capacidad de salida del vestíbulo de conexión	124

VERIFICACIÓN DE TIEMPOS

Tiempo total de desplazamiento para la ruta de salida más larga. (T)	4,18
Tiempo de flujo de salida del andén. (Desalojo del andén) (F _p)	3,98
Tiempo de desplazamiento del andén a un sitio seguro. (T _p)	1,41
Tiempo de espera en las salidas del andén. (W _p)	2,57
Tiempo de flujo de control de boletos. (F _{tb})	3,49
Tiempo de espera en controles de boletos. (W _{tb})	0,00
Tiempo de flujo de salidas de la zona de conexión. (F _c)	8,81
Tiempo de espera en salidas en zonas de conexión. (W _c)	4,83
Tiempo de flujo para cualquier elemento de circulación adicional. (F _N)	0,00
Tiempo de espera en cualquier elemento de circulación adicional. (W _N)	0,00
Tiempo total de salida. (T _{ts})	11,58

VERIFICACIÓN DE ANCHO DE A-1 ANDÉN OESTE

Ancho total de andén (mm)	4681,00
Ancho libre de circulación	1654,00



4.4.- ANÁLISIS DE RESULTADOS

Al observar las tablas de Verificación de Tiempos, se aprecia que para el ANDÉN OESTE el “tiempo de flujo de salida del andén” no cumple con el máximo permitido por la NFPA 130 (2010), y para AMBOS ANDENES los “tiempos totales de salida” son mayores a los establecidos, por lo que el sistema evaluado resulta inseguro.

Lo primero que se debe evaluar, es que el no cumplimiento del “tiempo de flujo de salida del andén” es indicativo de que las salidas desde este nivel no son suficientes para evacuar la carga ocupacional total del andén. En este sentido, se hace obligatoria la implementación de un mayor número de salidas, por lo menos en el ANDÉN OESTE.

Al evaluar en detalle cada uno de estos tiempos, se observa que en AMBOS ANDENES el “tiempo de flujo de salida de la zona de conexión”, de por sí, es mayor al “tiempo total de salida que permite la norma”, por lo que se debe verificar los parámetros involucrados en este cálculo, que son La Carga ocupacional del vestíbulo de conexión, y La Capacidad de salida del vestíbulo de conexión.

En este caso, la carga ocupacional del vestíbulo, depende totalmente de la carga ocupacional del andén, puesto que en éste no existen salidas de emergencia que lleven directamente a un lugar seguro, lo que conlleva a que todos los usuarios tengan la necesidad de pasar por el vestíbulo de conexión para llegar al mismo.

Por su parte, las capacidades de salida de los vestíbulos de conexión (ANDÉN OESTE= 191 personas por minuto, ANDÉN ESTE= 124 personas por minuto), resultan para ambos andenes muy pequeña al compararlas con el número total de personas que deben pasar por este tramo en un máximo de seis minutos (1157 personas).

En cuanto al “Tiempo total de desplazamiento para la ruta de salida más larga”, únicamente puede variar modificando las rutas más desfavorables del sistema, lo cual se puede lograr cambiando la disposición de las escaleras y/o salidas. En este sistema, se podría variar la disposición de las escaleras intercalando una fija y una mecánica, en lugar de colocar las dos escaleras fijas en las esquinas, o bien, se podría cambiar el sentido de las fijas para que disminuya, tanto la distancia a recorrer a nivel de andén, como a nivel de vestíbulo (este último caso, implica una mayor cantidad de variaciones al sistema, pues se debiera evaluar entonces una nueva ubicación de las barreras de boletos, por lo que no se recomienda).

En tanto, Las verificaciones de ancho de andén, cumplieron con el requerimiento de la NFPA 130 (2010), obteniendo en ambos casos un ancho



libre de circulación de 1654mm, el cual es mayor al mínimo necesario de 1120mm.

Con respecto a las puertas de servicio ubicadas en las barreras de boletos, se señala un error, debido al incumplimiento de la norma en el ancho de las mismas, pues se diseñaron de 825 mm, debiendo cumplir una anchura mínima de 910mm. Esta es una corrección que, aún cuando no implique una disminución significativa de los tiempos de evacuación, infiere una mejoría en el confort del usuario al utilizarla y, por tanto, debe hacerse.

Ahora bien, puesto que en la evaluación ninguno de los dos andenes cumple con los criterios de seguridad de la NFPA130 (2010), referidos al “tiempo total de salida”, se hace necesario realizar las modificaciones pertinentes para que la estación cumpla con los tiempos de escape.

Las modificaciones que se le realizaron al sistema fueron las siguientes:

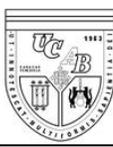
- Aumentar el ancho de las puertas de servicio ubicadas en las barreras de boletos a 910 mm, mínimo establecido por la NFPA130 (2010).
- Implementación de dos escaleras de emergencia, de ancho 1120mm (mínimo establecido por la NFPA130(2010)), y que conduzcan directamente a la zona segura desde el nivel de andenes, para cada andén.
- Implementación de cuatro escaleras de emergencia, de ancho 1120mm (mínimo establecido por la NFPA130(2010)), que conduzcan directamente a la zona segura desde el nivel de vestíbulo, (dos en el sentido del Acceso Oeste y dos en el sentido del Acceso Este).

Al realizar la evaluación con las hojas de cálculo del sistema modificado, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Modificaciones en andén Oeste

ELEMENTOS DE EVACUACIÓN

A.- Andén a vestíbulo de conexión	Cantidad	Ancho (mm)	Ancho total (mm)	Capacidad (P/mm.min)	Personas por minuto
Escaleras fijas	2	1877	3754	0,0555	208
Escaleras mecánicas	2	1206	1206	0,0555	67
Escaleras de emergencia	2	1120	2240	0,0555	124
				Total	400



B.- Paso barrera de boletos	Cantidad	Ancho (mm)	Ancho total (mm)	Capacidad (P/mm.min)	Personas por minuto
Puertas de servicio	1	910	910	0,0819	75
Puertas de salida de emergencia	1	982	982	0,0819	80
Puerta recolectora de boletos		Capacidad de 50 personas por puerta			0
Torniquetes	7	Capacidad de 25 personas por puerta			175
				Total	330

C.- Barrera de boletos a lugar seguro (descarga al exterior)	Cantidad	Ancho (mm)	Ancho total (mm)	Capacidad (P/mm.min)	Personas por minuto
Escaleras fijas	1	2243	2243	0,0555	124
Escaleras mecánicas	1	1202	1202	0,0555	67
Escaleras de emergencia	2	1120	2240	0,0555	124
				Total	316

VERIFICACIÓN DE TIEMPOS

Tiempo total de desplazamiento para la ruta de salida más larga. (T)	4,45
Tiempo de flujo de salida del andén. (Desalojo del andén) (F _p)	2,89
Tiempo de desplazamiento del andén a un sitio seguro. (T _p)	1,41
Tiempo de espera en las salidas del andén. (W _p)	1,48
Tiempo de flujo de control de boletos. (F _{tb})	2,35
Tiempo de espera en controles de boletos. (W _{tb})	0,00
Tiempo de flujo de salidas de la zona de conexión. (F _c)	2,53
Tiempo de espera en salidas en zonas de conexión. (W _c)	0,00
Tiempo de flujo para cualquier elemento de circulación adicional. (F _N)	0,00
Tiempo de espera en cualquier elemento de circulación adicional. (W _N)	0,00
Tiempo total de salida. (T _{ts})	5,93



Modificaciones en Andén Este

ELEMENTOS DE EVACUACIÓN

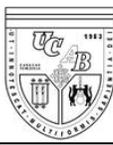
A.- Andén a vestíbulo de conexión	Cantidad	Ancho (mm)	Ancho total (mm)	Capacidad (P/mm.min)	Personas por minuto
Escaleras fijas	2	1877	3754	0,0555	208
Escaleras mecánicas	2	1206	1206	0,0555	67
Escaleras de emergencia	2	1120	2240	0,0555	124
				Total	400

B.- Paso barrera de boletos	Cantidad	Ancho (mm)	Ancho total (mm)	Capacidad (P/mm.min)	Personas por minuto
Puertas de servicio	1	910	910	0,0819	75
Puertas de salida de emergencia	1	982	982	0,0819	80
Puerta recolectora de boletos		Capacidad de 50 personas por puerta			0
Torniquetes	7	Capacidad de 25 personas por puerta			175
				Total	330

C.- Barrera de boletos a lugar seguro (descarga al exterior)	Cantidad	Ancho (mm)	Ancho total (mm)	Capacidad (P/mm.min)	Personas por minuto
Escaleras fijas	1	2243	2243	0,0555	124
Escaleras mecánicas	0	1202	0	0,0555	0
Escaleras de emergencia	2	1120	2240	0,0555	124
				Total	249

VERIFICACIÓN DE TIEMPOS

Tiempo total de desplazamiento para la ruta de salida más larga. (T)	4,18
Tiempo de flujo de salida del andén. (Desalojo del andén) (F _p)	2,75
Tiempo de desplazamiento del andén a un sitio seguro. (T _p)	1,41
Tiempo de espera en las salidas del andén. (W _p)	1,33
Tiempo de flujo de control de boletos. (F _{tb})	2,35
Tiempo de espera en controles de boletos. (W _{tb})	0,00
Tiempo de flujo de salidas de la zona de conexión. (F _c)	3,04
Tiempo de espera en salidas en zonas de conexión. (W _c)	0,29
Tiempo de flujo para cualquier elemento de circulación adicional. (F _N)	0,00
Tiempo de espera en cualquier elemento de circulación adicional. (W _N)	0,00
Tiempo total de salida. (T _{ts})	5,80



Observando los resultados de la nueva evaluación, se demuestra que realizando las modificaciones antes mencionadas se logra el cumplimiento de los tiempos de evacuación.

Esto se logró con la notable disminución de los “Tiempos de flujo de salida del andén” y, por consiguiente, los “Tiempos de espera en las salidas del andén”, gracias a las escaleras de emergencia colocadas en este nivel; así como con la reducción de los “Tiempos de espera en las salidas en las zonas de conexión”, por la colocación de las escaleras de emergencia ubicadas en el nivel de vestíbulo de conexión.

Con estas modificaciones del sistema se demuestra lo sencillo que resulta, a través de la aplicación de las Hojas de Cálculo, la verificación de las condiciones mínimas necesarias para la Prevención de Riesgos de Incendio en una estación, pues estas permiten identificar de manera rápida en qué parte de ella se presentan las fallas a la hora de verificar los tiempos de evacuación.

NOTA: Para el momento de la evaluación, la información manejada formaba parte de la primera etapa en la Ingeniería de Diseño de la estación MARAÑÓN del metro de Panamá, sin embargo posteriormente dicho diseño fue estudiado por los especialistas encargados del proyecto y se realizaron las modificaciones necesarias para garantizar la seguridad del sistema según lo establecido por la Norma NFPA 130.

CONCLUSIONES

El metro y los sistemas de ferrocarriles son medios de transporte indispensables en la sociedad moderna. Sea por su rapidez, economía o facilidad para trasladar volúmenes de personas, éstos constituyen excelentes medios de transportes públicos, de allí la importancia de brindar seguridad a los usuarios.

Tomando en consideración lo antes expuesto, se desarrolló una metodología, la cual permite a través de Hojas de Cálculo la verificación del cumplimiento de las condiciones de seguridad en estaciones subterráneas de sistemas metros y ferrocarriles, de una manera rápida, eficaz y confiable.

Las hojas de cálculo se rigen por la norma NFPA 130 (2010) que sugiere el cálculo de los tiempos de evacuación de estaciones en Sistemas Ferroviarios.

Por otra parte, el método empleado, permite la planificación y desarrollo de proyectos de ingeniería optimizando el diseño de una estación en lo referente a la seguridad, de forma que se garantice la evacuación rápida y segura de los usuarios, en caso de verificar eventos no deseados.

Al evaluar la Estación Marañón, de la Línea 1 del Metro de Panamá en su primera etapa de diseño, se hace evidente el incumplimiento de los tiempos de evacuación con la configuración actual, sin embargo, al sugerir la modificación del Estado del Arte a través de la inclusión de escaleras de emergencia, se logra la verificación de dichos tiempos.

La evaluación anterior deja en evidencia la importancia de la metodología de las hojas de cálculo, pues con la simple introducción de datos de la estación, se determina el incumplimiento de la NFPA 130(2010), además se identifica en que parte del área a estudiar se están presentando fallas y, posteriormente, verifica que las modificaciones que se realizan a la estación sean las adecuadas.

La herramienta desarrollada resulta de gran utilidad para los ingenieros, los cuales haciendo uso de la misma y de sus criterios de diseño pueden verificar el resguardo de la vida de los usuarios de las estaciones ferroviarias, a través del cumplimiento con los tiempos de evacuación. Es por tal motivo, que el uso de esta metodología resulta tan relevante, ya que implica un tema tan delicado como lo es la salvaguarda de vidas.

RECOMENDACIONES

Debido a que el tema de Riesgo en sistemas ferroviarios es sumamente amplio y existe poca literatura referente al mismo, se recomienda:

- La realización de investigaciones referentes a otros riesgos posibles de manera que se complemente y amplíe la información expresada en este Trabajo Especial de Grado.
- Realizar este estudio para estaciones más complejas, que involucren más elementos que no se toman en cuenta en el presente Trabajo de Grado.
- La configuración de un programa automatizado para la Evaluación del Riesgo de Incendio en el caso particular de túneles.
- Estudiar normativas que indiquen como evaluar con mayor detalle los elementos que complementan la Gestión de Riesgo.
- Realizar un estudio enfocado a la Reconstrucción como parte de la Gestión de Riesgos, donde se evalúen los daños ocasionados al sistema por un evento de peligro y sus posibles soluciones.

BIBLIOGRAFÍA

- NFPA 130, Standard for fixed Guideway and Passenger Rail Systems. 2010 Edition.
- NFPA 130, Estándar sobre Sistemas Ferroviarios para Transporte de Vehículos y Viajeros sobre Rieles. Edición 2007.
- DECISIÓN 2008/163/CE. Especificación Técnica de Interoperabilidad sobre seguridad en los túneles en los sistemas ferroviarios transeuropeos convencional y de alta velocidad [notificada con el número C(2007) 6450]. Noviembre, 2007.
- METRO DE CARACAS. Normas de Medio de Escape. Caracas, marzo 2007. 4p.
- PDVSA. “Criterios para el análisis cuantitativo de riesgos”. En: “Manual de ingeniería de riesgos”. vol:1. Caracas, mayo 1993. 92p.
- MARTÍNEZ PONCE, Jesús G., 2002. “Introducción al Análisis de Riesgos”. Editorial Limusa. México, 221p.
- SANZ, Juan y VERA, José. 2009. “Diseño y estrategias de ventilación en nuevos ferrocarriles suburbanos”.
- JONKMAN, Sebastiaan N. 2007. “Loss of life estimation in flood risk assessment. Theory and applications”. 354p.
- Cáritas del Perú, 2009. “Gestión del Riesgo de Desastres para la planificación del desarrollo local” obtenido el 09 de Octubre del 2010 en http://www.mesadeconcertacion.org.pe/documentos/documentos/doc_01393.pdf
- Metro de Panamá. Obtenido el 15 de febrero de 2011 en: <http://www.elmetrodepanama.com/>

ANEXO 1
MANUAL DE USO DE LAS
HOJAS DE CÁLCULO

MANUAL PARA EL USO DE LAS HOJAS DE CALCULO DE LOS TIEMPOS DE EVACUACIÓN

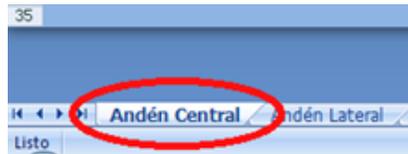
● NFPA 130 (2010)

PEÑALOZA C., ENRIQUE
VIVAS R., MAYERLING

El siguiente manual explica, de manera detallada, cada uno de los elementos y funciones presentes en las hojas de cálculo a fin de realizar una utilización correcta de las mismas.

MANUAL DE USO DE LAS HOJAS DE CÁLCULO

1.- CALCULO DE TIEMPOS DE EVACUACIÓN PARA ESTACIONES DE ANDÉN CENTRAL



ELEMENTOS DE EVACUACIÓN

En esta sección se calcula la cantidad de personas que pueden circular a través de los elementos que componen la estación como lo son las escaleras, máquinas de boletos, entre otros.

A.- Andén a vestíbulo de conexión.

- Escaleras fijas:

Se introduce la cantidad de escaleras fijas que comunican el andén con el vestíbulo de conexión y el ancho de las mismas en milímetros.

- Escaleras mecánicas:

Se introduce la cantidad total de escaleras mecánicas que comunican el andén con el vestíbulo de conexión y el ancho de las mismas en milímetros.

Nota: La escalera mecánica fuera de servicio que establece la norma está considerada dentro de los cálculos de la hoja.

- Escaleras de emergencia:

Se introduce la cantidad total de escaleras de emergencia que comunican el andén con el lugar seguro y el ancho de las mismas en milímetros.

Nota: debido a que la aplicación de las escaleras de emergencia no es obligatoria, en caso de no existir estos datos se pueden dejar en blanco.

ELEMENTOS DE EVACUACIÓN					
A.- Andén a vestíbulo de conexión	Cantidad	Ancho (mm)	Ancho total (mm)	Capacidad (P/mm.min)	Personas por minuto
Escaleras fijas			0	0,0555	0
Escaleras mecánicas			0	0,0555	0
Escaleras de emergencia			0	0,0555	0
				Total	0

B.- Paso barrera de boletos.

- Puertas de servicio:

Se introduce la cantidad total de las puertas de servicio existentes en el vestíbulo de conexión y el ancho de las mismas en milímetros.

- Puertas de salida de emergencia:

Se introduce la cantidad total de las puertas de salida de emergencia existentes en el vestíbulo de conexión y el ancho de las mismas en milímetros.

- Puerta recolectora de boletos:

Se introduce, únicamente, la cantidad de puertas recolectoras de boletos.

- Torniquetes:

Se introduce, únicamente, la cantidad de torniquetes.

B.- Paso barrera de boletos	Cantidad	Ancho (mm)	Ancho total (mm)	Capacidad (P/mm.min)	Personas por minuto
Puertas de servicio			0	0,0819	0
Puertas de salida de emergencia			0	0,0819	0
Puerta recolectora de boletos		Capacidad de 50 personas por puerta			0
Torniquetes		Capacidad de 25 personas por puerta			0
				Total	0

C.- Barrera de boletos a lugar seguro (descarga al exterior).

- Escaleras fijas:

Se introduce la cantidad de escaleras fijas que comunican el vestíbulo de conexión con el lugar seguro y el ancho de las mismas en milímetros.

- Escaleras mecánicas:

Se introduce la cantidad de escaleras mecánicas que comunican el vestíbulo de conexión con el lugar seguro y el ancho de las mismas en milímetros.

Nota: La escalera mecánica fuera de servicio que establece la norma está considerada dentro de los cálculos de la hoja.

- Escaleras de emergencia:

Se introduce la cantidad total de escaleras de emergencia que comunican el vestíbulo de conexión con el lugar seguro y el ancho de las mismas en milímetros.

C.- Barrera de boletos a lugar seguro (descarga al exterior)	Cantidad	Ancho (mm)	Ancho total (mm)	Capacidad (P/mm.min)	Personas por minuto
Escaleras fijas			0	0,0555	0
Escaleras mecánicas			0	0,0555	0
Escaleras de emergencia			0	0,0555	0
				Total	0

TIEMPO DE DESPLAZAMIENTO RUTA MÁS LARGA.

En esta sección se calculan los tiempos de traslado sobre las áreas de circulación que conforman la estación.

D.- De andén a lugar seguro.

- Sobre el andén:

Se introduce la longitud más larga de recorrido que pueda ocurrir al momento de la evacuación, por lo general se parte desde el punto más remoto del andén hasta las escaleras más cercanas. Esta distancia se debe introducir en metros.

- Del andén al vestíbulo de conexión:

Se introduce la distancia vertical de las escaleras medida desde el piso del andén hasta el piso del vestíbulo de conexión. Esta distancia se debe introducir en metros.

- Sobre el vestíbulo de conexión:

Se introduce la longitud de recorrido más larga que pueda ocurrir al momento de la evacuación desde las escaleras hasta la salida al sitio seguro. Esta distancia se debe introducir en metros.

- Del vestíbulo de conexión a nivel del suelo:

Se introduce la distancia vertical de las escaleras medida desde el piso del vestíbulo hasta el nivel del suelo. Esta distancia se debe introducir en metros.

- Del nivel del suelo a lugar seguro:

Se introduce la distancia desde el último elemento de evacuación hasta la salida de la estación. Esta distancia se debe introducir en metros.

- Cualquier otro elemento de circulación adicional:

Se introduce la distancia de recorrido de cualquier otro elemento de circulación que pueda ser utilizado como medio de evacuación. Esta distancia se debe introducir en metros.

TIEMPO DE DESPLAZAMIENTO RUTA MÁS LARGA			
D.- De andén a lugar seguro	Longitud (m)	Velocidad (m/min)	Tiempo (min)
Sobre el andén (T1)		38,0	0,00
Del andén al vestíbulo de conexión (T2)		15,0	0,00
Sobre el vestíbulo de conexión (T3)		38,0	0,00
Del vestíbulo de conexión a nivel del suelo (T4)		15,0	0,00
Del nivel del suelo a lugar seguro (T5)		38,0	0,00
Cualquier elemento de circulación adicional (T6)		61,0	0,00
Tiempo Total de Desplazamiento			0,00

CARGA OCUPACIONAL.

En esta sección se estima la cantidad máxima de personas que podrán estar presentes en el andén.

E.- Datos del sistema.

- Lapso de tiempo entre trenes:

Se introduce el tiempo, en minutos, que transcurre entre la partida de un tren y la llegada del siguiente.

F.- Datos de usuarios.

- Usuarios diarios total sentido A:

Se introduce la cantidad diaria de usuarios que transitan en un sentido del sistema.

- Usuarios diarios total sentido B:

Se introduce la cantidad diaria de usuarios que transitan en el otro sentido del sistema.

- Capacidad total del tren:

Se introduce la cantidad máxima de pasajeros que puede transportar el material rodante.

CARGA OCUPACIONAL	
E.- Datos del sistema	Minutos
Lapso de tiempo entre trenes	
F.- Datos de Usuarios	Personas
Usuarios Diarios Total sentido A	
Usuarios Diarios Total sentido B	
Capacidad total del Tren	
Carga Ocupacional	0

VERIFICACIÓN DE ANCHO DEL ANDÉN

En esta sección se determina el ancho libre de circulación del andén.

- Ancho total del andén:

Se introduce el ancho total medido de un borde a otro del andén, incluyendo los anchos de escaleras. Esta distancia debe ser en milímetros.

VERIFICACIÓN DE ANCHO DE ANDÉN	
Ancho total de andén (mm)	
Ancho libre de circulación	✘ 0,00

VERIFICACIÓN DE TIEMPOS

En esta tabla se reflejan los resultados obtenidos a través de los cálculos, los cuales corresponden a los tiempos que transcurren en cada uno de las áreas de la estación al momento de una evacuación.

VERIFICACIÓN DE TIEMPOS	
Tiempo total de desplazamiento para la ruta de salida más larga. (T)	0,00
Tiempo de flujo de salida del andén. (Desalojo del andén) (F _a)	✔ 0,00
Tiempo de desplazamiento del andén a un sitio seguro. (T _s)	0,00
Tiempo de espera en las salidas del andén. (W _s)	0,00
Tiempo de flujo de control de boletos. (F _b)	0,00
Tiempo de espera en controles de boletos. (W _b)	0,00
Tiempo de flujo de salidas de la zona de conexión. (F _c)	0,00
Tiempo de espera en salidas en zonas de conexión. (W _c)	0,00
Tiempo de flujo para cualquier elemento de circulación adicional. (F _N)	0,00
Tiempo de espera en cualquier elemento de circulación adicional. (W _N)	0,00
Tiempo total de salida. (Tts)	✔ 0,00

2.- CALCULO DE TIEMPOS DE EVACUACIÓN PARA ESTACIONES DE ANDÉN LATERAL.



En principio, se debe identificar cada uno de los andenes con sus respectivos nombres.

Luego, al igual que en estaciones de anden central, se evalúan los siguientes parámetros para cada uno de los andenes por separado.

ELEMENTOS DE EVACUACIÓN

En esta sección se calcula la cantidad de personas que pueden circular a través de los elementos que componen la estación como lo son las escaleras, máquinas de boletos, entre otros.

A.- Andén a vestíbulo de conexión.

- Escaleras fijas:

Se introduce la cantidad de escaleras fijas que comunican el andén con el vestíbulo de conexión y el ancho de las mismas en milímetros.

- Escaleras mecánicas:

Se introduce la cantidad total de escaleras mecánicas que comunican el andén con el vestíbulo de conexión y el ancho de las mismas en milímetros.

Nota: La escalera mecánica fuera de servicio que establece la norma está considerada dentro de los cálculos de la hoja.

- Escaleras de emergencia:

Se introduce la cantidad total de escaleras de emergencia que comunican el andén con el lugar seguro y el ancho de las mismas en milímetros.

Nota: Ya que la aplicación de las escaleras de emergencia no es obligatoria de no existir estos datos se pueden dejar en blanco.

ELEMENTOS DE EVACUACIÓN					
A.- Andén a vestibulo de conexión	Cantidad	Ancho (mm)	Ancho total (mm)	Capacidad (P/mm.min)	Personas por minuto
Escaleras fijas			0	0,0555	0
Escaleras mecánicas			0	0,0555	0
Escaleras de emergencia			0	0,0555	0
				Total	0

B.- Paso barrera de boletos.

- Puertas de servicio:

Se introduce la cantidad total de las puertas de servicio existentes en el vestíbulo de conexión y el ancho de las mismas en milímetros.

- Puertas de salida de emergencia:

Se introduce la cantidad total de las puertas de salida de emergencia existentes en el vestíbulo de conexión y el ancho de las mismas en milímetros.

- Puerta recolectora de boletos:

Se introduce únicamente la cantidad de puertas recolectoras de boletos.

- Torniquetes:

Se introduce únicamente la cantidad de torniquetes.

B.- Paso barrera de boletos	Cantidad	Ancho (mm)	Ancho total (mm)	Capacidad (P/mm.min)	Personas por minuto
Puertas de servicio			0	0,0819	0
Puertas de salida de emergencia			0	0,0819	0
Puerta recolectora de boletos		Capacidad de 50 personas por puerta			0
Torniquetes		Capacidad de 25 personas por puerta			0
				Total	0

C.- Barrera de boletos a lugar seguro (descarga al exterior).

- Escaleras fijas:

Se introduce la cantidad de escaleras fijas que comunican el vestíbulo de conexión con el lugar seguro y el ancho de las mismas en milímetros.

- Escaleras mecánicas:

Se introduce la cantidad de escaleras mecánicas que comunican el vestíbulo de conexión con el lugar seguro, y el ancho de las mismas en milímetros.

Nota: La escalera mecánica fuera de servicio que establece la norma NO está considerada dentro de los cálculos de la hoja, debe ser establecida a criterio propio.

- Escaleras de emergencia:

Se introduce la cantidad total de escaleras de emergencia que comunican el vestíbulo de conexión con el lugar seguro y el ancho de las mismas en milímetros.

Nota: Debido a que la aplicación de las escaleras de emergencia no es obligatoria, en caso de no existir estos datos, se pueden dejar en blanco.

C.- Barrera de boletos a lugar seguro (descarga al exterior)	Cantidad	Ancho (mm)	Ancho total (mm)	Capacidad (P/mm.min)	Personas por minuto
Escaleras fijas			0	0,0555	0
Escaleras mecánicas			0	0,0555	0
Escaleras de emergencia			0	0,0555	0
				Total	0

TIEMPO DE DESPLAZAMIENTO RUTA MÁS LARGA.

En esta sección se calculan los tiempos de traslado sobre las áreas de circulación que conforman la estación.

D.- De andén a lugar seguro.

- Sobre el andén:

Se introduce la longitud más larga de recorrido que pueda ocurrir al momento de la evacuación, por lo general se parte desde el punto más remoto del andén hasta las escaleras más cercanas. Esta distancia se debe introducir en metros.

- Del andén al vestíbulo de conexión:

Se introduce la distancia vertical de las escaleras medida desde el piso del andén hasta el piso del vestíbulo de conexión. Esta distancia se debe introducir en metros.

- Sobre el vestíbulo de conexión:

Se introduce la longitud de recorrido más larga que pueda ocurrir al momento de la evacuación desde las escaleras hasta la salida al sitio seguro. Esta distancia se debe introducir en metros.

- Del vestíbulo de conexión a nivel del suelo:

Se introduce la distancia vertical de las escaleras medida desde el piso del vestíbulo hasta el nivel del suelo. Esta distancia se debe introducir en metros.

- Del nivel del suelo a lugar seguro:

Se introduce la distancia desde el último elemento de evacuación hasta la salida de la estación. Esta distancia se debe introducir en metros.

- Cualquier otro elemento de circulación adicional:

Se introduce la distancia de recorrido de cualquier otro elemento de circulación que pueda ser utilizado como medio de evacuación. Esta distancia se debe introducir en metros.

TIEMPO DE DESPLAZAMIENTO RUTA MÁS LARGA			
D.- De andén a lugar seguro	Longitud (m)	Velocidad (m/min)	Tiempo (min)
Sobre el andén (T1)		38,0	0,00
Del andén al vestíbulo de conexión (T2)		15,0	0,00
Sobre el vestíbulo de conexión (T3)		38,0	0,00
Del vestíbulo de conexión a nivel del suelo (T4)		15,0	0,00
Del nivel del suelo a lugar seguro (T5)		38,0	0,00
Cualquier elemento de circulación adicional (T6)		61,0	0,00
Tiempo Total de Desplazamiento			0,00

CARGA OCUPACIONAL.

En esta sección se estima la cantidad máxima de personas que podrán estar presentes en cada uno de los andenes.

- Lapso de tiempo entre trenes:

Se introduce el tiempo en minutos que transcurre entre la partida de un tren y la llegada del siguiente.

- Usuarios diarios total sentido A:

Se introduce la cantidad diaria de usuarios que transitan en un sentido del sistema.

- Usuarios diarios total sentido B:

Se introduce la cantidad diaria de usuarios que transitan en el otro sentido del sistema.

- Capacidad total del tren:

Se introduce la cantidad máxima de pasajeros que puede transportar el material rodante.

Lapso de tiempo entre trenes	
Usuarios Diarios Total de A-1	
Usuarios Diarios Total de A-2	
Capacidad total del Tren	

VERIFICACIÓN DE ANCHO DEL ANDÉN

En esta sección se determina el ancho libre de circulación del andén.

- Ancho total del andén:

Se introduce el ancho total medido desde la pared al borde del andén, incluyendo los anchos de escaleras. Esta distancia debe ser en milímetros.

VERIFICACIÓN DE ANCHO DE A-1 0	
1 Ancho total de andén (mm)	
2 Ancho libre de circulación	✘ 0,00

VERIFICACIÓN DE TIEMPOS

En esta tabla se reflejan los resultados obtenidos a través de los cálculos, los cuales corresponden a los tiempos que transcurren en cada uno de las áreas de la estación al momento de una evacuación.

VERIFICACIÓN DE TIEMPOS	
Tiempo total de desplazamiento para la ruta de salida más larga. (T)	0,00
Tiempo de flujo de salida del andén. (Desalojo del andén) (F _D)	✔ 0,00
Tiempo de desplazamiento del andén a un sitio seguro. (T _D)	0,00
Tiempo de espera en las salidas del andén. (W _D)	0,00
Tiempo de flujo de control de boletos. (F _B)	0,00
Tiempo de espera en controles de boletos. (W _B)	0,00
Tiempo de flujo de salidas de la zona de conexión. (F _Z)	0,00
Tiempo de espera en salidas en zonas de conexión. (W _Z)	0,00
Tiempo de flujo para cualquier elemento de circulación adicional. (F _N)	0,00
Tiempo de espera en cualquier elemento de circulación adicional. (W _N)	0,00
Tiempo total de salida. (T _{Ts})	✔ 0,00

NOTAS SÍMBOLOS Y ADVERTENCAS

Las hojas de cálculo están provistas de notas, símbolos y advertencias que permiten identificar fácilmente, con la introducción de datos, algún incumplimiento de la estación con relación a lo que establece la norma.

- **Notas:**

Cada una de las casillas de introducción de datos posee notas referentes a lo que establece la norma NFPA 130 para los valores a introducir.

ELEMENTOS DE EVACUACIÓN					
A.- Andén a vestíbulo de conexión	Cantidad	Ancho (mm)	Ancho total (mm)	Capacidad (P/mm.min)	Personas por minuto
Escaleras fijas			0	0,0555	0
Escaleras mecánicas			0	0,0555	0
Escaleras de emergencia			0	0,0555	0
ANCHO DE ESCALERAS El ancho de escaleras debe ser mínimo 1120 mm según NFPA 130.					
B.- Paso barrera de boletos	Cantidad	Ancho (mm)	Ancho total (mm)	Capacidad (P/mm.min)	Personas por minuto
Puertas de servicio			0	0,0619	0

- **Símbolos:**

Las casillas poseen símbolos que indican si la información introducida cumple o no con lo establecido por la norma.

ELEMENTOS DE EVACUACIÓN					
A.- Andén a vestíbulo de conexión	Cantidad	Ancho (mm)	Ancho total (mm)	Capacidad (P/mm.min)	Personas por minuto
Escaleras fijas		✓ 1121	0	0,0555	0
Escaleras mecánicas		! 1120	0	0,0555	0
Escaleras de emergencia		✗ 1119	0	0,0555	0
Total					0

Cada uno de estos símbolos es indicativo de:

✓ Indica que el número introducido es mayor y cumple con el mínimo valor establecido por la norma.

! Indica que el número introducido es el mínimo valor establecido por la norma.

✗ Indica que el número introducido es menor y no cumple con el mínimo valor establecido por la norma.

✓ Indica que el tiempo de evacuación del área es menor al máximo valor de tiempo establecido por la norma.

✗ Indica que el tiempo de evacuación del área es mayor al máximo valor de tiempo establecido por la norma.

- **Advertencia:**

Cuando en la tabla de evaluación, en la columna de “ancho” se introduce un valor menor al establecido por la norma, la hoja arrojará un mensaje de advertencia que indica la existencia de un incumplimiento de la misma.

Si el valor introducido no cumple con lo establecido por la norma, la hoja mostrará una advertencia que indica la falla.

En caso de verificación, se oprime “Si” y se continúa con la introducción de datos de manera normal en las casillas correspondientes.

En caso de diseño, se oprime “No” y se introduce el valor mínimo establecido por la norma.

Cantidad	Ancho (mm)	Ancho total (mm)	Capacidad (P/mm.min)	Personas por minuto
	1000	0	0,0555	0
			0,0555	0
			0,0555	0
			Total	0

ANCHO DE ESCALERAS
El ancho de escaleras debe ser mínimo 1120 mm según NFPA 130.

Cantidad	Ancho (mm)	Ancho total (mm)	Capacidad (P/mm.min)	Personas por minuto
		0	0,0555	0
		0	0,0555	0
		0	0,0555	0
			Total	0

VALOR INVALIDO

La anchura mínima permitida es de 1120 mm.

¿Desea continuar?

E.- Datos del sistema	
Lapso de tiempo entre tren	

F.- Datos de Usuarios	
Usuarios Diarios Total sentido	
Usuarios Diarios Total sentido	
Capacidad total del Tr	
Carga Ocupacion	
Carga ocu	
ocupacional del ve	
Capacidad i	
Capacidad de salida de la	
Capacidad de salida del ve	

VERIFICACIÓN DE TIEMPOS	
Tiempo total de desplazamiento pa	
Tiempo de flujo de salida del	
Tiempo de desplazamiento	
Tiempo de espe	
Tiempo d	

ANEXO 2
NIVEL DE ANDENES

ANEXO 3
NIVEL DE VESTÍBULO

ANEXO 4
SECCIÓN DE LA ESTACIÓN

ANEXO 5
NIVEL DEL SUELO