

Design of a Preventive Maintenance Plan for Escalators of Panama Metro Line 1

Aranzazu Berbey-Alvarez¹; Juan de Dios Sanz Bobi²; Felix Henriquez-Espinosa³

Cesar Diaz¹; Abdiel Rodriguez¹

¹ Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá, Aranzazu.berbey@utp.ac.pa, Felix.Henriquez@utp.ac.pa, cesar.diaz@utp.ac.pa, abdiel.rodriguez10@utp.ac.pa

² Universidad Politécnica de Madrid, España, Juandedios.sanz@upm.es

This article presents the development of a preventive maintenance plan for the escalators of the Panama Metro. It addresses the technical and functional specifications of the electromechanical escalators on Line 1 of the Panama Metro and the corresponding technical standards ISO 25745 and EN 115. A literature review of other maintenance plans for escalators on the metro line is conducted, and a proposal for a preventive maintenance plan and its scheduling for the electromechanical escalators of the Panama Metro is developed.

Keyword: *maintenance, escalators, Panama Metro.*

Diseño de un Plan de Mantenimiento Preventivo para Escaleras Electromecánicas de la línea 1 del Metro de Panamá

Aranzazu Berbey-Alvarez¹, Juan de Dios Sanz Bobi², Felix Henriquez-Espinosa³

Cesar Diaz¹; Abdiel Rodriguez¹

¹Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá, Aranzazu.berbey@utp.ac.pa, Felix.Henriquez@utp.ac.pa, cesar.diaz@utp.ac.pa, abdiel.rodriguez10@utp.ac.pa

²Universidad Politécnica de Madrid, España, Juandedios.sanz@upm.es

Resumen—En este artículo se presenta el desarrollo de un plan de mantenimiento preventivo para las escaleras de metro de Panamá. Se abordan las especificaciones técnicas y funcionales de las escaleras electromecánicas de la línea 1 del Metro de Panamá y las normativas técnicas correspondientes ISO 25745 y la norma EN 115. Se realiza una revisión documental sobre otros planes de mantenimiento para las escaleras en la línea de metro y se elabora una propuesta sobre un plan de mantenimiento preventivo y su programación para las escaleras electromecánicas del metro de Panamá.

Palabras Claves—mantenimiento, escaleras electromecánicas, metro de Panamá.

I. INTRODUCCIÓN

La Línea 1 del Metro de Panamá inició operaciones el 6 de abril de 2014, la Línea 1 cuenta con un total de 14 estaciones, 6 elevadas y 8 subterráneas, tiene una extensión de casi 16 kilómetros, con un tiempo viaje de aproximadamente 26 minutos, recorrido desde la estación de Albrook hasta Villa Zaita. Actualmente, el Metro traslada diariamente entre 240 mil a 280 mil usuarios [1]. La línea 1 del Metro de Panamá tiene un CBTC total en la vía y parcial en los patios y talleres. Cada estación cuenta con una longitud de andén de hasta 110 Metros [2]. Cuenta con la instalación de Patios y Talleres, en el extremo de la Línea en el sector de Albrook, desarrollada en un área aproximada de 10 hectáreas[3]. En esta misma área está ubicado el Centro de Control de Operaciones (CCO)[4]. En la actualidad se ha demostrado que es imprescindible para todas las empresas de cualquier rubro contar con un plan de mantenimiento tanto correctivo y preventivo, el cual brinde una garantía y seguridad a cada uno de sus productos o servicios ofrecidos. La escalera electromecánica es «un medio de transporte vertical que traslada personas de un nivel o planta a otra, este transporte es utilizado en edificios de ambientes amplios como aeropuertos, centros comerciales, estaciones de metro, ferrocarriles, etc., en los cuales se reúnen a una gran cantidad de personas y que se trasladan a cortas distancias dentro de un mismo edificio»[5]. También forman parte de edificios, bancos, terminales de autobuses, hoteles, plantas de producción, hospitales, restaurantes, teatros, escuelas, almacenes por departamentos y en lugares de almacenamiento de materiales o silos con bandas de transporte[6].

Las escaleras mecánicas, como todas las máquinas, requieren mantenimiento para mantener un rendimiento óptimo durante

toda su vida. Más importante aún, requieren visitas de mantenimiento de rutina por parte de técnicos capacitados para seguir siendo seguros para los millones que los usan a diario[7]. Estos sistemas requieren alimentación eléctrica continua, protección específica frente a sobrecargas y cortocircuitos, y cuadros secundarios próximos para su correcta instalación y mantenimiento [8].

La escalera eléctrica puede transportar muchas personas en corto tiempo, gracias a su gran capacidad comparada contra otros medios de transporte; además, es un medio de transporte conveniente porque no da la sensación de espera al pasajero en su funcionamiento continuo. Su operación es suave, de fácil operar y de reparar, además posee más dispositivos de seguridad que otros medios de transporte. Ésta funciona en un sentido, lo cual programa automáticamente el movimiento del pasajero, manteniendo el orden y evitando la confusión[5].

II. ESCALERAS ELECTROMECAÑICAS

Las escaleras mecánicas o eléctricas son dispositivos de transporte, que consiste en una escalera inclinada, cuyos escalones se mueven hacia arriba o hacia abajo. La característica principal de estos equipos es de transportar a las personas sin que se tengan que mover, ya que los peldaños se mueven mecánicamente con electricidad. Se usan para brindar comodidad y transportar rápidamente un gran número de personas entre los pisos de una edificación y ser un elemento de intercambio o acceso vertical para el movimiento de personas [9]. De acuerdo a la Secretaría del Metro de Panamá [10], hoy metro de Panamá, las escaleras «tienen la finalidad de proporcionar acceso a los usuarios del nivel de calle a nivel de vestíbulo o mezanine y de nivel de vestíbulo a nivel de andén en todas las estaciones» (ver figura 1).

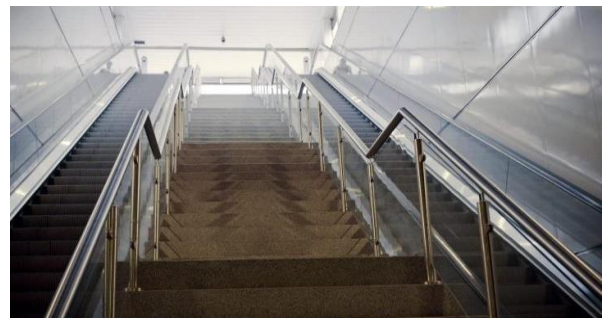


Figura 1: Escaleras de la Línea 1 del Metro de Panamá, Estación de Vía Argentina. Cortesía de Cesar Diaz y Rodríguez (2023.)

A. Características generales de las escaleras electromecánicas.

Ha modo orientativo, se presentan las características generales de las escaleras mecánicas de acuerdo con las especificaciones originales de la línea 1 del Metro de Panamá[10][5].

- Adecuada para el servicio público y uso pesado tipo Metro.
- Instalación en exteriores y expuesta eventualmente a lluvia y al ambiente marino. La República de Panamá se ubica en la región neotropical del mundo por lo que los climas predominantes están relacionados con el clima tropical[11].
- 30°C de inclinación[12], 3 escalones a nivel de accesos, es decir, elevación y ángulo de inclinación.
- Desnivel: Coordinar con los diseños arquitectónicos de las estaciones.
- Peso aproximado: 8.5 toneladas (Sólo para referencia).
- Ancho libre interior de la escalera a nivel de escalones: 1000.5 mm, es decir, 1 metro como ancho nominal del paso (ancho escalera)[12].
- Velocidad de funcionamiento (nominal): 0.65 m/seg, reversible en ambas direcciones. Cabe señalar que este valor va acorde con la velocidad de transporte de las escaleras mecánicas destaca que el rango de velocidades a las que pueden funcionar estas, en forma general, es: 0,50 m/s, la más habitual; 0,65 m/s, para instalaciones de alto tráfico (estaciones de metro, estaciones de tren, grandes aeropuertos, grandes Centros FERIALES y de Congresos); y 0,75 m/s, en escenarios de muy alto tráfico[12][13].
- Capacidad teórica de transporte: 11,700 personas/hora, es decir la capacidad de movilización de pasajeros por hora.
- Huella y contrahuella del paso. La especificación de la aleación del material se estableció: ALU Gd-Al-Si12[10].

Como se aprecia en la tabla 1, la norma EN-115 indica la capacidad teórica de transporte de escaleras mecánicas y andenes móviles y que es función del ancho de escalón/placa y de la velocidad de la escalera o andén[13].

TABLA 1. NORMA EN-115:2008

p/h: pasajeros por hora	Anchura nominal(mm)		
Velocidad nominal (m/s)	600	800	1000
0.50 m/s	3600 p/h	4800 p/h	6000 p/h
0.65 m/	4400 p/h	5900 p/h	7300 p/h
0.75 m/s	4900 p/h	6600 p/h	8200 p/h

Este tipo de escaleras mecánicas suelen tener desniveles grandes, velocidad de 0,65 m/s, por lo que para cumplir con la EN-115, velocidad recomendada por la norma UNE-EN 115 para mejorar el tránsito de personas en el ámbito del transporte público[14], las inclinaciones habituales suelen ser 30° [13].

B: Principios de funcionamiento

De acuerdo con Ávila-Castro [15], las escaleras eléctricas operan mediante un sistema de motores eléctricos, engranajes y cadenas que impulsan los escalones en un ciclo continuo (ver figura 2). Las escaleras mecánicas tipo «están constituidas principalmente por

una cadena sin fin de escalones, que contarán con una determinada anchura y longitud y estando constituidos por la huella y la contrahuella. Además, deberán contar con las correspondientes balastradas laterales, pasamanos y peines, que ayuden a la transición entre la zona de escaleras y la salida y la entrada»[12]. Sus principales componentes incluyen:

- Escalones móviles: conectados a una cadena de tracción[15], siendo estas las encargadas de transportar los escalones de la escalera y también transmitir el movimiento desde el motor a los ejes de movimiento de los pasamanos y escalones.
- Sistema de motorización: motor eléctrico que proporciona el movimiento[15].
- Rieles guía: encargados de mantener la alineación de los escalones[15], son las estructuras que dirige los peldaños y pasamanos.
- Pasamanos sincronizados: se mueven a diferente velocidad que los escalones para garantizar seguridad[15]. La sincronía de la velocidad de los pasamanos, con respecto a la velocidad de los escalones, se especificó de 0 hasta $\pm 2\%$ de diferencia de velocidad, controlada electrónicamente [10].
- Sensores y sistemas de seguridad: detectan obstáculos o fallos mecánicos[15].

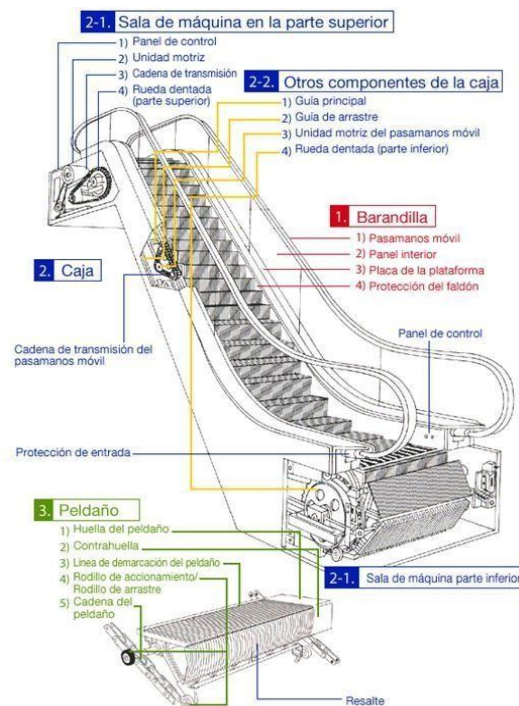


Figura 2. Elementos superficiales y de seguridad de la Escalera Mecánica [16][17]

En su primera fase, la línea 1 de Metro de Panamá consistió «en escaleras mecánicas a instaladas en las 16 estaciones de la Línea 1 del Metro de Panamá, cuyo equipamiento consistió en un conjunto de 84 escaleras electromecánicas distribuidas por cada estación, subterránea y elevada»[10].

Para efectos orientativos se presenta la tabla 2 con la información de las especificaciones originales de las escaleras mecánicas de la fase 1 del Metro de Panamá[10], pudiendo existir lógicamente cambios con motivo de la construcción de aquella

primera etapa.

TABLA 2. ESPECIFICACIONES DE LAS ESCALERAS MECÁNICAS DE LA L1

T: trinchera, S: subterránea, E: elevada, C: cantidad, A: altura(m)					
Estaciones	Tipología de la estación			C	A
	T	S	E		
Albrook					
Nivel calle a nivel andén	x			2	4.5
Total Albrook				2	
5 de mayo					
Nivel calle a Nivel mezanine		x		2	7.9
Nivel Mezanine a nivel andén		x		4	6.35
Total 5 de mayo				6	
Hospitales (Santo Tomas)					
Nivel calle a nivel Mezanine		x		3	9.7
Nivel mezanine a nivel andén		x		4	6.35
Total Hospitales (Santo Tomas)				7	
Iglesia del Carmen					
Nivel calle a Nivel mezanine		x		3	9.7
Nivel mezanine a nivel andén		x		4	6.35
Total Iglesia del Carmen				7	
Argentina					
Nivel calle a nivel mezanine		x		2	9.7
Nivel Mezanine a nivel andén		x		4	6.35
Total Argentina				6	
Fernández de Córdoba					
Nivel calle a nivel mezanine		x		4	9.7
Nivel mezanine a nivel andén		x		4	6.35
Total Fernández de Córdoba				8	
12 de octubre					
Nivel calle a nivel mezanine			x	3	9.7
Nivel mezanine a nivel andén			x	4	6.35
Total 12 de octubre				7	
Pueblo nuevo					
Nivel calle a nivel mezanine			x	2	6.9
Nivel mezanine a nivel andén			x	1	6.65
Total de Pueblo nuevo				3	
San Miguelito					
Nivel calle a nivel mezanine			x	2	6.9
Nivel Mezanine a nivel andén			x	4	6.45
Total San Miguelito				6	
Pan de azúcar					
Nivel calle a nivel mezanine			x	2	6.9
Nivel mezanine a nivel andén			x	2	6.45
Total Pan de Azúcar				4	
Los Andes					
Nivel calle a nivel mezanine			x	2	6.9
Nivel mezanine a nivel andén			x	4	6.45
Total Los Andes				6	
Suma total				59	

III. MANTENIMIENTO DE ESCALERAS MECANICAS

En condiciones normales se realiza un mantenimiento preventivo una vez al mes y este mantenimiento normal de las escaleras electromecánicas consiste principalmente en:

- Limpieza de la escalera electromecánica y sus componentes, es decir, comprende tanto la revisión de la parte estética, como revisar que estén en buen estado y completos los acabados, la tornillería y la limpieza de las cabinas de controles [15]. Realizar la limpieza de los rieles por donde circulan las cadenas de pasos.
- Ajuste de los elementos que se desgastan, como las cadenas,

correas, los pasamanos, algunos tipos de guías y algunos frenos.

- Reemplazo de los componentes a medida que se desgastan o fallan, como componentes eléctricos, cadenas, correas, pasamanos, guías, rodillos y frenos.
- Lubricación de las cadenas y el engrase de los rodamientos[15], es decir, lubricar componentes como cadenas, cojinetes, bujes, cajas de engranajes y faldones según sea necesario para mantener el índice de rendimiento del escalón / faldón.
- Revisión del funcionamiento del freno. Comprobación de las llaves de encendido de la escalera electromecánica, revisión de los botones de paro de emergencia.
- Revisión y comprobación del circuito de seguridad y sensores, esto incluye todos los interruptores.

A. Frecuencia de Mantenimiento

Hay varias cosas que afectan la frecuencia de mantenimiento de una escalera electromecánica: su modelo, la calidad de sus componentes, sus horas de operación diarias, su antigüedad y el entorno en el que opera. La calidad de los componentes de una escalera mecánica influye en la frecuencia del mantenimiento: los componentes de menor calidad pueden requerir una mayor frecuencia de inspección, mantenimiento y sustitución. Además, es razonable suponer que cuantas más horas al día funcione una unidad, mayor debería ser su frecuencia de mantenimiento[7]. En condiciones normales se realiza un mantenimiento preventivo que es una vez al mes.

B. Ruido como señal directa de mantenimiento

De acuerdo con el Metro de Panamá[10], «el nivel de ruido, medido a un metro sobre la placa porta-peines superior o sea sobre el espacio que alberga al motor de tracción de la escalera electromecánica, no excederá de 57 db», esto se convierte en una medida de control o aviso de mantenimiento. Por tal motivo algunos ruidos que emanan de escaleras mecánicas y pasillos móviles pueden indicar problemas [7], por ejemplo:

- Raspado o ruido, generalmente indica pasos o paletas que entran en contacto con el faldón o la parte inferior de la placa combinada. Aunque esto generalmente no es un problema de seguridad, se requiere una reparación para eliminar el problema antes de que se produzcan daños en el equipo.
- Golpear puede significar que es necesario reemplazar un rodillo escalonado. Si ese es el caso, debe repararse de inmediato, ya que un rodillo defectuoso podría provocar un atrapamiento del peine de la escalera electromecánica. Golpear en los extremos superior y / o inferior suele ser un problema de pista o guía que necesita corrección.
- Los ruidos del freno deben investigarse y corregirse, y pueden ser causados por un freno o un control de freno mal ajustado. Es fundamental que el freno funcione correctamente y se corrija de inmediato.
- El ruido de los rodamientos, es decir un sonido de chirrido, debe investigarse y corregirse de inmediato, antes de que se dañe la máquina.
- Los ruidos de golpe generalmente indican que algo se ha soltado y está en contacto con la banda de paso. El ruido debe determinarse y corregirse, y la banda escalonada debe inspeccionarse en busca de daños.

C. Elementos que requieren mantenimiento

- Pasamanos: funcionando a la velocidad adecuada y en buenas condiciones.
- Espacio libre para escalones / faldones: cumpliendo con el código aplicable de la normativa técnica.
- Índice de rendimiento de escalón / faldón: esta es una prueba, pero requiere un mantenimiento adecuado para aprobarla.
- Peines: los dientes rotos deben reemplazarse y deben engranar con escalones.
- Paneles de faldón: los paneles dañados deben repararse.
- Escalones: los escalones gastados, dañados o rotos deben repararse o reemplazarse.
- Rodillos, orugas y cadenas: se debe examinar y reparar o reemplazar según sea necesario.
- Protectores de intersección de cielo raso (si es necesario): se debe reparar o reemplazar según sea necesario.
- Dispositivos antideslizantes (si es necesario): se debe reparar o reemplazar según sea necesario.
- Protectores de pasamanos: se debe reparar o reemplazar según sea necesario.
- Frenos: de par fijo según placa de características.
- Limpieza: limpiar para evitar la acumulación de aceite, grasa y suciedad.
- Extremos de entrada y salida: libres de peligros de tropiezos y zonas de seguridad libres de obstrucciones.

D. Situaciones de averías de las escaleras electromecánicas en las estaciones del metro de Panamá

Entre las situaciones de averías que se pueden presentar en las escaleras electromecánicas dentro del Metro de Panamá, pueden estar presente alguno de estos:

- Mantenimiento inadecuado.
- Defectos en mecanismos, diseños o piezas.
- Escaleras mecánicas que se detienen repentinamente.
- Dispositivos de seguridad defectuosos o faltantes.
- Diseño inadecuado y otros problemas de funcionamiento.
- Falla por desalineamiento de peldaños[5].
- Sobrecalentamiento del moto-reductor[5].
- Sensor de faja pasamanos averiado[5].
- Porta peines desnivelado [5].
- Cadena de arrastre averiada [5].
- Fuente alimentadora averiada [5].
- Faja pasamanos deteriorada[5].

E. Lesiones más frecuentes por fallas en las escaleras electromecánicas.

Dentro de las lesiones que pueden experimentar los usuarios por fallas en escaleras electromecánicas podemos mencionar las siguientes:

- Resbalones y caídas.
- Fracturas.

- Lesiones en la espalda.
- Lesiones de cráneo.
- Contusiones y esguinces.

En el sector del diseño, las instalaciones, operaciones y el mantenimiento de la escaleras electromecánica se estima que más del 70% de los accidentes en escaleras y andenes móviles pueden ser prevenidos mediante la aplicación de la norma EN115-2[13].

F. Operaciones y uso seguro para los usuarios

A continuación, se presenta las siguientes recomendaciones básicas y de seguridad para los usuarios sobre el uso de las escaleras eléctricas:

- Solo se puede hacer uso de la escalera con zapatos, nada de pies descalzos[18]. No se permite el transporte de carretillas [19], carritos, coches de bebés[18].
- Evitar subir elementos grandes o pesados, sobre los pasos de la escalera o cargarlos sobre los hombros.
- No caminar, ni correr por los pasos de la escalera.
- En el ascenso o descenso, el pasajero se debe sostener de los pasamanos de la escalera[18].
- No llevar las manos en los bolsillos.
- Dirigir el cuerpo en el sentido que viaja la escalera, es decir, no dar la espalda a la dirección del viaje.
- Tomar a los niños de la mano durante el viaje en la escalera [19]. Lo anterior también aplica para personas mayores [18].
- Si el pasajero trae vestido, falda o pantalón largo, sugerir subirlos un poco, para que no toque los pasos de la escalera y pueda ser atrapado.
- Colocar los pies en un solo escalón y en el centro de este; evitar ocupar un paso para cada pie, y no tocar las partes demarcadas de amarillo.
- Evitar que los niños asciendan o descendan sentados en los pasos de la escalera.
- Informarse de la dirección de la escalera antes de montar en ella.
- Procurar salir rápidamente de la escalera, con un paso largo [18] para facilitar la salida de los otros pasajeros que vienen en escalones posteriores. Levantar los pies cuando se desembarque.
- Llevar a las mascotas en los brazos [19].
- Notificar al personal de administración o al personal encargado del área, cuando alguien se encuentre jugando, saltando, corriendo o usando inapropiadamente la escalera. Cuando un pasajero lleve mascotas, informar que debe levantarla para evitar accidentes.
- Los ascensores son el medio más adecuado para el transporte vertical de la mayoría de personas con discapacidad y en particular para usuarios de sillas de ruedas y personas con perros guía[18].
- Fumar está prohibido en la escalera. No fume ni tampoco tire las colillas en la escalera [18].

IV. DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

La figura 3 presenta los 5 pasos generales a seguir para el diseño y desarrollo de un plan de mantenimiento preventivo.

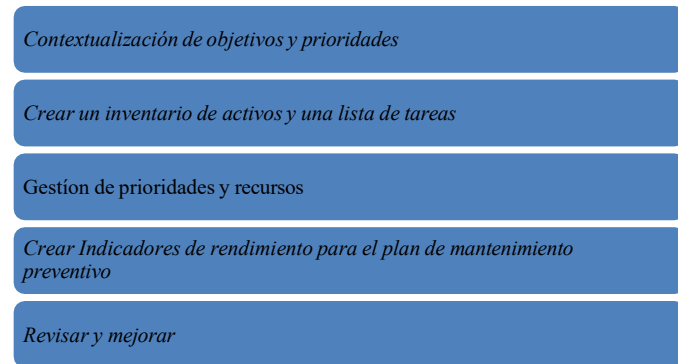


Figura 3. Pasos de plan de mantenimiento preventivo

A. Contextualización de los objetivos y las prioridades

El primer paso para crear un plan de mantenimiento para las escaleras mecánicas del metro de Panamá es visualizar el objetivo final y establecer las prioridades. Mayoritariamente la acción del mantenimiento preventivo en las escaleras mecánicas de las estaciones del metro se concentra como activos con un comportamiento predecible, es decir, las escaleras electromecánicas son aquellos activos que necesitan revisiones después de cierto periodo de tiempo y/o ciclos de utilización por lo que los objetivos se deben cumplir, respetando la valorización del tiempo en la aplicación del mantenimiento tal como lo indica la normativa vinculante y los manuales de mantenimiento de los fabricantes.

B. Crear un inventario de activos y una lista de tareas

El segundo paso para la creación de un plan de mantenimiento preventivo para las escaleras mecánicas del metro implica manejar la capacidad de los activos. Invertir y pagar por personal que puedan dividirse las funciones de mantenimiento tales como: limpieza, revisión, ajustes y las rondas de las inspecciones. Crear una lista de piezas o repuestos que se pueden almacenar dando como prioridad las que se deterioran con mayor rapidez de acuerdo con la normativa vinculante y los manuales de mantenimiento de los fabricantes. Este inventario de activos debe contar con la siguiente información de carácter básica:

- Información sobre la garantía y su período.
- El manual técnico del usuario que proporciona el fabricante para el mantenimiento del equipo detallando en la mayoría de los casos, importantes factores como: la frecuencia de mantenimiento, la vida útil prevista, las condiciones óptimas de temperatura y de humedad y los contactos del fabricante.
- Datos de los registros de mantenimiento.
- Criticidad del activo.
- Requisitos legales.

Con toda esta información y con la interpretando de las funciones de manera correctas, los datos obtenidos darán como resultado la frecuencia con la que se debe realizar el mantenimiento preventivo ya sea: diario, semanal, mensual,

trimestral, semestral o anual.

C. Gestión de prioridades y recursos

En este tercer punto del plan de mantenimiento preventivo se tiene que enfatizar los objetivos a corto plazo, en función del tiempo y de los recursos técnicos, humanos y logísticos de los que se dispone.

-En el primer punto, se identifica qué activos hay que priorizar, es decir, se debe contar con la lista priorizada de activos.

-En el segundo punto, se descubre qué activos son los más críticos (ver tabla 3).

TABLA 3. CLASIFICACIÓN DE ACTIVOS

Clase	Disposición crítica del activo
A	Disposición crítica (Clase A), cuya avería afecta más a nuestros objetivos;
B	Acciones de mantenimiento preventivo en activos importantes, pero cuya eventual avería afecta menos al funcionamiento normal de la misma
C	Mantenimiento correctivo programado (activos menos críticos, de clase C, que no justifican la inversión en mantenimiento preventivo).

Con estos 3 puntos definidos, el plan de mantenimiento preventivo para las escaleras de las estaciones del metro debe pasar a organizar los recursos humanos y asignar las tareas a los equipos adecuados. Para ello, se ajustan las tareas por orden de dificultad y se distribuyen las acciones de mantenimiento en 5 niveles: en la categoría de mantenimiento preventivo, se encuentran las tareas que están entre el nivel 1 y el nivel 3. De manera muy general, las tareas de nivel 1 pueden ser realizadas por los propios usuarios de los equipos o por el personal interno del Metro de Panamá. Las tareas de nivel 2 y 3 corresponde a los contratos de mantenimiento o subcontratación. Lo más apropiado es no tener que realizar las tareas de nivel 4 o 5, a menos que se trate de un plan de mantenimiento industrial con equipos pesados.

A la hora de elaborar, revisar y actualizar el plan de mantenimiento preventivo, se sugiere elaborar una lista y revisar todos estos contratos, el desempeño de los contratistas y su vigencia, ya que representan costes fijos y una buena parte de las tareas de mantenimiento de nivel 2 y 3.

D. Crear Indicadores de rendimiento para el plan de mantenimiento preventivo

Una vez estén fijado los objetivos que se plantean en el primer punto, se procede a la verificación de su cumplimiento. Se debe definir a priori los indicadores de rendimiento (KPIs) para seguir el progreso y la eficacia del plan de mantenimiento. Algunos de los indicadores más comunes son los siguientes:

- Porcentaje de mantenimiento preventivo.
- Índice de cumplimiento del mantenimiento preventivo.
- Eficacia general del equipo (ver figura 4).
- El porcentaje crítico de mantenimiento programado.
- Tiempo medio entre averías.
- Coste total con el mantenimiento (incluyendo mano de obra, materiales, contratos de mantenimiento).
- Retorno de la inversión.
- Análisis de modos y efectos de fallas (AMEF).

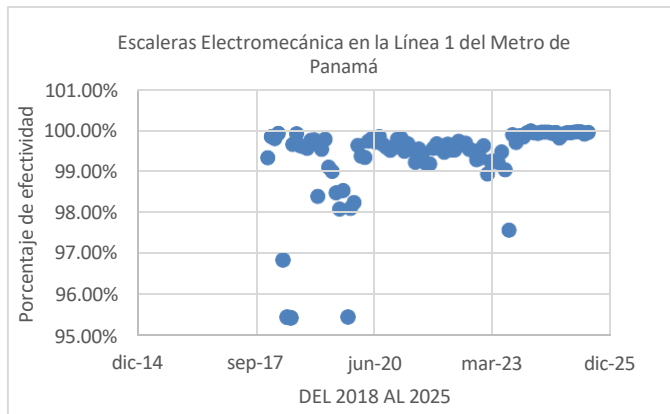


Figura 4. Porcentaje de efectividad. Elaboración propia a partir de [20]

E. Revisar y mejorar

Se debe tener en cuenta que a pesar de que se organice y se prevea todos los escenarios posibles, ningún plan es infalible. Se debe revisar los datos y analizar la base de información obtenidas por los puntos anteriores, por los menos una vez al año de manera que este plan de mantenimiento se actualice periódicamente. También existen estudios relativos a la mejora del sistemas de escaleras electromecánicas que conviene consultar para poder optimizar su uso futuro[21][22], [23] y la normativa norma ISO 25745[24], [25].

V. METODOLOGIA

La metodología para el desarrollo de este artículo de investigación corresponde a la siguiente lista general de actividades:

1. Revisión documental sobre aspectos de mantenimiento preventivo y correctivo.
2. Revisión de normativa técnica vinculada: normas ISO 25745[24], [25], EN-115: 2008[26], la normativa ASME A17.1 es el *Safety Code for elevators and escalators* de USA[26], la normativa CSA B44 es la *Safety code for elevators* vigente en Canadá. Existe una versión armonizada de ASME 17 (USA) y la CSA B44 (Canadá), con pequeñas variaciones, la cual es publicada por la *American Society of Mechanical Engineers*.
3. La norma ISO 25745 se refiere a la eficiencia energética de ascensores, escaleras mecánicas y andenes móviles, y está dividida en varias partes. Las partes más importantes son la ISO 25745-1 (Medición de la energía y verificación) [24] y la ISO 25745-2 (Cálculo energético y clasificación de ascensores) [25]. Estas normas proporcionan métodos para evaluar y clasificar el rendimiento energético de estos equipos durante su fase de operación. Para efectos de este artículo corresponde: ISO 25745-1: Establece los métodos para medir el consumo de energía y verificar el rendimiento energético de los ascensores, escaleras mecánicas y andenes móviles [24] y la ISO 25745-3: Se ocupa del cálculo energético y la clasificación de escaleras mecánicas y andenes móviles [25].
4. Análisis de la norma EN 115 [26] y estudio de accesibilidad para las p personas con discapacidad visual en intercambiadores claves de la ciudad de Madrid, diagnóstico sobre el sistema de transporte colectivo metro de México para las personas con

discapacidad de las líneas 2, 7, 9 y 12 [27], estaciones ferroviarias de la Vall Baixa en la Barcelona metropolitana [9].

5. Análisis de las especificaciones funcionales de las escaleras mecánicas de la línea 1 del metro de Panamá[10] y revisión de las Memorias anuales para identificar a los fabricantes y contratistas.[28], [29], siendo la empresa OTIS bajo los contratos MPSA-11-2020 para la línea 1 y MPSA-51-2021 para la línea 2 del metro de Panamá.

6. Análisis de planes de mantenimientos de escaleras mecánicas de los metros de Línea 2 del metro en el Casco Antiguo de Sevilla (España)[12], estación Joaquín Sorolla del ferrocarril de Valencia (España), Centro Comercial en la Ciudad de Lima[30], Metro de Madrid[14], Metro de Caracas[31], sistemas de lubricación y mantenimiento[15], estaciones de Xàtiva y Alicante de la red de metro de Valencia[8] y un diseño y desarrollo de un prototipo simulado para el control de escaleras eléctricas que optimice el consumo de energía[16].

7. Presentación de los criterios para un plan de mantenimiento.

8. Desarrollo de la propuesta de plan y programa de mantenimiento.

VI. RESULTADOS. PROPUESTA DEL PLAN DE MANTENIMIENTO

La tabla 4 muestra la propuesta del plan de mantenimiento y la frecuencia de la programación de las cuales puede ser diarias, mensuales, trimestrales, semestrales y anuales. Esta propuesta de plan de mantenimiento preventivo consta de 64 actividades, 2 de ellas son de frecuencia diaria y representan el 3.13%, 46 actividades de frecuencia mensual (71.86%), 9 actividades de mantenimiento de frecuencia trimestral (14.07%), 3 actividades de mantenimiento de frecuencia semestral (4.69%) y 4 actividades de mantenimiento anuales (6.25%). Esto indique que las actividades de mantenimiento mensuales corresponden al primer lugar de las actividades del plan y programa de mantenimiento durante todo el año, seguido de las actividades de frecuencia trimestral para las escaleras electromecánicas del Metro de Panamá.

En cuanto a las actividades de mantenimiento por equipo se observa que el equipo o actividad de mantenimiento de las maniobras presenta un total de 7 actividades de mantenimiento, distribuidas con la siguiente frecuencia 2 actividades mensuales, 1 trimestral, 1 semestral y 2 actividades anuales. En el caso de las actividades de mantenimiento de los pasamanos de las escaleras electromecánicas 3 de ellas tiene una frecuencia mensual y las otras 3 son de carácter trimestral (ver tabla 4). Las actividades de mantenimiento de los peldaños de las escaleras electromecánicas, es decir, el mecanismo de huella y contrahuella corresponden a 3 actividades de mantenimiento mensuales siendo estas: observación de la huella y contrahuella, comprobación de la holgura de huella y contrahuella y la observación de la holgura de zócalos y peldaños. En términos trimestrales, las actividades de mantenimiento de los peldaños de las escaleras electromecánicas corresponden a 1 actividad trimestral, siendo esta la comprobación del estado de los rodillos de los peldaños y luego una actividad de mantenimiento semestral, la cual es la comprobación del estado de los ejes de los peldaños (ver tabla 4).

TABLA 4. PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LAS ESCALERAS ELECTROMECÁNICAS DEL METRO DE PANAMÁ

Frecuencia, D: diario, M: mensual, T: trimestral, S: semestral, A: Anual, MT: maletín técnico; JM: Jefatura mantenimiento, JE: Jefatura estación, OA: orden y aseo, I/TM: ingeniería/técnica mantenimiento, PE: personal de la estación, PL: personal de limpieza C: contratista S: subcontratista									
Equipo	Actividad	D	M	T	S	A	Personal	Herramientas	Responsable
General	Comprobación del funcionamiento correcto del dispositivo, la existencia de ruidos anómalos, vibraciones, etc.	x					I/TM	Básicas	JM
	Limpieza exterior de las instalaciones	x	x				PL	Kit de limpieza	OA
Máquina	Verificación del nivel de aceite del motor, máquina y fugas. Comprobación del desbloqueo manual.		x				I/TM, C o S	MT	JM
	Observación y medición de la temperatura y funcionamiento del dispositivo.		x				I/TM, C o S	MT	JM
	Verificación del acoplamiento Motorreductor.		x				I/TM, C o S	MT	JM
	Verificación del funcionamiento del freno.		x				I/TM, C o S	MT	JM
	Comprobación de la distancia de parada.		x				I/TM, C o S	MT	JM
	Comprobación del desbloqueo manual.		x				I/TM, C o S	MT	JM
Cadena Principal	Comprobación de su estado y limpieza.		x				I/TM, C o S	MT	JM
	Comprobación del engrase automático, y realización de engrase en caso de no disponer de engrase automático.		x				I/TM, C o S	MT	JM
Cadena de transmisión	Comprobación de la tensión y estado de la cadena		x				I/TM, C o S	MT	JM
Engrase automático	Comprobación del funcionamiento de la bomba.		x				I/TM, C o S	MT	JM
	Verificación del nivel de aceite		x				I/TM, C o S	MT	JM
Peldaños	Observación de la huella y contrahuella.		x				I/TM, C o S	MT	JM
	Comprobación de la holgura de huella y contrahuella.		x				I/TM, C o S	MT	JM
	Observación de la holgura de zócalos y peldaños		x				I/TM, C o S	MT	JM
Peines	Observación del estado de los peines.		x				I/TM, C o S	MT	JM
	Comprobación del centrado de la placa de peines.		x				I/TM, C o S	MT	JM
	Comprobación de la holgura de peldaño y peines		x				I/TM, C o S	MT	JM
Pasamanos	Comprobación del estado general.		x				I/TM, C o S	MT	JM
	Comprobación de empalmes		x				I/TM, C o S	MT	JM
	Comprobación de tensión		x				I/TM, C o S	MT	JM
Guías	Verificación del estado general.		x				I/TM, C o S	MT	JM
	Verificación del estado de las uniones.		x				I/TM, C o S	MT	JM
Guía peldaños	Comprobación del desgaste.		x				I/TM, C o S	MT	JM
	Comprobación de la alineación lateral transmisiones.		x				I/TM, C o S	MT	JM
	Verificación del funcionamiento de transiciones		x				I/TM, C o S	MT	JM
Balastrada	Revisión de aluminios y paneles (diagnóstico).		x				I/TM, C o S	MT	JM
	Verificación de la alineación entre zócalos consecutivos		x				I/TM, C o S	MT	JM
Pictogramas	Verificación de su existencia en lugar visible.		x				PE	MT	JM
	Comprobación del estado de la señalización.		x				PE	MT	JE
Foso	Comprobación de su estado y limpieza		x				I/TM, C o S	MT	JM
Dispositivos de seguridad	Comprobación de los paros de emergencia.		x				I/TM, C o S	MT	JM
	Comprobación del dispositivo de pisadera.		x				I/TM, C o S	MT	JM
	Comprobación del dispositivo entrada de pasamanos.		x				I/TM, C o S	MT	JM
	Detección desplome de peldaños.		x				I/TM, C o S	MT	JM
	Comprobación del dispositivo alargamiento cadena.		x				I/TM, C o S	MT	JM
	Comprobación del detector ferodo freno de servicio.		x				I/TM, C o S	MT	JM
	Comprobación del detector freno de emergencia.		x				I/TM, C o S	MT	JM
	Detección rotura de cadenas.		x				I/TM, C o S	MT	JM
	Comprobación del detector alargamiento/rotura de pasamanos.		x				I/TM, C o S	MT	JM
	Comprobación del dispositivo relé fallo de fase.		x				I/TM, C o S	MT	JM
	Comprobación del detector de variación de velocidad.		x				I/TM, C o S	MT	JM
	Comprobación del detector de fallo del sistema de engrase.		x				I/TM, C o S	MT	JM
	Comprobación del dispositivo de tensión/rotura de cadena principal.		x				I/TM, C o S	MT	JM
	Comprobación del dispositivo de apertura de freno		x				I/TM, C o S	MT	JM
Maniobra	Comprobación de otros dispositivos		x				I/TM, C o S	MT	JM
	Comprobación del interruptor general		x				I/TM, C o S	MT	JM
Freno	Verificación del entrehierro del freno de la máquina.			x			I/TM, C o S	MT	JM
	Comprobación del desgaste del ferodo de freno de la máquina.			x			I/TM, C o S	MT	JM
Peldaños	Comprobación del estado de los rodillos de los peldaños.			x			I/TM, C o S	MT	JM
Pasamanos	Comprobación de la banda de arrastre del pasamanos.			x			I/TM, C o S	MT	JM
	Limpieza de las guías del pasamanos.			x			PE	MT	JM
	Comprobación del sistema de accionamiento del pasamanos.			x			I/TM, C o S	MT	JM
Transmisiones	Verificación de las pistas de deslizamiento de las transmisiones.			x			I/TM, C o S	MT	JM
	Verificación de la tensión del muelle en transmisión inferior.			x			I/TM, C o S	MT	JM
Maniobra	Comprobación de contactores y relés del cuadro de maniobra.			x			I/TM, C o S	MT	JM
Peldaños	Comprobación del estado de los ejes de los peldaños.				x		I/TM, C o S	MT	JM
Guías	Verificación del estado general de las guías.				x		I/TM, C o S	MT	JM
Maniobra	Comprobación del cableado y regletas del cuadro de maniobra.					x	I/TM, C o S	MT	JM
Guías	Verificación del estado de las uniones de las guías.					x	I/TM, C o S	MT	JM
Maniobra	Comprobación del funcionamiento del diferencial del cuadro de maniobra.					x	I/TM, C o S	MT	JM
	Comprobación de los magnetotérmicos del cuadro de maniobra.					x	I/TM, C o S	MT	JM
	Comprobación del funcionamiento térmico del motor del cuadro de maniobra.					x	I/TM, C o S	MT	JM

VII. DISCUSIÓN

Se debe implementar una estrategia que contextualice cada estación del metro, ya que cada plan de mantenimiento tiene sus características propias. Todas las tareas de mantenimiento deben estar bien definidas por cada estación y debe cubrirse las necesidades de mantenimiento, teniendo en cuenta los materiales, las piezas, los equipos tecnológicos, el personal técnico necesario e incluso la contratación o subcontratación de servicios externos especializados a través de empresas de servicios de ingeniería y mantenimiento.

Para el inventario de los activos en las instalaciones de la estación se debe hacer un mapa de los activos, es decir, organizar los activos por familias de equipos e indicar su ubicación precisa. Cada activo debe estar asociado a las recomendaciones del fabricante, las garantías y las normas técnicas de calidad que deben cumplirse para garantizar la fiabilidad de las actividades de mantenimiento.

Es importante establecer las prioridades de acuerdo con las condiciones actuales de las escaleras electromecánicas. Una evaluación del riesgo es sumamente útil para clasificar el nivel de prioridad de cada activo en la estación del metro. La inspección del aceite, por ejemplo, siempre es prioritaria porque pone en peligro la seguridad de todos los que utilizan las instalaciones.

Se debe crear horarios para los trabajos de mantenimiento, por estación y cuando estos ocurran deshabilitar solo una escalera electromecánica para no alterar severamente el tráfico de los usuarios. Idealmente se prefiere realizar estas actividades fuera del horario de operaciones o en horas valle de funcionamiento de las líneas del metro.

Se recomienda implementar o mantener los sensores para monitorear la cantidad de lubricante aplicado en la escalera electromecánica, así como capacitar al personal técnico encargado del mantenimiento de las escaleras eléctricas, de manera que comprendan el funcionamiento del sistema automático y puedan realizar intervenciones correctivas cuando sea necesario. Asimismo, es fundamental revisar periódicamente el sistema automático y verificar el estado de las mangueras, las bombas y los depósitos para garantizar su correcto funcionamiento. También se recomienda establecer en los reglamentos internos o manuales de funciones las obligaciones de cada uno de los servidores públicos de la estación implicados en la accesibilidad de las personas con discapacidad en el Sistema de Transporte masivo de los sistemas de Metro[27], durante el desarrollo de las actividades de mantenimiento en la estaciones de metro, ya que estos usuarios requieren una consideración especial por temas de derechos de las personas con discapacidad. Para mejorar esta propuesta conceptual se recomienda al personal del Metro de Panamá se recomienda lo siguiente:

Inventario detallado de activos: incluir una tabla con cada escalera, su modelo, fabricante, año de instalación, ubicación exacta (estación y nivel), y criticidad. Esto permitiría vincular el plan con la realidad operativa.

- Clasificación de la criticidad (A, B y C) a cada escalera del inventario.

- Historial de fallas y repuestos críticos: documentar qué piezas se han reemplazado con mayor frecuencia y cuáles deben estar siempre en stock.

- Indicadores de desempeño específicos: por ejemplo, tiempo promedio de reparación, disponibilidad operativa (% de tiempo en servicio), número de fallas por mes además del porcentaje de efectividad mensual.

- Considerar un plan de mantenimiento diferenciado, ya que no todas las escaleras tienen el mismo nivel de uso. Las estaciones más concurridas (como Albrook o San Miguelito) deberían tener una frecuencia de inspección mayor que estaciones de menor tráfico.

En resumen, este artículo funciona como un marco general, pero si se quisiese mayor nivel de aplicabilidad, se recomienda ampliar la tabla con los modelos y datos de cada escalera del Metro de Panamá para potenciar el documento en una herramienta práctica para la gestión diaria, ya sea por el personal del metro de Panamá, la empresa contratista de mantenimiento o alguno consultor de mantenimiento subcontratado.

VIII. CONCLUSIONES

El artículo presenta una propuesta de plan de mantenimiento preventivo para las escaleras electromecánicas de la Línea 1 del Metro de Panamá. Se fundamenta en una revisión documental de las especificaciones técnicas originales del proyecto, la normativa internacional aplicable (ISO 25745 y EN 115) y una revisión de literatura sobre mantenimiento en otros sistemas de metro. El trabajo describe las características técnicas y los principios de funcionamiento de los equipos, analiza las fallas comunes y las prácticas de seguridad para usuarios. Como resultado principal, se propone un plan detallado que consta de 64 actividades de mantenimiento. Un buen plan de mantenimiento preventivo protege los activos y aumenta la vida útil de las escaleras electromecánicas. Sin embargo, concluimos que la operación funcional del dispositivo no debe ser el único motivo para invertir en mantenimiento preventivo. En última instancia, el mantenimiento preventivo es también una gran manera de mantener satisfechos a tus clientes y brindar el servicio de forma correcta. El mantenimiento preventivo se debe aplicarse a todos los activos, pero es necesario enfatizar y dar prioridad a los puntos críticos de las escaleras electromecánicas que son fundamentales para mantener el tráfico de usuarios normal en las estaciones del metro, bien como a los activos de mayor valor, cuya reparación o sustitución es más costosa que las actividades preventivas regulares. También es un hecho que un plan donde el mantenimiento preventivo es excesivo implica posibilidades de acciones de mantenimientos innecesarias y su estandarización a activos de bajo valor o prioridad van a generar costes que son demasiado altos en relación con el tiempo de inactividad evitado o servicio brindado por la estación.

REFERENCIAS

[1] Metro de Panamá, "Línea 1 del metro de Panamá," Línea 1 (Metro de Panamá). Accessed: Nov. 15, 2025. [Online]. Available: <https://www.elmetrodepanama.com/linea-1/>

[2] Secretaría del Metro de Panamá, *Ingeniería conceptual. Especificaciones*

- funcionales, técnicas y contractuales TOMO II.- Equipamientos. II.o Normas generales II.0.1. Ingeniería Conceptual de la Operación. Panamá, República de Panamá: Secretaría del Metro de Panamá, 2010.
- [3] Secretaría del Metro de Panamá, *Ingeniería conceptual. Especificaciones funcionales, técnicas y contractuales. Tomo II equipamientos. II.1 Sistemas de vías. II.1.1. Parámetros de diseño geométrico*. Panamá, República de Panamá: Secretaría del Metro de Panamá, 2010.
- [4] Metro de Panamá, *Ingeniería conceptual. Especificaciones funcionales, técnicas y contractuales TOMO II EQUIPAMIENTO. II.4.2 Señalización y control de trenes. Puesto de mando CCO, torre de control y estaciones. Línea 1*. Panamá, República de Panamá: Secretaría del Metro de Panamá, 2010.
- [5] N. Neyra-Cachi, "Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para escaleras mecánicas y puertas automáticas de ALVAC S.A. para el consorcio metropolitano," Universidad Tecnológica del Perú, 2017. [Online]. Available: <https://repository.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/1117>
- [6] S. Sánchez, A. Rodríguez, G. Durán, C. De Frías, and M. Marmolesjos, "Ascensores y escaleras eléctricas." Slideshare, p. 42, 2026. [Online]. Available: <https://es.slideshare.net/slideshow/ascensores-y-escaleras-elctricas/8860842>
- [7] Elevator world, "Reflexiones sobre el mantenimiento de escaleras mecánicas y andenes móviles," Elevator world. Accessed: Nov. 15, 2025. [Online]. Available: <https://elevatorworld.com/es/article/thoughts-on-escalator-and-moving-walk-maintenance/>
- [8] C. Valero-García, "Proyecto de las instalaciones eléctricas y de alumbrado de un cañón peatonal entre las estaciones de Xàtiva y Alicante de la red de metro de Valencia con una potencia total de 1000kVA," Universitat Politècnica de Valencia, 2025.
- [9] J. Galindo, G. Carles, C. Armengol, and P. Royo, "ACE Architecture , City and Environment las estaciones ferroviarias de la Vall Baixa en la Barcelona metropolitana From the Platform to the Sidewalk . Continuities and Intermittences Around the Railway Stations of the Vall Baixa in the Metropolitan Barcel," *ACE Archit. , City Environ.*, vol. 19, no. 55, pp. 0–2, 2024.
- [10] Secretaría del Metro de Panamá, "INGENIERIA CONCEPTUAL Especificaciones funcionales, técnicas y contractuales. Tomo II. Equipamientos. II.10 Sistema de accesibilidad. II.10.1. Escaleras electromecánicas." Secretaría del Metro de Panamá, Panamá, República de Panamá, p. 36, 2010.
- [11] Wikipedia, "Clima de Panamá," Fundación wikipedia. Accessed: Nov. 16, 2025. [Online]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Clima_de_Panamá
- [12] A. Godoy-Jurado, "Propuesta para la Línea 2 del metro en el Casco Antiguo de Sevilla," 2024.
- [13] Comunidad de Madrid, "Guía sobre ahorro y eficiencia energética en escaleras mecánicas y andenes móviles." Comunidad de Madrid, Madrid, España, p. 178, 2016. [Online]. Available: <https://www.madrid.org/bvirtual/BVCM015598.pdf>
- [14] D. Pino-Ramos, "Estudio de la eficiencia energética de las escaleras mecánicas del Metro de Madrid según la NORMA ISO 25745," Universidad Carlos III de Madrid, 2015. [Online]. Available: <https://e-archivo.uc3m.es/entities/publication/c910133f-9dbf-41f7-afdf-9a1214762447>
- [15] C. Avila-Castro, "Lubricación Automática para una Escalera Eléctrica con Monitoreo de Cadena," Universidad de Cuenca, 2025. [Online]. Available: <https://rest-dspace.ucuenca.edu.ec/server/api/core/bitstreams/dec9c4dc-16da-4f21-bb6d-106786db5f80/content>
- [16] A. Perez-Sarmiento and J. Rubiano-Alba, "Diseño y desarrollo de un prototipo simulado para el control de escaleras eléctricas que optimice el consumo de energía," UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA, 2016. [Online]. Available: <https://repository.umng.edu.co/server/api/core/bitstreams/1cd53e9c-e35f-4659-a493-85ca7dc0650d/content>
- [17] Mitsubishi Electric Corporation, "Ascensores y escaleras mecánicas." Mitsubishi Electric Corporation, 2025. [Online]. Available: <https://europe.mitsubishielectric.com/es/products-solutions/building/>
- [18] Mitsubishi Electric, "Escaleras eléctricas." Mitsubishi Electric, Colombia, p. 38, 2025. [Online]. Available: <https://arquitecturaw.info/wp-content/uploads/2025/04/2-Manual-de-Usuario-Escaleras-Elctricas-1.pdf>
- [19] Mitsubishi electric, "Consejo de seguridad. Escaleras Mitsubishi electric." Mitsubishi Electric Corporation, p. 1, 2025. [Online]. Available: https://co.mitsubishielectric.com/es/notice/pdf/consejos_de_seguridad_escaleras_elctricas_mitsubishi.pdf
- [20] Metro de Panamá, "Porcentaje de efectividad del 2018 al 2025 Metro de Panamá Línea 1 (ascensores, escaleras, torniquetes y máquinas de ventas y recarga)." Metro de Panamá, S.A., Panamá, República de Panamá, p. 1, 2025. [Online]. Available: <https://www.datosabiertos.gob.pa/dataset/el-metro-de-panama-s-a-mantenimiento-de-ascensores-elevadores-escaleras-y-torniquetes-ano-2018>
- [21] J. Cabanellas-Becerra, J. Cano-Moreno, B. Suarez, J. Chover, and J. Felez, "Mejora de un diseño de más de 100 años. Nuevos conceptos en escaleras mecánicas," in *Actas de XVII Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica*, Gijón, España, 2008, pp. 233–239. [Online]. Available: <https://repository.unac.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/f0a9adeb-9f86-4bdc-ae4d-cfa15beca342/content>
- [22] J. Cabanellas-Becerra, J. Cano-Moreno, B. Suárez, J. Chover, and J. Felez, "Methods for improving escalators," *Int. trade Mag. Technol. Elev. Escalat.*, vol. 5, p. 14, 2008, [Online]. Available: https://oa.upm.es/9471/1/INVE_MEM_2008_88274.pdf
- [23] J. Cano-Moreno and J. Cabanellas- Becerra, "The evolution of the escalators. Divergende between theoretical and real design," *DYNA*, vol. 92, no. 3, pp. 264–268, 2017, doi: <http://dx.doi.org/10.6036/8036>.
- [24] AENOR, "ISO 25745-1:2023. Eficiencia energética de los ascensores, escaleras mecánicas y andenes móviles. Parte 1: Medición de la energía y verificación," Norma Aenor. Accessed: Nov. 18, 2025. [Online]. Available: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0072854>
- [25] AENOR, "ISO 25745-3. Energy performance of lifts, escalators and moving walks — Part 3: Energy calculation and classification of escalators and moving walks." Accessed: Nov. 18, 2025. [Online]. Available: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/iso/?c=060952>
- [26] European Committee for Standardization, "EN 115-1. Safety of escalators and moving walks - Part 1: Construction and installation," CEN-CENELEC Management. Accessed: Nov. 18, 2025. [Online]. Available: <https://www.escalatorparts.cn/UploadFiles/download/202352593638geyiez.pdf>
- [27] L. Magaña Martínez, "Diagnóstico sobre accesibilidad para las personas con discapacidad en el Sistema de Transporte Colectivo Metro: el caso de las líneas 2, 7, 9 y 12," Universidad Autonoma de la ciudad de México, 2014. [Online]. Available: <https://www.repositorioinstitucionaluacm.mx/jspui/handle/123456789/1348>
- [28] Metro de Panamá, "Memoria Anual 2023." Metro de Panamá, Panamá, República de Panamá, p. 51, 2023. [Online]. Available: <https://elmetrodepanama.com/wp-content/uploads/2024/02/Metro-de-Panama-Memoria-Anual-2023-version-digital-2.pdf>
- [29] Metro de Panamá, "Memoria anual 2024." Metro de Panamá, Panamá, República de Panamá, p. 47, 2024. [Online]. Available: <https://elmetrodepanama.com/wp-content/uploads/2025/02/Metro-de-Panama-Memoria-2024-Digital.pdf>
- [30] J. Fernández Ubillús and H. Albornoz Campos, "Propuesta de mejora para *Engineering without Borders: Artificial Intelligence, Knowledge, Innovation, and Alliances for a Future from the Americas*". Hybrid Event, Santiago-Chile, July 15 - 17, 2026

reducir el número de paradas de equipos de transporte vertical en un centro comercial en la Ciudad de Lima aplicando mantenimiento centrado en la confiabilidad,” Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), 2025. [Online]. Available: <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/675209/restricted-resource?locale-attribute=es>

[31] D. Linares- Castillo, “Racionalización del consumo de energía eléctrica en las escaleras mecánicas del Metro de Caracas,” Universidad de Moa Dr. Antonio Núñez Jiménez, 2010. [Online]. Available: <https://ninive.ismm.edu.cu/handle/123456789/1583>