



Universidad
Carlos III de Madrid

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

Ingeniería Técnica Industrial Mecánica

PROYECTO FIN DE CARRERA

**ESTUDIO DE LA EFICIENCIA
ENERGÉTICA DE LAS ESCALERAS
MECÁNICAS DE METRO DE MADRID
SEGÚN NORMA ISO 25745**

Autor: D. Daniel del Pino Ramos

Tutora: Dra. Dña. M^a Jesús López Boada (Uc3m)

Directora: Dña. Diana Utrero Muñoz (Metro de Madrid)

Leganés, Enero 2015



Estudio de la eficiencia energética de las escaleras
mecánicas de Metro de Madrid según norma ISO 25745





Título: Estudio de la eficiencia energética de las escaleras mecánicas de Metro de Madrid según norma ISO 25745.

Autor: D. Daniel del Pino Ramos

Director: Dra. Dña. M^a Jesús López Boada

EL TRIBUNAL

Presidente:

Vocal:

Secretario:

Realizado el acto de defensa y lectura del Proyecto Fin de Carrera el día ___ de _____ de 20__ en Leganés, en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid, acuerda otorgarle la CALIFICACIÓN de

VOCAL

SECRETARIO

PRESIDENTE



Estudio de la eficiencia energética de las escaleras
mecánicas de Metro de Madrid según norma ISO 25745



AGRADECIMIENTOS

Quería agradecer a todas aquellas personas que me han apoyado en la realización de este proyecto:

En primer lugar a mi familia, Álvaro, María, Miguel y Puri por orden alfabético, pues para mí, sois igual de importantes.

A Metro de Madrid, Dña. Diana Utrero, D. Juan Navalón y a todos mis compañeros, en especial los de Aluche, ya que sin su ayuda este proyecto no hubiera sido posible. Sinceramente, muchas gracias.

Querría agradecer a todos los miembros del departamento de ingeniería mecánica de la Uc3m, en especial a la Dra. Dña. M^a Jesús López y D. Alejandro Quesada, por tener la paciencia necesaria para lidiar conmigo y darme una oportunidad para acabar la carrera.

A mis compañeros de universidad y de biblioteca, cuantos días y noches estudiando para conseguir el ansiado objetivo.

A mis amigos del 33, los cuales cada día me demuestran su amistad y fidelidad, sois mi segunda familia, gracias por estar siempre ahí.

La realización de este proyecto y la meta de haber podido acabar la carrera no habría sido posible sin todos y cada uno de vosotros. Muchas gracias.



Estudio de la eficiencia energética de las escaleras
mecánicas de Metro de Madrid según norma ISO 25745



RESUMEN

El presente proyecto tiene por objeto el estudio de la eficiencia energética de las **escaleras mecánicas** de **Metro de Madrid** siguiendo la **norma ISO 25745**. Se pretende que este trabajo sirva como base para la futura implantación de la norma ISO 25745 en la red del suburbano.

Mediante este estudio se pretende, en primer lugar **conocer el consumo** producido por cada una de las escaleras mecánicas, rampas y pasillos de Metro de Madrid. A continuación, **catalogar** según su consumo energético el transporte vertical, siguiendo la norma ISO 25745. Esta **clasificación**, permitiría evaluar posibles planes de **mejora energética** sobre todo en aquellas unidades con una **baja calificación**.

En este estudio se comienza analizando la necesidad de la eficiencia energética, para conseguir más con menos. Se continúa con una breve descripción de la **diversidad de escaleras mecánicas, rampas y pasillos** que existen en Metro de Madrid, sus **componentes, sistemas y modos de funcionamiento**.

A continuación se evalúan las **diferentes tecnologías** existentes en el transporte vertical y su repercusión en las escaleras mecánicas, rampas y pasillos. Y se describe el **dispositivo de monitorización** y su conexionado.

Después se procede a la explicación de la norma **ISO 25745** en la parte referente a escaleras mecánicas, rampas y pasillos, desde la **configuración del ensayo**, el procedimiento en la **medición**, el **cálculo energético** y su **clasificación**.

Finalmente se realiza un **estudio de selección** de una muestra para las mediciones, se **clasifican** las escaleras muestreadas y se realiza un **presupuesto de mejora** de 147 escaleras mecánicas de Metro de Madrid.



Estudio de la eficiencia energética de las escaleras mecánicas de Metro de Madrid según norma ISO 25745



ABSTRACT

This project aims to study the energy efficiency of **escalators Metro de Madrid** according to **ISO 25745**. This paper is intended to serve as a basis for the future implementation of the ISO 25745 standard in the underground network.

Through this study, we first determine the **consumption produced** by each of the escalators, ramps and walkways Metro de Madrid. To continue, we **cataloged** by vertical transport energy consumption, according to ISO 25745. This classification would allow **evaluating potential energy improvement plans** especially in those units with a **low rating**.

This study begins by analyzing the need for energy efficiency, to achieve more with less. It continues with a brief description of the **diversity of escalators, ramps and walkways** that exist in Metro de Madrid, its **components, systems and modes**.

Then, the **different** existing in **vertical transport technologies** and their impact on escalators, ramps and walkways are evaluated. And the **monitoring device** and wiring described.

Then proceed to the **explanation of ISO 25745** in the part concerning escalators, ramps and walkways, from the **test setup**, the procedure for **measuring** the energy calculation and **ranking**.

Finally a **study of selecting** a sample for measurement is performed, the sampled stairs are **classified** and **budget improvement** of 147 escalators Metro de Madrid is performed.



Estudio de la eficiencia energética de las escaleras
mecánicas de Metro de Madrid según norma ISO 25745



ÍNDICE DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS.....	5
RESUMEN	7
ABSTRACT	9
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	11
ÍNDICE DE FIGURAS	15
ÍNDICE DE TABLAS.....	18
Capítulo 1	21
INTRODUCCIÓN.....	21
1.1 Motivación – El problema energético.....	21
1.2 Objetivos	23
1.3 Estructura del proyecto	24
Capítulo 2	26
TIPOS DE ESCALERAS MECÁNICAS EN METRO DE MADRID Y CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	26
2.1 Metro de Madrid	26
2.2 Escalera mecánica, rampa y pasillo rodante	27
2.2.1 Componentes	28
2.2.2 Sistemas	33
2.2.3 Modos de funcionamiento	34
2.2.4 Ejemplo de puesta en marcha	35
2.3 Escaleras Thyssen Krupp.....	37
2.3.1 FT-722 y FT-732	37
2.3.2 Avante.....	41
2.3.3 Tugela	44
2.4 Escaleras Kone.....	46
2.4.1 RTV	46
2.4.2 Eco 3000	51

Capítulo 3	57
EVALUACIÓN ENERGÉTICA DE TECNOLOGÍAS	57
3.1 Motores	57
3.1.1 Consideraciones sobre el factor de potencia.....	59
3.1.2 Protección completa del motor	61
3.2 Freno	62
3.2.1 Frenada mecánica	62
3.2.2 Frenos auxiliares.....	63
3.2.3 Trinquete.....	64
3.2.4 Frenado dinámico	64
3.3 Arrancador directo	65
3.4 Conexión estrella – triángulo	66
3.5 Arrancadores suaves	67
3.6 Economizadores	67
3.7 Controladores de factor de potencia	67
3.8 Variadores de frecuencia.....	68
3.8.1 Como funcionan	68
3.8.2 Los variadores en Metro de Madrid	69
3.8.3 Beneficios	70
3.8.4 Maniobras eléctricas con variador de frecuencia	71
Capítulo 4	73
DISPOSITIVO DE MONITORIZACIÓN	73
4.1 Descripción general de funcionamiento.....	73
4.2 Detalles constructivos	76
4.2.1 Datos técnicos.....	76
4.2.2 Visualizador.....	76
Capítulo 5	78
CONSUMO DE ENERGÍA EN LOS SISTEMAS DE TRANSPORTE VERTICAL ..	78
5.1 Medición de la energía y verificación según UNE-EN ISO 25745-1 (14).....	78
5.2 Procedimiento de medición para escaleras mecánicas, rampas y andenes móviles según UNE-EN ISO 2545-1 (14).....	79
5.2.1 Configuración del ensayo	79
5.2.2 Procedimiento para la medición de la potencia	80

5.3	Cálculo de energía y clasificación de las escaleras mecánicas y andenes móviles según ISO/DIS 25745-3 (16)	81
5.3.1	Cálculo consumo de potencia de referencia	81
5.3.2	Cálculo de medición de consumo de potencia para una unidad específica	83
5.3.3	Cálculo del ratio	83
5.3.4	Cálculo del ratio en función de su modo de operación	83
5.3.5	Clasificación energética	84
Capítulo 6.		88
ESTUDIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA		88
6.1	Selección de la muestra	88
6.1.1	Por marcas y modelos	88
6.1.2	Por desniveles	89
6.1.3	Por tránsito de viajeros	89
6.1.4	Por el sentido de funcionamiento	90
6.1.5	Muestra seleccionada	91
6.2	Mediciones y datos	92
6.3	Estimación del consumo energético	94
6.4	Clasificación energética y etiquetado de las muestras	96
6.4.1	Modelo Thyssen FT	96
6.4.2	Modelo Thyssen Avante	98
6.4.3	Modelo Thyssen Tugela	100
6.4.4	Modelo Kone RTV	102
6.4.5	Modelo Kone Eco3000	104
Capítulo 7		107
PROPUESTAS DE AHORRO Y MEJORA		107
7.1	Estabilizadores de tensión	108
7.2	Regeneradores de energía	109
Capítulo 8		111
PRESUPUESTO		111
8.1	Coste de personal	111
8.2	Coste de equipos	112
8.3	Costes indirectos	112

8.4	Resumen de costes	113
8.5	Amortización	113
8.5.1	Con variador	113
8.5.2	Sin variador	114
8.5.3	Conclusión	114
Capítulo 9	116
CONCLUSIONES Y FUTUROS TRABAJOS		116
9.1	Conclusiones	116
9.2	Futuros trabajos.....	118
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		120
ANEXOS		122
	ANEXO 1 – Thyssen Avante	122
	ANEXO 2 – Thyssen FT	130
	ANEXO 3 – Thyssen Tugela.....	138
	ANEXO 4 – Kone RTV	146
	ANEXO 5 – Kone Eco3000	154

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 2.....	25
Figura 1 Representación de una escalera mecánica.....	27
Figura 2 Esquema general de la parte visible de una escalera mecánica	29
Figura 3 Detalle ventana inferior derecha	29
Figura 4 Detalle del sistema de engrase (foso superior).....	30
Figura 5 Detalle cadena de peldaños	30
Figura 6 Detalle volteo inferior de cadena de peldaños	30
Figura 7 Detalle sistema de pasamanos	30
Figura 8 Sistema de tracción mediante cadena principal	31
Figura 9 Sistema de tracción mediante transmisión dentada.....	31
Figura 10 Ejemplo de distribución armario eléctrico	32
Figura 11 Detalle motor y reductor	32
Figura 12 Esquema distribución general de escaleras mecánicas, rampas o pasillos.....	33
Figura 13 Gráfico potencia-tiempo de una escalera mecánica ejemplo con sus diferentes periodos (8).....	34
Figura 14 Esquema distribución circuito de potencia	36
Figura 15 Detalle FT-732 (foso inferior).....	38
Figura 16 Esquema de distribución eléctrica general de una instalación Thyssen FT-722 (21)	38
Figura 17 Foso inferior FT-722	39
Figura 18 Foso superior FT-722	39
Figura 19 Distribución armario eléctrico FT-722 sin variador de frecuencia	40
Figura 20 Armario eléctrico FT-722 con variador de frecuencia.....	40
Figura 21 Esquema de distribución eléctrica general de una instalación Thyssen Avante Momentum (21).....	41
Figura 22 Thyssen Avante en Línea 12	41
Figura 23 Foso inferior Thyssen Avante	42
Figura 24 Foso superior Thyssen Avante	42
Figura 25 Distribución armario eléctrico Thyssen Avante.....	43
Figura 26 Pasillos Tugela en Pueblo Nuevo.....	44
Figura 27 Foso superior Thyssen Tugela	44
Figura 28 Foso inferior Thyssen Tugela	45
Figura 29 Distribución armario eléctrico Thyssen Tugela	45
Figura 30 Kone RTV en Puerta del Sur.....	46
Figura 31 Esquema general de distribución eléctrica de Kone RTV con freno resistivo.....	47
Figura 32 Foso superior Kone RTV	48
Figura 33 Detalle motor reductor Transvario Kone RTV	48

Figura 34 Foso inferior Kone RTV	49
Figura 35 Freno regenerativo y freno resistivo en Kone RTV	50
Figura 36 Distribución armario eléctrico Kone RTV	50
Figura 37 Placa A1 automática Kone Eco3000.....	51
Figura 38 Panel de control Kone Eco3000.....	51
Figura 39 Dispositivo freno A85	51
Figura 40 Esquema simplificado funcionamiento Kone Eco3000 E3C (13)	52
Figura 41 Foso superior Kone Eco3000	53
Figura 42 Foso inferior Kone Eco3000	53
Figura 43 Sistema completo motor-reductor Kone Eco3000	54
Figura 44 Parte superior cuadro de maniobra Kone Eco3000.....	55
Figura 45 Parte inferior cuadro de maniobra Kone Eco3000.....	55
Capítulo 3.....	57
Figura 46 Motor escalera mecánica Thyssen	57
Figura 47 Componentes motor trifásico	58
Figura 48 La velocidad (n) de los motores asíncronos de corriente alterna se puede regular modificando el número de par de polos (p), su deslizamiento (s) o su frecuencia (f)	58
Figura 49 Triangulo de potencia.....	59
Figura 50 Desfase entre tensión (V) y corriente (I) en un circuito de corriente alterna .	59
Figura 51 Variación de rendimiento y de factor de potencia según régimen de carga para un motor de inducción	60
Figura 52 Factor de potencia en función del par motor a diferentes velocidades para un motor ejemplo de inducción	61
Figura 53 Relé de protección Fanox.....	61
Figura 54 Componentes freno	63
Figura 55 Componentes trinquete	64
Figura 56 Frenos dinámicos (15).....	65
Figura 57 Resistencias	65
Figura 58 Arranque estrella-triángulo en Thyssen FT con contactores de subida y de bajada.....	66
Figura 59 Arrancador <i>Soft-Starter</i>	67
Figura 60 Economizador	67
Figura 61 Variador de frecuencia Omron 3G3F5.....	68
Figura 62 Esquema funcionamiento interno variador de frecuencia.....	68
Figura 63 Esquema entradas y salidas variador de frecuencia Sysdrive	69
Figura 64 Ejemplo de parametrización durante la frenada para un variador KEB F5 ...	69
Figura 65 Variador de frecuencia F5	70

Capítulo 5.....78

Figura 66 Contador de energía Itron ACE6000..... 74
 Figura 68 Esquema de conexión del contador de 4 hilos para baja tensión, con transformadores de intensidad 75
 Figura 67 Esquema de conexión del contador de 4 hilos para baja tensión en conexión directa 75
 Figura 69 Ejemplo de montaje contador de energía 76
 Figura 70 Esquema de los puntos de conexión de los instrumentos de medida..... 80
 Figura 71 Velocidad lenta..... 85
 Figura 72 Apagado nocturno 85
 Figura 73 Autoarranque..... 85
 Figura 74 Etiqueta clasificación energética..... 86

Capítulo 6.....88

Figura 78 Etiqueta energética Esperanza 3 sin variador..... 97
 Figura 75 Etiqueta energética Barajas 2 con variador 97
 Figura 76 Etiqueta energética Esperanza 3 con variador 97
 Figura 77 Etiqueta energética Barajas 2 sin variador 97
 Figura 79 Etiqueta energética Pinar del Rey 6 con variador 99
 Figura 80 Etiqueta energética Pinar del Rey 7 con variador 99
 Figura 82 Etiqueta energética Pinar del Rey 7 sin variador 99
 Figura 81 Etiqueta energética Pinar del Rey 6 sin variador 99
 Figura 86 Etiqueta energética Canillejas 7 sin variador 101
 Figura 84 Etiqueta energética Canillejas 7 con variador 101
 Figura 83 Etiqueta energética Canillejas 8 con variador 101
 Figura 85 Etiqueta energética Canillejas 8 sin variador 101
 Figura 90 Etiqueta energética Puerta del Sur 5 sin variador 103
 Figura 89 Etiqueta energética Cuatro Vientos 6 sin variador..... 103
 Figura 87 Etiqueta energética Cuatro Vientos 6 con variador..... 103
 Figura 88 Etiqueta energética Puerta del Sur 5 con variador 103
 Figura 92 Etiqueta energética Estrella 10 con variador..... 105
 Figura 91 Etiqueta energética Estrella 7 con variador..... 105
 Figura 93 Etiqueta energética Estrella 7 sin variador..... 105
 Figura 94 Etiqueta energética Estrella 10 sin variador..... 105

Capítulo 7.....107

Figura 95 Esquema simplificado de un estabilizador de tensión..... 108
 Figura 96 Variación de la tensión por el uso de estabilizadores de tensión 109
 Figura 97 Regenerador de energía ReGen2 (Otis) 109

ÍNDICE DE TABLAS

Capítulo 2.....	25
Tabla 1 Distribución del transporte vertical en Metro de Madrid (datos internos a Diciembre de 2014)	26
Tabla 2 Comparativa de los metros más importantes del mundo (1) (2) (3) (4) (5) (6).27	
Tabla 3 Modelos Thyssen en Metro de Madrid.....	37
Tabla 4 Modelos Kone en Metro de Madrid	46
 Capítulo 3.....	 57
Tabla 5 Distancias de parada para escaleras mecánicas, rampas y pasillos (7).....	62
 Capítulo 4.....	 73
Tabla 6 Datos técnicos Itron ACE6000 (16)	76
 Capítulo 5.....	 78
Tabla 9 Medición y verificación.....	79
Tabla 8 Valores generales para el cálculo de la potencia de referencia	82
Tabla 9 Valores de potencia consumida de referencia escaleras mecánicas	82
Tabla 10 Valores de potencia consumida de referencia pasillos inclinados.....	82
Tabla 11 Valores de potencia consumida de referencia pasillos horizontales	83
Tabla 12 Valor del ratio según el modo de operación.....	84
Tabla 15 Indicadores de clase según ratio	84
 Capítulo 6.....	 88
Tabla 14 Desnivel medio de la selección	89
Tabla 15 Tránsito medio de viajeros en las escaleras de la selección	90
Tabla 16 Estadísticas de dirección de las escaleras de la selección	90
Tabla 17 Características escaleras para la selección	91
Tabla 18 Selección de la muestra	91
Tabla 21 Características tecnológicas y de potencia de la muestra.....	92
Tabla 20 Datos generales escalera mecánica, rampa o pasillo.....	93
Tabla 21 Datos de tiempos	93
Tabla 22 Cálculo de energía	93

Tabla 23 Energía consumida de la carga	94
Tabla 24 Energía consumida total sin contar con la energía auxiliar	94
Tabla 25 Datos medición muestra	94
Tabla 26 Valor medio de las mediciones sin variador.....	95
Tabla 27 Valor medio de las mediciones con variador	95
Tabla 28 Clasificación modelo Thyssen FT	96
Tabla 29 Clasificación modelo Thyssen Avante	98
Tabla 30 Clasificación modelo Thyssen Tugela.....	100
Tabla 31 Clasificación modelo Kone RTV	102
Tabla 32 Clasificación modelo Kone Eco3000	104

Capítulo 8.....111

Tabla 33 Coste de personal (19)	112
Tabla 34 Coste de equipos.....	112
Tabla 35 Resumen de costes.....	113



Estudio de la eficiencia energética de las escaleras
mecánicas de Metro de Madrid según norma ISO 25745



Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Motivación – El problema energético

“Primero, fue necesario civilizar al hombre en su relación con el hombre. Ahora, es necesario civilizar al hombre en su relación con la naturaleza y los animales”. Con estas palabras escritas, en el siglo XIX, por el escritor Víctor Hugo, se entiende la necesidad de buscar una solución a la gestión de los recursos energéticos, ya que esto supone uno de los principales retos a los que se enfrenta la sociedad moderna a nivel mundial.

El gran progreso económico logrado en las últimas décadas, caracterizado por la intensa utilización de energía, ha sido producido principalmente mediante recursos fósiles. La naturaleza finita y el impacto ambiental en su producción, así como su consumo, advierten al mundo de la necesidad de un cambio.

El desafío es enorme, y la solución a largo plazo está lejos de ser conocida. Por ello, la acción a corto y medio plazo, ha de ser la búsqueda de dos objetivos principales. Ahorrar energía, utilizarla de forma eficiente e inteligente, para conseguir más con menos; y usar las energías renovables, que nos proporciona la naturaleza. Ambos constituyen una prioridad estratégica, y más en un país como España, con una alta dependencia de suministros externos.

El reto para los gobiernos, instituciones y las empresas no se puede limitar a la identificación de una necesidad de cambio de dirección. Tiene necesariamente a través de su propia definición como dicho cambio puede y debe ser realizado, asegurando el progreso social, el equilibrio ambiental y el éxito económico.

El Protocolo de Kioto, sobre el cambio climático, compromete a los países industrializados a ejecutar las medidas necesarias para reducir la cantidad de gases de efecto invernadero sobre nuestro planeta. “Estos cambios repercutirán gravemente en el ecosistema y en nuestras economías”, señala la Comisión Europea sobre Kioto. El objetivo principal es disminuir el cambio climático, además de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, promoviendo también la generación de un desarrollo

sostenible, de tal forma que se utilice también energías no convencionales y ser capaces de aprovechar al máximo la energía producida.

Debido al compromiso existente por parte de Metro de Madrid de ser la opción de movilidad socialmente más rentable, se persigue el ser un transporte sostenible en una triple vertiente: económica, social y medioambiental.

La situación económica y las dificultades actuales por las que están pasando la gran mayoría de empresas y gobiernos, marcan la estrategia a corto y medio plazo de Metro de Madrid. Se refleja la necesidad de realizar un importante esfuerzo para garantizar su viabilidad económica implantando planes de eficiencia y de ahorro para optimizar los costes.

Esta situación de crisis generalizada refleja además una importante bajada en la demanda del servicio, como consecuencia de la menor actividad económica y del descenso de la población ocupada, afectando a los viajes por motivo de trabajo y los realizados por ocio y en compras.

El Plan Estratégico de Metro de Madrid, abarca el período 2012-2015 y se estructura en tres grandes líneas las estrategias que recogen actuaciones encaminadas a la consecución de ahorros, incremento de ingresos, mejora de la productividad, garantía de los niveles de calidad de servicio e incremento de la demanda de viajes. Las tres líneas son:

- Optimizar la demanda y los ingresos por viajes.
- Ajuste de la oferta manteniendo la calidad.
- Mejora de la eficiencia interna.

Metro de Madrid tiene como misión constituirse como una opción de transporte sostenible, que sea rentable en términos económicos, sociales y medioambientales para el conjunto de la sociedad a la que se da servicio.

Estas líneas estratégicas coinciden claramente con las motivaciones de este proyecto. Resultados que se verían reflejados a corto y medio plazo.

1.2 Objetivos

El principal objetivo que se quiere alcanzar con la realización de este proyecto es clasificar energéticamente las escaleras mecánicas, pasillos y rampas que existen en Metro de Madrid. Por ello se toma como referencia la norma ISO 25745, no estando la tercera parte de dicha norma terminada y publicada ni a nivel nacional ni internacional a día de hoy.

Además, se pretende conseguir una serie de objetivos adicionales, los cuales se describen a continuación:

- Analizar las diferentes tecnologías utilizadas en el transporte vertical.
- Conseguir un servicio más eficiente en dos vertientes:
 - Desde un punto de vista medioambiental, con el ahorro energético, se pretende contribuir a la lucha contra el cambio climático.
 - Desde un punto de vista económico, con el ahorro energético, se pretende bajar la factura de la luz a corto y medio plazo para Metro de Madrid.
- Analizar el consumo eléctrico de las escaleras mecánicas de Metro de Madrid.
- Estimar el ahorro energético obtenido con el empleo de variadores de frecuencia.
- A nivel personal, adentrarme en el mundo del transporte vertical y la eficiencia energética más profundamente.

1.3 Estructura del proyecto

Este documento se divide en 9 capítulos, siendo el primero de ellos la presente introducción.

En el capítulo 2 se describe una escalera y los modelos de escaleras mecánicas usados como muestra para el estudio de eficiencia energética en Metro de Madrid.

La evaluación energética de las tecnologías disponibles para el funcionamiento de las escaleras mecánicas, rampas y pasillos se describe en el capítulo 3.

La descripción del dispositivo de monitorización de las mediciones se describe en el capítulo 4.

En el capítulo 5, se encuentra todo lo relativo a la norma ISO 25745, desde la configuración del ensayo, el procedimiento de medición, el cálculo y la posterior clasificación energética.

El estudio del consumo y la eficiencia energética de las escaleras mecánicas más representativas de Metro de Madrid se encuentra desarrollado en el capítulo 6.

Las propuestas de ahorro y mejoras aplicables a las escaleras mecánicas, rampas y pasillos son explicados en el capítulo 7.

El presupuesto de mejora de las 147 escaleras mecánicas con arrancador estrella-triángulo está detallado en el capítulo 8.

En el siguiente capítulo, se proponen aspectos que no se han estudiado en este proyecto y que son interesantes para abordar en el futuro. Además, en el capítulo 9 se hace un resumen de los resultados y se realizan las conclusiones.



Estudio de la eficiencia energética de las escaleras mecánicas de Metro de Madrid según norma ISO 25745



Capítulo 2

TIPOS DE ESCALERAS MECÁNICAS EN METRO DE MADRID Y CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

2.1 Metro de Madrid

Durante la última década se ha ampliado considerablemente la red de Metro de Madrid, tanto en kilómetros de su red como en mejora de sus instalaciones, aportando medidas de accesibilidad para facilitar la entrada de los viajeros.

En la actualidad, Metro de Madrid cuenta con 1694 escaleras mecánicas, rampas y pasillos, según muestra la *tabla 1*.

Tabla 1 Distribución del transporte vertical en Metro de Madrid (datos internos a Diciembre de 2014)

Tipo de instalación	Número de unidades
Escaleras mecánicas	1656
Rampas	10
Pasillos	28
Total	1694

En el ámbito nacional, Metro de Madrid, es un referente de ferrocarril suburbano, ya que es el más largo en kilómetros de red, el que tiene más estaciones, más sistemas de accesibilidad y el más moderno, aunque sea un ferrocarril casi centenario (1919).

A nivel internacional, es la red con mayor número de escaleras mecánicas, seguida muy de lejos por el metro de Moscú y el de París. Además, es la primera en número de ascensores instalados, seguida por el metro de Tokio, Nueva York y el de Londres, lo que convierte a Metro de Madrid en el transporte metropolitano más accesible del mundo (*tabla 2*).

Tabla 2 Comparativa de los metros más importantes del mundo (1) (2) (3) (4) (5) (6).

	CIUDAD	KM RED	NÚMERO DE LÍNEAS	ESTACIONES	ESCALERAS MECÁNICAS	ASCENSORES
	N. York	1062	24	468	179	158
	Londres	415	11	270	433	164
	Moscú	301,2	11	195	699	33
	Tokyo-Metro	286,2	13	206	210	178
	París	214	14	380	520	63
	Madrid	292,4	13	300	1694	508

En Metro de Madrid existe una gran variedad de marcas y modelos de escaleras mecánicas, pasillos y rampas. En este proyecto se seleccionará una muestra que sea representativa de esta diversidad, y que permita una estimación general del estado energético.

2.2 Escalera mecánica, rampa y pasillo rodante

Las escaleras mecánicas son normalmente utilizadas para transportar personas entre pisos adyacentes. Conforme a la definición establecida en la norma UNE-EN 115 (7), una escalera mecánica es: “una escalera motorizada, inclinada, en continuo movimiento, utilizada para subir o bajar personas en la que la superficie de transporte (por ejemplo peldaño) permanece horizontal”. Por su parte el pasillo móvil, es “un conjunto móvil diseñado para el desplazamiento en horizontal, su desnivel

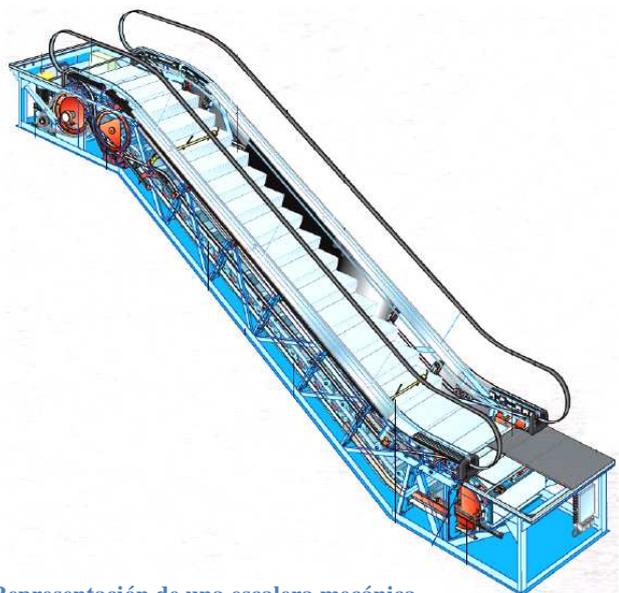


Figura 1 Representación de una escalera mecánica

es cero”. Se considera rampa cuando tiene inclinación y no supera los 12°.

Las escaleras mecánicas por lo general deben de superar los 30° de inclinación. En Metro de Madrid la velocidad nominal es de 0,65 m/s, velocidad recomendada por la norma UNE-EN 115 (7) para mejorar el tránsito de personas en el ámbito del transporte público.

2.2.1 Componentes

A continuación se enumeran los componentes de una escalera mecánica, rampa o pasillo rodante:

- Balaustrada, paneles y/o cristales, perfiles y faldillas o rodapiés.
- Puertas y trampillas de inspección (tapas de fosos).
- Maquinaria de accionamiento: motores eléctricos, grupos reductores, transmisiones y ejes, cadenas de accionamiento principal y de pasamanos, cadena de accionamiento de peldaños.
- Pasamanos.
- Sistema de frenado.
- Peldaños y placas.
- Peines y placas de peines.
- Señalización de seguridad para el usuario.
- Semáforos.
- Dispositivos de seguridad y control.
- Dispositivos para evitar un mal uso: anti-subida, restricción de acceso, antideslizante y deflector vertical.
- Deflectores de faldilla o anti-pinzamiento.
- Estructura portante y sistema de guiado de peldaños.
- Instalación eléctrica de toda la escalera mecánica, que comprende:
 - Elementos y componentes del circuito de iluminación de balaustradas.
 - Circuitos de alumbrado y enchufes.
 - Sistemas, dispositivos y circuitos eléctricos de seguridad.
 - Variadores de frecuencia y filtros activos de armónicos y componentes asociados.
- Equipos de engrase automático.

2.2.1.1. Esquema general de la parte visible de una escalera mecánica

La *figura 2* muestra un esquema general de los componentes más comunes e indica los nombres técnicos más utilizados para los diferentes espacios de una escalera mecánica. La *figura 3* es un detalle de la ventana inferior derecha de pasamanos.

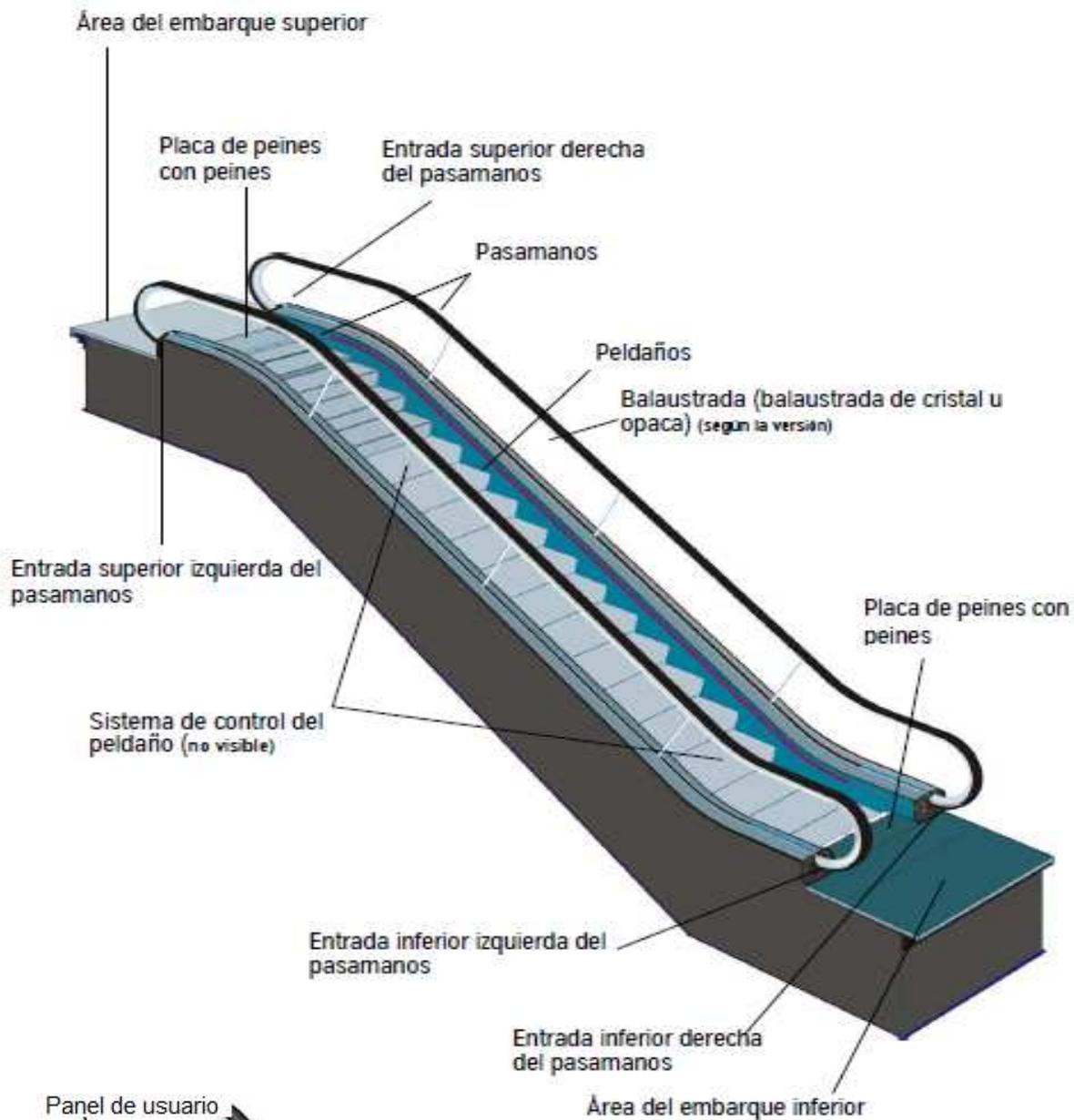


Figura 2 Esquema general de la parte visible de una escalera mecánica

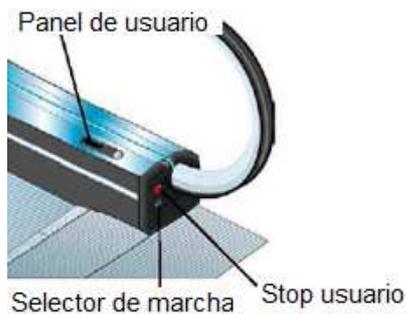


Figura 3 Detalle ventana inferior derecha

2.2.1.2. Esquema de la parte no visible de una escalera mecánica

A continuación se muestran los principales mecanismos y sistemas no visibles de una escalera mecánica, como son el volteo inferior de peldaños (*figura 4*), cadena de peldaños, interruptor de desplome de peldaños (*figura 5*), el sistema de tracción de pasamanos (*figura 6*) y el sistema de engrase (*figura 7*).

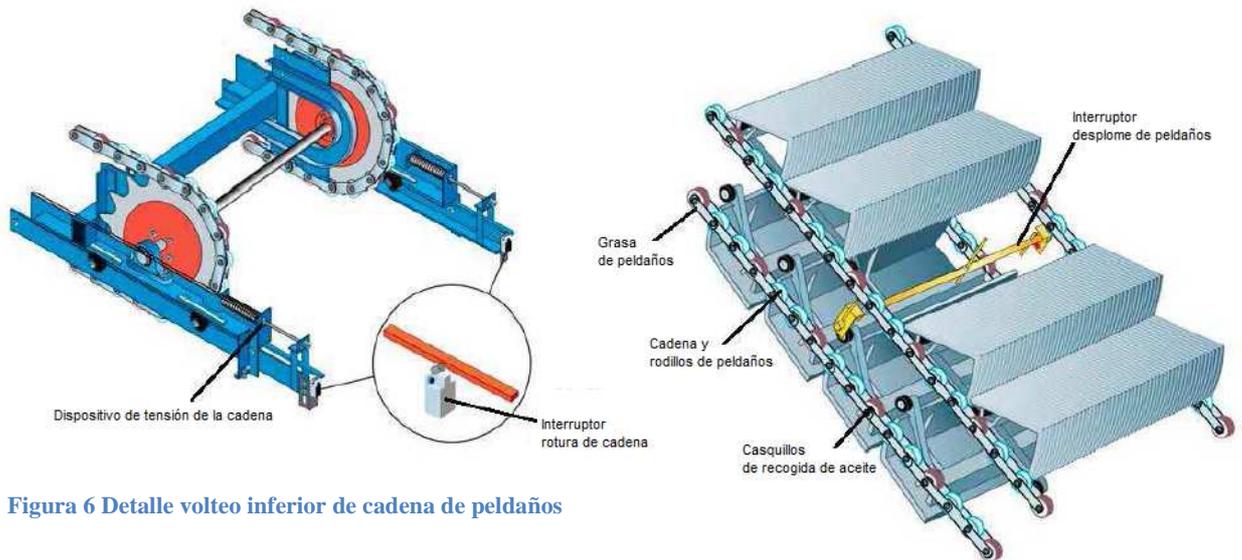


Figura 6 Detalle volteo inferior de cadena de peldaños

Figura 5 Detalle cadena de peldaños

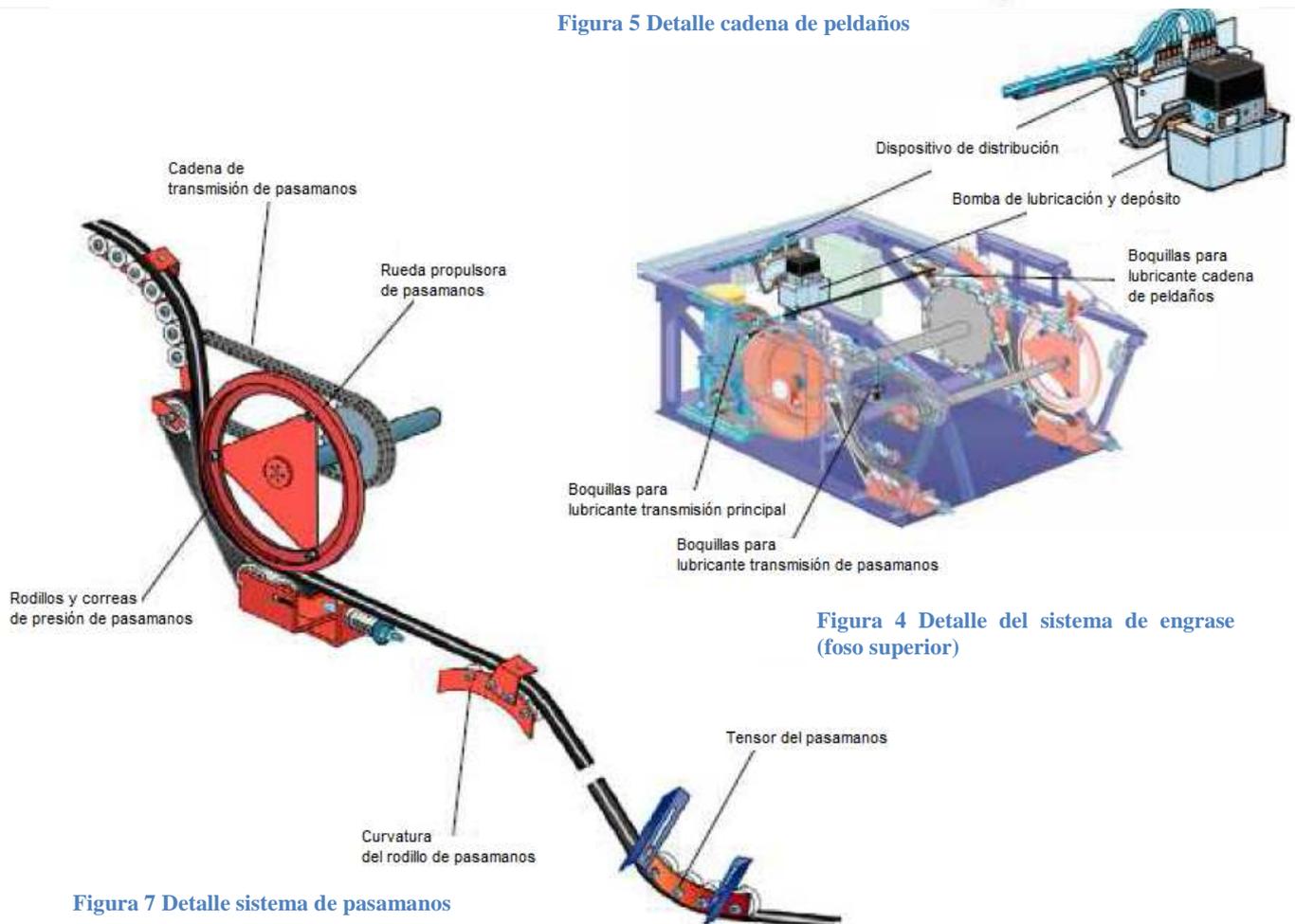


Figura 4 Detalle del sistema de engrase (foso superior)

Figura 7 Detalle sistema de pasamanos

2.2.1.3. Esquema de los sistemas de tracción más comunes

La figura 8 y la figura 9, representan los sistemas de tracción más comunes para la transmisión de la potencia de una escalera mecánica, pasillo o rampa.

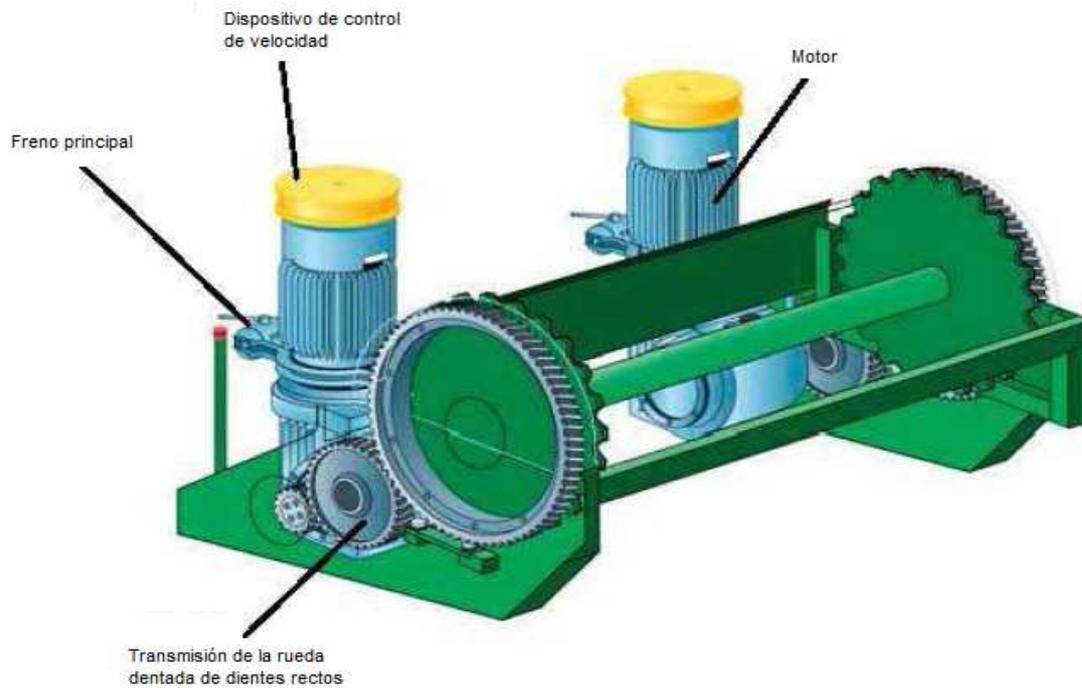


Figura 9 Sistema de tracción mediante transmisión dentada

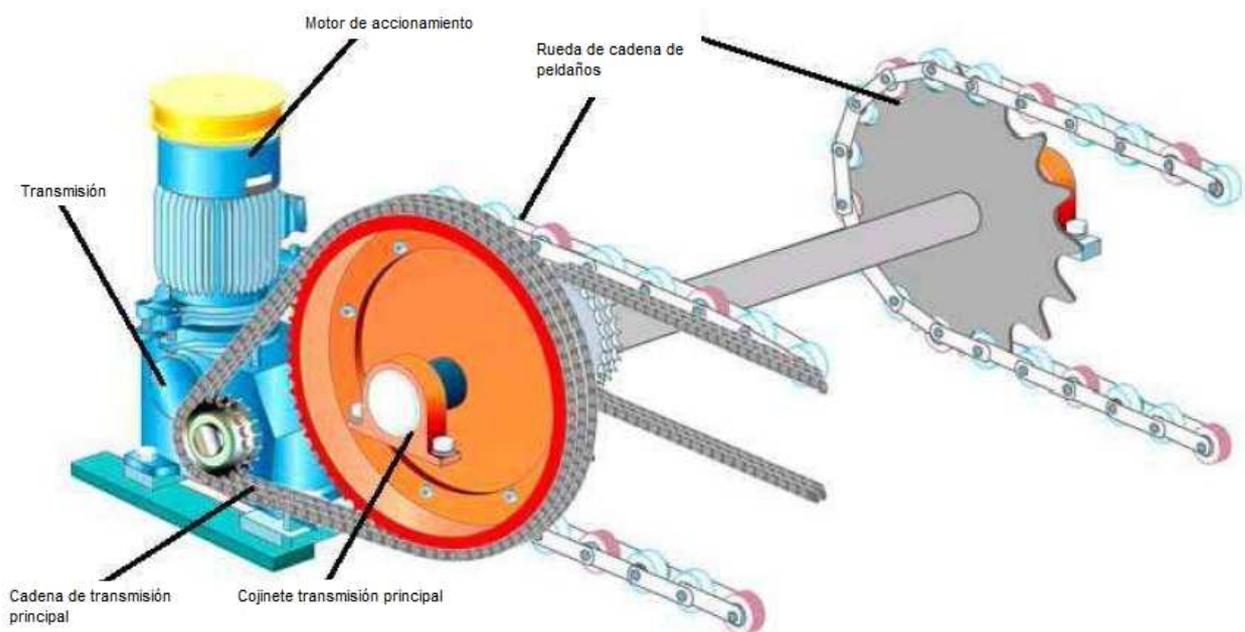


Figura 8 Sistema de tracción mediante cadena principal

2.2.1.4. Detalle motor y armario eléctrico

El motor eléctrico y su sistema reductor son representados mediante la *figura 10*.

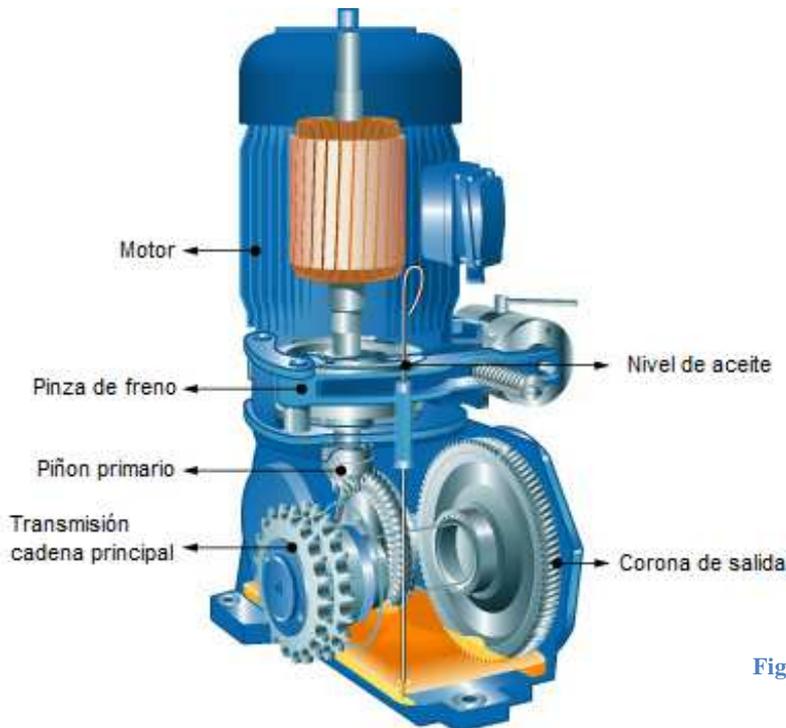


Figura 11 Detalle motor y reductor

Un ejemplo de la distribución de un armario eléctrico común se muestra en la *figura 11*.

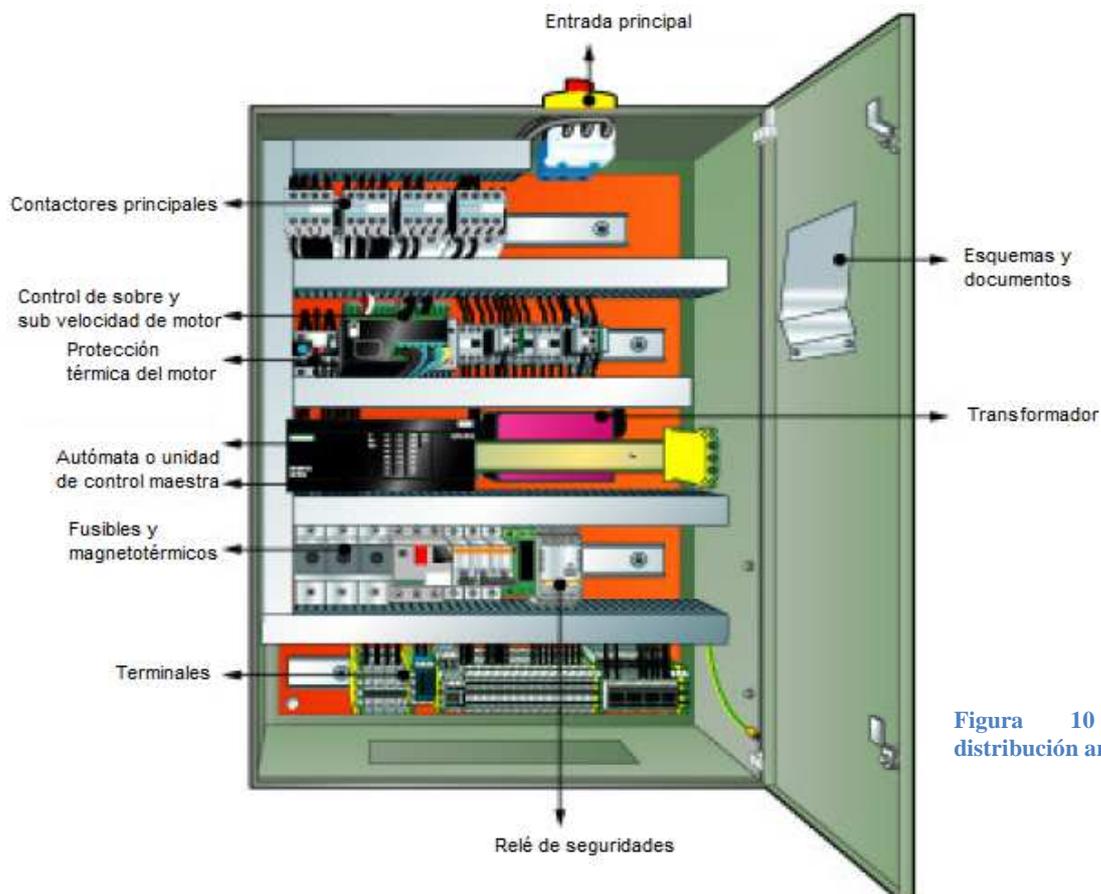


Figura 10 Ejemplo de distribución armario eléctrico

2.2.2 Sistemas

Las escaleras mecánicas, rampas y pasillos básicamente se dividen en dos, parte mecánica, con el sistema de tracción de pasamanos y el sistema de tracción de peldaños, y la parte eléctrica con el circuito de mando o control y el circuito de potencia (figura 12).

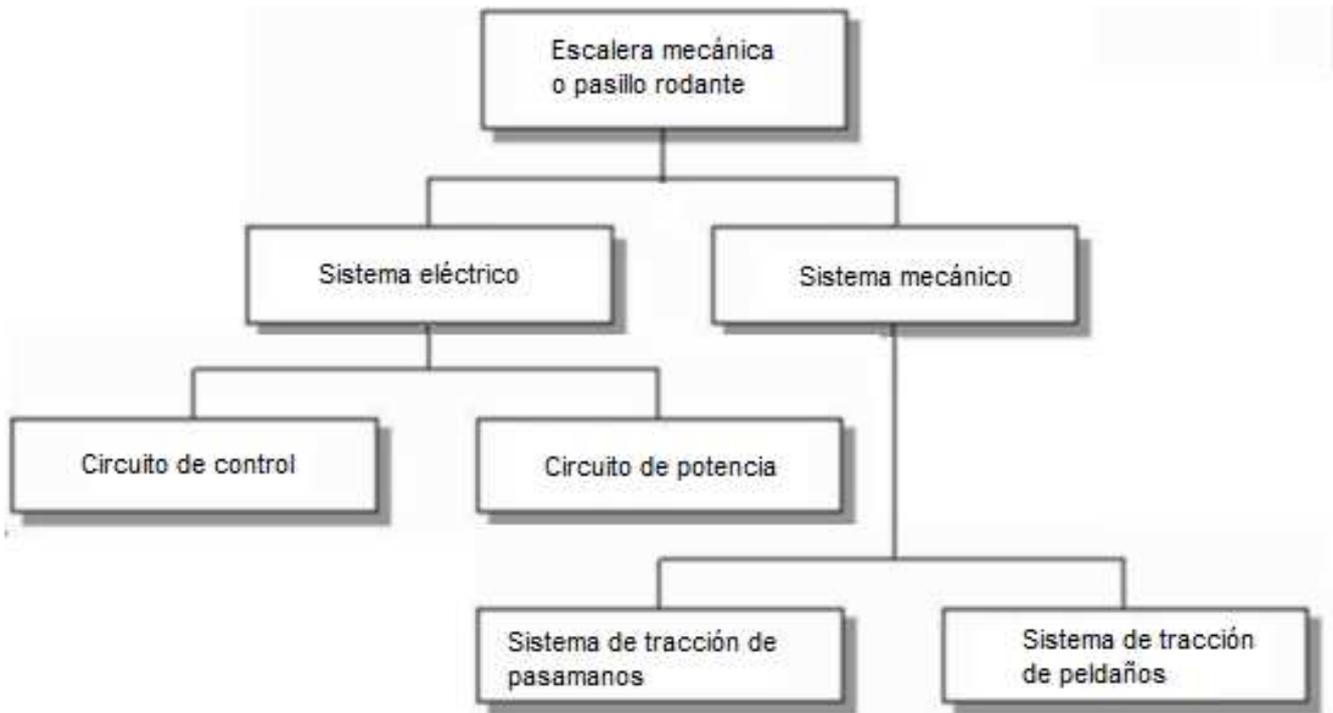


Figura 12 Esquema distribución general de escaleras mecánicas, rampas o pasillos

El *circuito de control* está compuesto por relés, contactores, térmicos, diferenciales, variador de frecuencia, inductivos, autómatas o PLC, ECD, etc. Una vez que entre tensión en el armario eléctrico, se produce el inicio del arranque de la escalera, comprobando ya sea mediante lógica cableada, relés de seguridades y/o mediante el PLC, que sus circuitos son correctos y están preparados para el arranque físico de la escalera mecánica o andén móvil. En el inicio, el sistema de comunicaciones informa del estado al control central, para poder actuar de forma remota.

El *circuito de potencia* está compuesto por los contactores de potencia, protecciones principales, motores, etc. Es el encargado de suministrar la energía necesaria al conjunto mecánico para su normal funcionamiento.

El *sistema de tracción de pasamanos* está compuesto por la cadena de transmisión de pasamanos, el propio pasamanos de goma, los conjuntos de adherencia y tensión, etc. Es el encargado de transmitir una velocidad de pasamanos igual a la velocidad del conjunto de peldaños.

El sistema de tracción de peldaños es el encargado de transmitir la potencia y el par necesarios, en función de la carga, en cada momento al conjunto de peldaños para poder desarrollar las diferentes fases de funcionamiento. El sistema de tracción de peldaños está compuesto por rodillos, peldaños, cadena de tracción con anclaje para peldaños, cadena de tracción principal, sistema de guías, volteos, etc.

2.2.3 Modos de funcionamiento

A continuación se detallan los tres modos de funcionamiento usados normalmente por escaleras mecánicas de velocidad variable (las más comunes):

- Velocidad normal, velocidad dada por la frecuencia de línea, si existe variador de frecuencia este suele dar una velocidad asociada a una frecuencia de 50Hz.
- Velocidad lenta, velocidad solo posible mediante variador de frecuencia, se le suele asignar una frecuencia de 20Hz. La escalera, pasillo o rampa entra en este modo después de un tiempo prefijado desde la última entrada de un viajero en ella.
- Modo reposo o en auto-parada, después de un intervalo de tiempo sin tránsito de viajeros, la escalera entra en este modo, en el cual se detiene completamente a la espera de un viajero.

En la *figura 13* se pueden observar los tres modos de funcionamiento y comparar el consumo de cada uno de ellos de forma general.

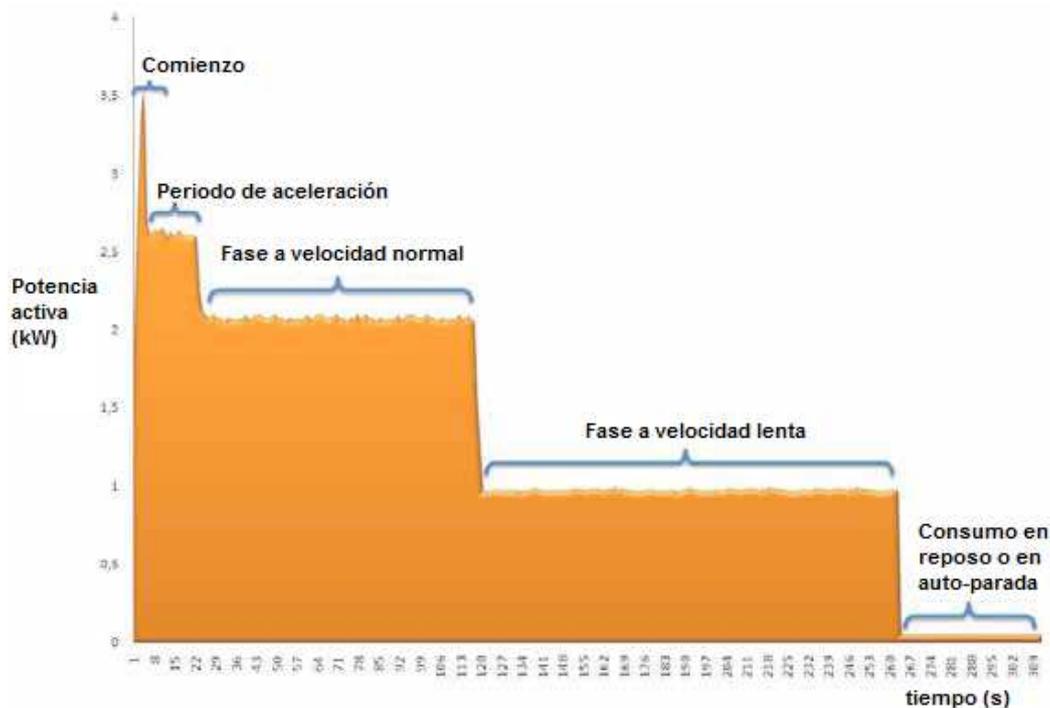


Figura 13 Gráfico potencia-tiempo de una escalera mecánica ejemplo con sus diferentes periodos (8)

En el arranque de la escalera, esta sufre un gran pico de consumo, durante el periodo de aceleración el consumo es bastante alto, hasta llegar a la velocidad normal. Cuando el último viajero haya sobrepasado las fotocélulas de entrada, la escalera pondrá en marcha un contador de tiempo (es posible su regulación en la mayoría de modelos) y cuando haya pasado el tiempo estipulado supondrá que no existen viajeros en la misma y entrará en un nuevo modo o fase a velocidad lenta, hasta que otro viajero active con su paso las fotocélulas de entrada y active el modo a velocidad normal. Si no sucediese esto, al cabo de un tiempo, la escalera se pondría en modo reposo o en modo auto-parada. En este modo la escalera estaría parada físicamente, pero tendría activo sus fotocélulas de entrada u otros dispositivos como radares, para activarse con la presencia de un viajero.

2.2.4 Ejemplo de puesta en marcha

Para poner en movimiento una escalera Thyssen FT-722, FT-732 y Avante, es necesario que se cumplan los siguientes condicionantes (*figura 14*):

- Tensión en la red de alimentación trifásica e interruptor general Q11 conectado.
- Que las protecciones QF1 y QD1 estén rearmadas.
- Que el variador de frecuencia (en este caso Omron), esté en RUN y reciba las órdenes oportunas a través de las entradas de control.
- Que las bobinas de los contactores QD90, QD91 y K2.2 se encuentren alimentadas y el relé de protección del motor FR1 esté rearmado.
- Si el variador de frecuencia no está activado, se puede conmutar el circuito de arranque estrella-triángulo formado por los contactores K1.1 o K1.2, K2.1 o K2.2.

El motor M se encuentra conectado en triángulo a la salida del variador. El equipo dispone de un freno eléctrico resistivo mediante una unidad de control y un juego de resistencias.

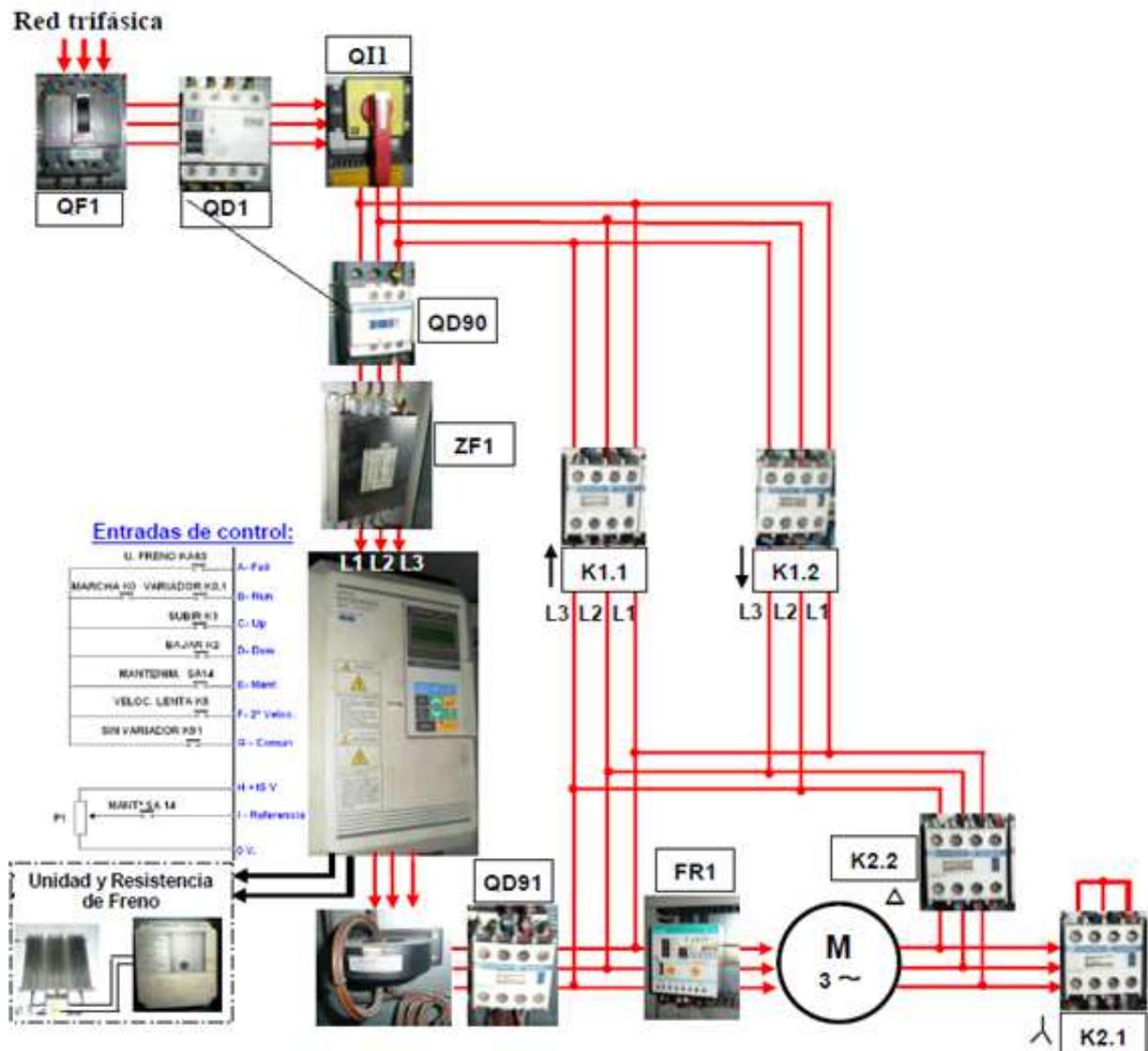


Figura 14 Esquema distribución circuito de potencia

2.3 Escaleras Thyssen Krupp

Las escaleras Thyssen Krupp son las escaleras más numerosas en Metro de Madrid, y la marca heredera de las escaleras mecánicas más antiguas (Boetticher, Macosa, etc.). Es una de las marcas de transporte vertical más caras, pero por contraposición utiliza componentes universales, lo que hace de su mantenimiento más económico.

Por norma general, y dependiendo de su antigüedad estas escaleras son más propensas a consumir más energía, debido al uso de sistemas de funcionamiento más antiguos y menos optimizados.

En la *tabla 3* se describen los tres modelos de Thyssen mayoritarios en Metro de Madrid, FT, TNE (Avante) y TUGELA. Se descartan por su poca influencia sobre el total los pasillos y rampas (FSP, TNP, ORINOCO e IWALK).

Tabla 3 Modelos Thyssen en Metro de Madrid

MODELO	NÚMERO	PORCENTAJE
FSP	21	1,36%
FT	273	17,65%
IWALK	1	0,06%
ORINOCO	4	0,26%
TNE	477	30,83%
TNP	2	0,13%
TUGELA	221	14,29%

2.3.1 FT-722 y FT-732

Las escaleras FT-722 y FT-732 datan de los primeros años de la década de los 90, actualmente se cuenta con 405 en funcionamiento. Algunas de estas escaleras están montadas en estaciones como Alto de Extremadura, Avenida de América, Moncloa o Nuevos Ministerios. En comparación con sus predecesoras, se da un gran salto tecnológico, ya que se pasa de la lógica cableada al uso de autómatas, permitiendo el control remoto de la instalación, sabiendo en todo momento en qué estado se encuentra la escalera y sus posibles averías (dentro de su limitación tecnológica). También se incorporan nuevos sistemas de seguridad y de ahorro de energía, como los economizadores. En definitiva, este modelo es la base de las nuevas generaciones que en la actualidad existen de escaleras mecánicas, rampas y pasillos en Metro de Madrid.

Estos dos modelos se diferencian principalmente por el desnivel a cubrir, ya que normalmente la FT-722 se usa para desniveles inferiores a 6 metros y la FT-732 para desniveles mayores. Las diferencias son mínimas, pero importantes, la FT-732 usa un eje en el volteo inferior que engrana con la cadena de peldaños, para evitar el cruce de los peldaños por la distancia, los rodillos de dicha cadena se montan en la parte exterior de esta (figura 15), la ventana de pasamanos está más reforzada, siendo de metal y no de plástico y suelen tener dos motores montados. Se la considera una escalera mecánica de alto tráfico.

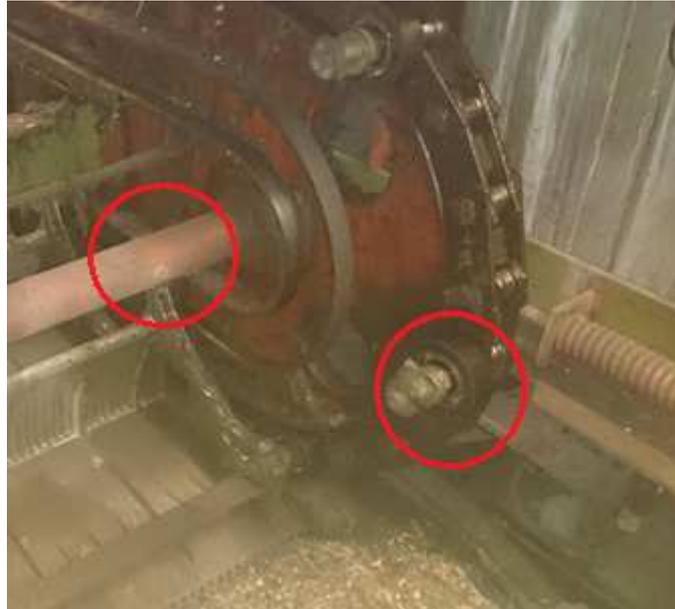


Figura 15 Detalle FT-732 (foso inferior)

Solo algunos modelos de FT disponen de variadores de frecuencia y su instalación se ha hecho a lo largo de los años, debido a su gran ahorro y eficiencia energética, incluso en modelos antiguos. En la figura 16 puede verse un esquema de la distribución eléctrica general de una instalación FT con variador y resistencias de freno.

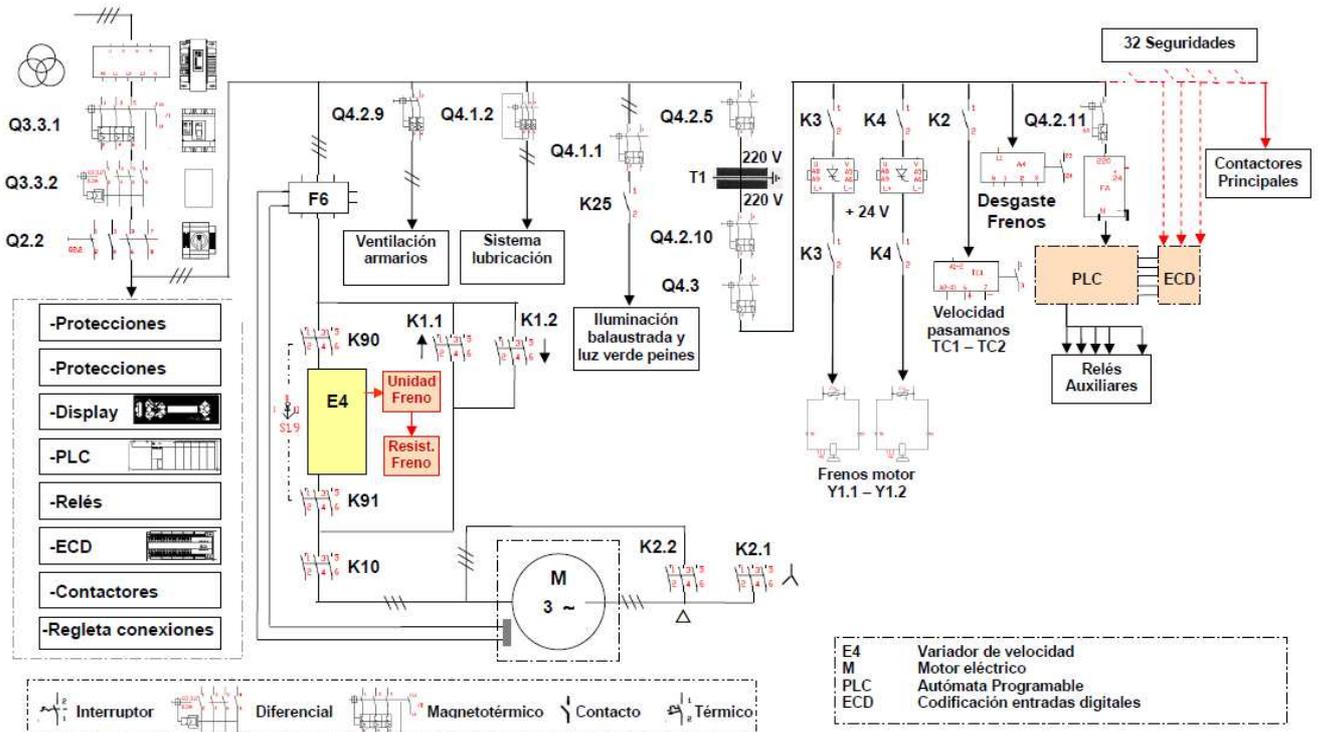


Figura 16 Esquema de distribución eléctrica general de una instalación Thyssen FT-722 (21)

En la *figura 17* y en la *figura 18* puede observarse en detalle los fosos tanto superior como inferior de una escalera FT-722.

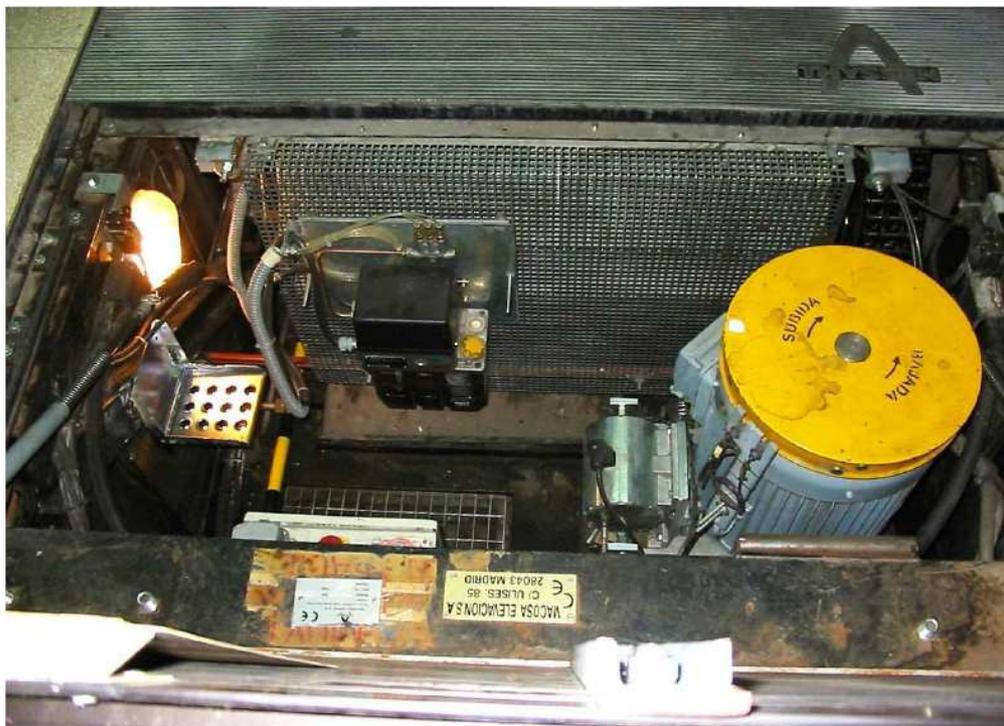


Figura 18 Foso superior FT-722



Figura 17 Foso inferior FT-722

En la *figura 19* se observa la distribución del armario eléctrico de una escalera FT-722 con variador y en la *figura 20* la distribución sin variador de frecuencia.

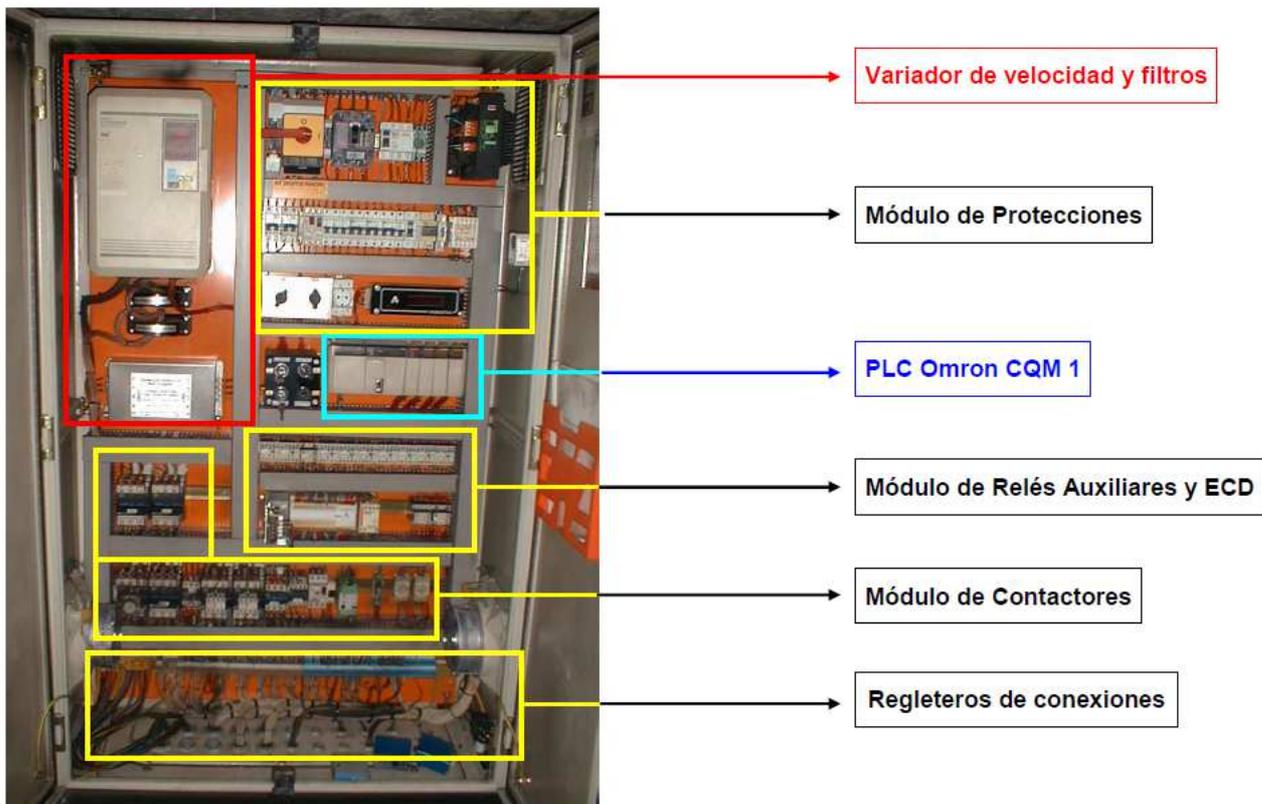


Figura 20 Armario eléctrico FT-722 con variador de frecuencia

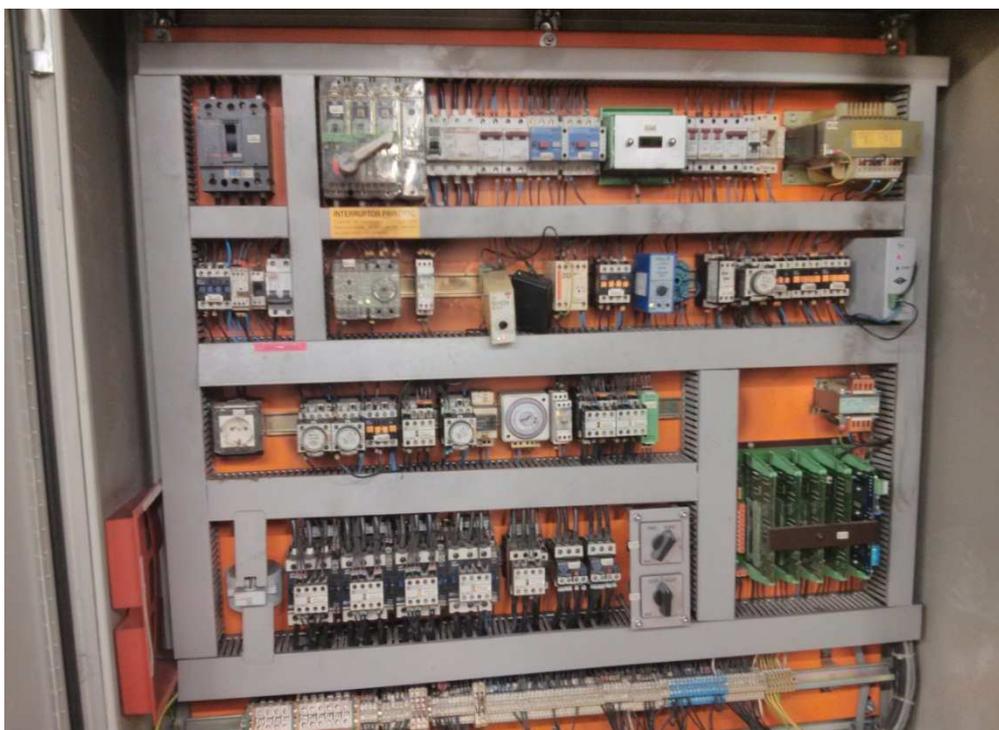


Figura 19 Distribución armario eléctrico FT-722 sin variador de frecuencia

2.3.2 Avante

Avante es el modelo más extendido en Metro de Madrid, se cuenta con 474 escaleras mecánicas dentro de la red. Se empezaron a montar a comienzos del siglo XXI (figura 22). Algunas de las estaciones donde se pueden encontrar estas escaleras son República Argentina, Usera, Legazpi o Manoteras.



Figura 22 Thyssen Avante en Línea 12

Se sucede una gran evolución en el ámbito eléctrico respecto a su predecesora FT-722 y FT-732, ya que se empiezan a montar con variadores de frecuencia, se mejora la instalación con componentes más sofisticados, como el relé térmico Fanox, un autómatas con más control sobre la escalera y una pantalla que posibilita cambiar parámetros de la escalera, rampa o el pasillo (figura 21). Además, el fabricante desarrolla una línea estética mucho más vanguardista, con formas redondeadas en los diferentes perfiles de aluminio y la casi desaparición de los antiguos planos con aristas.

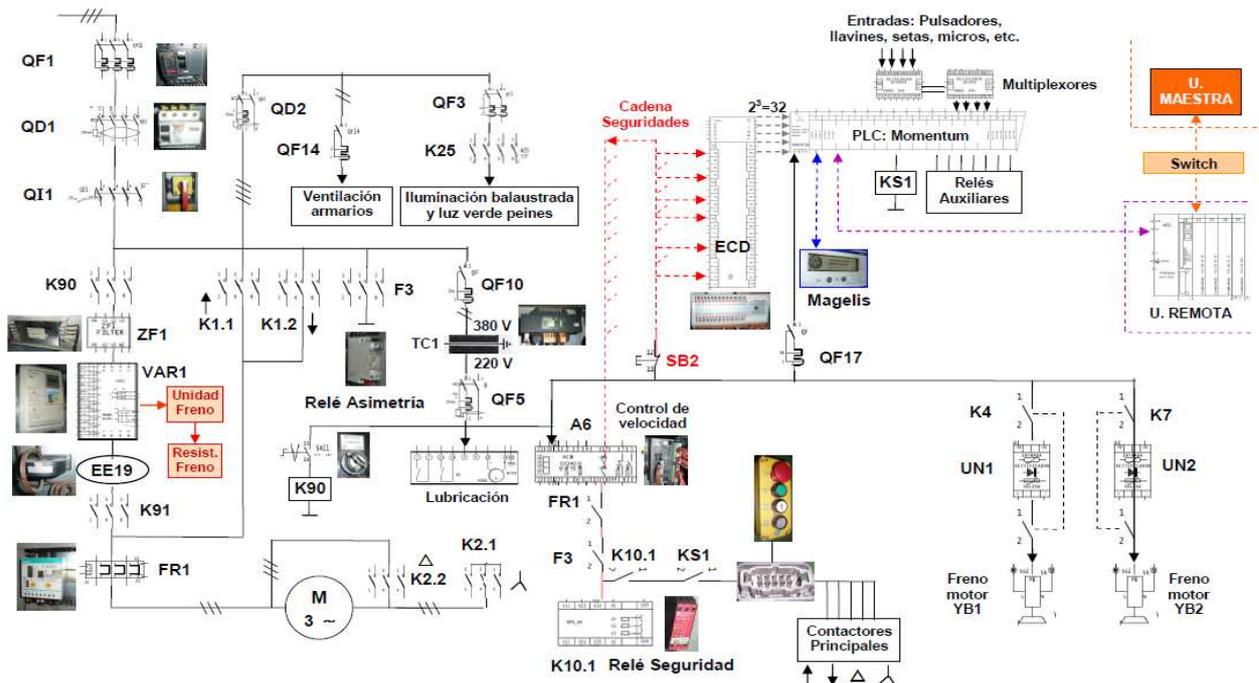


Figura 21 Esquema de distribución eléctrica general de una instalación Thyssen Avante Momentum (21)

En la *figura 23* y en la *figura 24* puede observarse en detalle los fosos superior e inferior respectivamente de una escalera Thyssen Avante.



Figura 24 Foso superior Thyssen Avante



Figura 23 Foso inferior Thyssen Avante

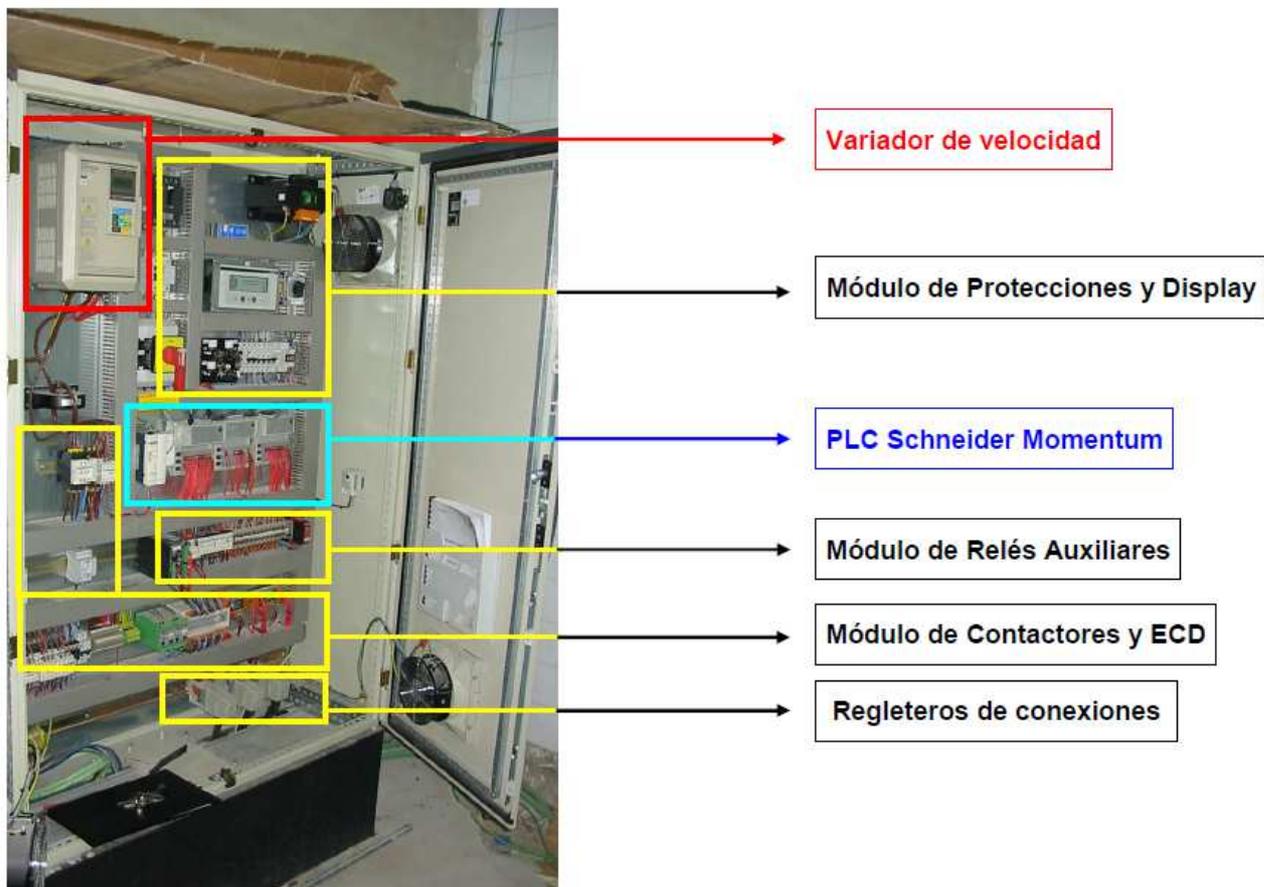


Figura 25 Distribución armario eléctrico Thyssen Avante

En la *figura 25* se puede observar en detalle los módulos que componen un armario eléctrico de una escalera mecánica del modelo Thyssen Avante.

2.3.3 Tugela

Tugela es la escalera más moderna montada por la marca Thyssen Krupp en Metro de Madrid, actualmente hay 221 escaleras, dando servicio en estaciones como Sol, aeropuerto T4, Santiago Bernabéu, Plaza Castilla, etc. (*figura 26*).

Este modelo de escalera mecánica ha sido desarrollado para funcionar en aeropuertos, centros de congreso, recintos feriales y estaciones de ferrocarril. Es adecuada para un funcionamiento continuo en ambas direcciones.



Figura 26 Pasillos Tugela en Pueblo Nuevo

Trabajando 20 horas al día y siete días a la semana la vida operativa es de aproximadamente 20 años, aunque depende en gran medida del entorno operativo, de la calidad del servicio y sobre todo del mantenimiento. Con un buen cuidado y experto mantenimiento según la marca la vida útil es de 25 años. Además contiene unas características especiales bajo diferentes condiciones climáticas, convirtiéndose en el modelo más adecuado para trabajar en exteriores (9).

En la *figura 27*, la *figura 28* y la *figura 29* puede observarse en detalle los fosos superior, inferior y la distribución del armario eléctrico respectivamente.



Figura 27 Foso superior Thyssen Tugela



Figura 28 Foso inferior Thyssen Tugela

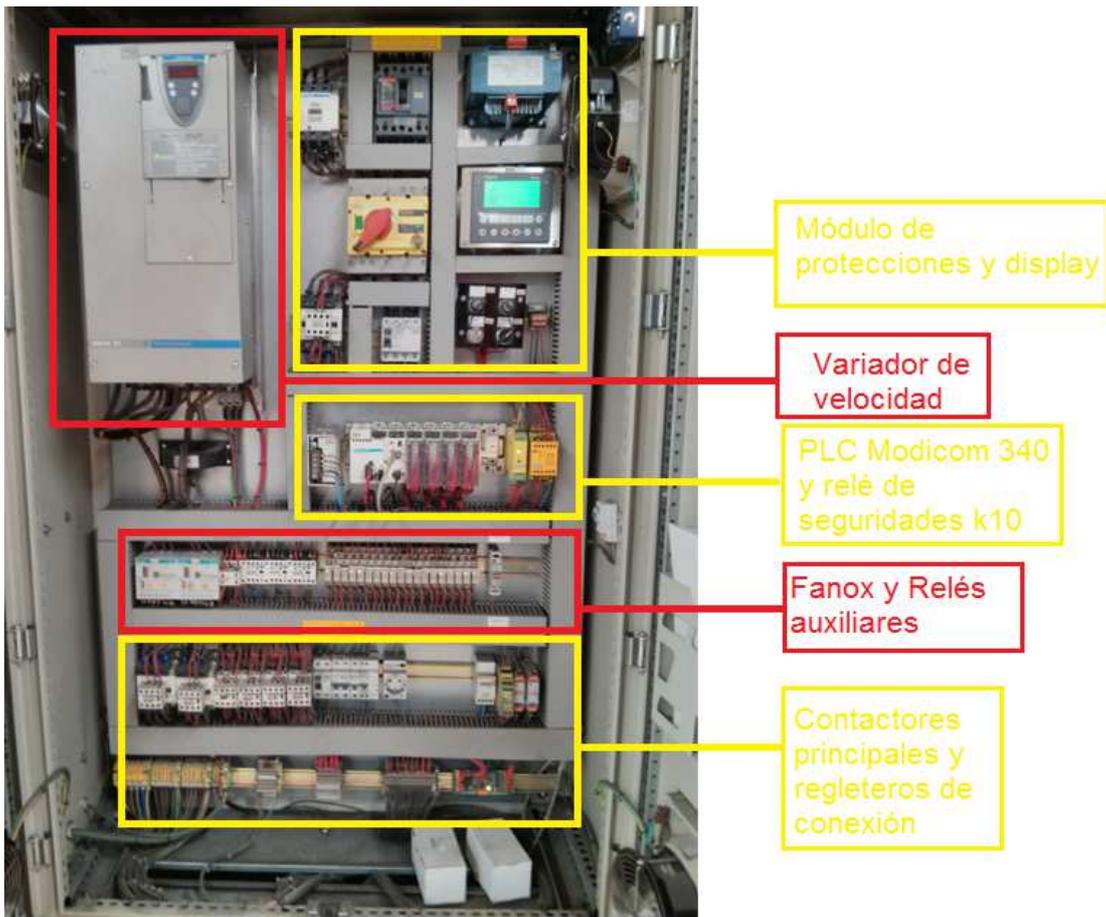


Figura 29 Distribución armario eléctrico Thyssen Tugela

2.4 Escaleras Kone

Las escaleras mecánicas Kone son un referente a nivel mundial, debido a que poseen buenos sistemas de seguridad y tienen modos de funcionamiento que favorecen el ahorro de energía. Además, su diseño permite modernizar la escalera mecánica al cabo de los años y conseguir así mayores reducciones de costes energéticos, mayor fiabilidad, mayor seguridad e incluso adaptarse a los nuevos estilos (10).

En la *tabla 4* se describen los dos modelos de Kone mayoritarios en Metro de Madrid, RTV y ECO3000. Se descartan por su poca influencia sobre el total, los pasillos y rampas (INNOTRACK, R3C Y RSV).

Tabla 4 Modelos Kone en Metro de Madrid

MODELO	NÚMERO	PORCENTAJE
E3H	187	12,09%
INNOTRACK	1	0,06%
R3C	4	0,26%
RSV	2	0,13%
RTV	140	9,05%

2.4.1 RTV

El modelo RTV es la escalera más antigua de la marca Kone instalada en Metro de Madrid, existen 140 y datan las primeras del año 1998. Estas escaleras están montadas en estaciones como Puerta del Sur, Plaza Castilla, Gran Vía o Sol (*figura 30*).

Kone para este modelo de escalera ha

desarrollado una unidad de diagnóstico y mando

llamado “OkaVarioTronic” sobre la que basa las reglas de seguridad. Esta unidad ofrece además, el control y la regulación de la velocidad del motor. Otra característica



Figura 30 Kone RTV en Puerta del Sur

significativa es la estructura modular de esta unidad, permitiendo la ampliación gracias a un bus interno.

El modelo RTV dispone de dos relés auxiliares para la motorización de la cadena de seguridades que en este caso son dos líneas a 230V AC y 12V DC. Mediante OkaVarioTronic la escalera realiza una diagnosis cuyo resultado es comunicado mediante un panel de dos dígitos de siete segmentos. Los errores detectados son comunicados mediante un código alfanumérico. Estos errores o averías, comportan una actuación configurada con la parametrización de unos bits de estado de avería (10).

En la figura 31 se observa el esquema eléctrico general de una escalera mecánica Kone RTV, con variador de frecuencia y resistencias de freno.

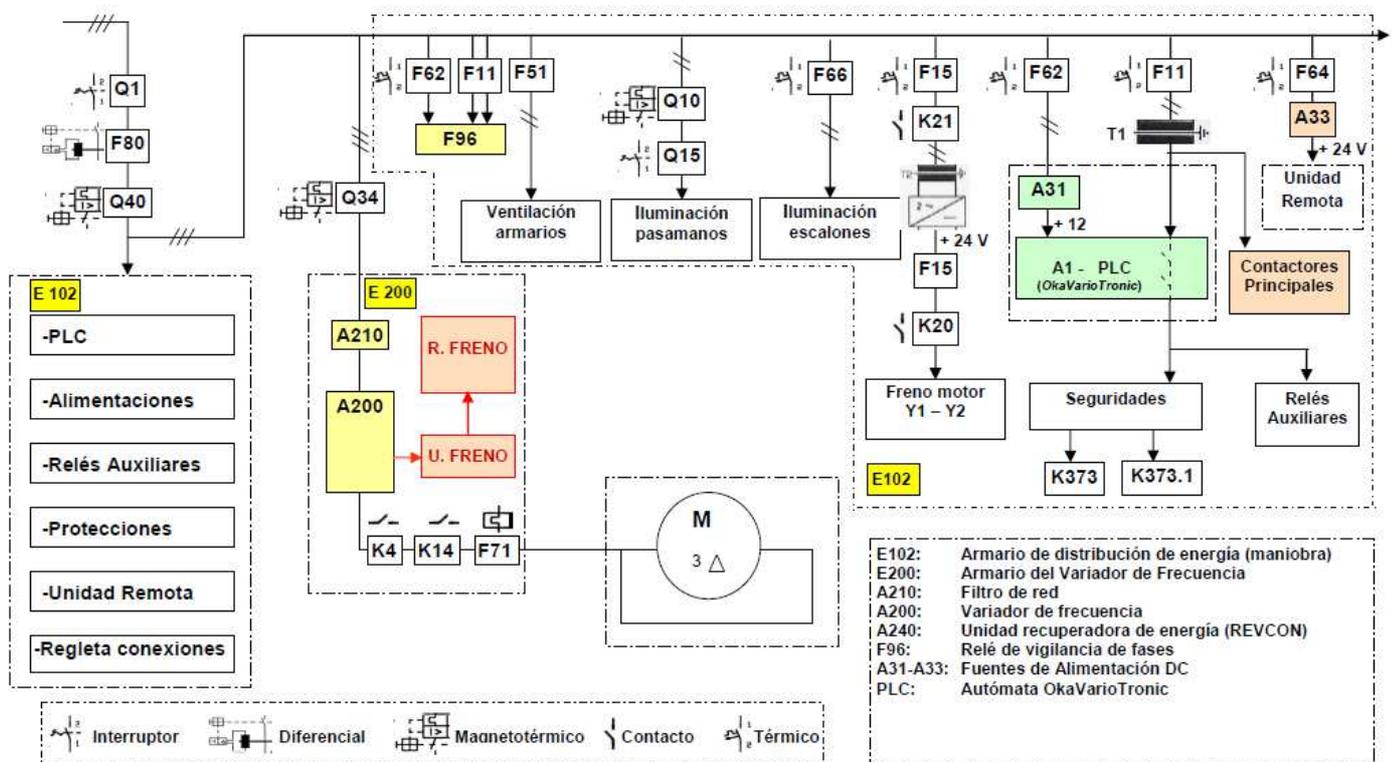


Figura 31 Esquema general de distribución eléctrica de Kone RTV con freno resistivo



Figura 32 Foso superior Kone RTV

En la *figura 32*, la *figura 33* y la *figura 34* se puede observar el detalle del foso superior, motor y reductor (dentro del hueco de la escalera) y el foso inferior respectivamente de una escalera Kone RTV.



Figura 33 Detalle motor reductor Transvario Kone RTV

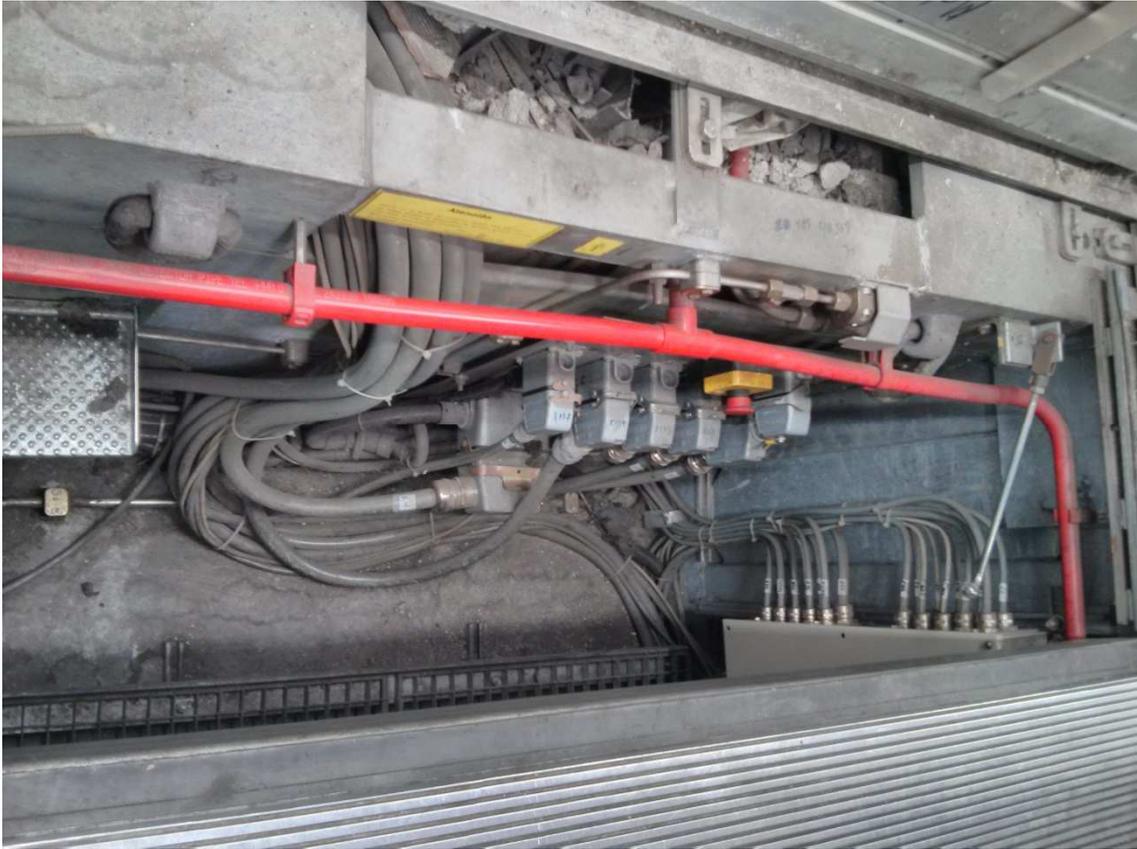


Figura 34 Foso inferior Kone RTV

En la *figura 35* se describen las dos versiones de frenos disponibles para esta escalera. En primer lugar, la versión con freno regenerativo y en segundo lugar la versión con freno resistivo (*véase 3.2.4*).

La *figura 36* representa la distribución del armario eléctrico para este modelo de Kone, RTV.

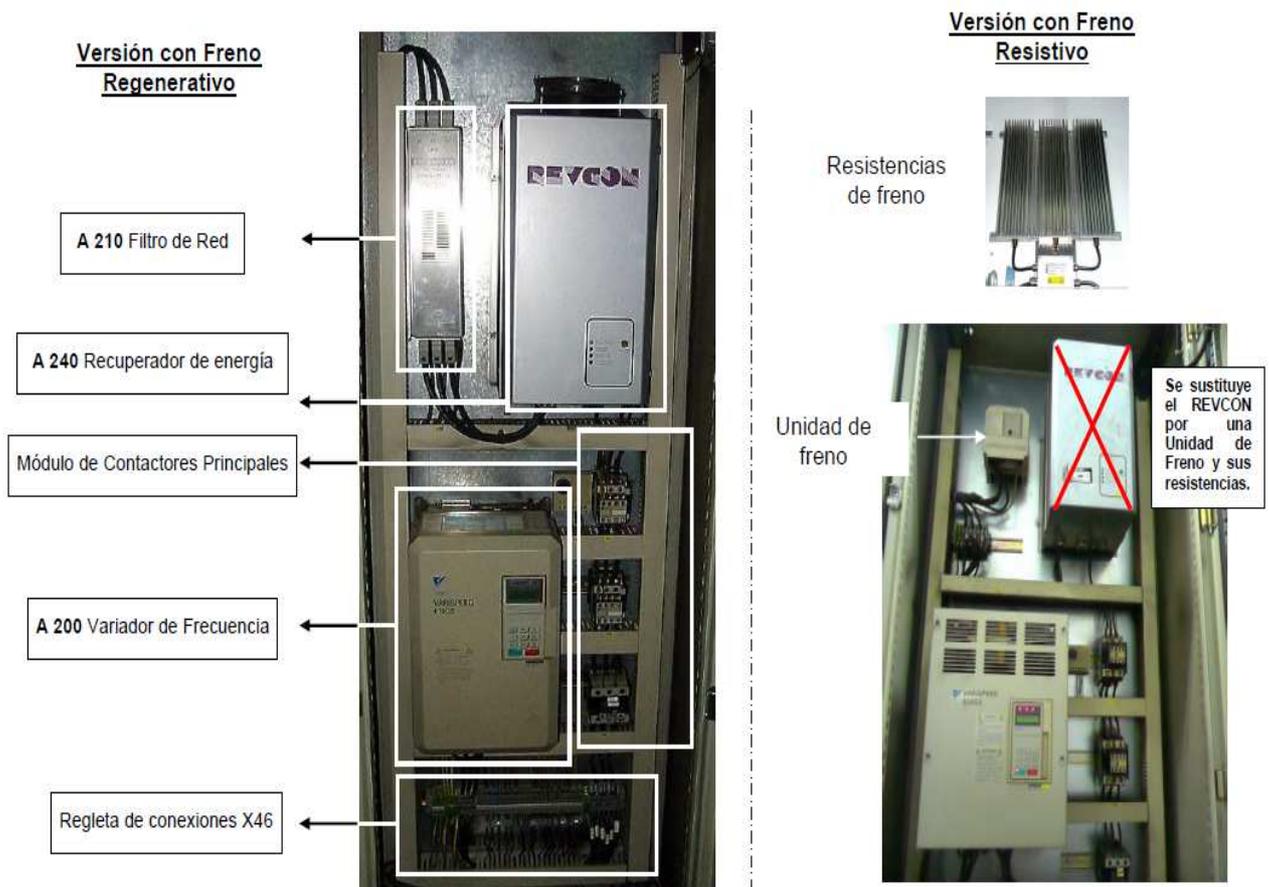


Figura 35 Freno regenerativo y freno resistivo en Kone RTV

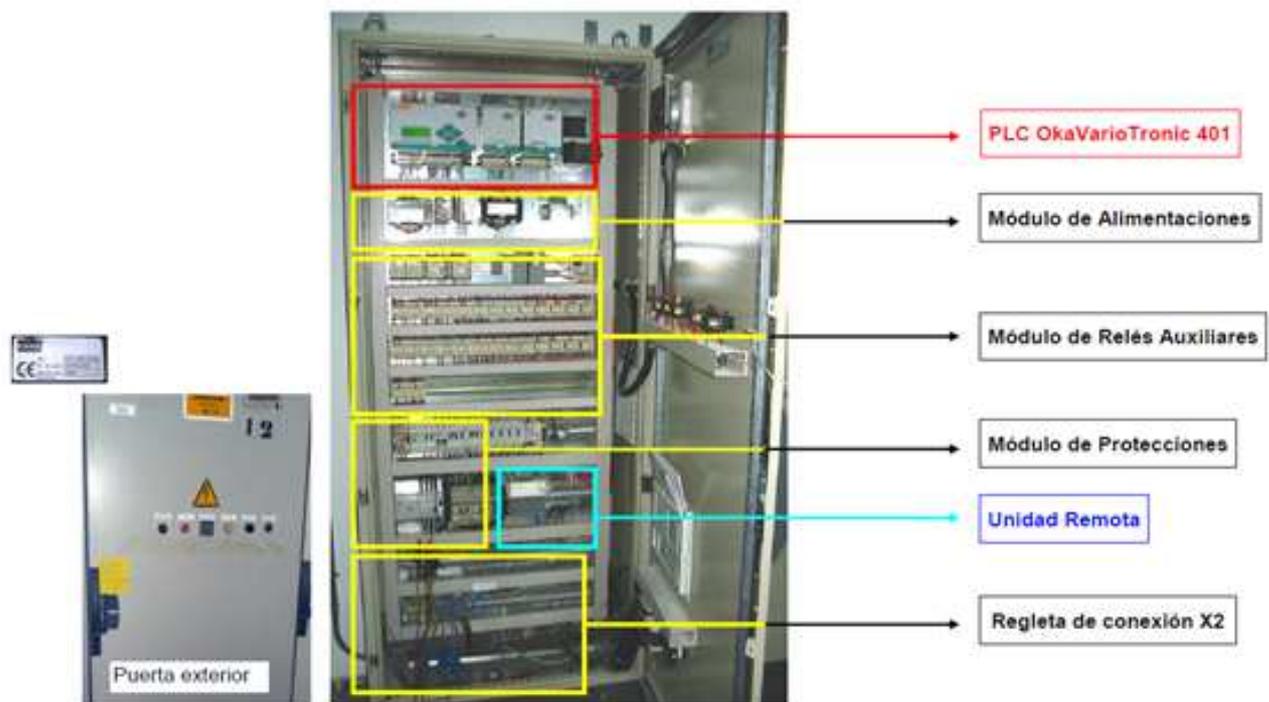


Figura 36 Distribución armario eléctrico Kone RTV

2.4.2 Eco 3000

La nueva escalera de Kone ECO 3000, tiene 187 escaleras en Metro de Madrid, datando las primeras de 2007. Este modelo puede encontrarse en estaciones como Plaza de España, Las Tablas o Aluche.

Respecto al anterior modelo de la misma marca, RTV, la alejan en cierta forma de la filosofía aplicada a la funcionalidad del modelo anterior de Kone y la acercan en gran medida al comportamiento y ciertas características de las escaleras Thyssen, reduciendo un buen número de componentes que formaban la lógica cableada. No obstante hay nuevas características en este modelo que deben ser nombradas:

- Se sustituyen los circuitos cableados de lógica de control programada por un PLC con cuatro tarjetas micro procesadas, reduciendo así considerablemente el número de relés auxiliares y por tanto la posibilidad de averías eléctricas (*figura 37*).
- Se ha dispuesto de un circuito alternativo, conocido como Bypass del variador, para el control del motor de la escalera ante la inhibición del variador de frecuencia, consistente en un arrancador estrella-triángulo, de similar comportamiento al incluido en las escaleras Thyssen.
- Se ha incluido un panel frontal de la marca Kone, para el diálogo hombre-máquina que facilita las labores de mantenimiento al permitir la monitorización de parámetros y otros eventos tales como averías presentes, histórico de averías, etc. (*figura 38*).

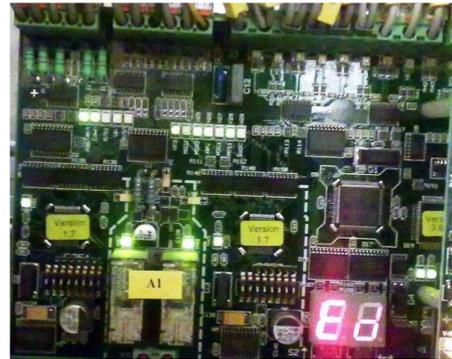


Figura 37 Placa A1 autómata Kone Eco3000



Figura 39 Dispositivo freno A85



Figura 38 Panel de control Kone Eco3000

- La actuación del freno auxiliar es controlada por un regulador de freno, nuevo en las escaleras mecánicas de Metro de Madrid, de la marca Kone, que es intervenido por una de las placas del PLC. Es el denominado A85, dispone de un potenciómetro para regular el tiempo de actuación del freno auxiliar respecto al freno principal (*figura 39*).

- La cadena de seguridades y de señalización se realiza mediante un lazo de contactos en serie, similar

al dispuesto tradicionalmente en las escaleras de Thyssen, pero a diferencia de estas, en las que dicho lazo se alimenta a 230V, en la nueva escalera se hace con una fuente de 24V, que elimina la doble alimentación (230V AC y 12V DC) presente en otros modelos de Kone, y que suponía una fuente de incidencias.

- Se usan variadores de frecuencia de la marca KEB para controlar el funcionamiento del motor eléctrico de la escalera.
- Realiza una diagnosis de errores o averías (micros de seguridad), el resultado es comunicado mediante un panel de dos dígitos de siete segmentos como en la RTV y al panel mediante mensajes.

En la *figura 40*, puede verse el esquema eléctrico simplificado de una escalera mecánica Kone Eco3000.

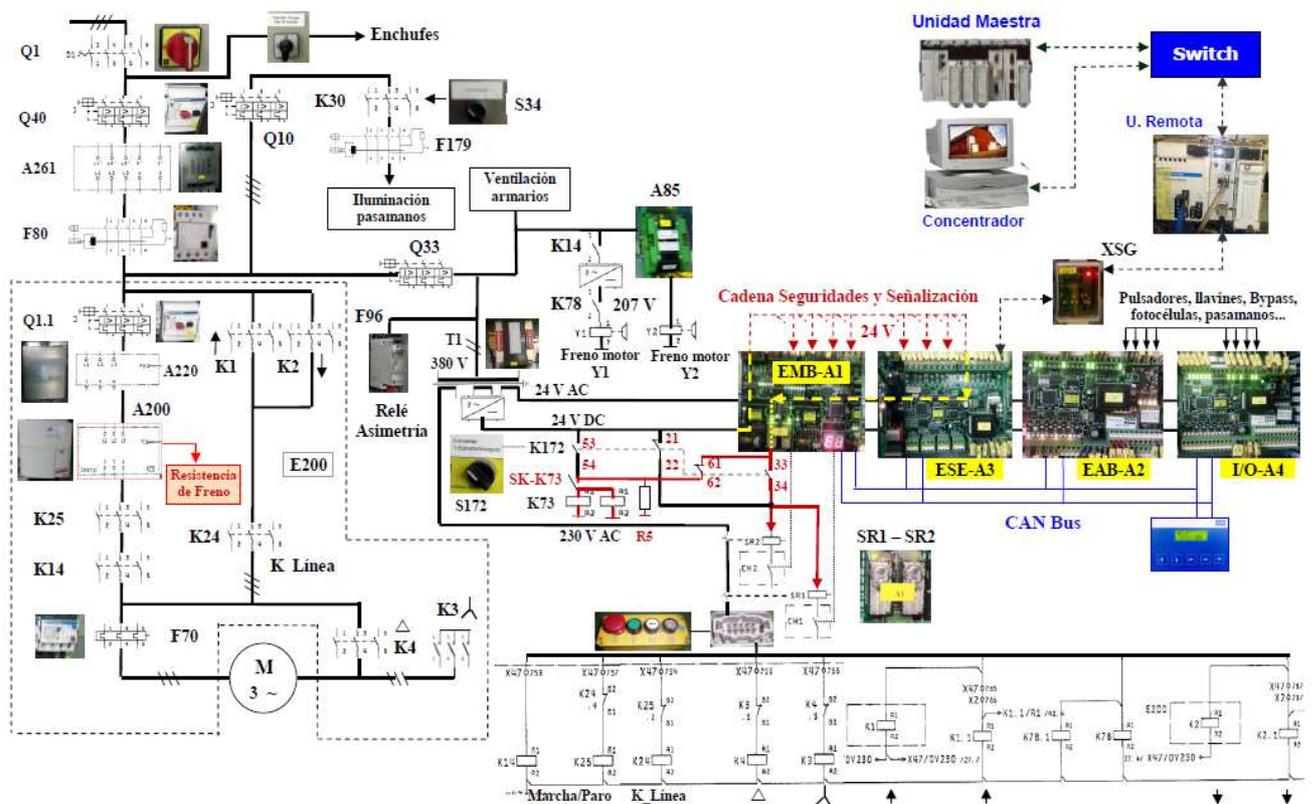


Figura 40 Esquema simplificado funcionamiento Kone Eco3000 E3C (13)



Figura 41 Foso superior Kone Eco3000



Figura 42 Foso inferior Kone Eco3000

En la *figura 41*, la *figura 42* y la *figura 43* puede verse en detalle el foso superior, foso inferior y la transmisión de la cadena de peldaños y pasamanos, respectivamente.



Figura 43 Sistema completo motor-reductor Kone Eco3000

En la *figura 44* y la *figura 45* puede verse la parte superior y la parte inferior, respectivamente del armario eléctrico de una escalera mecánica Kone Eco3000.

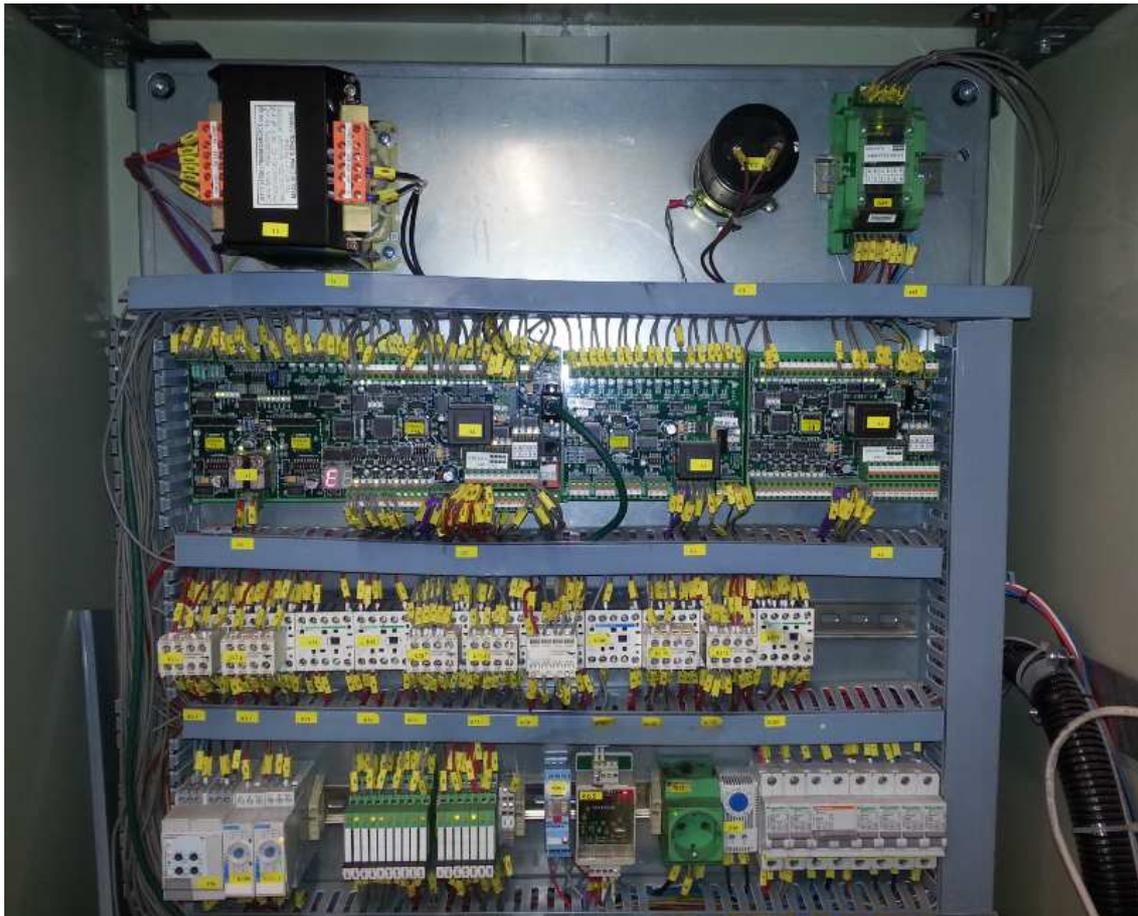


Figura 44 Parte superior cuadro de maniobra Kone Eco3000



Figura 45 Parte inferior cuadro de maniobra Kone Eco3000



Estudio de la eficiencia energética de las escaleras mecánicas de Metro de Madrid según norma ISO 25745



Capítulo 3

EVALUACIÓN ENERGÉTICA DE TECNOLOGÍAS

A continuación se hace una evaluación de las tecnologías más comunes usadas en el transporte vertical en Metro de Madrid.

3.1 Motores

En la industria del transporte vertical se necesita de motores eléctricos para su funcionamiento. Los motores utilizados en Metro de Madrid deben ser diseñados para regímenes de funcionamiento severos y conseguir una entrega de par suave, promoviendo el confort del viajero. El ciclo de estos motores debe abordar una fase de aceleración, otra de velocidad constante y otra fase de desaceleración.

Por ello en las instalaciones de escaleras mecánicas, rampas y pasillos se usan motores trifásicos asíncronos (*figura 46*), ya que son más robustos, necesitan menos mantenimiento y son de más bajo coste que los síncronos. Estos motores pueden conectarse directamente a la red, sin necesidad de convertidores electrónicos para su funcionamiento.



Figura 46 Motor escalera mecánica Thyssen

Un motor asíncrono de estas características está compuesto básicamente por dos partes, el estator y el rotor. El espacio entre el estator y el rotor es el denominado entrehierro. El estator es la parte estática y el rotor la parte móvil.

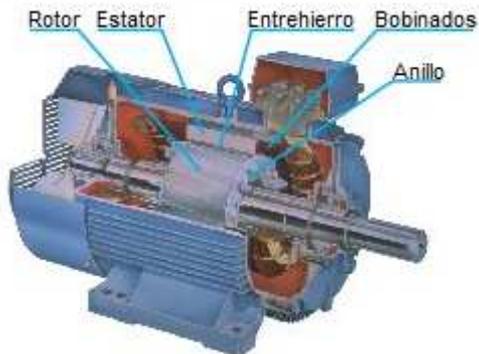


Figura 47 Componentes motor trifásico

El estator está compuesto por chapas finas de acero magnético, tratadas térmicamente para reducir al mínimo las pérdidas por corrientes parásitas e histéresis. Estas chapas están colocadas en forma de anillo con ranuras internas para así alojar la bobina, que a su vez crean un campo magnético en el estator. El rotor, o inducido, consta de un apilado de chapas magnéticas y sobre ellas está enrollado el bobinado rotórico, que constituye la parte móvil del motor y resulta ser la salida o eje del motor. El conjunto es similar a las jaulas de ardillas, por eso también es denominado así (figura 47).

El conjunto es similar a las jaulas de ardillas, por eso también es denominado así (figura 47).

Cuando la corriente trifásica atraviesa el conjunto de bobinas del estator, forma un campo magnético rotatorio en las proximidades del estator. Este campo induce una corriente en el rotor. En función de la frecuencia de la corriente alterna que se alimente al motor se determina la velocidad del estator. La diferencia entre las velocidades del estator y el rotor se denomina deslizamiento, siendo el valor normal alrededor del 5% (figura 48) (12).

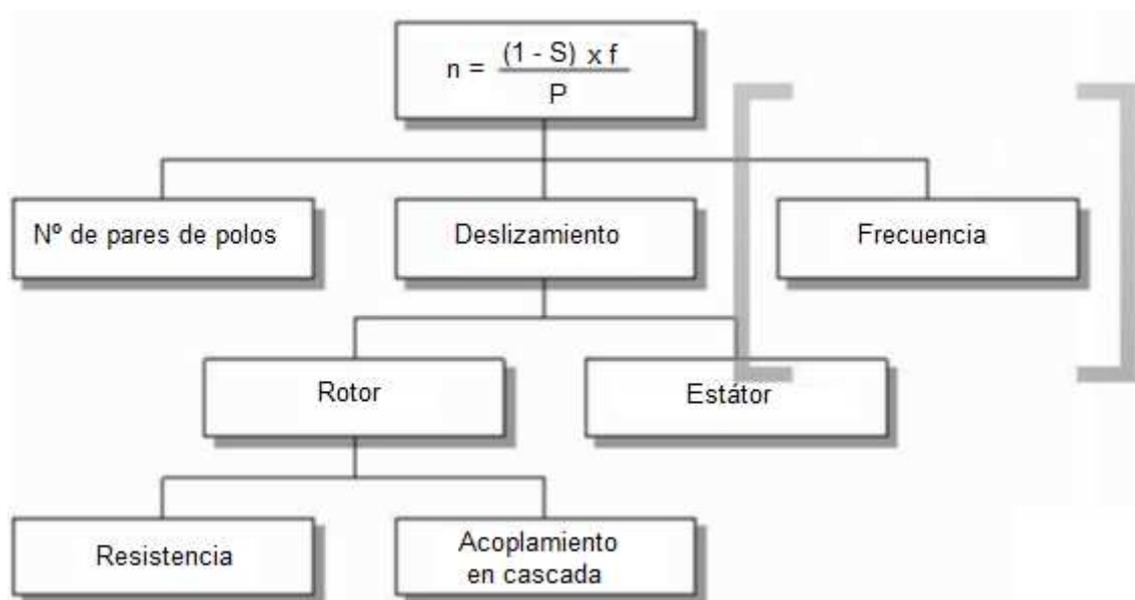


Figura 48 La velocidad (n) de los motores asíncronos de corriente alterna se puede regular modificando el número de par de polos (p), su deslizamiento (s) o su frecuencia (f)

3.1.1 Consideraciones sobre el factor de potencia

La potencia eléctrica de un circuito de corriente alterna tiene tres componentes (figura 49):

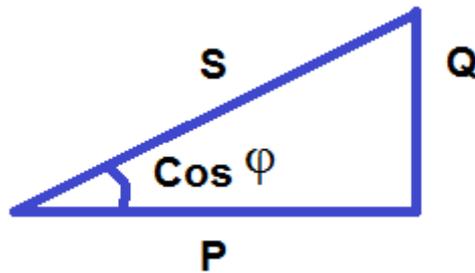


Figura 49 Triangulo de potencia

- Potencia activa (P).
- Potencia reactiva (Q).
- Potencia aparente (S).

La potencia activa (P), es la potencia capaz de transformar la energía eléctrica en trabajo. Es referente para determinar la demanda eléctrica. Se mide en vatios (W).

La potencia reactiva (Q), a pesar de no introducir trabajo útil es necesaria para las operaciones de algunos dispositivos. Sólo aparece cuando existen bobinas y condensadores (circuitos inductivos), los cuales se describen a continuación. Se mide en voltamperios reactivos (Var):

- Potencia reactiva inductiva (Qi). Un elemento inductivo (una bobina) en un caso ideal carece de capacidad y resistencia, al aplicar una tensión alterna la onda de la intensidad de la corriente se desfasa, hasta un ángulo máximo de 90°. Las alternancias positivas, energía que el circuito toma de la red para crear campo magnético, y las negativas, que devuelven desapareciendo temporalmente el campo magnético, está energía que va y vuelve no genera trabajo (energía oscilante). El único factor de oposición es la reactancia inductiva de la bobina.
- Potencia reactiva capacitiva (Qc). Sucede lo mismo que para la potencia reactiva inductiva, pero con un condensador, la carga y descargar siguen sin producir trabajo, pero en este caso el único factor de oposición es la reactancia capacitiva.

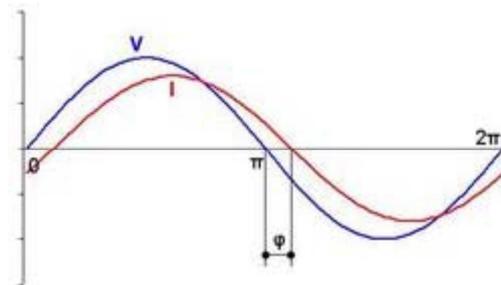


Figura 50 Desfase entre tensión (V) y corriente (I) en un circuito de corriente alterna

La potencia aparente (S), está compuesta por la potencia activa (P) y reactiva (Q), fluctuando ante estas dos componentes. Se mide en voltamperios (VA).

El factor de potencia, también designado como coseno de φ , corresponde al ángulo de desfase (φ), entre tensión (V) y la corriente (I), representado en la figura 49.

Si el factor de potencia es distinto a uno, esto señala que la red de circuitos no solo satisface la energía consumida por los aparatos o elementos resistivos, sino que también ha de contarse con lo que almacenan las bobinas y condensadores.

El factor de potencia y la eficiencia energética de los motores de inducción esta de cierta manera relacionados, siendo dependientes del factor de carga, que corresponde a una relación entre la carga del motor y la carga total de carga mecánica para la que el motor fue diseñado (Figura 50).

Cuando un motor trabaja con una tensión nominal y régimen de carga baja (figura 51), la eficiencia de este puede ser muy baja, del orden del 20%. Reduciendo tensión de funcionamiento, las pérdidas en el motor se reducen, en proporción a la raíz cuadrada de la tensión aplicada. Por otro lado el factor de potencia también puede ser mejorado, reduciendo sus pérdidas en la bobina del motor (11).

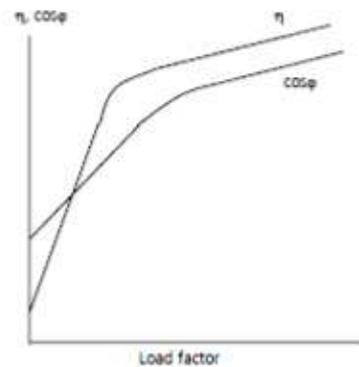


Figura 51 Variación de rendimiento y de factor de potencia según régimen de carga para un motor de inducción

Una ventaja, sería el uso de motores síncronos de imanes permanentes ya que está relacionada con la magnetización permanente de estos motores, que a diferencia de los motores de inducción, donde la magnetización del rotor y el estator la efectúan imanes permanentes. La desventaja, sería el precio, ya que este tipo de motor es muy caro y su mantenimiento es muy costoso (12).

Lo ideal sería que el resultado de $\cos\varphi$ fuera igual a 1, pues habría así una mejor optimización y aprovechamiento del consumo de energía eléctrica, y menos energía perdida o no aprovechada. En los circuitos inductivos, como los motores, transformadores de voltaje y la mayoría de los dispositivos o aparatos que trabajan con algún tipo de enrollado o bobina, el valor del factor de potencia se muestra siempre con una fracción decimal inferior a uno, que es la forma de indicar cuál es el retraso o desfase que produce la carga inductiva en la senoide correspondiente a la intensidad de la corriente respecto a la senoide de la tensión o voltaje. Por tanto un motor de corriente alterna con un factor de potencia o $\cos\varphi = 0,95$ será mucho más eficiente que otro que posea $\cos\varphi = 0,8$.

En la figura 52, se representa el factor de potencia en función del par motor (12).

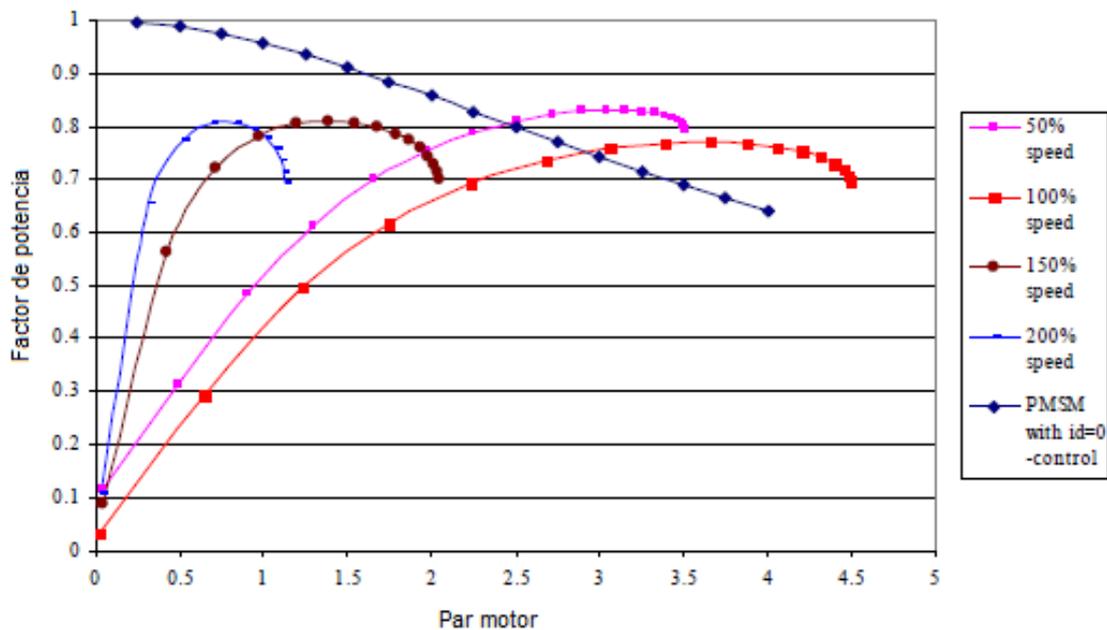


Figura 52 Factor de potencia en función del par motor a diferentes velocidades para un motor ejemplo de inducción

3.1.2 Protección completa del motor

La protección normal del motor, se compone de una sonda térmica en la bobina del motor y un relé asimétrico. El nuevo dispositivo montado en la mayoría de las escaleras es el relé de protección Fanox (*figura 53*), así el motor está muy protegido frente a sobreesfuerzos.



Figura 53 Relé de protección Fanox

Este relé desconecta el motor si falla una fase, es decir, en el caso de elevadas fluctuaciones del voltaje.

La sonda térmica desconecta el motor si las bobinas del motor se sobrecalientan (13).

3.2 Freno

Metro de Madrid es una empresa que gestiona y explota el transporte subterráneo en la Comunidad de Madrid. Por la seguridad de todos los viajeros, ha de cumplir toda la normativa existente y aplicarla. En el ámbito de las escaleras mecánicas y andenes móviles la normativa de referencia es la ISO 115 (7).

Al formar parte del sistema de transporte público de Madrid, las escaleras están sometidas a un uso intensivo. Por ello y según la normativa ISO 115 (7), para desniveles mayores a 6 metros es obligado el uso del freno auxiliar y es recomendada la instalación de frenos auxiliares también para desniveles inferiores.

3.2.1 Frenada mecánica

La frenada en las escaleras mecánicas y pasillos rodantes se lleva a cabo mediante un freno electromecánico. El freno en la mayoría de las escaleras, rampas o pasillos rodantes tiene un diámetro de 270mm., una anchura de zapata de 40mm y está sujeto a una presión superficial máxima de $0,2 \text{ N/mm}^2$. Estos frenos están diseñados para suministrar un par de frenado máximo de 150 Nm.

El freno está compuesto por un electroimán doble, dos zapatas de freno independientes con un muelle cada una y un volante de inercia para equilibrar las frenadas, permitiendo así un ajuste más amplio del freno, de acuerdo a la norma ISO 115 (tabla 5) (7).

Tabla 5 Distancias de parada para escaleras mecánicas, rampas y pasillos (7).

Velocidad nominal v	Distancia de frenado comprendida entre
0,50 m/s	0,20 m y 1,00 m
0,65 m/s	0,30 m y 1,30 m
0,75 m/s	0,40 m y 1,50 m

El electroimán de expansión doble libera el freno durante el funcionamiento. La potencia de frenado la proporcionan las zapatas del freno, que son presionadas contra los discos por los muelles. Si la alimentación se interrumpe, la escalera mecánica se detiene. El freno está diseñado para ser operativo sin ningún tipo de interruptor y con la máxima fiabilidad.

El electroimán de expansión doble de larga duración está diseñado para un funcionamiento continuo. La palanca de liberación manual permite desengranar el freno sin herramientas adicionales durante los trabajos de mantenimiento (*figura 54*) (9).

El volante de inercia proporciona una distancia de frenado constante con carga variable. Esto permite ajustar la frenada sin carga y cumplir con la normativa de frenada con carga.

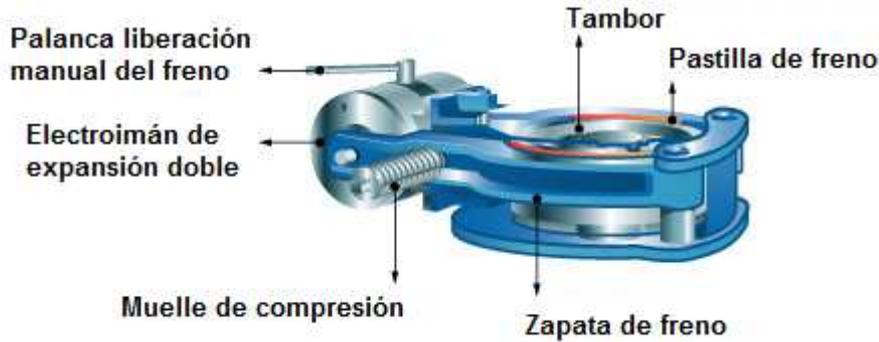


Figura 54 Componentes freno

3.2.2 Frenos auxiliares

El freno auxiliar es obligatorio para escaleras con un desnivel mayor a 6 m y recomendado para las de menos de 6m de desnivel (7).

El freno auxiliar tiene el mismo diseño que el freno principal. Se acciona en paralelo y tiene un retardo frente al freno principal.

Ambos se accionan eléctricamente en caso de exceso de velocidad o de cambio accidental de sentido de marcha de la escalera mecánica o andén móvil.

3.2.3 Trinquete

El trinquete puede ser considerado como un freno auxiliar de emergencia o un bloqueo mecánico de la escalera. Este freno auxiliar está situado en el lateral de la rueda de la cadena del eje principal. Únicamente actúa en caso de rotura de la cadena principal, por medio de un peso deslizante en la cadena del accionamiento. La palanca de liberación acciona el fiador de forma que la rueda del trinquete se bloquee en dirección descendente (*figura 55*).

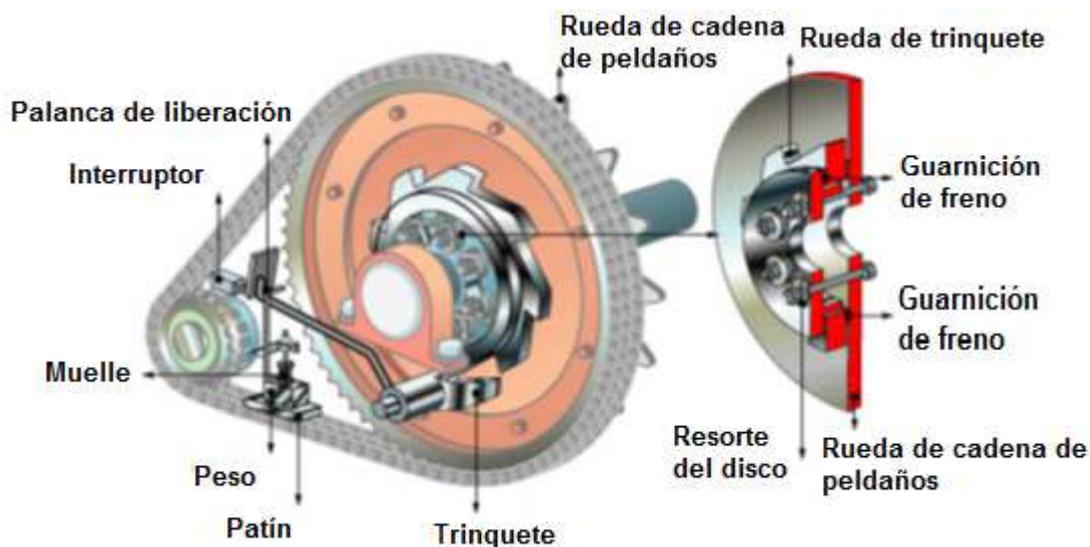


Figura 55 Componentes trinquete

3.2.4 Frenado dinámico

Se denomina frenado dinámico de un motor cuando se dispone de algún mecanismo, no mecánico, que absorba la energía cinética del mismo. Esto se consigue haciendo que el propio motor la transforme en otro tipo de energía, como la eléctrica o la calorífica, o alimentando sus bobinados no para crear par motor, sino par resistente.

Existen varios métodos de frenado dinámico (*figura 56*):

- Frenado resistivo, cuando se activa la función de freno dinámico, el variador rectifica la corriente alterna procedente del motor eléctrico actuando como generador y la envía a una resistencia de frenado. Con esta operación la energía cinética del motor se transforma primero en energía eléctrica, y después en la resistencia de frenado, en energía calorífica. De este modo se llega hasta una velocidad baja en la cual ha de actuar el freno mecánico de la escalera.

- Frenado regenerativo, consiste en hacer funcionar el motor como generador. Con esa energía acumulada se genera un par de sentido contrario que hace frenar la escalera.
- Frenado por contracorriente, en este procedimiento se invierte el sentido del campo magnético giratorio en el estator, por lo que el motor empieza a funcionar con un deslizamiento superior a 1, ejerciendo así un par de frenado.
- Frenado por inyección de corriente continua, consiste en alimentar las bobinas estáticas con corriente continua. De esta forma, en el entrehierro del motor aparece un campo magnético fijo que induce una f.e.m. en el rotor por estar en movimiento. La f.e.m. o fuerza electromotriz genera corriente en el rotor y esta induce un campo magnético que interacciona con el campo magnético original, creando un par resistivo que frena el motor.

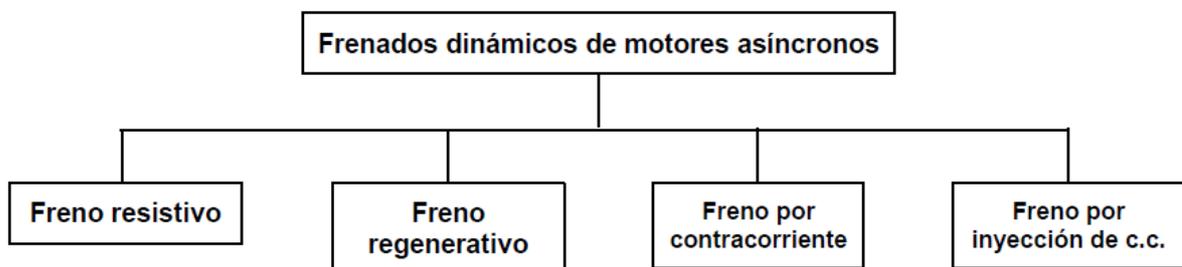


Figura 56 Frenos dinámicos (15)

3.3 Arrancador directo

Como su nombre indica, es un arranque con conexión directa de las líneas al motor. Es el sistema más antiguo de arranque y se suele usar para escaleras mecánicas, rampas o pasillos rodantes que no superen los 7,5kW de potencia. Tiene el gran problema del arranque, ya que se sufre un gran pico de tensión hasta que se consigue la velocidad nominal.

En Metro de Madrid se evolucionó este arrancador utilizando resistencias de arranque (figura 57). Con estas resistencias se suaviza el pico del arranque y puede encontrarse resistencias de una o dos fases, para suavizar este pico inicial. Son resistencias cerámicas de gran tamaño.



Figura 57 Resistencias

3.4 Conexión estrella – triángulo

En las escaleras mecánicas, rampas o pasillos de Metro de Madrid, la conexión estrella-triángulo (*figura 58*) es un arranque que está en la gran mayoría de sus modelos, ya sea actuando como arrancador principal o como arrancador auxiliar. Este tipo de arranque se utiliza para limitar la intensidad absorbida en el momento del arranque del motor. En Metro de Madrid los motores están alimentados por una acometida eléctrica de 400V a 50Hz, cuando se inicia el arranque, en estrella, tendremos una tensión de 230V, con la cual, obtendríamos una intensidad dos veces la nominal. En cambio, si lo hacemos mediante un arranque directo, tendríamos una intensidad de cinco veces la nominal. Al conectar primero una estrella y después en triángulo, mediante un temporizador, reducimos el sufrimiento del bobinado al rebajar la intensidad de absorción.

Los arrancadores estrella-triángulo en la actualidad están muy optimizados y realizan su cometido de una forma mucho más exacta, pues, lo ideal es que se realice el cambio de estrella a triángulo cuando el motor haya alcanzado el 80% de su velocidad nominal.

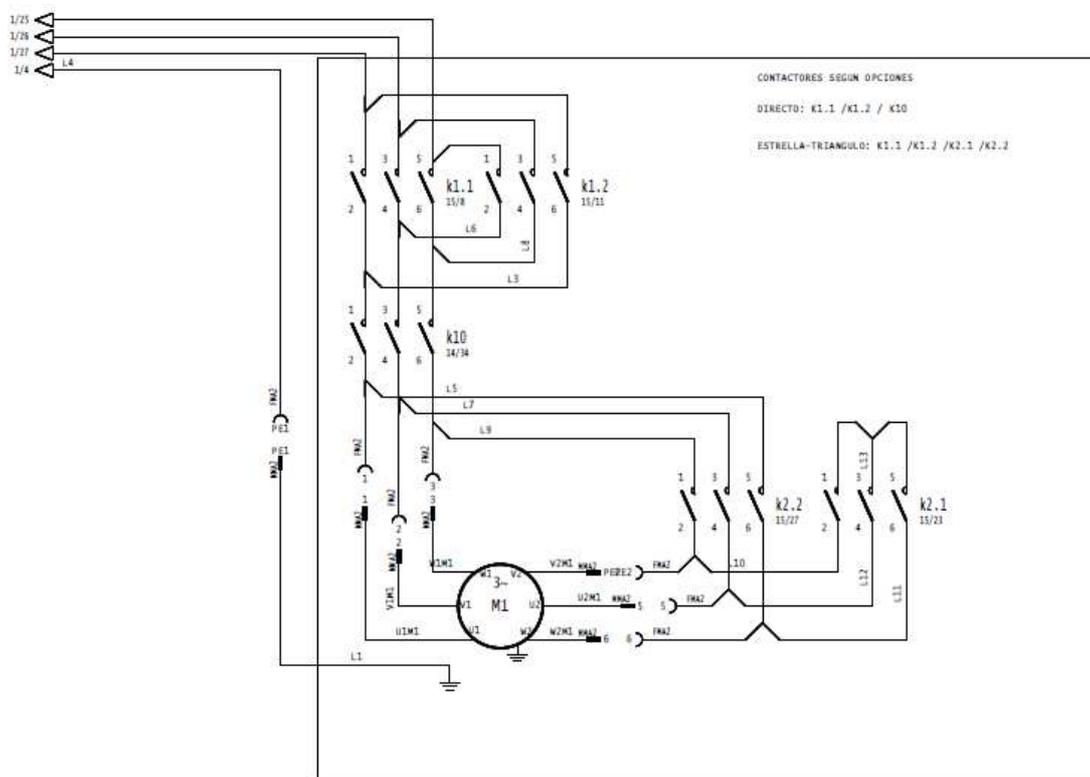


Figura 58 Arranque estrella-triángulo en Thyssen FT con contactores de subida y de bajada

3.5 Arrancadores suaves



Los arrancadores suaves o *Soft-Starter* son dispositivos que poseen una electrónica de potencia capaz de optimizar la fase de arranque de una escalera mecánica, rampa o pasillo rodante, reduciendo significativamente las corrientes al arranque (*figura 59*).

En contraposición, estos dispositivos no disponen de la capacidad de controlar la velocidad del motor.

Figura 59 Arrancador *Soft-Starter*

3.6 Economizadores

Los economizadores son dispositivos que fueron montados en Metro de Madrid durante los años 90 en las escaleras con sistema estrella-triángulo.

Consiste en la optimización del cambio de un modo a otro, en función de la intensidad requerida por el motor, ya sea por el arranque o por la carga que tenga que soportar la escalera mecánica, rampa o pasillo.

Con este dispositivo se consigue una mejora de la eficacia de la escalera y se evita sobreesfuerzos al motor (*figura 60*).



Figura 60 Economizador

3.7 Controladores de factor de potencia

Estos dispositivos monitorizan constantemente el factor de potencia del motor, optimizando la tensión aplicada para reducir pérdidas.

A pesar de no permitir la variación de velocidad, pueden monitorizar el factor de potencia según las exigencias de carga (12).

3.8 Variadores de frecuencia

3.8.1 Como funcionan

Los variadores de frecuencia (*figura 61*) se utilizan para el control de velocidad y par de los motores de inducción estándar trifásicos asíncronos montados en las escaleras de Metro de Madrid. Dichos convertidores están constituidos por dos sub-sistemas:

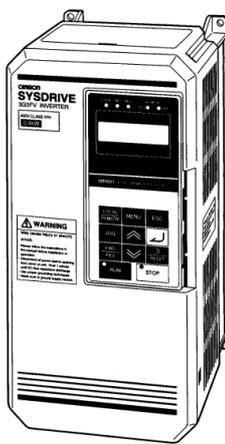


Figura 61 Variador de frecuencia Omron 3G3F5

- Rectificador: convierte la tensión de entrada AC en DC.
- Filtro: limpia la señal, eliminando parásitos.
- Resistencia de frenado: resistencia para evacuar el calor de la energía eléctrica no transformada.
- Inversor: convierte la tensión DC en la AC de salida, a la frecuencia deseada.

Para el control de los motores de las escaleras los variadores disponen de una tarjeta de entrada de órdenes, dichas órdenes proceden del circuito de mando constituido por relés auxiliares y pulsadores e interruptores presentes en el armario de maniobra. En la *figura 62* se observa el esquema de funcionamiento interno de un variador de frecuencia.

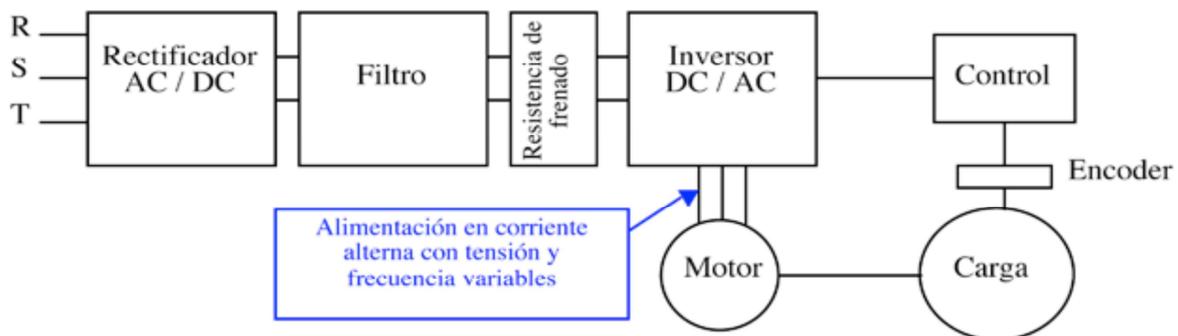


Figura 62 Esquema funcionamiento interno variador de frecuencia

El variador de frecuencia tiene como misión principal el control de la velocidad de la escalera mecánica, de esta forma pueden configurarse para trabajar a dos velocidades diferentes:

- Marcha lenta: las frecuencias son inferiores a la nominal, esta opción se activa cuando ha transcurrido un cierto tiempo desde el paso del último viajero.

- Marcha rápida: las frecuencias son superiores a la nominal de la red, se activa al paso del viajero.

En la *figura 63* pueden verse las señales de control que se hacen llegar a un variador de la serie 3G3FV para dirigir el arranque, sentido de dirección (subida o bajada), velocidad lenta (20Hz) o rápida (50Hz), o una velocidad regulada mediante el potenciómetro P1 para las labores de mantenimiento.

El paso de una velocidad a otra se realiza a través de curvas de aceleración y frenada, que se configuran a través de una adecuada parametrización de los variadores de frecuencia (11).

Los variadores de frecuencia utilizados en Metro de Madrid operan bajo el principio de que la velocidad de un motor de corriente alterna está determinada por la frecuencia de la alimentación y el número de polos del estator, según la siguiente relación:

$$R.P.M. = 120 \times \text{Frecuencia} / N^{\circ} \text{ Polos}$$

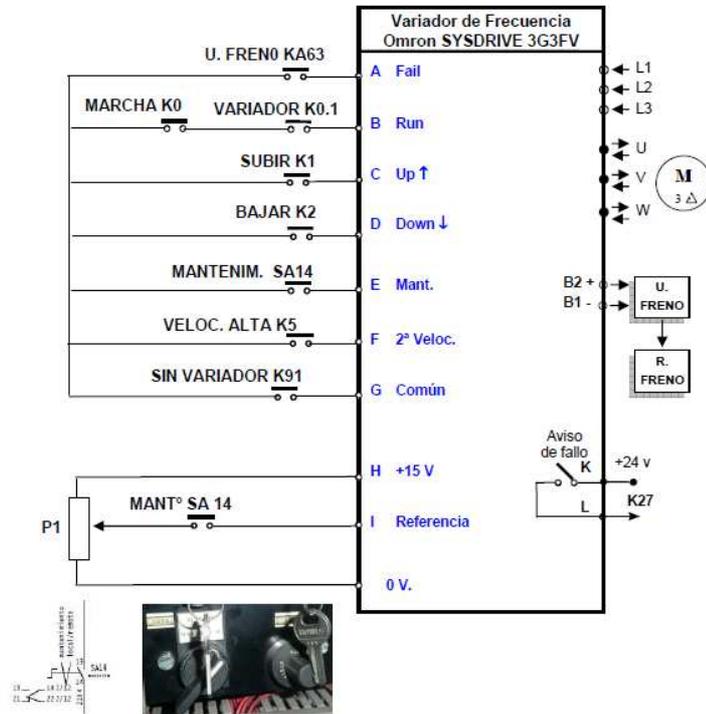


Figura 63 Esquema entradas y salidas variador de frecuencia Sysdrive

3.8.2 Los variadores en Metro de Madrid

La forma normal de actuación de los variadores en Metro de Madrid consiste en efectuar un arranque suave de la escalera mecánica hasta alcanzar una velocidad de reposo (marcha lenta, aproximadamente la mitad de la velocidad nominal, aunque pueden variar según el fabricante y modelo de la escalera). Se mantiene a esta velocidad hasta que la escalera detecta la presencia de viajeros. En ese momento el variador de frecuencia actúa incrementando la velocidad de acuerdo a la

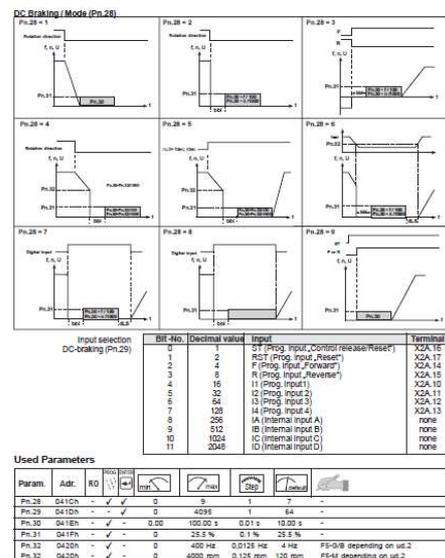


Figura 64 Ejemplo de parametrización durante la frenada para un variador KEB F5

parametrización establecida (*figura 64*) hasta que la escalera alcanza la velocidad nominal (marcha rápida). La escalera permanece funcionando a esta velocidad durante un cierto tiempo programado, transcurrido el cuál se produce una deceleración hasta que la escalera alcanza nuevamente la velocidad de reposo.

Con la regulación de la velocidad a través de rampas de aceleración y deceleración de la frecuencia de salida, se compensa el juego mecánico de la reductora, se eliminan las sacudidas y se limita la inadaptación de velocidad con regímenes transitorios rápidos en caso de inercia elevada.

3.8.3 Beneficios

El empleo de variadores de frecuencia (*figura 65*) aporta los siguientes beneficios en las escaleras mecánicas:

- Ahorro energético por disminución de la energía consumida, cuando está funcionando en marcha lenta.
- Se permite el ajuste de la velocidad en la escalera mecánica o pasillo rodante.
- Suaviza los picos de intensidad al arranque.
- Contribuye al aumento de la vida útil de la escalera mecánica o pasillo rodante.
- Ahorro de energía debido al ajuste de la potencia consumida, ya que aporta en cada momento la velocidad y el par motor necesarios. En Metro de Madrid existen numerosas escaleras sin tránsito de viajeros durante largos periodos de tiempo, los variadores de frecuencia, permiten ajustar el par a la carga, lo que supone un gran ahorro para las escaleras que trabajen con poca carga durante mucho tiempo.
- Regenera energía, en acciones de bajada con algo de carga o durante la frenada el motor funciona como generador, devolviendo energía a la red. Esta energía ha de ser tratada, ya que el variador puede ser dañado por sobretensiones. Existen dos tipos de dispositivos que permiten aprovechar esa energía:
 - Freno regenerativo, permite devolver la energía sobrante a la red.
 - Freno resistivo, disipa la energía sobrante mediante resistencias en forma de calor. Este dispositivo es el más utilizado en las instalaciones de



Figura 65 Variador de frecuencia F5

Metro de Madrid, ya que los equipos necesarios para el freno regenerativo son muy costosos y las situaciones de generación de energía son poco frecuentes y de cantidades pequeñas (véase 3.2.4).

Cabe destacar que, los propios fabricantes de las escaleras mecánicas, rampas y pasillos rodantes, asumen en su diseño y fabricación que los variadores de frecuencia no sean un elemento fundamental, ni tengan la fiabilidad deseada. En algunos casos se diseñan de tal forma que sean capaces de inhibir el variador de forma automática en caso de fallo del mismo. Además, casi todas las escaleras mecánicas tienen la maniobra integrada estrella-triángulo como alternativa al variador de frecuencia.

3.8.4 Maniobras eléctricas con variador de frecuencia

En las escaleras mecánicas de Metro de Madrid existen diversos tipos de cuadros de maniobra en función del año, marca, modelo, etc. Estas escaleras tienen asignado por el fabricante un variador de frecuencia determinado, pero se pueden encontrar dentro de la misma maniobra diferentes variadores.

A continuación se exponen las dos maniobras con variador utilizados en Metro de Madrid.

3.8.4.1 Maniobra con variador y arranque estrella-triángulo

La maniobra con variador y arranque estrella-triángulo es el tipo de maniobra más frecuente en las escaleras mecánicas y pasillos rodantes de Metro de Madrid. El variador arranca y mantiene en funcionamiento la escalera; en caso de avería, a través de un selector dentro del cuadro de maniobra, se puede inhibir el variador de frecuencia y pasar a un arranque estrella-triángulo.

3.8.4.2 Maniobra con variador y arranque directo

La maniobra con variador y arranque directo es menos común. El variador arranca y mantiene en funcionamiento la escalera mecánica; en caso de avería, el arranque del motor sería directo, generando sobre-intensidades y obligando a la reparación o sustitución del variador. Cuando el variador no se encuentra en funcionamiento, la escalera no puede invertir su sentido de giro.



Marcas como Kone y Schindler, aplican este método en sus escaleras mecánicas, lo que provoca que en ciertas circunstancias no pueda ponerse siempre una escalera en su sentido de subida. Además, esta situación genera grandes inconvenientes en las tareas de mantenimiento.

Capítulo 4

DISPOSITIVO DE MONITORIZACIÓN

Según la Norma ISO-25745 (14), la instrumentación de medida a utilizar debe ser un medidor de potencia con las siguientes capacidades:

- Capaz de medir la potencia activa, tres valores por segundo.
- Con rango de medida suficiente para diferentes cargas, autoarranque y encendido.
- Con posibilidad de medir energía recuperada.

El dispositivo de medida ha de tener una precisión de al menos $\pm 10\%$.

4.1 Descripción general de funcionamiento

Para la realización de las mediciones se han empleado contadores de energía trifásicos Itron ACE6000 (*figura 66*). Estos contadores son de tipo trifásico estático combinado, disponible en conexión directa y en conexión a través de transformadores de intensidad. Responde a las necesidades de medida en los consumidores a tarifa y cualificados de tipo IV.

La fuente de alimentación trifásica tiene un rango de medida extendido, permite que el mismo contador pueda utilizarse en las diferentes condiciones de tensión de alimentación.

El contador mantiene su precisión y su régimen de funcionamiento con tensión solamente entre una fase y el neutro, o entre dos fases cualesquiera.

Por motivos de seguridad, la alimentación de la red ha de desconectarse antes de proceder a la conexión del contador, que ha de realizarse según la *figura 67* y la *figura 68*.



Figura 66 Contador de energía Itron ACE6000

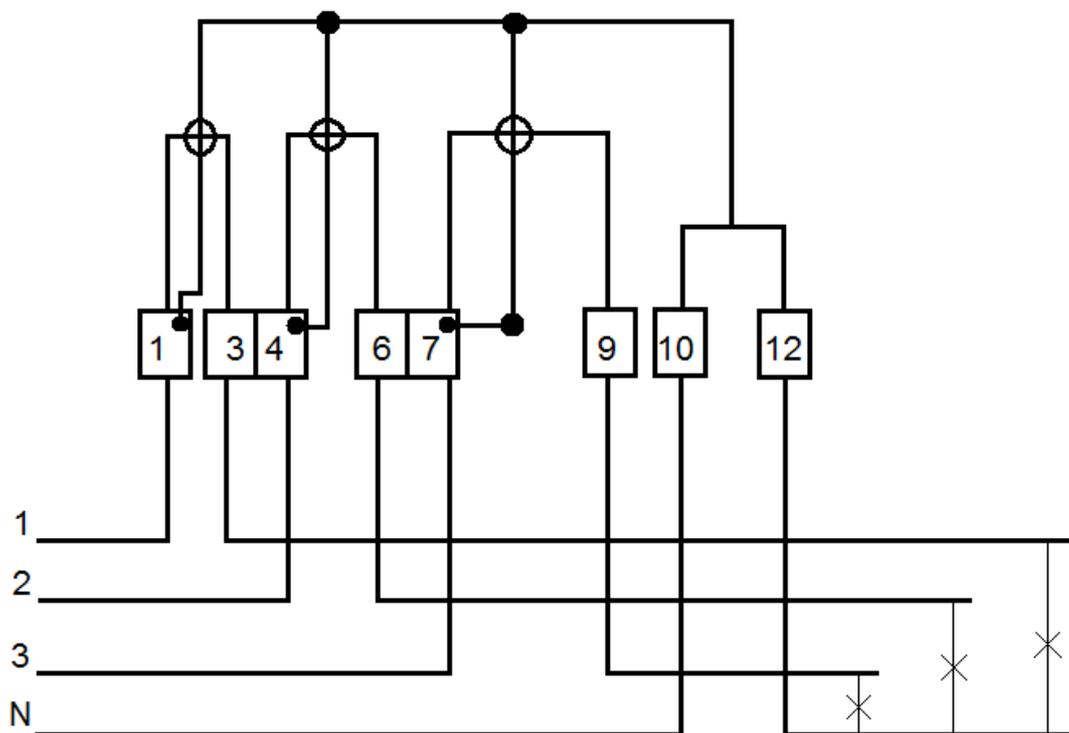


Figura 67 Esquema de conexión del contador de 4 hilos para baja tensión en conexión directa

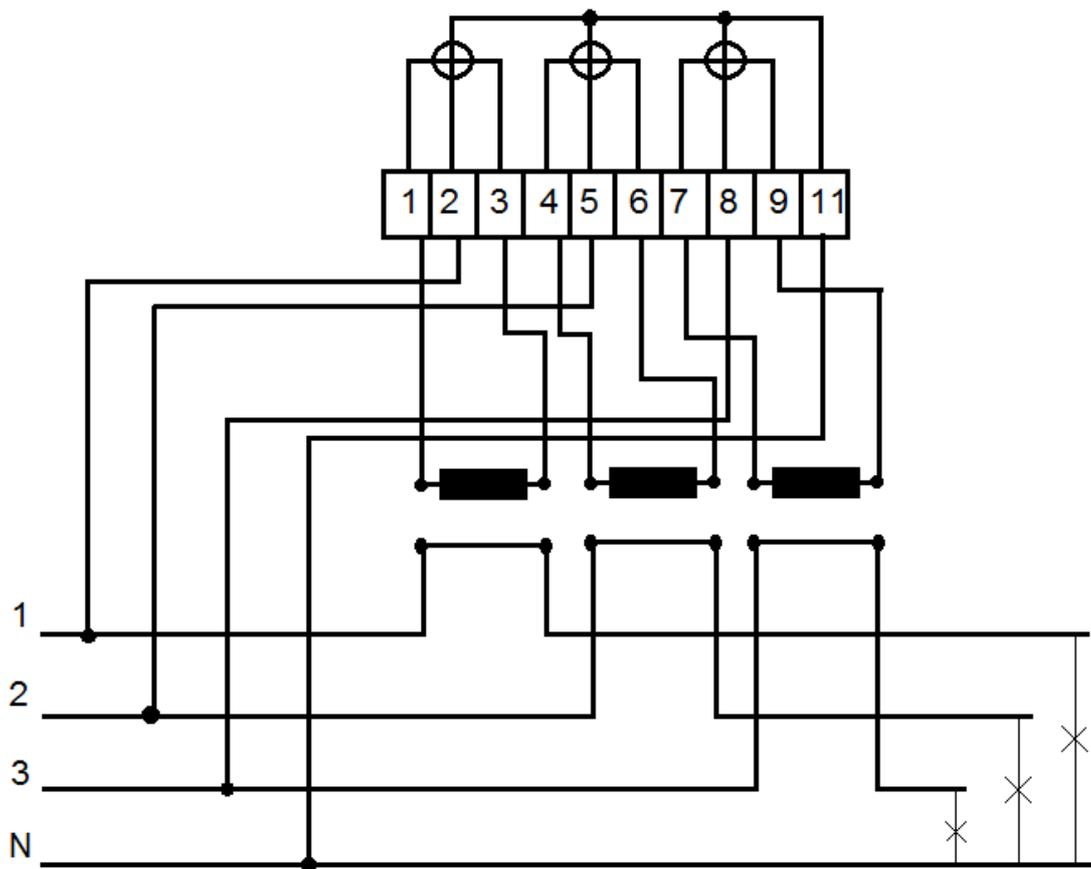


Figura 68 Esquema de conexión del contador de 4 hilos para baja tensión, con transformadores de intensidad

4.2 Detalles constructivos

4.2.1 Datos técnicos

La *tabla 6* muestra los datos técnicos del dispositivo de monitorización Itron ACE6000.

Tabla 6 Datos técnicos Itron ACE6000 (16)

Tensiones	Autorrango desde 3x57,7/100 hasta 3x240/415V
Intensidades CD	Lb/max 10 (80)A
Intensidades CT	Lb/max 2,5(10)A para -/5 ^a
Frecuencia	50 Hz
Temperatura	Desde -25°C hasta +55°C
Emplazamiento	Interior
Entorno mecánico	Clase M1
Entorno electromagnético	Clase E2

4.2.2 Visualizador

Itron ACE6000 dispone de dos modos de visualización:



- Modo reposo, presenta los datos básicos en forma cíclica, alternándose cada 6 segundos. En caso de presencia de alarma, se muestra el texto FALLO seguido del carácter N (no crítica), C (cíclica) o B (batería) que corresponde a la alarma, tras cada pantalla de ciclo. Una pulsación corta en el pulsador de visualización (≤ 2 segundos) congela el ciclo de lectura. Las siguientes pulsaciones cortas permiten avanzar sobre las pantallas sucesivas.

- Modo lectura, presenta la información ordenada en menús mediante el uso del pulsador de visualización. Se accede al menú de lectura desde el modo reposo mediante una pulsación larga sobre el pulsador de visualización (≥ 2 segundos). Transcurridos 60 segundos desde cualquier estado, se vuelve al modo reposo (*figura 69*).

Figura 69 Ejemplo de montaje contador de energía



Estudio de la eficiencia energética de las escaleras
mecánicas de Metro de Madrid según norma ISO 25745



Capítulo 5

CONSUMO DE ENERGÍA EN LOS SISTEMAS DE TRANSPORTE VERTICAL

En respuesta a la necesidad cada vez mayor de garantizar y apoyar el uso eficaz y eficiente de la energía se está elaborando esta norma internacional, a la espera de su publicación en España. Siendo un método coherente de medida del consumo energético real de un ascensor, de una escalera mecánica y de un andén móvil. Y un método simple de verificación periódica del consumo energético (16).

Entendiendo que un ascensor, escalera mecánica o andén móvil tiene varias fases: fabricación, instalación, operación y desmantelamiento de la instalación. La norma ISO-25745 (14) solo contempla el consumo de energía relativo a la fase de operación.

Las mediciones de consumo de energía pueden ser usadas para verificar el consumo de nuevas instalaciones o para confirmar que no existen diferencias significativas en el consumo de energía a lo largo del tiempo de vida útil de las instalaciones.

5.1 Medición de la energía y verificación según UNE-EN ISO 25745-1 (14)

La primera parte de la norma internacional ISO-25745 (14) define los procedimientos de medición del consumo energético real de ascensores, escaleras mecánicas y andenes móviles sobre la base de unidades individuales. Además incluye los métodos para llevar a cabo las verificaciones periódicas de energía consumida durante su ciclo de vida.

Las mediciones y verificaciones se pueden realizar después de la puesta en marcha, en servicio o después de una modernización, si se requiere. Las mediciones deben ser:

- Practicables en campo.
- Repetibles.
- Realizables con equipamiento de medida comúnmente disponible.
- Realizadas por una persona entrenada y competente.

Tabla 7 Medición y verificación

Tipo de medición	Mediciones a realizar	Instrumentación
Medición de potencia	Potencia en condición <i>standby</i> Potencia en condición de autoarranque Potencia en condición de velocidad lenta Potencia en condición de vacío Potencia de los auxiliares	Itron ACE6000
Verificación de la energía	Potencia en vacío	Itron ACE6000 (véase capítulo 4)

La *tabla 9* representa la instrumentación utilizada en la medición de potencia y verificación de la energía.

5.2 Procedimiento de medición para escaleras mecánicas, rampas y andenes móviles según UNE-EN ISO 2545-1 (14)

5.2.1 Configuración del ensayo

Para la configuración del ensayo han de cumplirse los siguientes puntos:

1. Debe impedirse el uso público de la escalera mecánica o andén móvil.
2. Se debe registrar el número de identificación del instrumento utilizado para los ensayos.
3. Los ensayos deben de realizarse sin modificar los parámetros y se registrará la identificación de la escalera mecánica o andén móvil.
4. Se desconecta todo el equipamiento auxiliar, por ejemplo la luz de balaustrada, esto se medirá por separado.
5. Debe funcionar hasta que la escalera mecánica o andén móvil alcancen la temperatura de trabajo.
6. Debe asegurarse que no hay carga.

5.2.2 Procedimiento para la medición de la potencia

En la *figura 70* se muestran los puntos de conexión necesarios para la correcta medición de la potencia de una escalera mecánica, pasillo o rampa.

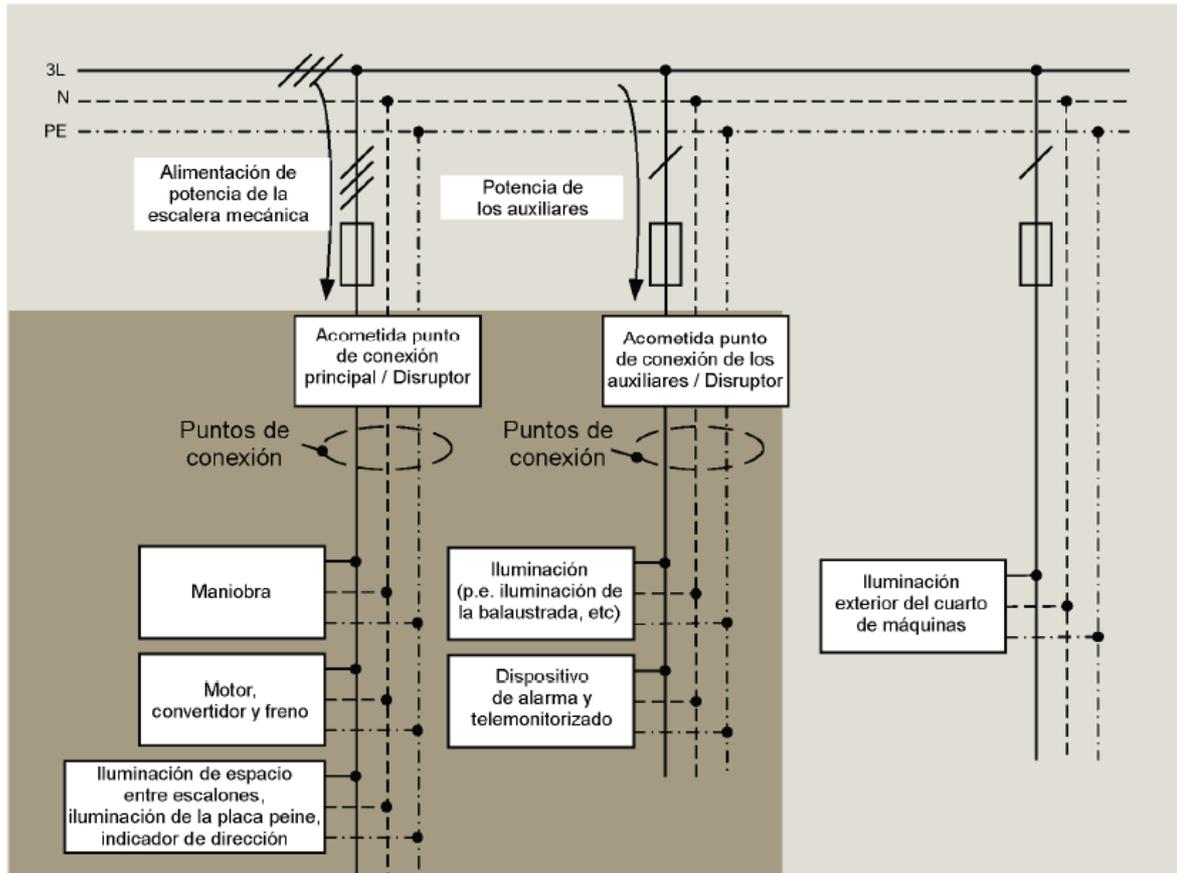


Figura 70 Esquema de los puntos de conexión de los instrumentos de medida

5.2.2.1. Potencia principal en funcionamiento

Se conecta el medidor de potencia a las líneas de potencia principal en el punto de conexión principal. Y se mide y se registra la potencia activa en vatios.

5.2.2.2. Potencia medida en condiciones de standby

La escalera mecánica o andén móvil debe estar en condiciones de *standby* y se ejecuta la medición igual que en el caso anterior.

5.2.2.3. Potencia medida en condiciones de autoarranque (si dispone)

La escalera mecánica o andén móvil debe estar en condiciones de autoarranque y se seguirá el mismo procedimiento que en los casos anteriores.

5.2.2.4. *Potencia medida en condición de velocidad lenta (si dispone)*

La escalera mecánica o andén móvil debe estar en condiciones de velocidad lenta y se seguirá el mismo procedimiento que en los casos anteriores. Para que esta medición sea válida se ejecutará durante al menos tres vueltas completas a la escalera.

5.2.2.5. *Potencia medida en condición de vacío*

La escalera mecánica o andén móvil debe estar en condiciones de vacío. Se ejecuta como en el caso anterior con al menos tres vueltas completas.

5.2.2.6. *Potencia medida en el equipamiento auxiliar*

Se conectará el medidor de potencia a las líneas de potencia de los auxiliares en el punto de conexión de los auxiliares y se medirá y registrará la potencia activa.

5.3 Cálculo de energía y clasificación de las escaleras mecánicas y andenes móviles según ISO/DIS 25745-3 (16)

5.3.1 Cálculo consumo de potencia de referencia

El resultado del cálculo de consumo de potencia de referencia durante condiciones sin carga de la escalera mecánica o pasillo rodante se obtiene de la siguiente expresión:

$$P_{\text{sin carga ref.}} = P_{\text{sin carga pasamanos}} + P_{\text{sin carga peldaños}} + P_{\text{sin carga control}}$$

Donde $P_{\text{sin carga pasamanos}}$ es la potencia consumida por el sistema de pasamanos:

$$P_{\text{sin carga pasamanos}} = \frac{2 * \cos(\alpha) * \left(A * \frac{H}{\tan(\alpha)} + B \right) * v}{1000 * \eta_{\text{sin carga}}} [kW]$$

La potencia $P_{\text{sin carga peldaños}}$ consumida por el sistema de peldaños se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$P_{\text{sin carga peldaños}}$

$$= \frac{\left(2 * \frac{m_{SB/PB}}{0,405(m)} + 2 * m_{cadena}\right) * \left(\frac{9,81 \left(\frac{m}{s^2}\right)}{1000} * \mu_{SB/PB} * \frac{H}{\tan(\alpha)} + C\right) * v}{\eta_{\text{sin carga}}} \quad [kW]$$

En el caso de andenes móviles $\frac{H}{\tan(\alpha)} = L$

La potencia consumida por el sistema de control es $P_{\text{sin carga control}}$.

Para obtener el consumo de potencia de referencia, el cálculo debería estar sujeto a los valores de referencia acordados en la *tabla 8*.

Tabla 8 Valores generales para el cálculo de la potencia de referencia

	Escaleras con $v < 0,65 \text{ m/s}$ (todas las inclinaciones)	Escaleras $v \geq 0,65 \text{ m/s}$ (todas las inclinaciones)	Pasillos inclinados $\alpha > 3^\circ$ a 12°	Pasillos horizontales $\alpha = 0^\circ$ a 3°	Unidad
A	9	5	4	5	N/m
B	400	400	400	300	N
C	0,1	0,1	0,1	0,1	kN
$\eta_{\text{sin carga}}$	0,3	0,25	0,34	0,4	-
$\mu_{SB/PB}$	0,05	0,05	0,05	0,05	-
$m_{SB/PB}$	14	14	14	14	Kg
m_{cadena}	5,5	7	5,5	5,5	Kg/m
$P_{\text{sin carga peldaños}}$	0,4	0,4	0,4	0,4	kW

Algunos valores de potencia consumida de referencia se muestran en la *tabla 9*, *tabla 10* y *tabla 11*:

Tabla 9 Valores de potencia consumida de referencia escaleras mecánicas

Desnivel (m)	Escaleras mecánicas ($\alpha = 30^\circ$)	
	V = 0,5 m/s	V = 0,65 m/s
3,0	2.243 W	3.222 W
4,5	2.505 W	3.602 W
6,0	2.766 W	3.983 W
8,0	3.114 W	4.490 W

Tabla 10 Valores de potencia consumida de referencia pasillos inclinados

Desnivel (m)	Pasillos inclinados ($\alpha = 12^\circ$)	
	V = 0,5 m/s	V = 0,65 m/s

3,0	2.788 W	-
4,5	3.333 W	-
6,0	3.878 W	-

Tabla 11 Valores de potencia consumida de referencia pasillos horizontales

Longitud (m)	Pasillos horizontales ($\alpha=0^\circ$)	
	V= 0,5 m/s	V=0,65 m/s
30	3.326 W	4.204 W
45	4.352 W	5.538 W
60	5.378 W	6.871 W

5.3.2 Cálculo de medición de consumo de potencia para una unidad específica

Para el cálculo de consumo de potencia de referencia de una unidad específica se reemplazarán los datos específicos de dicha unidad en la *tabla 10*.

Las mediciones deben de cumplir la ISO 25745-1 (14) y además:

- Debe haberse completado desde su puesta en marcha más de 1000 horas.
- Después de 30 minutos de calentamiento.
- Con una temperatura ambiente de 10°C a 30°C.

Las luces de balaustrada, semáforos y luz de ayuda visual deberán ser excluidas de la medición.

El resultado de esta medición será la potencia sin carga medición $P_{\text{sin carga medida}}$.

5.3.3 Cálculo del ratio

El cálculo del ratio de la potencia de consumo específica se determina mediante la relación entre la potencia sin carga medida y la potencia sin carga de referencia:

$$Ratio = \frac{P_{\text{sin carga medida}}}{P_{\text{sin carga ref.}}} \cdot 100 \quad [\%]$$

5.3.4 Cálculo del ratio en función de su modo de operación

Para el cálculo del ratio en función de su modo de operación se acordará según la *tabla 14*. La cual refleja el consumo de referencia en estado sin carga.

Tabla 12 Valor del ratio según el modo de operación

Modo de operación	Apagado	Velocidad lenta	Auto arranque	Continuado
Especificaciones de la unidad	Acorde al anexo A, tabla X			
	Referencia de uso			
t_{total}	24 h	24 h	24 h	24 h
$t_{velocidad\ nominal}$	12 h	10 h	10 h	12 h
$t_{standby}$	0 h	12 h	12 h	12 h
$t_{apagado}$	12 h	-	-	-
$t_{velocidad\ lenta}$	-	2 h	-	-
$t_{auto\ arranque}$	-	-	2 h	-
Consumo de energía	30,1 kWh/d	30,0 kWh/d	28,1 kWh/d	32,5 kWh/d
Ratio referencia según modo operación	93%	92%	86%	100%

5.3.5 Clasificación energética

La clasificación energética aplicada contará con los indicadores que se describen en los apartados siguientes.

5.3.5.1. Indicador de clase

El indicador de la clasificación describe el estado general de la escalera. Ya que se analiza el estado general, la eficiencia de la parte mecánica debido a la fricción que genera, de sus diferentes componentes y sistemas.

Los indicadores de la clasificación se encuentra en un rango desde la A⁺⁺⁺ a la E, donde la A⁺⁺⁺ es la mejor clasificación. La clasificación lleva asignado además un color como se muestra en la *tabla 15*.

Tabla 13 Indicadores de clase según ratio

Ratio de energía	5 ≤ 55%	6 ≤ 60%	7 ≤ 65%	8 ≤ 70%	9 ≤ 80%	10 ≤ 90%	11 ≤ 100%	12 > 100%
Indicador de clase	A+++	A++	A+	A	B	C	D	E

5.3.5.2. Indicador de modo de operación

Cada modo de operación será indicado mediante un logo. Este indicador de modo de operación (logotipo) describe la capacidad de operar de la unidad, pudiendo

operar en más de un modo. La *figura 71*, la *figura 72* y la *figura 73* muestran los modos más comunes en las escaleras mecánicas, pasillos y rampas.



Figura 72 Apagado nocturno



Figura 71 Velocidad lenta

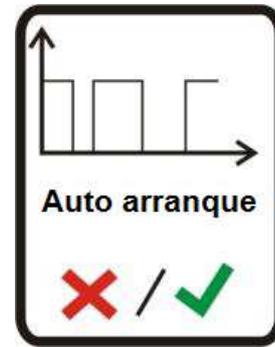


Figura 73 Autoarranque

5.3.5.3. *Indicador de medición*

El indicador de medición mostrará la medición media de potencia consumida en condición de sin carga.

5.3.5.4. *Etiqueta de clasificación energética*

La etiqueta es única para cada unidad, ya que en ella se incluirán todos los indicadores mencionados anteriormente, con sus mediciones en condición de sin carga (*figura 74*).

- Estación/número de escalera
- Tipo/número de serie.
- Indicador de clase.
- Límite superior de la potencia consumida en las mediciones en condición de sin carga.
- Indicador de modo de operación(es).

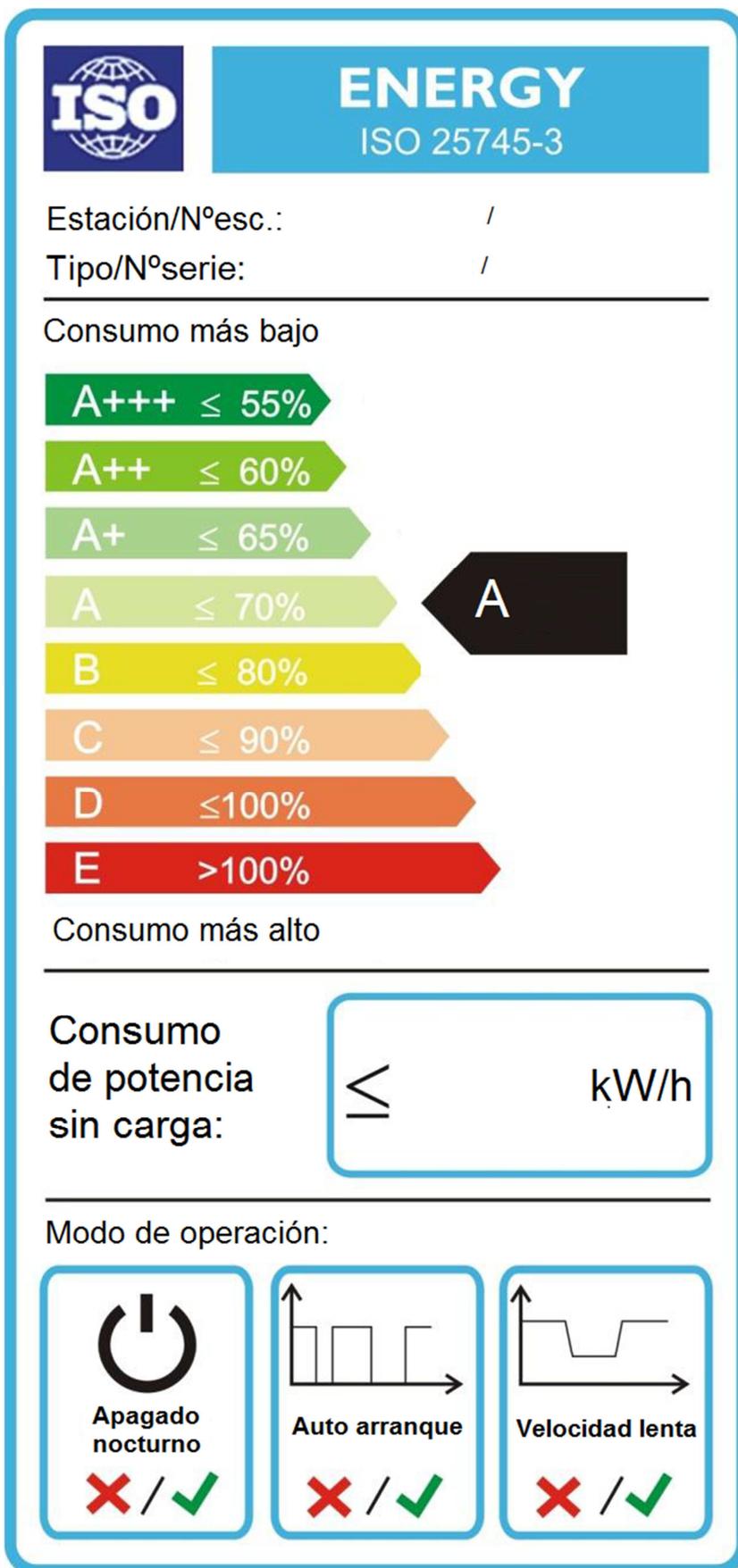


Figura 74 Etiqueta clasificación energética



Estudio de la eficiencia energética de las escaleras
mecánicas de Metro de Madrid según norma ISO 25745



Capítulo 6.

ESTUDIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

6.1 Selección de la muestra

Las escaleras mecánicas existentes en Metro de Madrid, han sido clasificadas atendiendo a diferentes criterios que se utilizarán para seleccionar una muestra representativa. Desde un punto de vista constructivo:

- Por marcas y modelos: cada fabricante, e incluso distintos modelos para un mismo fabricante, emplea tecnologías diferentes para el diseño de los componentes mecánicos y eléctricos de la escalera mecánica.
- Por desniveles: cuanto mayor es el desnivel a salvar por la escalera mecánica, mayor será el consumo energético.

Por otra parte, atendiendo a su ubicación o condiciones operativas:

- Por tránsito de viajeros: cuanto más viajeros utilizan una escalera mecánica, mayor será el consumo energético. Por el contrario, menor será el tiempo en el que la escalera mecánica, rampa o pasillo funciona a baja velocidad y por tanto y a priori, menor la importancia del empleo del variador de frecuencia.
- Por el sentido de funcionamiento: en subida o en bajada.

6.1.1 Por marcas y modelos

Para el estudio de eficiencia energética se seleccionan los modelos mayoritarios en Metro de Madrid:

- Kone: modelo RTV y modelo Eco3000 (E3H)
- Thyssen: modelo FT (722 y 732), modelo TNE (Avante) y modelo TUGELA.

En lo que respecta a modelos de escaleras mecánicas considerados en el estudio, en la muestra seleccionada se encuentran representados el 84% de los modelos con variador de frecuencia en Metro de Madrid.

6.1.2 Por desniveles

Para la selección de la muestra se obtiene el desnivel medio de cada uno de los modelos considerados en el apartado anterior, de forma que las unidades que se seleccionen para la realización de las mediciones ha de ser un desnivel lo más parecido al desnivel medio del grupo al que representa (*tabla 14*).

Tabla 14 Desnivel medio de la selección

MARCA	MODELO	NÚMERO	DESNIVEL MEDIO (m)
KONE	E3H	187	7,68
	RTV	140	6,83
THYSSEN	FT	273	6,29
	TNE	477	7,02
	TUGELA	221	7,32

El desnivel medio de las escaleras mecánicas objeto de medición es de 7.03 metros.

6.1.3 Por tránsito de viajeros

Para la selección de la muestra se obtiene el tránsito medio de cada uno de los modelos considerados, de forma que las unidades que se seleccionen para la realización de las mediciones tendrá que tener un tránsito lo más parecido al tránsito medio del grupo al que representa.

En la *tabla 15* se resume el valor medio de tránsito de viajeros diario¹ para cada uno de los modelos anteriores².

¹ Datos correspondientes a Noviembre y Diciembre de 2011

² Datos proporcionados por el Servicio de Ingeniería de Mantenimiento de Instalaciones de Metro de Madrid

Tabla 15 Tránsito medio de viajeros en las escaleras de la selección

MARCA	MODELO	Nº	TRÁNSITO MEDIO (nº viajeros/día)
KONE	E3H	187	3620
	RTV	140	3984
THYSSEN	FT	273	5145
	TNE	477	3897
	TUGELA	221	4440

El tránsito diario medio de las escaleras mecánicas objeto de la medición es de 4.217 viajeros.

6.1.4 Por el sentido de funcionamiento

En principio es previsible que existan diferencias de consumo entre las escaleras de subida y las de bajada, suponiendo que el resto de condiciones se mantienen constantes. Por este motivo y siempre que sea posible se realizarán mediciones tanto en sentido de subida como de bajada.

En la *tabla 16* se resume el número de unidades que funcionan en subida o bajada para cada uno de los modelos objeto de estudio.

Tabla 16 Estadísticas de dirección de las escaleras de la selección

MARCA	MODELO	Nº	EN SUBIDA	% SUBIDA	EN BAJADA	% BAJADA
KONE	E3H	187	95	50,80%	92	49,20%
	RTV	140	73	52,14%	67	47,86%
THYSSEN	FT	273	160	58,61%	113	41,39%
	TNE	477	245	51,36%	232	48,64%
	TUGELA	221	118	53,39%	103	46,61%

6.1.5 Muestra seleccionada

Teniendo en cuenta los criterios anteriores se efectúa la selección de la muestra de escaleras mecánicas sobre las que se realizan las mediciones. Las escaleras seleccionadas deben tener aproximadamente las características mostradas en la *tabla 17*.

Tabla 17 Características escaleras para la selección

MARCA	MODELO	Nº	%	DESNIVEL (m)	TRÁNSITO (nº viajeros/día)
THYSSEN	TNE	477	30,83%	7,02	3897
THYSSEN	FT	273	17,65%	6,29	5145
THYSSEN	TUGELA	221	14,29%	7,32	4440
KONE	E3H	187	12,09%	7,68	3620
KONE	RTV	140	9,05%	6,83	3984

Las unidades seleccionadas para el estudio de eficiencia energética, teniendo en consideración los criterios anteriores, se muestran en la *tabla 18*:

Tabla 18 Selección de la muestra

ESTACIÓN	Nº	SENTIDO	MARCA	MODELO	DESNIVEL L (m)	TRÁNSITO (nº viajeros/día)
PINAR DEL REY	6	BAJADA	THYSSEN	TNE	8,11	3651
PINAR DEL REY	7	SUBIDA	THYSSEN	TNE	8,11	3659
CANILLEJAS	8	BAJADA	THYSSEN	TUGELA	7,5	4742
CANILLEJAS	7	SUBIDA	THYSSEN	TUGELA	7,5	4142
BARAJAS	2	BAJADA	THYSSEN	FT	7,14	5296
ESPERANZA	3	SUBIDA	THYSSEN	FT	6,65	3871
ESTRELLA	7	BAJADA	KONE	E3H	8,65	4223
ESTRELLA	10	SUBIDA	KONE	E3H	8,65	3561
CUATRO VIENTOS	6	BAJADA	KONE	RTV	6,93	3342

PUERTA DEL SUR	5	SUBIDA	KONE	RTV	7,99	3591
-----------------------	---	--------	------	-----	------	------

Los datos relativos a los motores y variadores de frecuencia instalados en cada una de estas instalaciones se muestran en la *tabla 21*:

Tabla 19 Características tecnológicas y de potencia de la muestra

ESTACIÓN	Nº ESCALERA	POTENCIA NOMINAL MOTOR (kW)	MODELO VARIADOR
PINAR DEL REY	6	19,5	OMRON CIMR-F7Z4022 22 kW
PINAR DEL REY	7	19,5	OMRON CIMR-F7Z4022 22 kW
CANILLEJAS	8	19	OMRON CIMR-F7Z4022 22 kW
CANILLEJAS	7	19	OMRON CIMR-F7Z4022 22 kW
BARAJAS	2	15	OMRON SYSDRIVE 3G3HV 15 kW
ESPERANZA	3	15	OMRON SYSDRIVE 3G3FV 11 kW
ESTRELLA	7	18	KEB COMBIVERT 18,5 kW
ESTRELLA	10	18	KEB COMBIVERT 18,5 kW
CUATRO VIENTOS	6	17	KEB COMBIVERT 18,5 kW
PUERTA DEL SUR	5	2x10	KEB COMBIVERT 22 kW

6.2 Mediciones y datos

Se realiza una ficha con cada medición, diferenciando modelo, sentido y tecnologías. Además se añade información relevante de la escalera. La *tabla 20*, *tabla 21* y *la tabla 22* ilustran la ficha de medición. La *tabla 23* y *la tabla 24* representan los cálculos de energía consumida.

Tabla 20 Datos generales escalera mecánica, rampa o pasillo.

Datos generales	Parámetro	Ejemplo 1	Unidad
Estación		Pinar del Rey	
Nº escalera		6	
Fabricante		Thyssen	
Modelo		TNE2042	
Referencia		1150004968	
Nº esquema		0.55.1-3.0.0468.01	
Tecnología		OMRON CIMR-F7Z4022 22 kW	
Desnivel	H	8,11	m
Longitud	L	16,22	m
Ángulo de inclinación	α	30	grados
Dirección		Bajada	
Nº de viajeros	N	3651	personas
Peso medio viajero	m	75	kg
Ancho de peldaño	W	1000	mm
Velocidad nominal	v	0,65	m/s
Potencia nominal del motor	P	19,5	kW

Tabla 21 Datos de tiempos

Fecha de la observación	30/10/2013		
Tiempo de la observación		7,485	días
Tiempo consumiendo	t total	155,64	horas
Tiempo en <i>standby</i>	t <i>standby</i>	24	horas
Tiempo auto arranque	t auto arranque	0	horas
Tiempo velocidad nominal	t veloc. nom.	51,88	horas
Tiempo velocidad lenta	t veloc. Lenta	103,76	horas

Tabla 22 Cálculo de energía

Consumo de energía en <i>standby</i>	$E_{standby} = P_{standby} * t_{standby}$	$P_{standby} = 0,2$	4,8	kWh
Consumo de energía en auto arranque	$E_{autoar.} = P_{autoar.} * t_{autoar.}$	$P_{autoar.} = 0,3$	0	kWh
Consumo de energía velocidad normal	$E_{veloc. norm.} = P_{veloc. Norm.} * t_{veloc. norm.}$	$P_{veloc. Norm.} =$	330	kWh
Consumo de energía velocidad lenta	$E_{veloc. Lent.} = P_{veloc. Lent.} * t_{veloc. Lent.}$	$P_{veloc. Lent.} =$	0	kWh

Tabla 23 Energía consumida de la carga

Escaleras o rampas en dirección subida: E carga = $N*m*g*H*1/(3600000*\eta)*(1+\mu/tg\alpha)$	valores por defecto $\eta = 0,75$ $\mu = 0,05$ $CF = 0$	8,005635107 kWh
Escaleras o rampas en dirección bajada: E carga = $N*m*g*H*0,75*0/(3600000)*(-1+\mu/tg\alpha)$		0 kWh
Pasillos E carga = $N*m*g*L*\mu/(3600000*\eta)$		

Tabla 24 Energía consumida total sin contar con la energía auxiliar

E principal subida	E princ.sub. = E standby + E aut.arran. + E veloc.lent. + E veloc. Norm. + E carga	342,8056351 kWh
E principal bajada	E princ.sub. = E standby + E aut.arran. + E veloc.lent. + E veloc. Norm. + E carga (<0)	334,8 kWh

Todas las mediciones se encuentran en los *Anexos*.

6.3 Estimación del consumo energético

Considerando que las unidades de la muestra seleccionada representan la escalera “media” para cada uno de los modelos analizados, la *tabla 25* resume el consumo por hora para cada uno de estos modelos.

Tabla 25 Datos medición muestra

MARCA	MODELO	SENTIDO	TECNOLOGÍA	Nº	P (kWh)	Qr (kVarh)	S (kVAh)
Thyssen	FT	BAJADA	E.T.	113	2,84	10,25	10,64
Thyssen	FT	SUBIDA	E.T.	160	2,00	10,84	11,02
Thyssen	TNE	BAJADA	E.T.	232	2,73	14,40	14,66
Thyssen	TNE	SUBIDA	E.T.	245	3,84	14,30	14,80
Thyssen	TUGELA	BAJADA	E.T.	103	1,96	10,66	10,84
Thyssen	TUGELA	SUBIDA	E.T.	118	3,22	10,34	10,83
Kone	RTV	BAJADA	E.T.	67	2,62	6,21	6,74
Kone	RTV	SUBIDA	E.T.	73	4,00	11,03	11,73
Kone	ECO3000	BAJADA	E.T.	92	2,54	8,41	8,78
Kone	ECO3000	SUBIDA	E.T.	95	3,26	8,56	9,16
Thyssen	FT	BAJADA	VARIADOR	113	2,31	-0,02	2,31
Thyssen	FT	SUBIDA	VARIADOR	160	1,41	-0,10	1,42
Thyssen	TNE	BAJADA	VARIADOR	232	2,12	-0,01	2,12
Thyssen	TNE	SUBIDA	VARIADOR	245	2,53	0,02	2,53

Thyssen	TUGELA	BAJADA	VARIADOR	103	1,44	0,01	1,44
Thyssen	TUGELA	SUBIDA	VARIADOR	118	2,52	0,30	2,54
Kone	RTV	BAJADA	VARIADOR	67	1,77	-0,17	1,78
Kone	RTV	SUBIDA	VARIADOR	73	3,62	0,28	3,63
Kone	ECO3000	BAJADA	VARIADOR	92	1,82	-0,54	1,90
Kone	ECO3000	SUBIDA	VARIADOR	95	2,12	-0,43	2,17

Por otro lado se calcula el consumo energético medio de una escalera mecánica, tanto en subida, como en bajada, con variador y sin variador de frecuencia. Estos cálculos se resumen en la *tabla 26* y la *tabla 27*.

Tabla 26 Valor medio de las mediciones sin variador

SIN VARIADOR	P (kWh/h)	Qr (kVArh/h)	S (kVAh/h)
SUBIDA	3,24	11,69	12,15
BAJADA	2,58	11,18	11,50
TOTAL	2,93	11,45	11,84

Estos valores se considerarán en el capítulo 8 para las 147 escaleras mecánicas que no disponen de variador de frecuencia en la red de Metro de Madrid.

Tabla 27 Valor medio de las mediciones con variador

CON VARIADOR	P (kWh/h)	Qr (kVArh/h)	S (kVAh/h)
SUBIDA	2,33	0,005	2,34
BAJADA	1,96	-0,11	1,97
TOTAL	2,16	-0,05	2,17

6.4 Clasificación energética y etiquetado de las muestras

Para el cálculo de la potencia de referencia se interpolan los datos de la *tabla 9* en función de su desnivel y de su velocidad. En este caso y ya que Metro de Madrid es una entidad que se dedica a la explotación de un transporte público la velocidad es $v = 0,65$ m/s.

6.4.1 Modelo Thyssen FT

Las mediciones y cálculos para el modelo Thyssen FT se realizan en las escaleras mecánicas situadas en las estaciones de Barajas (sentido bajada) y Esperanza (sentido subida), con el uso de variador de frecuencia y sin él (arranque estrella-triángulo). La *tabla 28* resume los datos necesarios para su clasificación. Las mediciones y cálculos completos se encuentran en el *Anexo 2*.

Tabla 28 Clasificación modelo Thyssen FT

Estación	Número	Sentido	Tecnología	P (kWh)	P _{ref.} (kW h)	Ratio (%)	Clasificación
Barajas	2	Bajada	Variador	2,31	4,272	54,073033 71	A+++
Esperanza	3	Subida	Variador	1,41	4,654775	30,291474 88	A+++
Barajas	2	Bajada	E.T.	2,84	4,272	66,479400 75	A
Esperanza	3	Subida	E.T.	2	4,654775	42,966631 04	A+++

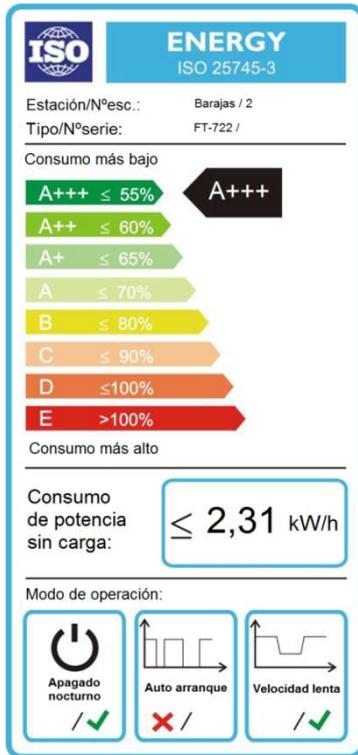


Figura 76 Etiqueta energética Barajas 2 con variador

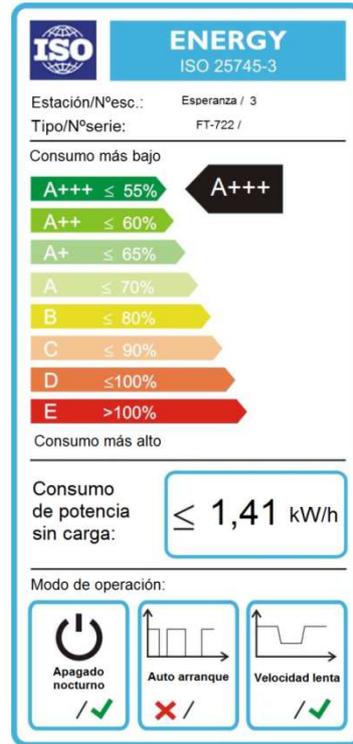


Figura 77 Etiqueta energética Esperanza 3 con variador

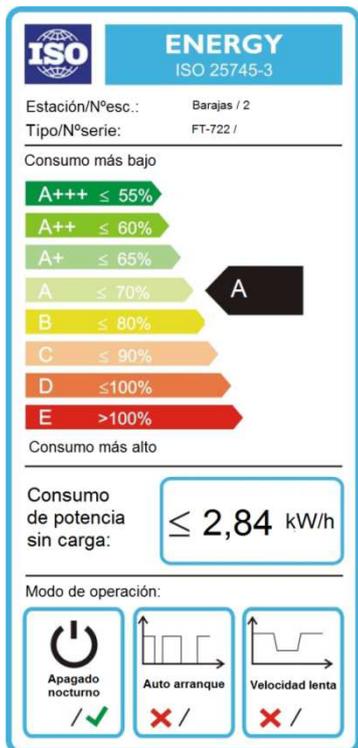


Figura 78 Etiqueta energética Barajas 2 sin variador

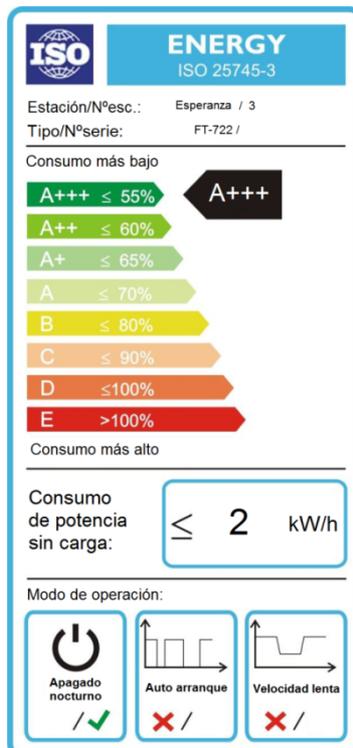


Figura 75 Etiqueta energética Esperanza 3 sin variador

6.4.2 Modelo Thyssen Avante

Las mediciones y cálculos para el modelo Thyssen Avante se realizan en las escaleras mecánicas situadas en la estación de Pinar del Rey (sentido bajada y subida), con el uso de variador de frecuencia y sin él (arranque estrella-triángulo). La *tabla 29* resume los datos necesarios para su clasificación. Las mediciones y cálculos completos se encuentran en el *Anexo I*.

Tabla 29 Clasificación modelo Thyssen Avante

Estación	Número	Sentido	Tecnología	P (kWh)	P _{ref.} (kW h)	Ratio (%)	Clasificación
Pinar del Rey	6	Bajada	Variador	2,12	4,517885	46,92461185	A+++
Pinar del Rey	7	Subida	Variador	2,53	4,517885	55,99965471	A++
Pinar del Rey	6	Bajada	E.T.	2,73	4,517885	60,42650488	A+
Pinar del Rey	7	Subida	E.T.	3,84	4,517885	84,99552335	C

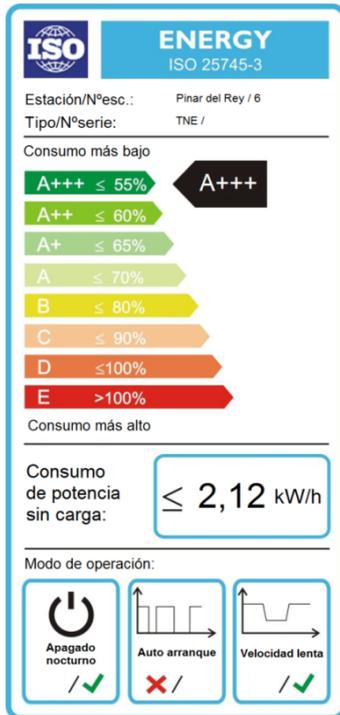


Figura 79 Etiqueta energética Pinar del Rey 6 con variador

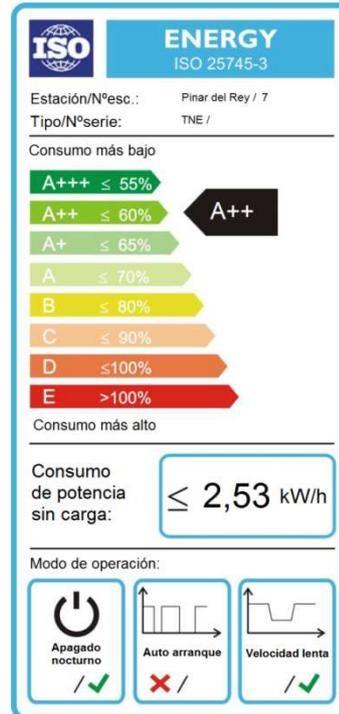


Figura 80 Etiqueta energética Pinar del Rey 7 con variador

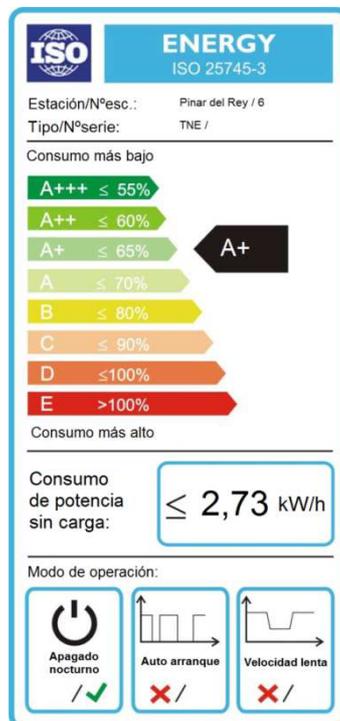


Figura 82 Etiqueta energética Pinar del Rey 6 sin variador

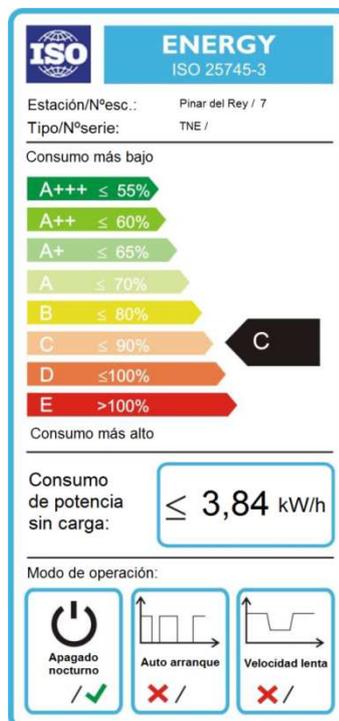


Figura 81 Etiqueta energética Pinar del Rey 7 sin variador

6.4.3 Modelo Thyssen Tugela

Las mediciones y cálculos para el modelo Thyssen Tugela se realizan en las escaleras mecánicas situadas en la estación de Canillejas (sentido bajada y subida), con el uso de variador de frecuencia y sin él (arranque estrella-triángulo). La *tabla 30* resume los datos necesarios para su clasificación. Las mediciones y cálculos completos se encuentran en el *Anexo 3*.

Tabla 30 Clasificación modelo Thyssen Tugela

Estación	Número	Sentido	Tecnología	P (kWh)	P _{ref.} (kWh)	Ratio (%)	Clasificación
Canillejas	8	Bajada	Variador	1,44	4,362743	33,00675745	A+++
Canillejas	7	Subida	Variador	2,52	4,362743	57,76182553	A++
Canillejas	8	Bajada	E.T.	1,96	4,362743	44,9258643	A+++
Canillejas	7	Subida	E.T.	3,22	4,362743	73,80677707	B

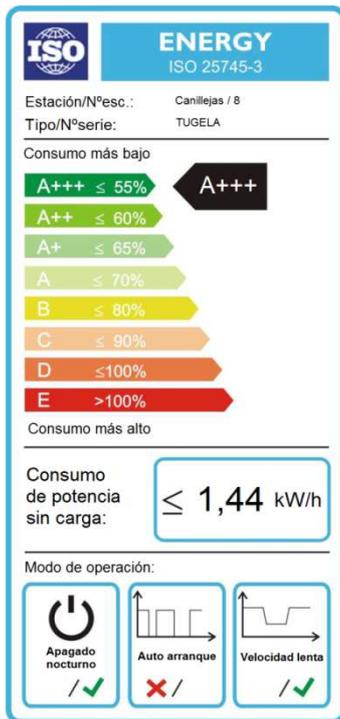


Figura 85 Etiqueta energética Canillejas 8 con variador

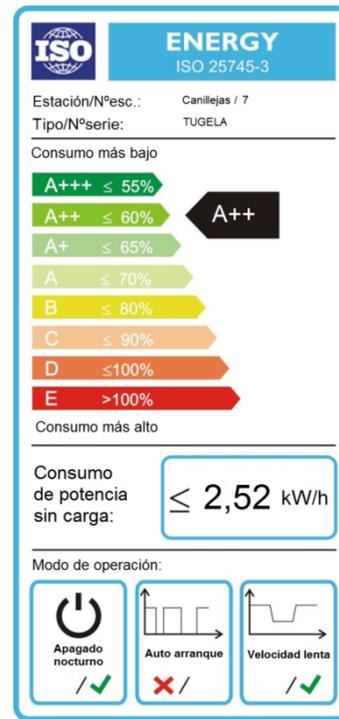


Figura 84 Etiqueta energética Canillejas 7 con variador



Figura 86 Etiqueta energética Canillejas 8 sin variador

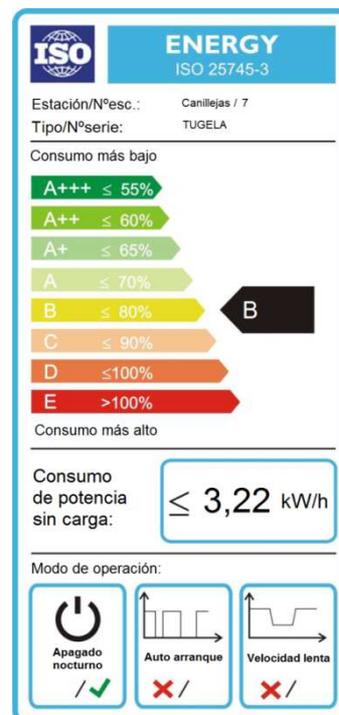


Figura 83 Etiqueta energética Canillejas 7 sin variador

6.4.4 Modelo Kone RTV

Las mediciones y cálculos para el modelo Kone RTV se realizan en las escaleras mecánicas situadas en las estaciones de Cuatro Vientos (sentido bajada) y Puerta del Sur (sentido subida), con el uso de variador de frecuencia y sin él (arranque estrella-triángulo). La *tabla 31* resume los datos necesarios para su clasificación. Las mediciones y cálculos completos se encuentran en el *Anexo 4*.

Tabla 31 Clasificación modelo Kone RTV

Estación	Número	Sentido	Tecnología	P (kWh)	P _{ref.} (kWh)	Ratio (%)	Clasificación
Cuatro Vientos	6	Bajada	Variador	1,77	4,218755	41,95550583	A+++
Puerta del Sur	5	Subida	Variador	3,62	4,487645	80,6659172	C
Cuatro Vientos	6	Bajada	E.T.	2,62	4,218755	62,1036301	A+
Puerta del Sur	5	Subida	E.T.	4	4,487645	89,13361017	C

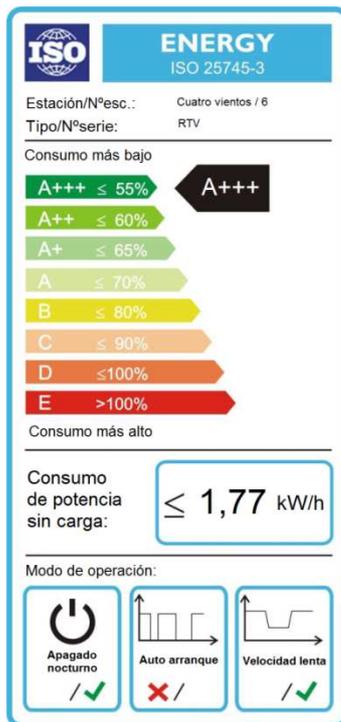


Figura 89 Etiqueta energética Cuatro Vientos 6 con variador

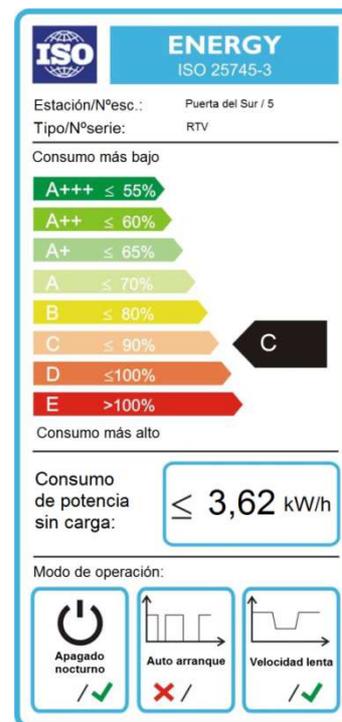


Figura 90 Etiqueta energética Puerta del Sur 5 con variador

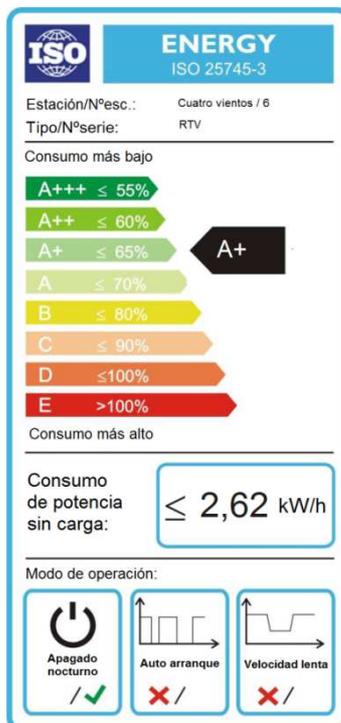


Figura 88 Etiqueta energética Cuatro Vientos 6 sin variador

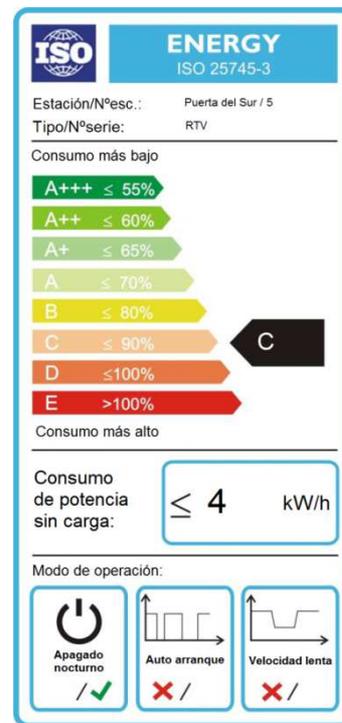


Figura 87 Etiqueta energética Puerta del Sur 5 sin variador

6.4.5 Modelo Kone Eco3000

Las mediciones y cálculos para el modelo Kone Eco3000 se realizan en las escaleras mecánicas situadas en la estación de Estrella (sentido bajada y subida), con el uso de variador de frecuencia y sin él (arranque estrella-triángulo). La *tabla 32* resume los datos necesarios para su clasificación. Las mediciones y cálculos completos se encuentran en el *Anexo 5*.

Tabla 32 Clasificación modelo Kone Eco3000

Estación	Número	Sentido	Tecnología	P (kWh)	$P_{ref.}$ (kWh)	Ratio (%)	Clasificación
Estrella	7	Bajada	Variador	1,82	4,654775	39,099634 25	A+++
Estrella	10	Subida	Variador	2,12	4,654775	45,544628 9	A+++
Estrella	7	Bajada	E.T.	2,54	4,654775	54,567621 42	A+++
Estrella	10	Subida	E.T.	3,26	4,654775	70,035608 6	A

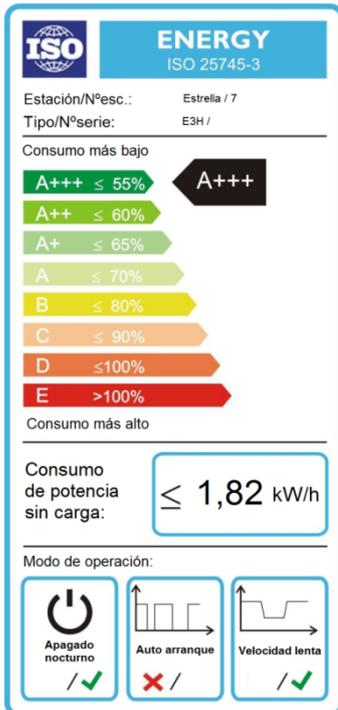


Figura 92 Etiqueta energética Estrella 7 con variador

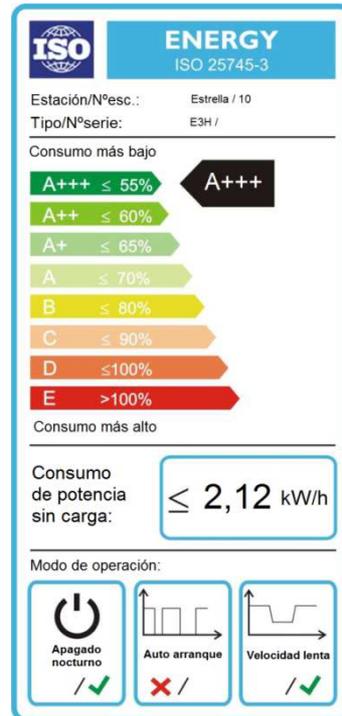


Figura 91 Etiqueta energética Estrella 10 con variador

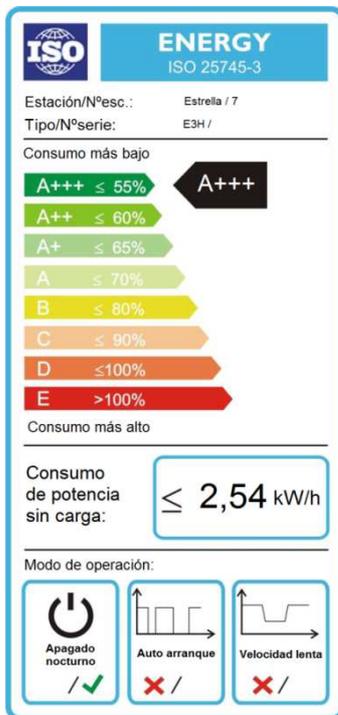


Figura 93 Etiqueta energética Estrella 7 sin variador

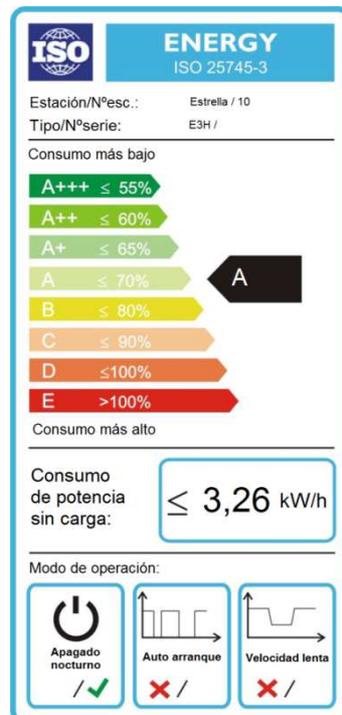


Figura 94 Etiqueta energética Estrella 10 sin variador



Estudio de la eficiencia energética de las escaleras
mecánicas de Metro de Madrid según norma ISO 25745



Capítulo 7

PROPUESTAS DE AHORRO Y MEJORA

En las escaleras mecánicas, pasillos y rampas la eficiencia energética es muy importante. Por ello, el uso de motores de alta eficiencia, el uso de rodamientos de alta calidad, la eficiencia de los distintos tipos de transmisiones, etc. pueden generar un gran ahorro, pero en contraposición tiene un alto coste, ya sea por los materiales o por su alto coste de fabricación. Esto conlleva a un estudio coste-efectivo de cada uno de estos elementos para su valoración.

Aun así, un buen mantenimiento de las instalaciones (tanto preventivo como correctivo) y una lubricación correcta de los componentes ayuda también a mantener al máximo la eficiencia de la escalera mecánica, pasillo o rampa.

Las características tecnológicas de las escaleras también influyen en la eficiencia energética, como se ha podido comprobar en los ejemplos de clasificación. Pero lo que más influye en el consumo es el estado o la configuración de las escaleras mecánicas. Con los dispositivos de detección (célula fotoeléctrica, sensor de peso, radar, etc.) en la zona de embarque, se permite evitar un consumo innecesario cuando exista poca demanda de viajeros, con un uso a velocidad lenta, o cuando haya periodos sin usuarios, en los que la escalera podría entrar en modo reposo. Una optimización de la configuración representaría un gran ahorro energético, y más en Metro de Madrid, con un alto volumen de escaleras mecánicas, pasillos y rampas en las que durante largos periodos no existen viajeros.

Dependiendo de la intensidad de uso de cada unidad, con la instalación de detectores de presencia, un variador de frecuencia y una buena optimización de la configuración, la instalación puede ahorrar un 40% de consumo energético (12). Estas medidas de ahorro están especialmente recomendadas para escaleras mecánicas, rampas o pasillos que tengan una carga discontinua de viajeros.

7.1 Estabilizadores de tensión

Otra medida que permite la reducción del consumo, es la instalación de estabilizadores de tensión a la entrada de línea. Este equipo reduce la energía eléctrica mediante la regulación de la tensión de alimentación.

Un estabilizador de tensión es básicamente un aparato que recibe en la entrada una tensión que puede variar entre un valor mínimo y un valor máximo (rango de tensión de entrada), dando a la salida una tensión estabilizada que puede tener un valor dentro de un rango de la tensión de salida (denominada precisión de la tensión de salida, o error de la misma, valuado en porcentaje) (*figura 95*) (18).

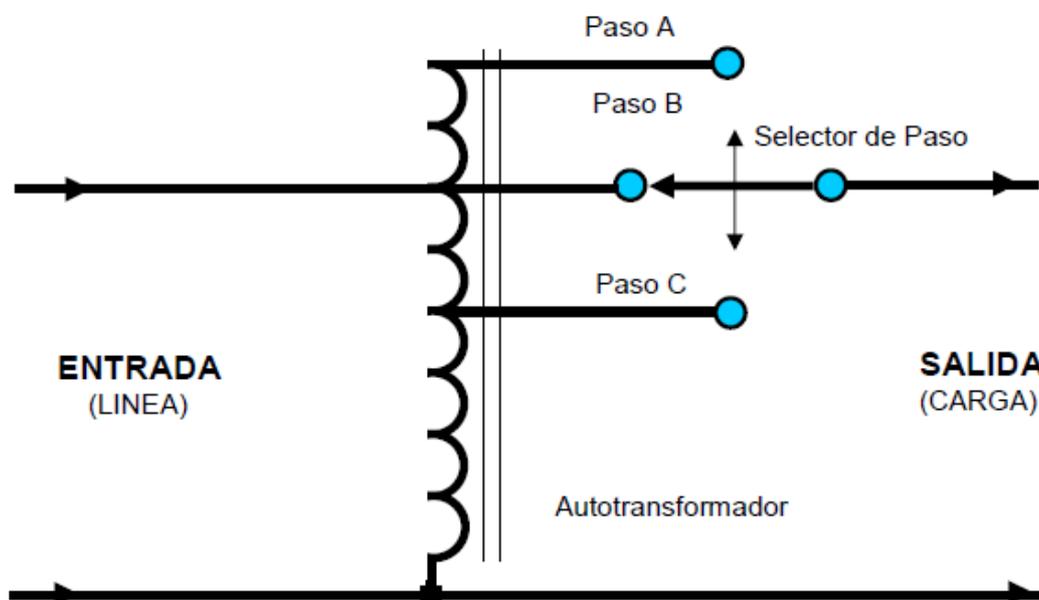


Figura 95 Esquema simplificado de un estabilizador de tensión

La descripción anterior corresponde a un sistema monofásico. Para conformar un sistema trifásico como el motor de una escalera mecánica, pasillo o rampa, deben conectarse tres sistemas monofásicos en estrella, uniendo sus neutros y por su puesto sus tierras. Esto es indispensable, pues en un sistema trifásico, se deben estabilizar cada fase en forma independiente.

El principio de este sistema reside en la reducción del voltaje con respecto a la tensión nominal de línea de 220 V, reduciendo el voltaje en fases del 1% con un máximo del 10% (*figura 96*).

Además, el equipo realiza una corrección de la potencia reactiva consumida, mejorando el factor de potencia, sin el uso de condensadores para rectificarlo.

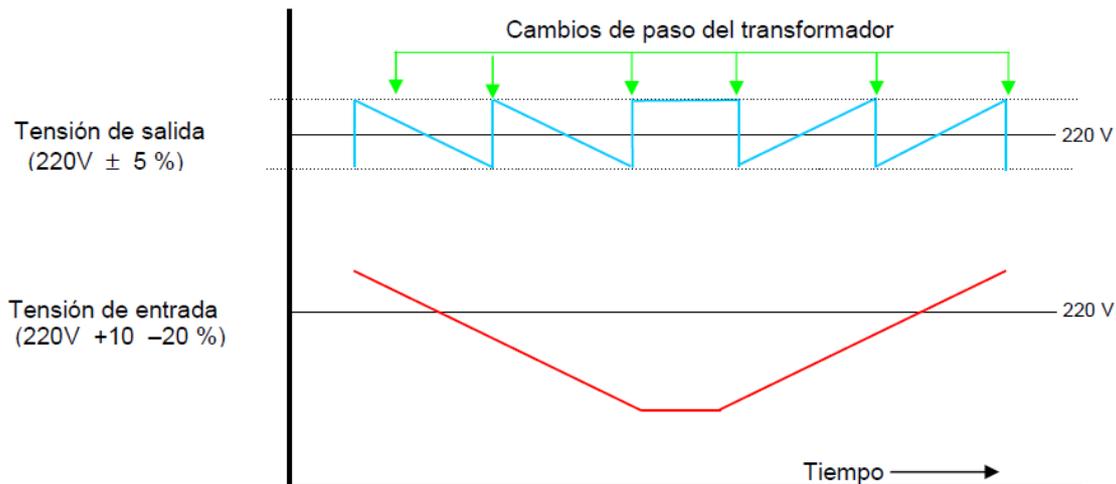


Figura 96 Variación de la tensión por el uso de estabilizadores de tensión

Estos dispositivos pueden utilizarse en unidades que no haya previsión de renovación o sustitución, son de fácil instalación y no presenta cambios en los esquemas eléctricos de la instalación.

7.2 Regeneradores de energía

Se podría aumentar la eficiencia energética de las escaleras mecánicas, pasillos o rampas si se aprovechara toda la energía disipada en las resistencias de frenado de los variadores de frecuencia. Esto supone una gran pérdida, ya que toda esta energía se disipa en forma de calor, y podría aprovecharse retornándola a la propia escalera o a la red general (figura 97).

Otro sistema de generación de energía es cuando el motor empieza a funcionar como generador, con deslizamiento positivo (véase *Frenado dinámico* 3.2.4). Esto sucede cuando la unidad se encuentra en dirección bajada y con una gran carga en la misma. Esto induce al motor a actuar como freno regenerativo y como en el caso anterior puede aprovecharse retornándola a la propia escalera o inyectándola en la red general. Si se aprovechan estos momentos de funcionamiento favorable se puede ahorrar hasta un 75% de energía.

Por contraposición, estos dos sistemas regeneradores tienen el inconveniente de ser todavía muy caros y ofrece un reembolso pobre del gasto de estos sistemas.



Figura 97 Regenerador de energía ReGen2 (Otis)



Estudio de la eficiencia energética de las escaleras
mecánicas de Metro de Madrid según norma ISO 25745



Capítulo 8

PRESUPUESTO

En este capítulo, se expone la mejora energética de las 147 escaleras mecánicas que no disponen de variador de frecuencia. Se detalla la información económica y temporal, con objeto de ofrecer un presupuesto que pueda servir como indicador del coste del proyecto.

El desglose de los costes se ha dividido en cuatro grupos:

- Personal: Estimación del coste de todo el personal que ha intervenido en el proyecto.
- Equipos: Se estima la amortización de la mejora de la eficiencia energética mediante el uso de variador de frecuencia, frente a la tecnología de estrella-triángulo. También se tendrá en cuenta el ordenador para el desarrollo, licencias y software.
- Subcontratación: Apartado en el que se desglosan todas las tareas que requieren de subcontratación a empresas externas. En este caso, todo ha sido realizado sin llevar a cabo esta práctica, por lo que no queda incluido.
- Costes indirectos: En este apartado se recogen los costes generales, dietas, viajes, material fungible, imprenta, etc.

8.1 Coste de personal

El desarrollo del proyecto es cubierto por tres personas: un ingeniero para la supervisión, cálculo y posterior clasificación energética (Daniel del Pino Ramos), un oficial como técnico cualificado para la instalación del variador y un ayudante.

El tiempo estimado para la instalación del variador, el cálculo y la clasificación de la escalera mecánica será de media jornada. Pudiendo instalarse dos variadores en una misma jornada dentro de la misma estación (sin desplazamiento). Por ello se supondrá 74 jornadas de trabajo para la mejora de las 147 escaleras sin variador de frecuencia.

Tabla 33 Coste de personal (19)

Concepto	Salario/hora	Nº de horas	Total
Ingeniero Industrial	15 €	147 h	2.205 €
Oficial	12 €	367,5 h	4.410 €
Ayudante	9 €	367,5 h	3.307,5 €

El **coste total de personal** (tabla 33) es 2.205 € + 4.410 € + 3.307,5 € = **9.922,5 €**

8.2 Coste de equipos

En el coste de equipos se engloban los variadores de frecuencia (se supone el mismo valor para todos, aun siendo de diferentes potencias), las licencias de las normativas a utilizar y la licencia del programa de compilación de texto (Office 2010).

Tabla 34 Coste de equipos

Concepto	Cantidad	Precio
Variador de frecuencia serie Altivar 312, 15kW	147	237.846 €
Norma ISO- 25745-1	1	63,20 €
Norma ISO- 25745-3	1	52,75 €
Office 2010	1	145,15 €
Ordenador Intel i5	1	600 €
Itron ACE6000	1	233€

El **coste total de equipos** (tabla 34) es 237.846 € + 63,20 € + 52,75 € + 145,15 € + 600 € + 233 € = **238.940,1 €**

8.3 Costes indirectos

Estos costes son los derivados del coste de impresión de la pegatina identificativa de eficiencia energética, el transporte del personal, horas extras, etc. Su valor se ha asignado en el 1% del coste total:

El **coste total indirecto** es (9.922,5 € + 238.940,1 €) * 0,01 = **2.488,63 €**

8.4 Resumen de costes

En la *tabla 35* se resumen los costes del proyecto.

Tabla 35 Resumen de costes

Resumen de costes	
Personal	9.922,5 €
Equipos	238.940,1 €
Indirectos	2.488,63 €
TOTAL	251.351,23 €

El presupuesto total de este proyecto asciende a la cantidad de DOSCIENTOS CINCUENTA Y UN MIL TRESCIENTOS CINCUENTA Y UN EUROS CON VEINTITRÉS CÉNTIMOS DE EURO.

8.5 Amortización

Para el cálculo de amortización del proyecto, se realiza una estimación del consumo eléctrico total por hora de funcionamiento para las 147 escaleras mecánicas de Metro de Madrid sin variador de frecuencia.

Se supondrá para las 147 escaleras que no tienen variador de frecuencia un consumo estimado igual al calculado en las escaleras muestreadas funcionando sin variador.

8.5.1 Con variador

Para el caso de que se encuentren en funcionamiento con el variador activo las 147 escaleras mecánicas que aún no disponen de él, el consumo total estimado será según *tabla 29* de:

$$P_{\text{total}} = 2,16 \cdot 147 = 317,52 \text{ kWh/h}$$

Suponiendo 20 horas de funcionamiento diarias, que es la situación más habitual, se obtiene un consumo energético diario de:

$$P_{\text{total diario}} = 317,52 \text{ kWh/h} \cdot 20 \text{ h/día} = 6350,4 \text{ kWh/día}$$

8.5.2 Sin variador

Para el caso de que se encuentre funcionando sin variador las 147 escaleras mecánicas el consumo total estimado será según *tabla 28* de:

$$P_{\text{total}} = 2,93 \cdot 147 = 430,71 \text{ kWh/h}$$

Suponiendo 20 horas de funcionamiento, se obtiene un consumo energético diario de:

$$P_{\text{total diario}} = 430,71 \text{ kWh/h} \cdot 20 \text{ h/día} = 8.614,2 \text{ kWh/día}$$

8.5.3 Conclusión

La diferencia entre no usar y usar el variador de frecuencia es de:

$$8.614,2 \text{ kWh/día} - 6350,4 \text{ kWh/día} = \mathbf{2.263,8 \text{ kWh/día}}$$

A un coste de $0,1324 \text{ €/kWh}^3$ y considerando únicamente la potencia activa, el empleo de variadores de frecuencia supone un ahorro estimado de $299,72 \text{ €/día}$ y $109.400,39 \text{ €/año}$.

El coste de la implantación de variadores de frecuencia en las 147 escaleras mecánicas es de $251.351,23 \text{ €}$, suponiendo un ahorro anual de $109.400,39 \text{ €}$, **la amortización será al cabo de 2,297 años** o lo que es igual a 2 años, 3 meses y aproximadamente 18 días. A partir de ese periodo se conseguirá **un ahorro de 109.400,39 €/año**

Todos los cálculos de ahorros están basados en la consideración únicamente de la potencia activa. En el supuesto de que no se realizara compensación de la potencia reactiva, estos ahorros se incrementarían enormemente.

³ Dato proporcionado por la Coordinación de Despacho de Cargas, perteneciente al Servicio de Puesto Central de Metro de Madrid.



Estudio de la eficiencia energética de las escaleras
mecánicas de Metro de Madrid según norma ISO 25745



Capítulo 9

CONCLUSIONES Y FUTUROS TRABAJOS

9.1 Conclusiones

A la vista de las mediciones y de los resultados obtenidos en el capítulo 6 se pueden extraer una serie de conclusiones relacionadas con el consumo energético de las escaleras mecánicas instaladas en Metro de Madrid. Hay que indicar que la muestra seleccionada es una representación de las unidades más comunes instaladas en el suburbano. Pudiendo variar las mediciones y por ende la clasificación para cada unidad específica.

Según el sentido de funcionamiento, como ya se suponía, las escaleras mecánicas que se encuentran en sentido bajada consumen menos que las que se encuentran en sentido subida. La diferencia de consumo energético entre los dos sentidos es aproximadamente del 22%.

Respecto al uso del variador de frecuencia o no, también existe diferencia, ya que para las unidades que se encuentran en subida la diferencia es del 25% aproximadamente y para las unidades que se encuentran en sentido bajada la diferencia es del 26% del consumo. Con lo que puede deducirse que el uso de este dispositivo mejora la eficiencia energética aproximadamente igual para ambos sentidos.

Según las marcas y modelos estudiados, con el uso del variador, para Thyssen, el modelo FT y Tugela y para Kone, su modelo Eco3000, son las que menor consumo han presentado durante las mediciones. En cambio el modelo RTV de Kone es el menos eficiente. Sin el uso del variador, todas obtienen un mayor consumo, pero la diferencia es prácticamente igual en todos los modelos, exceptuando el modelo RTV de Kone y Avante de Thyssen los cuales sufren un aumento de algo más de 1kWh sin el uso de este dispositivo. En general ambos fabricantes obtienen mejores resultados de consumo en los modelos más actuales. En el caso de Kone, su modelo Eco3000 frente a su otro modelo más antiguo RTV, el consumo disminuye en torno al 18%. Lo que pone de manifiesto la mayor eficiencia conseguida por Kone en el diseño de su nueva instalación.

La relación entre las potencias nominales instaladas y las potencias activas consumidas, pone de manifiesto el elevado coeficiente de seguridad con el que los fabricantes diseñan estas instalaciones. En las escaleras mecánicas muestreadas, la potencia activa media consumida en el periodo estudiado no supera el 20% de la potencia instalada. Aunque no se han realizado mediciones de puntos de máximo consumo, aún en los caso de máxima carga es de esperar que el sobredimensionamiento de los motores siga siendo importante. Este hecho no hace sino que poner aún más de manifiesto la importancia de la utilización del variador de frecuencia, y ello puede observarse en los factores de potencia, ya que para el uso de unidades sin variador de frecuencia se registran valores muy bajos (en torno a 0,25). En cambio, con el uso del variador, se registran valores cercanos a la unidad.

Como se ha indicado en el capítulo 8, **el presupuesto** es una cantidad elevada, pero se pone también de manifiesto que el uso del variador de frecuencia permite unos ahorros muy significativos de consumo energético amortizables en muy poco tiempo, permitiendo así un ahorro grande en un plazo medio de tiempo. Este ahorro estimado, junto a la significativa reducción de costes de estos dispositivos en los últimos años, ponen de manifiesto el interés de analizar detalladamente la rentabilidad de mantener operativos los variadores de frecuencia en unas instalaciones como las escaleras mecánicas, y en una explotación como Metro de Madrid.

A la rentabilidad anterior, considerada desde un punto de vista estrictamente energético, habría que añadir la **rentabilidad desde un punto de vista mecánico y de mantenimiento**, al disminuir las horas en las que la escalera mecánica se encuentra en velocidad rápida. También cabe destacar el uso de tecnología de auto-arranque, la cual permitiría en escaleras con un espaciado tránsito de viajeros detener completamente la escalera mecánica. Este sistema combinado con el variador de frecuencia supondría maximizar la eficiencia energética y por consiguiente un gran ahorro económico.

9.2 Futuros trabajos

Este estudio de eficiencia energética de las escaleras mecánicas de Metro de Madrid es un trabajo pensado para su futura implantación en la red del suburbano. La catalogación mediante este proyecto de cada una de las escaleras mecánicas, rampas y pasillos conllevaría un gran cálculo necesario para saber cuánto consumo produce el transporte vertical. Además, permitiría evaluar posibles planes de mejora energética en aquellas unidades con una baja calificación.

En algunas escaleras con gran afluencia de viajeros y en sentido bajada, el motor actúa como freno regenerativo (*véase 3.2.4*), produciéndose energía. Sería interesante poder definir los factores en los que la generación de energía empieza a ser rentable en una escalera mecánica (cantidad de pasajeros, desnivel de escalera, etc.) para poder implantar en las unidades que cumplan dichos requisitos estos sistemas generadores de energía.

Por otro lado, se podrían revisar los indicadores de la clasificación 25743-3 (16), ya que esta norma se encuentra actualmente en anteproyecto y puede sufrir variaciones con su publicación definitiva. En Alemania, existe otra normativa (VDI 4707) con unos indicadores diferentes, que se utiliza para la clasificación de los ascensores, en función de la energía específica, podría valorarse también (19).

Por último, en este proyecto, solo se ha tenido en cuenta la potencia activa en la medición y la posterior clasificación, si se tuviera en cuenta la corrección del factor de potencia, se conseguiría un ahorro aún mayor.



Estudio de la eficiencia energética de las escaleras
mecánicas de Metro de Madrid según norma ISO 25745



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **Metro de Madrid.** <http://www.metromadrid.es>. [En línea] 2009. http://www.metromadrid.es/comun/noticias/pdf/Dossier_90_axos_de_Metro.OK.pdf.
2. **Metro de Moscú.** <http://engl.mosmetro.ru/>. [En línea] 2014. <http://engl.mosmetro.ru/>.
3. **Metro Japón.** <http://www.tokyometro.jp/en/>. [En línea] 2014. <http://www.tokyometro.jp/en/>.
4. **Metro París.** <http://www.ratp.fr>. [En línea] 2014. http://www.ratp.fr/es/ratp/r_90744/visitar-paris-en-metro/.
5. **Metro de Londres.** <https://www.tfl.gov.uk>. [En línea] 2014. <https://www.tfl.gov.uk/modes/tube/?cid=fs109>.
6. **Metro Nueva York.** <http://web.mta.info>. [En línea] <http://web.mta.info/nyct/subway/>.
7. **AENOR.** *Seguridad de escaleras mecánicas y andenes móviles.* Madrid : Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 58 Maquinaria de elevación y transporte cuya Secretaría desempeña FEM-AEM, Julio 2010. M34487:2010.
8. **Junta de Castilla y León.** Manual de eficiencia energética en aparatos elevadores. <http://www.energia.jcyl.es/>. [En línea] 1 de Mayo de 2012. <http://www.energia.jcyl.es/web/jcyl/Energia/es/Plantilla100DetalleFeed/1267710822752/Publicacion/1284219939987/Redaccion>.
9. **ThyssenKrupp Elevator.** *Catálogo de ventas TUGELA.* s.l. : Versión 1.00, Diciembre 2005. Serie 1.
10. **Kone.** *Manual MBM-2 de la escalera Kone (RTV/RTV-HD).* s.l. : Kone Corporation, 2006. ASG-51.01.004.
11. **Azcárraga, José María Merino.** *Convertidores de frecuencia para motores de corriente alterna, funcionamiento y aplicaciones.* s.l. : McGraw-Hill de electrotecnologías, 1998.
12. **Pires, Tiago Ruibal de Azevedo.** *Eficiencia energética del transporte vertical.* Janeiro : Facultad de ingeniería de la Universidad de Oporto, 2009.
13. **Fanox.** <http://www.fanox.com/es/>. [En línea] <http://www.fanox.com/es/products/pc-motores-y-generadores/rees-proteccion-motores/gl/>.

14. **AENOR.** *Eficiencia energética de los ascensores, escaleras mecánicas y andenes móviles.* Madrid : AENOR, Marzo 2013. M 8489:2013.
15. **Itron Soluciones de Medida España.** www.itron.com. [En línea] www.itron.es.
16. **AFNOR 25745-3.** *Cálculo de energía y clasificación de escaleras mecánicas y andenes móviles.* París - Francia : AFNOR, Noviembre 2013. N20140303-116716.
17. **S.A., Energit - Electrónica de potencia.** <http://www.energitsa.com.ar>. [En línea] 2014. http://www.energitsa.com.ar/cursos/Capitulo_07.pdf. C1427EFI - Argentina.
18. **Correa, Comisión negociadora del convenio - Presidente Jaime Montalvo.** Convenio colectivo 2009-2012 Metro de Madrid S.A. http://www.elpais.com/elpaismedia/ultimahora/media/201006/29/espana/20100629elpepunac_1_Pes_PDF.pdf. 2009.
19. **Jost, Conradin.** www.beuth.de. [En línea] www.vdi.de, Marzo de 2009. <http://www.beuth.de/en/technical-rule/vdi-4707-blatt-1/115808701>. VDI 4707 Blatt 1:2009-03.
20. **Jose Luis Montalvilla Martínez - Metro de Madrid.** *Manual de formación escaleras Thyssen FT-722, FT-732 y Avante.* Madrid : Metro de Madrid, 2013. Subdirección de organización y planificación laboral - Servicio de formación.
21. **Kone .** *Manual de mantenimiento E3C y E3H.* s.l. : Kone Corporation, 2003-11-21. AS-51.01.101.
22. **Paucar, Agustín Gutierrez.** *Teoría y análisis de máquinas eléctricas.* Lima - Perú : Uni-fiee, 2000. <http://fiee.uni.edu.pe/>.

ANEXO 1 – Thyssen Avante

Thyssen Avante - Pinar del rey 6 con variador

Datos generales	Parámetro	Ejemplo 1	Unidad
Estación		Pinar del Rey	
Nº escalera		6	
Fabricante		Thyssen	
Modelo		TNE2042	
Referencia		1150004968	
Nº esquema		0.55.1-3.0.0468.01	
Tecnología		OMRON CIMR-F7Z4022 22 kW	
Desnivel	H	8,11	m
Longitud	L	16,22	m
Ángulo de inclinación	α	30	grados
Dirección		Bajada	
Nº de viajeros	N	3651	personas
Peso medio viajero	m	75	kg
Ancho de peldaño	W	1000	mm
Velocidad nominal	v	0,65	m/s
Potencia nominal del motor	P	19,5	kW

Fecha de la observación	30/10/2013	
Tiempo de la observación	7,485	días

Tiempo consumiendo	t total	155,64	horas
Tiempo en standby	t standby	24	horas
Tiempo auto arranque	t auto arranque	0	horas
Tiempo velocidad nominal	t veloc. nom.	51,88	horas
Tiempo velocidad lenta	t veloc. Lenta	103,76	horas

Consumo de energía en standby	$E_{\text{standby}} = P_{\text{standby}} * t_{\text{standby}}$	$P_{\text{standby}} = 0,2$	4,8	kWh
Consumo de energía en auto arranque	$E_{\text{autoar.}} = P_{\text{autoar.}} * t_{\text{autoar.}}$	$P_{\text{autoar.}} = 0,3$	0	kWh
Consumo de energía velocidad normal	$E_{\text{veloc. norm.}} = P_{\text{veloc. Norm.}} * t_{\text{veloc. norm.}}$	$P_{\text{veloc. Norm.}} =$	330	kWh
Consumo de energía velocidad lenta	$E_{\text{veloc. Lent.}} = P_{\text{veloc. Lent.}} * t_{\text{veloc. Lent.}}$	$P_{\text{veloc. Lent.}} =$	0	kWh

Energía con carga:

Escaleras o rampas en dirección subida: $E_{\text{carga}} = N * m * g * H * 1 / (3600000 * \eta) * (1 + \mu / \text{tg} \alpha)$	valores por defecto $\eta = 0,75$ $\mu = 0,05$ $CF =$	8,00563510	kWh
Escaleras o rampas en dirección bajada: $E_{\text{carga}} = N * m * g * H * 0,75 * 0 / (3600000) * (-1 + \mu / \text{tg} \alpha)$	0	7	h
Pasillos $E_{\text{carga}} = N * m * g * L * \mu / (3600000 * \eta)$		0	h

Consumo de energía principal de una unidad sin contar con la energía auxiliar:

E principal subida	$E_{\text{princ. sub.}} = E_{\text{standby}} + E_{\text{aut. arran.}} + E_{\text{veloc. lent.}} + E_{\text{veloc. Norm.}} + E_{\text{carga}}$	342,8056351	kWh
E principal bajada	$E_{\text{princ. sub.}} = E_{\text{standby}} + E_{\text{aut. arran.}} + E_{\text{veloc. lent.}} + E_{\text{veloc. Norm.}} + E_{\text{carga}} (<0)$	334,8	kWh

Thyssen Avante – Pinar del rey 6 sin variador

Datos generales	Parámetro	Ejemplo 1	Unidad
Estación		Pinar del Rey	
Nº escalera		6	
Fabricante		Thyssen	
Modelo		TNE2042	
Referencia		1150004968	
Nº esquema		0.55.1-3.0.0468.01	
Tecnología		Estrella-Triángulo	
Desnivel	H	8,11	m
Longitud	L	16,22	m
Ángulo de inclinación	α	30	grados
Dirección		Bajada	
Nº de viajeros	N	3651	personas
Peso medio viajero	m	75	kg
Ancho de peldaño	W	1000	mm
Velocidad nominal	v	0,65	m/s
Potencia nominal del motor	P	19,5	kW

Fecha de la observación		15/11/2013	
Tiempo de la observación		6,68	días
Tiempo consumiendo	t total	140,41	horas
Tiempo en standby	t standby	20	horas
Tiempo auto arranque	t auto arranque	0	horas

Tiempo velocidad nominal	t veloc. nom.	46,80333333	horas
Tiempo velocidad lenta	t veloc. Lenta	93,60666667	horas

Consumo de energía en standby	$E \text{ standby} = P \text{ standby} * t \text{ standby}$	$P \text{ standby} = 0,2$	4	kWh
Consumo de energía en auto arranque	$E \text{ autoar.} = P \text{ autoar.} * t \text{ autoar.}$	$P \text{ autoar.} = 0,3$	0	kWh
Consumo de energía velocidad normal	$E \text{ veloc. norm.} = P \text{ veloc. Norm.} * t \text{ veloc.norm.}$	$P \text{ veloc. Norm.} =$	383	kWh
Consumo de energía velocidad lenta	$E \text{ veloc. Lent.} = P \text{ veloc. Lent.} * t \text{ veloc. Lent.}$	$P \text{ veloc. Lent.} =$	0	kWh

Energía con carga:

Escaleras o rampas en dirección subida: $E \text{ carga} = N * m * g * H * 1 / (3600000 * \eta) * (1 + \mu / \text{tg} \alpha)$	valores por defecto $\eta = 0,75 \mu = 0,05 \text{ CF} =$	8,00563510	kWh
Escaleras o rampas en dirección bajada: $E \text{ carga} = N * m * g * H * 0,75 * 0 / (3600000) * (-1 + \mu / \text{tg} \alpha)$	0	7	h
Pasillos $E \text{ carga} = N * m * g * L * \mu / (3600000 * \eta)$		0	h

Consumo de energía principal de una unidad sin contar con la energía auxiliar:

E principal subida	$E \text{ princ.sub.} = E \text{ standby} + E \text{ aut.arran.} + E \text{ veloc.lent.} + E \text{ veloc. Norm.} + E \text{ carga}$	395,0056351	kWh
E principal bajada	$E \text{ princ.sub.} = E \text{ standby} + E \text{ aut.arran.} + E \text{ veloc.lent.} + E \text{ veloc. Norm.} + E \text{ carga} (<0)$	387	kWh

Thyssen Avante – Pinar del rey 7 con variador

Datos generales	Parámetro	Ejemplo 1	Unidad
Estación		Pinar del Rey	
Nº escalera		7	
Fabricante		Thyssen	
Modelo		TNE2042	
Referencia		1150004968	
Nº esquema		0.55.1-3.0.0468.01	
Tecnología		OMRON CIMR-F7Z4022 22 kW	
Desnivel	H	8,11	m
Longitud	L	16,22	m
Ángulo de inclinación	α	30	grados
Dirección		Subida	
Nº de viajeros	N	3659	personas
Peso medio viajero	m	75	kg
Ancho de peldaño	W	1000	mm
Velocidad nominal	v	0,65	m/s
Potencia nominal del motor	P	19,5	kW

Fecha de la observación		30/10/2013	
Tiempo de la observación		7,36	días
Tiempo consumiendo	t total	152,64	horas
Tiempo en standby	t standby	24	horas
Tiempo auto arranque	t auto arranque	0	horas
Tiempo velocidad nominal	t veloc. nom.	50,88	horas
Tiempo velocidad lenta	t veloc. Lenta	101,76	horas

Consumo de energía en standby	$E_{\text{standby}} = P_{\text{standby}} * t_{\text{standby}}$	$P_{\text{standby}} = 0,2$	4,8	kWh
Consumo de energía en auto arranque	$E_{\text{autoar.}} = P_{\text{autoar.}} * t_{\text{autoar.}}$	$P_{\text{autoar.}} = 0,3$	0	kWh
Consumo de energía velocidad normal	$E_{\text{veloc. norm.}} = P_{\text{veloc. Norm.}} * t_{\text{veloc. norm.}}$	$P_{\text{veloc. Norm.}} =$	386	kWh
Consumo de energía velocidad lenta	$E_{\text{veloc. Lent.}} = P_{\text{veloc. Lent.}} * t_{\text{veloc. Lent.}}$	$P_{\text{veloc. Lent.}} =$	0	kWh

Energía con carga:

Escaleras o rampas en dirección subida: $E_{\text{carga}} = N * m * g * H * 1 / (3600000 * \eta) * (1 + \mu / \text{tg} \alpha)$	valores por defecto $\eta = 0,75$ $\mu = 0,05$ $CF =$	8,02317689	kW
Escaleras o rampas en dirección bajada: $E_{\text{carga}} = N * m * g * H * 0,75 * 0 / (3600000) * (-1 + \mu / \text{tg} \alpha)$		0	h
Pasillos $E_{\text{carga}} = N * m * g * L * \mu / (3600000 * \eta)$		0	h

Consumo de energía principal de una unidad sin contar con la energía auxiliar:

E principal subida	$E_{\text{princ. sub.}} = E_{\text{standby}} + E_{\text{aut. arran.}} + E_{\text{veloc. lent.}} + E_{\text{veloc. Norm.}} + E_{\text{carga}}$	398,8231769	kWh
E principal bajada	$E_{\text{princ. sub.}} = E_{\text{standby}} + E_{\text{aut. arran.}} + E_{\text{veloc. lent.}} + E_{\text{veloc. Norm.}} + E_{\text{carga}} (<0)$	390,8	kWh

Thyssen Avante – Pinar del rey 7 sin variador

Datos generales	Parámetro	Ejemplo 1	Unidad
Estación		Pinar del Rey	
Nº escalera		7	
Fabricante		Thyssen	
Modelo		TNE2042	
Referencia		1150004968	
Nº esquema		0.55.1-3.0.0468.01	
Tecnología		Estrella-Triángulo	
Desnivel	H	8,11	m
Longitud	L	16,22	m
Ángulo de inclinación	α	30	grados
Dirección		Subida	
Nº de viajeros	N	3659	personas
Peso medio viajero	m	75	kg
Ancho de peldaño	W	1000	mm
Velocidad nominal	v	0,65	m/s
Potencia nominal del motor	P	19,5	kW

Fecha de la observación		15/11/2013	
Tiempo de la observación		6,71	días
Tiempo consumiendo	t total	140,99	horas
Tiempo en standby	t standby	20	horas
Tiempo auto arranque	t auto arranque	0	horas
Tiempo velocidad nominal	t veloc. nom.	46,99666667	horas
Tiempo velocidad lenta	t veloc. Lenta	93,99333333	horas

Consumo de energía en standby	$E_{\text{standby}} = P_{\text{standby}} * t_{\text{standby}}$	$P_{\text{standby}} = 0,2$	4	kWh
Consumo de energía en auto arranque	$E_{\text{autoar.}} = P_{\text{autoar.}} * t_{\text{autoar.}}$	$P_{\text{autoar.}} = 0,3$	0	kWh
Consumo de energía velocidad normal	$E_{\text{veloc. norm.}} = P_{\text{veloc. Norm.}} * t_{\text{veloc. norm.}}$	$P_{\text{veloc. Norm.}} =$	541	kWh
Consumo de energía velocidad lenta	$E_{\text{veloc. Lent.}} = P_{\text{veloc. Lent.}} * t_{\text{veloc. Lent.}}$	$P_{\text{veloc. Lent.}} =$	0	kWh

Energía con carga:

Escaleras o rampas en dirección subida: $E_{\text{carga}} = N * m * g * H * 1 / (3600000 * \eta) * (1 + \mu / \text{tg} \alpha)$	valores por defecto $\eta = 0,75$ $\mu = 0,05$ $CF =$	8,02317689	kW
Escaleras o rampas en dirección bajada: $E_{\text{carga}} = N * m * g * H * 0,75 * 0 / (3600000) * (-1 + \mu / \text{tg} \alpha)$		0	h
Pasillos $E_{\text{carga}} = N * m * g * L * \mu / (3600000 * \eta)$		0	h

Consumo de energía principal de una unidad sin contar con la energía auxiliar:

E principal subida	$E_{\text{princ. sub.}} = E_{\text{standby}} + E_{\text{aut. arran.}} + E_{\text{veloc. lent.}} + E_{\text{veloc. Norm.}} + E_{\text{carga}}$	553,0231769	kWh
E principal bajada	$E_{\text{princ. sub.}} = E_{\text{standby}} + E_{\text{aut. arran.}} + E_{\text{veloc. lent.}} + E_{\text{veloc. Norm.}} + E_{\text{carga}} (<0)$	545	kWh

ANEXO 2 – Thyssen FT

Thyssen FT-722 – Barajas 2 con variador

Datos generales	Parámetro	Ejemplo 1	Unidad
Estación		Barajas	
Nº escalera		2	
Fabricante		Thyssen	
Modelo		FT-722	
Referencia			
Nº esquema		0.55.1.3.0335.02	
Tecnología		OMRON SYSDRIVE 3G3HV 15 KW	
Desnivel	H	7,14	m
Longitud	L	14,28	m
Ángulo de inclinación	α	30	grados
Dirección		Bajada	
Nº de viajeros	N	5296	personas
Peso medio viajero	m	75	kg
Ancho de peldaño	W	1000	mm
Velocidad nominal	v	0,65	m/s
Potencia nominal del motor	P	15	kW

Fecha de la observación		16/03/2014	
Tiempo de la observación		5,3925	días
Tiempo consumiendo	t total	109,42	horas
Tiempo en standby	t standby	20	horas
Tiempo auto arranque	t auto arranque	0	horas

Tiempo velocidad nominal	t veloc. nom.	36,47333333	horas
Tiempo velocidad lenta	t veloc. Lenta	72,94666667	horas

Consumo de energía en standby	$E \text{ standby} = P \text{ standby} * t \text{ standby}$	$P \text{ standby} = 0,2$	4	kWh
Consumo de energía en auto arranque	$E \text{ autoar.} = P \text{ autoar.} * t \text{ autoar.}$	$P \text{ autoar.} = 0,3$	0	kWh
Consumo de energía velocidad normal	$E \text{ veloc. norm.} = P \text{ veloc. Norm.} * t \text{ veloc.norm.}$	$P \text{ veloc. Norm.} =$	253	kWh
Consumo de energía velocidad lenta	$E \text{ veloc. Lent.} = P \text{ veloc. Lent.} * t \text{ veloc. Lent.}$	$P \text{ veloc. Lent.} =$	0	kWh

Energía con carga:

Escaleras o rampas en dirección subida: $E \text{ carga} = N * m * g * H * 1 / (3600000 * \eta) * (1 + \mu / \text{tg} \alpha)$	valores por defecto $\eta = 0,75$ $\mu = 0,05$ $CF =$	10,2237281	kWh
Escaleras o rampas en dirección bajada: $E \text{ carga} = N * m * g * H * 0,75 * 0 / (3600000) * (-1 + \mu / \text{tg} \alpha)$	0	3	h
Pasillos $E \text{ carga} = N * m * g * L * \mu / (3600000 * \eta)$		0	h

Consumo de energía principal de una unidad sin contar con la energía auxiliar:

E principal subida	$E \text{ princ.sub.} = E \text{ standby} + E \text{ aut.arran.} + E \text{ veloc.lent.} + E \text{ veloc. Norm.} + E \text{ carga}$	267,2237281	kWh
E principal bajada	$E \text{ princ.sub.} = E \text{ standby} + E \text{ aut.arran.} + E \text{ veloc.lent.} + E \text{ veloc. Norm.} + E \text{ carga} (<0)$	257	kWh

Thyssen FT-722 – Barajas 2 sin variador

Datos generales	Parámetro	Ejemplo 1	Unidad
Estación		Barajas	
Nº escalera		2	
Fabricante		Thyssen	
Modelo		FT-722	
Referencia			
Nº esquema		0.55.1.3.0335.02	
Tecnología		Estrella-Triángulo	
Desnivel	H	7,14	m
Longitud	L	14,28	m
Ángulo de inclinación	α	30	grados
Dirección		Bajada	
Nº de viajeros	N	5296	personas
Peso medio viajero	m	75	kg
Ancho de peldaño	W	1000	mm
Velocidad nominal	v	0,65	m/s
Potencia nominal del motor	P	15	kW

Fecha de la observación		16/03/2014	
Tiempo de la observación		7,433333333	días
Tiempo consumiendo	t total	154,4	horas
Tiempo en standby	t standby	24	horas
Tiempo auto arranque	t auto arranque	0	horas
Tiempo velocidad nominal	t veloc. nom.	51,46666667	horas
Tiempo velocidad lenta	t veloc. Lenta	102,9333333	horas

Consumo de energía en standby	$E_{\text{standby}} = P_{\text{standby}} * t_{\text{standby}}$	$P_{\text{standby}} = 0,2$	4,8	kWh
Consumo de energía en auto arranque	$E_{\text{autoar.}} = P_{\text{autoar.}} * t_{\text{autoar.}}$	$P_{\text{autoar.}} = 0,3$	0	kWh
Consumo de energía velocidad normal	$E_{\text{veloc. norm.}} = P_{\text{veloc. Norm.}} * t_{\text{veloc. norm.}}$	$P_{\text{veloc. Norm.}} =$	439	kWh
Consumo de energía velocidad lenta	$E_{\text{veloc. Lent.}} = P_{\text{veloc. Lent.}} * t_{\text{veloc. Lent.}}$	$P_{\text{veloc. Lent.}} =$	0	kWh

Energía con carga:

		valores por defecto $\eta = 0,75$ $\mu = 0,05$ $CF = 10,2237281$		kW
Escaleras o rampas en dirección subida:	$E_{\text{carga}} = N * m * g * H * 1 / (3600000 * \eta) * (1 + \mu / \text{tg} \alpha)$	0	3	h
Escaleras o rampas en dirección bajada:	$E_{\text{carga}} = N * m * g * H * 0,75 * 0 / (3600000) * (-1 + \mu / \text{tg} \alpha)$		0	h
Pasillos $E_{\text{carga}} = N * m * g * L * \mu / (3600000 * \eta)$				

Consumo de energía principal de una unidad sin contar con la energía auxiliar:

E principal subida	$E_{\text{princ. sub.}} = E_{\text{standby}} + E_{\text{aut. arran.}} + E_{\text{veloc. lent.}} + E_{\text{veloc. Norm.}} + E_{\text{carga}}$	454,0237281	kWh
E principal bajada	$E_{\text{princ. sub.}} = E_{\text{standby}} + E_{\text{aut. arran.}} + E_{\text{veloc. lent.}} + E_{\text{veloc. Norm.}} + E_{\text{carga}} (<0)$	443,8	kWh

Thyssen FT-722 – Esperanza 3 con variador

Datos generales	Parámetro	Ejemplo 1	Unidad
Estación		Esperanza	
Nº escalera		3	
Fabricante		Thyssen	
Modelo		FT-722	
Referencia			
Nº esquema		0.55.1.3.0335.02	
Tecnología		OMRON SYSDRIVE 3G3FV 11 kW	
Desnivel	H	8,65	m
Longitud	L	17,3	m
Ángulo de inclinación	α	30	grados
Dirección		Subida	
Nº de viajeros	N	3871	personas
Peso medio viajero	m	75	kg
Ancho de peldaño	W	1000	mm
Velocidad nominal	v	0,65	m/s
Potencia nominal del motor	P	18	kW

Fecha de la observación		16/03/2014	
Tiempo de la observación		7,245416667	días
Tiempo consumiendo	t total	149,89	horas
Tiempo en standby	t standby	24	horas
Tiempo auto arranque	t auto arranque	0	horas
Tiempo velocidad nominal	t veloc. nom.	49,96333333	horas
Tiempo velocidad lenta	t veloc. Lenta	99,92666667	horas

Consumo de energía en standby	$E_{\text{standby}} = P_{\text{standby}} * t_{\text{standby}}$	$P_{\text{standby}} = 0,2$	4,8	kWh
Consumo de energía en auto arranque	$E_{\text{autoar.}} = P_{\text{autoar.}} * t_{\text{autoar.}}$	$P_{\text{autoar.}} = 0,3$	0	kWh
Consumo de energía velocidad normal	$E_{\text{veloc. norm.}} = P_{\text{veloc. Norm.}} * t_{\text{veloc. norm.}}$	$P_{\text{veloc. Norm.}} =$	212	kWh
Consumo de energía velocidad lenta	$E_{\text{veloc. Lent.}} = P_{\text{veloc. Lent.}} * t_{\text{veloc. Lent.}}$	$P_{\text{veloc. Lent.}} =$	0	kWh

Energía con carga:

Escaleras o rampas en dirección subida: $E_{\text{carga}} = N * m * g * H * 1 / (3600000 * \eta) * (1 + \mu / \text{tg} \alpha)$	valores por defecto $\eta = 0,75$ $\mu = 0,05$ $CF = 9,05320558$	0	9	kWh
Escaleras o rampas en dirección bajada: $E_{\text{carga}} = N * m * g * H * 0,75 * 0 / (3600000) * (1 - \mu / \text{tg} \alpha)$			0	kWh
Pasillos $E_{\text{carga}} = N * m * g * L * \mu / (3600000 * \eta)$				

Consumo de energía principal de una unidad sin contar con la energía auxiliar:

E principal subida	$E_{\text{princ. sub.}} = E_{\text{standby}} + E_{\text{aut. arran.}} + E_{\text{veloc. lent.}} + E_{\text{veloc. Norm.}} + E_{\text{carga}}$	225,8532056	kWh
E principal bajada	$E_{\text{princ. sub.}} = E_{\text{standby}} + E_{\text{aut. arran.}} + E_{\text{veloc. lent.}} + E_{\text{veloc. Norm.}} + E_{\text{carga}} (<0)$	216,8	kWh

Thyssen FT-722 – Esperanza 3 sin variador

Datos generales	Parámetro	Ejemplo 1	Unidad
Estación		Esperanza	
Nº escalera		3	
Fabricante		Thyssen	
Modelo		FT-722	
Referencia			
Nº esquema		0.55.1.3.0335.02	
Tecnología		Estrella-Triángulo	
Desnivel	H	8,65	m
Longitud	L	17,3	m
Ángulo de inclinación	α	30	grados
Dirección		Subida	
Nº de viajeros	N	3871	personas
Peso medio viajero	m	75	kg
Ancho de peldaño	W	1000	mm
Velocidad nominal	v	0,65	m/s
Potencia nominal del motor	P	18	kW

Fecha de la observación		16/03/2014	
Tiempo de la observación		6,16625	días
Tiempo consumiendo	t total	127,99	horas
Tiempo en standby	t standby	20	horas
Tiempo auto arranque	t auto arranque	0	horas
Tiempo velocidad nominal	t veloc. nom.	42,66333333	horas
Tiempo velocidad lenta	t veloc. Lenta	85,32666667	horas

Consumo de energía en standby	$E_{\text{standby}} = P_{\text{standby}} * t_{\text{standby}}$	$P_{\text{standby}} = 0,2$	4	kWh
Consumo de energía en auto arranque	$E_{\text{autoar.}} = P_{\text{autoar.}} * t_{\text{autoar.}}$	$P_{\text{autoar.}} = 0,3$	0	kWh
Consumo de energía velocidad normal	$E_{\text{veloc. norm.}} = P_{\text{veloc. Norm.}} * t_{\text{veloc. norm.}}$	$P_{\text{veloc. Norm.}} =$	256	kWh
Consumo de energía velocidad lenta	$E_{\text{veloc. Lent.}} = P_{\text{veloc. Lent.}} * t_{\text{veloc. Lent.}}$	$P_{\text{veloc. Lent.}} =$	0	kWh

Energía con carga:

		valores por defecto $\eta = 0,75$ $\mu = 0,05$ $CF = 9,05320558$		
Escaleras o rampas en dirección subida:	$E_{\text{carga}} = N * m * g * H * 1 / (3600000 * \eta) * (1 + \mu / \text{tg} \alpha)$	0	9	kWh
Escaleras o rampas en dirección bajada:	$E_{\text{carga}} = N * m * g * H * 0,75 * 0 / (3600000) * (1 - \mu / \text{tg} \alpha)$		0	kWh
Pasillos $E_{\text{carga}} = N * m * g * L * \mu / (3600000 * \eta)$				

Consumo de energía principal de una unidad sin contar con la energía auxiliar:

E principal subida	$E_{\text{princ. sub.}} = E_{\text{standby}} + E_{\text{aut. arran.}} + E_{\text{veloc. lent.}} + E_{\text{veloc. Norm.}} + E_{\text{carga}}$	269,0532056	kWh
E principal bajada	$E_{\text{princ. sub.}} = E_{\text{standby}} + E_{\text{aut. arran.}} + E_{\text{veloc. lent.}} + E_{\text{veloc. Norm.}} + E_{\text{carga}} (<0)$	260	kWh

ANEXO 3 – Thyssen Tugela

Thyssen Tugela – Canillejas 8 con variador

Datos generales	Parámetro	Ejemplo 1	Unidad
Estación		Canillejas	
Nº escalera		8	
Fabricante		Thyssen	
Modelo		Tugela	
Referencia			
Nº esquema		0.55.1.3.0487.01	
Tecnología		OMRON CIMR-F7Z4022 22 kW	
Desnivel	H	7,498	m
Longitud	L	14,996	m
Ángulo de inclinación	α	30	grados
Dirección		Bajada	
Nº de viajeros	N	4742	personas
Peso medio viajero	m	75	kg
Ancho de peldaño	W	1000	mm
Velocidad nominal	v	0,65	m/s
Potencia nominal del motor	P	19	kW

Fecha de la observación		06/04/2014	
Tiempo de la observación		7,51	días
Tiempo consumiendo	t total	156,26	horas
Tiempo en standby	t standby	24	horas
Tiempo auto arranque	t auto arranque	0	horas

Tiempo velocidad nominal	t veloc. nom.	52,08666667	horas
Tiempo velocidad lenta	t veloc. Lenta	104,17333333	horas

Consumo de energía en standby	$E \text{ standby} = P \text{ standby} * t \text{ standby}$	$P \text{ standby} = 0,2$	4,8	kWh
Consumo de energía en auto arranque	$E \text{ autoar.} = P \text{ autoar.} * t \text{ autoar.}$	$P \text{ autoar.} = 0,3$	0	kWh
Consumo de energía velocidad normal	$E \text{ veloc. norm.} = P \text{ veloc. Norm.} * t \text{ veloc. norm.}$	$P \text{ veloc. Norm.} =$	225	kWh
Consumo de energía velocidad lenta	$E \text{ veloc. Lent.} = P \text{ veloc. Lent.} * t \text{ veloc. Lent.}$	$P \text{ veloc. Lent.} =$	0	kWh

Energía con carga:

Escaleras o rampas en dirección subida: $E \text{ carga} = N * m * g * H * 1 / (3600000 * \eta) * (1 + \mu / \text{tg} \alpha)$	valores por defecto $\eta = 0,75$ $\mu = 0,05$ $CF =$	9,61324675	kWh
Escaleras o rampas en dirección bajada: $E \text{ carga} = N * m * g * H * 0,75 * 0 / (3600000) * (-1 + \mu / \text{tg} \alpha)$	0	1	h
Pasillos $E \text{ carga} = N * m * g * L * \mu / (3600000 * \eta)$		0	h

Consumo de energía principal de una unidad sin contar con la energía auxiliar:

E principal subida	$E \text{ princ. sub.} = E \text{ standby} + E \text{ aut. arran.} + E \text{ veloc. lent.} + E \text{ veloc. Norm.} + E \text{ carga}$	239,4132468	kWh
E principal bajada	$E \text{ princ. sub.} = E \text{ standby} + E \text{ aut. arran.} + E \text{ veloc. lent.} + E \text{ veloc. Norm.} + E \text{ carga} (<0)$	229,8	kWh

Thyssen Tugela – Canillejas 8 sin variador

Datos generales	Parámetro	Ejemplo 1	Unidad
Estación		Canillejas	
Nº escalera		8	
Fabricante		Thyssen	
Modelo		Tugela	
Referencia			
Nº esquema		0.55.1.3.0487.01	
Tecnología		Estrella-Triángulo	
Desnivel	H	7,498	m
Longitud	L	14,996	m
Ángulo de inclinación	α	30	grados
Dirección		Bajada	
Nº de viajeros	N	4742	personas
Peso medio viajero	m	75	kg
Ancho de peldaño	W	1000	mm
Velocidad nominal	v	0,65	m/s
Potencia nominal del motor	P	19	kW

Fecha de la observación		06/04/2014	
Tiempo de la observación		6,71	días
Tiempo consumiendo	t total	136,95	horas
Tiempo en standby	t standby	24	horas
Tiempo auto arranque	t auto arranque	0	horas
Tiempo velocidad nominal	t veloc. nom.	45,65	horas
Tiempo velocidad lenta	t veloc. Lenta	91,3	horas

Consumo de energía en standby	$E_{\text{standby}} = P_{\text{standby}} * t_{\text{standby}}$	$P_{\text{standby}} = 0,2$	4,8	kWh
Consumo de energía en auto arranque	$E_{\text{autoar.}} = P_{\text{autoar.}} * t_{\text{autoar.}}$	$P_{\text{autoar.}} = 0,3$	0	kWh
Consumo de energía velocidad normal	$E_{\text{veloc. norm.}} = P_{\text{veloc. Norm.}} * t_{\text{veloc. norm.}}$	$P_{\text{veloc. Norm.}} =$	268	kWh
Consumo de energía velocidad lenta	$E_{\text{veloc. Lent.}} = P_{\text{veloc. Lent.}} * t_{\text{veloc. Lent.}}$	$P_{\text{veloc. Lent.}} =$	0	kWh

Energía con carga:

Escaleras o rampas en dirección subida: $E_{\text{carga}} = N * m * g * H * 1 / (3600000 * \eta) * (1 + \mu / \text{tg} \alpha)$	valores por defecto $\eta = 0,75$ $\mu = 0,05$ $CF =$	9,61324675	kW
Escaleras o rampas en dirección bajada: $E_{\text{carga}} = N * m * g * H * 0,75 * 0 / (3600000) * (-1 + \mu / \text{tg} \alpha)$		0	h
Pasillos $E_{\text{carga}} = N * m * g * L * \mu / (3600000 * \eta)$		1	kW
		0	h

Consumo de energía principal de una unidad sin contar con la energía auxiliar:

E principal subida	$E_{\text{princ. sub.}} = E_{\text{standby}} + E_{\text{aut. arran.}} + E_{\text{veloc. lent.}} + E_{\text{veloc. Norm.}} + E_{\text{carga}}$	282,4132468	kWh
E principal bajada	$E_{\text{princ. sub.}} = E_{\text{standby}} + E_{\text{aut. arran.}} + E_{\text{veloc. lent.}} + E_{\text{veloc. Norm.}} + E_{\text{carga}} (<0)$	272,8	kWh

Thyssen Tugela – Canillejas 7 con variador

Datos generales	Parámetro	Ejemplo 1	Unidad
Estación		Canillejas	
Nº escalera		7	
Fabricante		Thyssen	
Modelo		Tugela	
Referencia			
Nº esquema		0.55.1.3.0487.01	
Tecnología		OMRON CIMR-F7Z4022 22 kW	
Desnivel	H	7,498	m
Longitud	L	14,996	m
Ángulo de inclinación	α	30	grados
Dirección		Subida	
Nº de viajeros	N	4142	personas
Peso medio viajero	m	75	kg
Ancho de peldaño	W	1000	mm
Velocidad nominal	v	0,65	m/s
Potencia nominal del motor	P	19	kW

Fecha de la observación		06/04/2014	
Tiempo de la observación		7,77	días
Tiempo consumiendo	t total	162,47	horas
Tiempo en standby	t standby	24	horas
Tiempo auto arranque	t auto arranque	0	horas
Tiempo velocidad nominal	t veloc. nom.	54,15666667	horas
Tiempo velocidad lenta	t veloc. Lenta	108,3133333	horas

Consumo de energía en standby	$E_{\text{standby}} = P_{\text{standby}} * t_{\text{standby}}$	$P_{\text{standby}} = 0,2$	4,8	kWh
Consumo de energía en auto arranque	$E_{\text{autoar.}} = P_{\text{autoar.}} * t_{\text{autoar.}}$	$P_{\text{autoar.}} = 0,3$	0	kWh
Consumo de energía velocidad normal	$E_{\text{veloc. norm.}} = P_{\text{veloc. Norm.}} * t_{\text{veloc. norm.}}$	$P_{\text{veloc. Norm.}} =$	410	kWh
Consumo de energía velocidad lenta	$E_{\text{veloc. Lent.}} = P_{\text{veloc. Lent.}} * t_{\text{veloc. Lent.}}$	$P_{\text{veloc. Lent.}} =$	0	kWh

Energía con carga:

Escaleras o rampas en dirección subida: $E_{\text{carga}} = N * m * g * H * 1 / (3600000 * \eta) * (1 + \mu / \text{tg} \alpha)$	valores por defecto $\eta = 0,75$ $\mu = 0,05$ $CF =$	8,39689330	kW
Escaleras o rampas en dirección bajada: $E_{\text{carga}} = N * m * g * H * 0,75 * 0 / (3600000) * (-1 + \mu / \text{tg} \alpha)$		0	h
Pasillos $E_{\text{carga}} = N * m * g * L * \mu / (3600000 * \eta)$		3	kW
		0	h

Consumo de energía principal de una unidad sin contar con la energía auxiliar:

E principal subida	$E_{\text{princ. sub.}} = E_{\text{standby}} + E_{\text{aut. arran.}} + E_{\text{veloc. lent.}} + E_{\text{veloc. Norm.}} + E_{\text{carga}}$	423,1968933	kWh
E principal bajada	$E_{\text{princ. sub.}} = E_{\text{standby}} + E_{\text{aut. arran.}} + E_{\text{veloc. lent.}} + E_{\text{veloc. Norm.}} + E_{\text{carga}} (<0)$	414,8	kWh

Thyssen Tugela – Canillejas 7 sin variador

Datos generales	Parámetro	Ejemplo 1	Unidad
Estación		Canillejas	
Nº escalera		7	
Fabricante		Thyssen	
Modelo		Tugela	
Referencia			
Nº esquema		0.55.1.3.0487.01	
Tecnología		Estrella-Triángulo	
Desnivel	H	7,498	m
Longitud	L	14,996	m
Ángulo de inclinación	α	30	grados
Dirección		Subida	
Nº de viajeros	N	4142	personas
Peso medio viajero	m	75	kg
Ancho de peldaño	W	1000	mm
Velocidad nominal	v	0,65	m/s
Potencia nominal del motor	P	19	kW

Fecha de la observación		06/04/2014	
Tiempo de la observación		6,68	días
Tiempo consumiendo	t total	140,22	horas
Tiempo en standby	t standby	20	horas
Tiempo auto arranque	t auto arranque	0	horas
Tiempo velocidad nominal	t veloc. nom.	46,74	horas
Tiempo velocidad lenta	t veloc. Lenta	93,48	horas

Consumo de energía en standby	$E_{\text{standby}} = P_{\text{standby}} * t_{\text{standby}}$	$P_{\text{standby}} = 0,2$	4	kWh
Consumo de energía en auto arranque	$E_{\text{autoar.}} = P_{\text{autoar.}} * t_{\text{autoar.}}$	$P_{\text{autoar.}} = 0,3$	0	kWh
Consumo de energía velocidad normal	$E_{\text{veloc. norm.}} = P_{\text{veloc. Norm.}} * t_{\text{veloc. norm.}}$	$P_{\text{veloc. Norm.}} =$	451	kWh
Consumo de energía velocidad lenta	$E_{\text{veloc. Lent.}} = P_{\text{veloc. Lent.}} * t_{\text{veloc. Lent.}}$	$P_{\text{veloc. Lent.}} =$	0	kWh

Energía con carga:

Escaleras o rampas en dirección subida: $E_{\text{carga}} = N * m * g * H * 1 / (3600000 * \eta) * (1 + \mu / \text{tg} \alpha)$	valores por defecto $\eta = 0,75$ $\mu = 0,05$ $CF =$	8,39689330	kW
Escaleras o rampas en dirección bajada: $E_{\text{carga}} = N * m * g * H * 0,75 * 0 / (3600000) * (-1 + \mu / \text{tg} \alpha)$		0	h
Pasillos $E_{\text{carga}} = N * m * g * L * \mu / (3600000 * \eta)$		3	kW
		0	h

Consumo de energía principal de una unidad sin contar con la energía auxiliar:

E principal subida	$E_{\text{princ. sub.}} = E_{\text{standby}} + E_{\text{aut. arran.}} + E_{\text{veloc. lent.}} + E_{\text{veloc. Norm.}} + E_{\text{carga}}$	463,3968933	kWh
E principal bajada	$E_{\text{princ. sub.}} = E_{\text{standby}} + E_{\text{aut. arran.}} + E_{\text{veloc. lent.}} + E_{\text{veloc. Norm.}} + E_{\text{carga}} (<0)$	455	kWh

ANEXO 4 – Kone RTV

Kone RTV – Cuatro vientos 6 con variador

Datos generales	Parámetro	Ejemplo 1	Unidad
Estación		Cuatro Vientos	
Nº escalera		6	
Fabricante		Kone	
Modelo		RTV	
Referencia		227799EA	
Nº esquema			
Tecnología		KEB COMBIVERT 18,5 kW	
Desnivel	H	6,93	m
Longitud	L	13,86	m
Ángulo de inclinación	α	30	grados
Dirección		Bajada	
Nº de viajeros	N	3342	personas
Peso medio viajero	m	75	kg
Ancho de peldaño	W	1000	mm
Velocidad nominal	v	0,65	m/s
Potencia nominal del motor	P	17	kW

Fecha de la observación		02/02/2014	
Tiempo de la observación		3,68125	días
Tiempo consumiendo	t total	76,35	horas
Tiempo en standby	t standby	12	horas
Tiempo auto arranque	t auto arranque	0	horas

Tiempo velocidad nominal	t veloc. nom.	25,45	horas
Tiempo velocidad lenta	t veloc. Lenta	50,9	horas

Consumo de energía en standby	$E \text{ standby} = P \text{ standby} * t \text{ standby}$	$P \text{ standby} = 0,2$	2,4	kWh
Consumo de energía en auto arranque	$E \text{ autoar.} = P \text{ autoar.} * t \text{ autoar.}$	$P \text{ autoar.} = 0,3$	0	kWh
Consumo de energía velocidad normal	$E \text{ veloc. norm.} = P \text{ veloc. Norm.} * t \text{ veloc.norm.}$	$P \text{ veloc. Norm.} =$	135	kWh
Consumo de energía velocidad lenta	$E \text{ veloc. Lent.} = P \text{ veloc. Lent.} * t \text{ veloc. Lent.}$	$P \text{ veloc. Lent.} =$	0	kWh

Energía con carga:

Escaleras o rampas en dirección subida: $E \text{ carga} = N * m * g * H * 1 / (3600000 * \eta) * (1 + \mu / \text{tg} \alpha)$	valores por defecto $\eta = 0,75$ $\mu = 0,05$ $CF =$	6,26185179	kW
Escaleras o rampas en dirección bajada: $E \text{ carga} = N * m * g * H * 0,75 * 0 / (3600000) * (-1 + \mu / \text{tg} \alpha)$	0	1	h
Pasillos $E \text{ carga} = N * m * g * L * \mu / (3600000 * \eta)$		0	h

Consumo de energía principal de una unidad sin contar con la energía auxiliar:

E principal subida	$E_{\text{princ.sub.}} = E \text{ standby} + E \text{ aut.arran.} + E \text{ veloc.lent.} + E \text{ veloc. Norm.} + E \text{ carga}$	143,6618518	kWh
E principal bajada	$E_{\text{princ.sub.}} = E \text{ standby} + E \text{ aut.arran.} + E \text{ veloc.lent.} + E \text{ veloc. Norm.} + E \text{ carga} (<0)$	137,4	kWh

Kone RTV – Cuatro vientos 6 sin variador

Datos generales	Parámetro	Ejemplo 1	Unidad
Estación		Cuatro Vientos	
Nº escalera		6	
Fabricante		Kone	
Modelo		RTV	
Referencia		227799EA	
Nº esquema		4021150	
Tecnología		Estrella-Triángulo	
Desnivel	H	6,93	m
Longitud	L	13,86	m
Ángulo de inclinación	α	30	grados
Dirección		Bajada	
Nº de viajeros	N	3342	personas
Peso medio viajero	m	75	kg
Ancho de peldaño	W	1000	mm
Velocidad nominal	v	0,65	m/s
Potencia nominal del motor	P	17	kW

Fecha de la observación		02/02/2014	
Tiempo de la observación		4,79375	días
Tiempo consumiendo	t total	99,05	horas
Tiempo en standby	t standby	16	horas
Tiempo auto arranque	t auto arranque	0	horas
Tiempo velocidad nominal	t veloc. nom.	33,01666667	horas
Tiempo velocidad lenta	t veloc. Lenta	66,03333333	horas

Consumo de energía en standby	$E_{\text{standby}} = P_{\text{standby}} * t_{\text{standby}}$	$P_{\text{standby}} = 0,2$	3,2	kWh
Consumo de energía en auto arranque	$E_{\text{autoar.}} = P_{\text{autoar.}} * t_{\text{autoar.}}$	$P_{\text{autoar.}} = 0,3$	0	kWh
Consumo de energía velocidad normal	$E_{\text{veloc. norm.}} = P_{\text{veloc. Norm.}} * t_{\text{veloc. norm.}}$	$P_{\text{veloc. Norm.}} =$	260	kWh
Consumo de energía velocidad lenta	$E_{\text{veloc. Lent.}} = P_{\text{veloc. Lent.}} * t_{\text{veloc. Lent.}}$	$P_{\text{veloc. Lent.}} =$	0	kWh

Energía con carga:

Escaleras o rampas en dirección subida: $E_{\text{carga}} = N * m * g * H * 1 / (3600000 * \eta) * (1 + \mu / \text{tg} \alpha)$	valores por defecto $\eta = 0,75$ $\mu = 0,05$ $CF =$	6,26185179	kW
Escaleras o rampas en dirección bajada: $E_{\text{carga}} = N * m * g * H * 0,75 * 0 / (3600000) * (-1 + \mu / \text{tg} \alpha)$		0	h
Pasillos $E_{\text{carga}} = N * m * g * L * \mu / (3600000 * \eta)$		1	kW
		0	h

Consumo de energía principal de una unidad sin contar con la energía auxiliar:

E principal subida	$E_{\text{princ. sub.}} = E_{\text{standby}} + E_{\text{aut. arran.}} + E_{\text{veloc. lent.}} + E_{\text{veloc. Norm.}} + E_{\text{carga}}$	269,4618518	kWh
E principal bajada	$E_{\text{princ. sub.}} = E_{\text{standby}} + E_{\text{aut. arran.}} + E_{\text{veloc. lent.}} + E_{\text{veloc. Norm.}} + E_{\text{carga}} (<0)$	263,2	kWh

Kone RTV – Puerta del sur 5 con variador

Datos generales	Parámetro	Ejemplo 1	Unidad
Estación		Puerta del Sur	
Nº escalera		5	
Fabricante		Kone	
Modelo		RTV	
Referencia		227799EA	
Nº esquema			
Tecnología		KEB COMBIVERT 22 kW	
Desnivel	H	7,99	m
Longitud	L	15,98	m
Ángulo de inclinación	α	30	grados
Dirección		Subida	
Nº de viajeros	N	3871	personas
Peso medio viajero	m	75	kg
Ancho de peldaño	W	1000	mm
Velocidad nominal	v	0,65	m/s
Potencia nominal del motor	P	2x10	kW

Fecha de la observación		02/02/2014	
Tiempo de la observación		3,929583333	días
Tiempo consumiendo	t total	82,31	horas
Tiempo en standby	t standby	12	horas
Tiempo auto arranque	t auto arranque	0	horas
Tiempo velocidad nominal	t veloc. nom.	27,43666667	horas
Tiempo velocidad lenta	t veloc. Lenta	54,87333333	horas

Consumo de energía en standby	$E_{\text{standby}} = P_{\text{standby}} * t_{\text{standby}}$	$P_{\text{standby}} = 0,2$	2,4	kWh
Consumo de energía en auto arranque	$E_{\text{autoar.}} = P_{\text{autoar.}} * t_{\text{autoar.}}$	$P_{\text{autoar.}} = 0,3$	0	kWh
Consumo de energía velocidad normal	$E_{\text{veloc. norm.}} = P_{\text{veloc. Norm.}} * t_{\text{veloc. norm.}}$	$P_{\text{veloc. Norm.}} =$	298	kWh
Consumo de energía velocidad lenta	$E_{\text{veloc. Lent.}} = P_{\text{veloc. Lent.}} * t_{\text{veloc. Lent.}}$	$P_{\text{veloc. Lent.}} =$	0	kWh

Energía con carga:

Escaleras o rampas en dirección subida:	$E_{\text{carga}} = N * m * g * H * 1 / (3600000 * \eta) * (1 + \mu / \text{tg} \alpha)$	valores por defecto $\eta = 0,75$ $\mu = 0,05$ $CF = 0$	8,36244077	kWh
Escaleras o rampas en dirección bajada:	$E_{\text{carga}} = N * m * g * H * 0,75 * 0 / (3600000) * (-1 + \mu / \text{tg} \alpha)$		0	kWh
Pasillos $E_{\text{carga}} = N * m * g * L * \mu / (3600000 * \eta)$				

Consumo de energía principal de una unidad sin contar con la energía auxiliar:

E principal subida	$E_{\text{princ. sub.}} = E_{\text{standby}} + E_{\text{aut. arran.}} + E_{\text{veloc. lent.}} + E_{\text{veloc. Norm.}} + E_{\text{carga}}$	308,7624408	kWh
E principal bajada	$E_{\text{princ. sub.}} = E_{\text{standby}} + E_{\text{aut. arran.}} + E_{\text{veloc. lent.}} + E_{\text{veloc. Norm.}} + E_{\text{carga}} (<0)$	300,4	kWh

Kone RTV – Puerta del sur 5 sin variador

Datos generales	Parámetro	Ejemplo 1	Unidad
Estación		Puerta del Sur	
Nº escalera		5	
Fabricante		Kone	
Modelo		RTV	
Referencia		227799EA	
Nº esquema			
Tecnología		Estrella-Triángulo	
Desnivel	H	7,99	m
Longitud	L	15,98	m
Ángulo de inclinación	α	30	grados
Dirección		Subida	
Nº de viajeros	N	3871	personas
Peso medio viajero	m	75	kg
Ancho de peldaño	W	1000	mm
Velocidad nominal	v	0,65	m/s
Potencia nominal del motor	P	2x10	kW

Fecha de la observación		02/02/2014	
Tiempo de la observación		6,033333333	días
Tiempo consumiendo	t total	124,8	horas
Tiempo en standby	t standby	20	horas
Tiempo auto arranque	t auto arranque	0	horas
Tiempo velocidad nominal	t veloc. nom.	41,6	horas
Tiempo velocidad lenta	t veloc. Lenta	83,2	horas

Consumo de energía en standby	$E_{\text{standby}} = P_{\text{standby}} * t_{\text{standby}}$	$P_{\text{standby}} = 0,2$	4	kWh
Consumo de energía en auto arranque	$E_{\text{autoar.}} = P_{\text{autoar.}} * t_{\text{autoar.}}$	$P_{\text{autoar.}} = 0,3$	0	kWh
Consumo de energía velocidad normal	$E_{\text{veloc. norm.}} = P_{\text{veloc. Norm.}} * t_{\text{veloc. norm.}}$	$P_{\text{veloc. Norm.}} =$	499	kWh
Consumo de energía velocidad lenta	$E_{\text{veloc. Lent.}} = P_{\text{veloc. Lent.}} * t_{\text{veloc. Lent.}}$	$P_{\text{veloc. Lent.}} =$	0	kWh

Energía con carga:

Escaleras o rampas en dirección subida:	$E_{\text{carga}} = N * m * g * H * 1 / (3600000 * \eta) * (1 + \mu / \text{tg} \alpha)$	valores por defecto $\eta = 0,75$ $\mu = 0,05$ $CF = 0$	8,36244077	kWh
Escaleras o rampas en dirección bajada:	$E_{\text{carga}} = N * m * g * H * 0,75 * 0 / (3600000) * (-1 + \mu / \text{tg} \alpha)$		0	kWh
Pasillos $E_{\text{carga}} = N * m * g * L * \mu / (3600000 * \eta)$				

Consumo de energía principal de una unidad sin contar con la energía auxiliar:

E principal subida	$E_{\text{princ. sub.}} = E_{\text{standby}} + E_{\text{aut. arran.}} + E_{\text{veloc. lent.}} + E_{\text{veloc. Norm.}} + E_{\text{carga}}$	511,3624408	kWh
E principal bajada	$E_{\text{princ. sub.}} = E_{\text{standby}} + E_{\text{aut. arran.}} + E_{\text{veloc. lent.}} + E_{\text{veloc. Norm.}} + E_{\text{carga}} (<0)$	503	kWh

ANEXO 5 – Kone Eco3000

Kone Eco3000 – Estrella 7 con variador

Datos generales	Parámetro	Ejemplo 1	Unidad
Estación		Estrella	
Nº escalera		7	
Fabricante		Kone	
Modelo		E3H	
Referencia			
Nº esquema			
Tecnología		KEB COMBIVERT 18,5 kW	
Desnivel	H	8,65	m
Longitud	L	17,3	m
Ángulo de inclinación	α	30	grados
Dirección		Bajada	
Nº de viajeros	N	4223	personas
Peso medio viajero	m	75	kg
Ancho de peldaño	W	1000	mm
Velocidad nominal	v	0,65	m/s
Potencia nominal del motor	P	18	kW

Fecha de la observación		15/10/2013	
Tiempo de la observación		6,005416667	días
Tiempo consumiendo	t total	124,13	horas
Tiempo en standby	t standby	20	horas
Tiempo auto arranque	t auto arranque	0	horas

Tiempo velocidad nominal	t veloc. nom.	41,37666667	horas
Tiempo velocidad lenta	t veloc. Lenta	82,75333333	horas

Consumo de energía en standby	$E \text{ standby} = P \text{ standby} * t \text{ standby}$	$P \text{ standby} = 0,2$	4	kWh
Consumo de energía en auto arranque	$E \text{ autoar.} = P \text{ autoar.} * t \text{ autoar.}$	$P \text{ autoar.} = 0,3$	0	kWh
Consumo de energía velocidad normal	$E \text{ veloc. norm.} = P \text{ veloc. Norm.} * t \text{ veloc.norm.}$	$P \text{ veloc. Norm.} =$	226	kWh
Consumo de energía velocidad lenta	$E \text{ veloc. Lent.} = P \text{ veloc. Lent.} * t \text{ veloc. Lent.}$	$P \text{ veloc. Lent.} =$	0	kWh

Energía con carga:

Escaleras o rampas en dirección subida: $E \text{ carga} = N * m * g * H * 1 / (3600000 * \eta) * (1 + \mu / \text{tg} \alpha)$	valores por defecto $\eta = 0,75$ $\mu = 0,05$ $CF =$	9,87643689	kWh
Escaleras o rampas en dirección bajada: $E \text{ carga} = N * m * g * H * 0,75 * 0 / (3600000) * (-1 + \mu / \text{tg} \alpha)$	0	1	h
Pasillos $E \text{ carga} = N * m * g * L * \mu / (3600000 * \eta)$		0	h

Consumo de energía principal de una unidad sin contar con la energía auxiliar:

E principal subida	$E \text{ princ.sub.} = E \text{ standby} + E \text{ aut.arran.} + E \text{ veloc.lent.} + E \text{ veloc. Norm.} + E \text{ carga}$	239,8764369	kWh
E principal bajada	$E \text{ princ.sub.} = E \text{ standby} + E \text{ aut.arran.} + E \text{ veloc.lent.} + E \text{ veloc. Norm.} + E \text{ carga} (<0)$	230	kWh

Kone Eco3000 – Estrella 7 sin variador

Datos generales	Parámetro	Ejemplo 1	Unidad
Estación		Estrella	
Nº escalera		7	
Fabricante		Kone	
Modelo		E3H	
Referencia			
Nº esquema			
Tecnología		Estrella-Triángulo	
Desnivel	H	8,65	m
Longitud	L	17,3	m
Ángulo de inclinación	α	30	grados
Dirección		Subida	
Nº de viajeros	N	4223	personas
Peso medio viajero	m	75	kg
Ancho de peldaño	W	1000	mm
Velocidad nominal	v	0,65	m/s
Potencia nominal del motor	P	18	kW

Fecha de la observación		15/10/2013	
Tiempo de la observación		7,580416667	días
Tiempo consumiendo	t total	157,93	horas
Tiempo en standby	t standby	24	horas
Tiempo auto arranque	t auto arranque	0	horas
Tiempo velocidad nominal	t veloc. nom.	52,64333333	horas
Tiempo velocidad lenta	t veloc. Lenta	105,2866667	horas

Consumo de energía en standby	$E_{\text{standby}} = P_{\text{standby}} * t_{\text{standby}}$	$P_{\text{standby}} = 0,2$	4,8	kWh
Consumo de energía en auto arranque	$E_{\text{autoar.}} = P_{\text{autoar.}} * t_{\text{autoar.}}$	$P_{\text{autoar.}} = 0,3$	0	kWh
Consumo de energía velocidad normal	$E_{\text{veloc. norm.}} = P_{\text{veloc. Norm.}} * t_{\text{veloc. norm.}}$	$P_{\text{veloc. Norm.}} =$	401	kWh
Consumo de energía velocidad lenta	$E_{\text{veloc. Lent.}} = P_{\text{veloc. Lent.}} * t_{\text{veloc. Lent.}}$	$P_{\text{veloc. Lent.}} =$	0	kWh

Energía con carga:

Escaleras o rampas en dirección subida: $E_{\text{carga}} = N * m * g * H * 1 / (3600000 * \eta) * (1 + \mu / \text{tg} \alpha)$	valores por defecto $\eta = 0,75$ $\mu = 0,05$ $CF =$	9,87643689	kW
Escaleras o rampas en dirección bajada: $E_{\text{carga}} = N * m * g * H * 0,75 * 0 / (3600000) * (1 + \mu / \text{tg} \alpha)$		0	h
Pasillos $E_{\text{carga}} = N * m * g * L * \mu / (3600000 * \eta)$		1	kW
		0	h

Consumo de energía principal de una unidad sin contar con la energía auxiliar:

E principal subida	$E_{\text{princ. sub.}} = E_{\text{standby}} + E_{\text{aut. arran.}} + E_{\text{veloc. lent.}} + E_{\text{veloc. Norm.}} + E_{\text{carga}}$	415,6764369	kWh
E principal bajada	$E_{\text{princ. sub.}} = E_{\text{standby}} + E_{\text{aut. arran.}} + E_{\text{veloc. lent.}} + E_{\text{veloc. Norm.}} + E_{\text{carga}} (<0)$	405,8	kWh

Kone Eco3000 – Estrella 10 con variador

Datos generales	Parámetro	Ejemplo 1	Unidad
Estación		Estrella	
Nº escalera		10	
Fabricante		Kone	
Modelo		E3H	
Referencia			
Nº esquema			
Tecnología		KEB COMBIVERT 18,5 kW	
Desnivel	H	8,65	m
Longitud	L	17,3	m
Ángulo de inclinación	α	30	grados
Dirección		Subida	
Nº de viajeros	N	4223	personas
Peso medio viajero	m	75	kg
Ancho de peldaño	W	1000	mm
Velocidad nominal	v	0,65	m/s
Potencia nominal del motor	P	18	kW

Fecha de la observación		15/10/2013	
Tiempo de la observación		5,235833333	días
Tiempo consumiendo	t total	109,66	horas
Tiempo en standby	t standby	16	horas
Tiempo auto arranque	t auto arranque	0	horas
Tiempo velocidad nominal	t veloc. nom.	36,55333333	horas
Tiempo velocidad lenta	t veloc. Lenta	73,10666667	horas

Consumo de energía en standby	$E_{\text{standby}} = P_{\text{standby}} * t_{\text{standby}}$	$P_{\text{standby}} = 0,2$	3,2	kWh
Consumo de energía en auto arranque	$E_{\text{autoar.}} = P_{\text{autoar.}} * t_{\text{autoar.}}$	$P_{\text{autoar.}} = 0,3$	0	kWh
Consumo de energía velocidad normal	$E_{\text{veloc. norm.}} = P_{\text{veloc. Norm.}} * t_{\text{veloc. norm.}}$	$P_{\text{veloc. Norm.}} =$	233	kWh
Consumo de energía velocidad lenta	$E_{\text{veloc. Lent.}} = P_{\text{veloc. Lent.}} * t_{\text{veloc. Lent.}}$	$P_{\text{veloc. Lent.}} =$	0	kWh

Energía con carga:

Escaleras o rampas en dirección subida: $E_{\text{carga}} = N * m * g * H * 1 / (3600000 * \eta) * (1 + \mu / \text{tg} \alpha)$	valores por defecto $\eta = 0,75$ $\mu = 0,05$ $CF =$	9,87643689	kW
Escaleras o rampas en dirección bajada: $E_{\text{carga}} = N * m * g * H * 0,75 * 0 / (3600000) * (-1 + \mu / \text{tg} \alpha)$		0	h
Pasillos $E_{\text{carga}} = N * m * g * L * \mu / (3600000 * \eta)$		1	kW
		0	h

Consumo de energía principal de una unidad sin contar con la energía auxiliar:

E principal subida	$E_{\text{princ. sub.}} = E_{\text{standby}} + E_{\text{aut. arran.}} + E_{\text{veloc. lent.}} + E_{\text{veloc. Norm.}} + E_{\text{carga}}$	246,0764369	kWh
E principal bajada	$E_{\text{princ. sub.}} = E_{\text{standby}} + E_{\text{aut. arran.}} + E_{\text{veloc. lent.}} + E_{\text{veloc. Norm.}} + E_{\text{carga}} (<0)$	236,2	kWh

Kone Eco3000 – Estrella 10 sin variador

Datos generales	Parámetro	Ejemplo 1	Unidad
Estación		Estrella	
Nº escalera		10	
Fabricante		Kone	
Modelo		E3H	
Referencia			
Nº esquema			
Tecnología		Estrella-Triángulo	
Desnivel	H	8,65	m
Longitud	L	17,3	m
Ángulo de inclinación	α	30	grados
Dirección		Subida	
Nº de viajeros	N	4223	personas
Peso medio viajero	m	75	kg
Ancho de peldaño	W	1000	mm
Velocidad nominal	v	0,65	m/s
Potencia nominal del motor	P	18	kW

Fecha de la observación		15/10/2013	
Tiempo de la observación		7,241666667	días
Tiempo consumiendo	t total	149,8	horas
Tiempo en standby	t standby	24	horas
Tiempo auto arranque	t auto arranque	0	horas
Tiempo velocidad nominal	t veloc. nom.	49,93333333	horas
Tiempo velocidad lenta	t veloc. Lenta	99,86666667	horas

Consumo de energía en standby	$E_{\text{standby}} = P_{\text{standby}} * t_{\text{standby}}$	$P_{\text{standby}} = 0,2$	4,8	kWh
Consumo de energía en auto arranque	$E_{\text{autoar.}} = P_{\text{autoar.}} * t_{\text{autoar.}}$	$P_{\text{autoar.}} = 0,3$	0	kWh
Consumo de energía velocidad normal	$E_{\text{veloc. norm.}} = P_{\text{veloc. Norm.}} * t_{\text{veloc. norm.}}$	$P_{\text{veloc. Norm.}} =$	489	kWh
Consumo de energía velocidad lenta	$E_{\text{veloc. Lent.}} = P_{\text{veloc. Lent.}} * t_{\text{veloc. Lent.}}$	$P_{\text{veloc. Lent.}} =$	0	kWh

Energía con carga:

Escaleras o rampas en dirección subida: $E_{\text{carga}} = N * m * g * H * 1 / (3600000 * \eta) * (1 + \mu / \text{tg} \alpha)$	valores por defecto $\eta = 0,75$ $\mu = 0,05$ $CF =$	9,87643689	kW
Escaleras o rampas en dirección bajada: $E_{\text{carga}} = N * m * g * H * 0,75 * 0 / (3600000) * (-1 + \mu / \text{tg} \alpha)$		0	h
Pasillos $E_{\text{carga}} = N * m * g * L * \mu / (3600000 * \eta)$		1	kW
		0	h

Consumo de energía principal de una unidad sin contar con la energía auxiliar:

E principal subida	$E_{\text{princ. sub.}} = E_{\text{standby}} + E_{\text{aut. arran.}} + E_{\text{veloc. lent.}} + E_{\text{veloc. Norm.}} + E_{\text{carga}}$	503,6764369	kWh
E principal bajada	$E_{\text{princ. sub.}} = E_{\text{standby}} + E_{\text{aut. arran.}} + E_{\text{veloc. lent.}} + E_{\text{veloc. Norm.}} + E_{\text{carga}} (<0)$	493,8	kWh

