

ANEJO N° 16. ESTUDIO ENERGÉTICO

TÍTULO DEL PROYECTO	
ESTUDIO INFORMATIVO DE AMPLIACIÓN DE LA RED DE METRO DE MADRID AL BARRIO DE VALDEBEBAS	

DOCUMENTO	
TÍTULO	ANEJO Nº 16. ESTUDIO ENERGÉTICO
FICHERO	A16_ESTUDIO ENERGETICO.docx

CONTROL DE EDICIONES		
ED.	FECHA	OBSERVACIONES / MOTIVO
02	JUN 2024	2ª EDICIÓN (TRAS SUPERVISION)
EDICIONES PREVIAS		
01	JUN 2024	1ª EDICIÓN (TRAS SUPERVISION)
00	ABRIL 2024	1ª EDICIÓN

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS.....	1
3. EVALUACION SISTEMAS CONSUMIDORES DE ENERGIA EN LAS ESTACIONES DE METRO	1
3.1. SISTEMAS DE ALUMBRADO	2
3.1.1 Estimación consumo energético debido a los sistemas de iluminación	2
3.2. SISTEMAS DE VENTILACIÓN	12
3.2.1 Estimación consumo energético debido a los sistemas de ventilación	13
3.3. sistemas de climatización.....	15
3.3.1 Espacios para climatizar	15
3.3.2 Estimación consumo energético debido a los sistemas de climatización en las estaciones de metro	17
3.4. SISTEMAS DE TRANSPORTE VERTICAL	17
3.4.1 Estimación consumo energético debido a los sistemas de transporte vertical en las estaciones de metro	19
4. ANALISIS DE LOS RESULTADOS	19
5. MEDIDAS DE AHORRO ENERGÉTICO ADOPTADAS.....	20
5.1. MEDIDAS DE AHORRO ENERGÉTICO ADOPTADAS EN LOS SISTEMAS DE VENTILACION Y CLIMATIZACIÓN	20
5.2. EFICIENCIA ENERGÉTICA EN ILUMINACIÓN.....	20
5.3. MEDIDAS DE AHORRO ENERGÉTICO EN LOS SISTEMAS DE TRANSPORTE VERTICAL	21
5.4. MEDIDAS DE AHORRO ENERGÉTICO EN LOS SISTEMAS DE TRACCIÓN	21
5.5. GESTIÓN DE LA ENERGÍA.....	23
6. CONCLUSIONES.....	23

INDICE DE FIGURAS

Figura nº 1. Esquema de funcionamiento combinado Start/Stop – stand-by-speed. Fuente: KONE.....	18
Figura nº 2. Regeneración de energía en escaleras mecánicas Fuente: KONE	18
Figura nº 3. Ejemplo de diferencia de certificación energética entre una escalera mecánica con variador y otra equivalente sin variador	19

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, Metro de Madrid tiene el compromiso, dentro de sus líneas estratégicas, de lograr la máxima referencia de sostenibilidad en sus tres vertientes: económica, social y medioambiental. El Plan Energético de Metro de Madrid (PAE) y posteriormente el Plan de Eficiencia Energética (PEE), desarrolla un conjunto de 12 acciones, que buscan fomentar el ahorro y la eficiencia energética en la explotación de la red, manteniendo siempre la calidad del servicio.

En los cuatro primeros años de implantación de dichas medidas se ha logrado reducir notablemente el consumo energético de sus instalaciones.

Hoy en día Metro de Madrid ha de afrontar nuevos retos económicos debidos al cada vez mayor incremento del coste energético y su variabilidad, por lo que la implantación de las medidas energéticas es una estrategia importante a tener en cuenta en las nuevas extensiones de las líneas de metro de Madrid.

2. OBJETIVOS

El objeto de este documento es mostrar en primer lugar las necesidades energéticas necesarias para la explotación en la nueva prolongación de la L11 de Metro de Madrid desde Mar de Cristal hasta el barrio de Valdebebas. En el presente documento se estudiarán los principales consumidores de energía en las estaciones de metro, su naturaleza y su implicación en el cómputo general energético identificando aquellos que pudieran ser susceptibles de reducir su consumo mediante el uso de diferentes estrategias.

Con ello expondremos las diferentes soluciones energéticas que sería posible tener en consideración a la hora de ser implantadas, valorando su repercusión en la eficiencia energética de las nuevas estaciones de metro de Madrid de su línea 11.

Este análisis se centra en el estudio energético de las instalaciones propias de las estaciones, dejando apartado los correspondientes a los sistemas de tracción y de todos aquellos elementos vinculados al mismo (sistemas de señalización, seguridad, control, gestión, comunicación, etc...); si bien, dada la gran relevancia que tiene el consumo energético en los sistemas de tracción, mencionaremos en este informe las soluciones que están siendo implantadas según el plan de eficiencia energética de Metro de Madrid.

3. EVALUACION SISTEMAS CONSUMIDORES DE ENERGIA EN LAS ESTACIONES DE METRO

Entre los principales consumidores de energía dentro de una estación de metro hay que mencionar los siguientes:

- **Sistemas de alumbrado:** Dada la naturaleza de las estaciones subterráneas el alumbrado artificial es uno de los sistemas que más consumo energético asumen, debido tanto a las exigencias normativas por mantener unos niveles mínimos de luminancia en los espacios, como a su uso prolongado por a la baja posibilidad de conseguir luz natural.
- **Sistemas de ventilación:** Las necesidades de conseguir unos niveles ambientales adecuados en espacios de uso público cuya afluencia de usuarios puede ser importante, y las características propias de las estaciones subterráneas, implica tener que hacer uso de sistemas electromecánicos de ventilación, con aporte de aire exterior y extracción del aire viciado.
Por otro lado, debemos tener en cuenta, todos aquellos sistemas de ventilación necesarios en los numerosos cuartos técnicos que precisa una estación de metro, y que son importantes fuentes de calor (cuartos eléctricos, de comunicaciones, seguridad, etc...).
- **Sistemas de climatización:** Por lo general, la mayor parte de las zonas de uso público en estaciones de metro subterráneas no precisan de unas necesidades de confort térmico tan exigentes como en otros usos cuyos usuarios precisen un mayor tiempo de permanencia. (tengamos en cuenta que la permanencia media de sus usuarios no es superior a 10 minutos). No obstante, deberemos tener en consideración las necesidades de un tratamiento térmico del ambiente en algunos espacios con permanencia de personal o salas técnicas cuyos equipos precisen unas condiciones de temperatura determinadas.
- **Sistemas de transporte vertical:** los ascensores y sobre todo las escaleras mecánicas son equipos que suponen un importante consumo energético en las estaciones de metro subterráneas por su frecuente uso como medio de transporte rápido y seguro.
- **Sistemas de bombeo agua:** dada la profundidad a la que se encuentran algunas estaciones de metro, es posible encontrarse con niveles freáticos próximos o infiltraciones de agua por el terreno circundante que terminarían inundando las cotas más bajas cuando se producen defectos de impermeabilización; por lo que estas aguas deben ser bombeadas hacia cotas superiores para su desagüe.

3.1. SISTEMAS DE ALUMBRADO

La iluminación en túneles y estaciones debe considerarse como algo prioritario y obligatorio, tanto por las operaciones de mantenimiento como por las evacuaciones en caso de accidente o desalojo de algún tren, con gran densidad de personal.

Sin embargo, el alumbrado artificial de las estaciones de metro subterráneas supone uno de los sistemas que más afecta al consumo energético de las estaciones, por lo que se deberán adoptar las soluciones más eficientes posibles sin menoscabo de las exigencias de iluminación.

Los sistemas de alumbrado deberán cumplir con las condiciones de eficiencia energética mínimas impuestas por la normativa, en concreto por el CTE DB-HE4 en su punto 3:

- Andenes y estaciones de transporte VEEI < 3.0
- Zonas comunes en edificios no residenciales VEEI < 6.0

Donde VEE se expresa en W/m² por cada 100 lux y se obtiene mediante la expresión $VEEI = 100 \cdot P / (S \cdot Em)$ donde P es la potencia de la lámpara más el equipo auxiliar [W], S es la superficie iluminada [m²], Em es la iluminancia media horizontal mantenida [lux].

Por otro lado, la potencia total de lámparas y equipos auxiliares por superficie iluminada (P_{tot} / S_{tot}) no superará el valor máximo de 10 W/m².

Para el caso de los túneles, donde no es aplicable el CTE, y aunque no existe una normativa aplicable específicamente a los túneles de metro, sí que hay una norma comunitaria de calidad denominada UNE 12464.1. Es una reglamentación de la Unión Europea sobre la iluminación para interiores, que se puede aplicar en la iluminación de túneles.

Para conseguir dichas condiciones se empleará en todos los casos luminarias del tipo LED de alta eficiencia, los niveles lumínicos mínimos cumplirán con lo estipulado en la norma UNE-EN 12464-1 para estaciones con gran número de pasajeros, manteniendo los niveles con los que actualmente se diseñan las estaciones de Metro de Madrid. De cualquier forma, la eficiencia lumínica de los equipos seleccionados nunca deberá ser inferior a 100 Lm/W.

Siguiendo todas estas premisas, los niveles mínimos de Iluminancia mantenida Em (lx) incluidos en la norma serán los siguientes:

- Andenes: 200 lx.
- Vestíbulos: 200 lx.
- Cuartos técnicos: 200 lx.
- Cuarto operador: 500 lx

- Taquillas y P.C.L.: 300 lx.
- Pasillos y zonas de tránsito: 100 lx
- Zonas escaleras mecánicas: 150 lx
- Túneles: 30 Lux

La relación entre iluminancia máxima y mínima será por lo general de 40

La instalación de alumbrado comprenderá básicamente cuatro clases de alumbrado totalmente independientes: alumbrado normal, alumbrado de emergencia, alumbrado de socorro y alumbrado de balizamiento.

Tanto en andenes como en vestíbulos se dispondrán de luminarias tipo Led en número y disposición tal que se consigan la calidad de iluminación requerida con la mayor eficiencia posible.

En túneles se dispondrá un conjunto de luminarias estancas tipo Led a lo largo de cada túnel dispuestas cada 10m. Éstas se actuarán en los periodos que se necesite mantenimiento, si bien deberán mantener en todo momento los niveles de luminancia exigidos para una eventual evacuación en caso de emergencia

3.1.1 Estimación consumo energético debido a los sistemas de iluminación

El consumo energético y la eficiencia de los sistemas de iluminación depende básicamente de los siguientes factores:

- Potencia instalada de los equipos de iluminación
- Niveles de luminancia conseguidos en cada espacio
- Factor de utilización: es el porcentaje de uso en un día.
- Tiempo de utilización de los sistemas de iluminación

3.1.1.1. Estimación del consumo energético de iluminación en estaciones de metro

Para el estudio del consumo eléctrico estimado en las estaciones, vamos a considerar la tipología de cada espacio, los niveles mínimos de luminancia que deseamos conseguir, que nos determinará la potencia necesaria de los equipos y su factor de utilización.

El factor de utilización para las zonas de uso público dependerá del horario de funcionamiento de las estaciones. En este caso, suponiendo un horario medio desde 6:00 AM hasta las 1:30 AM, supone un total de 19h y 30m de uso diario. Las 4h y 30m restantes los niveles de iluminación se pueden reducir hasta 1/3 para las labores de seguridad y mantenimiento; si bien podrá reencender por el personal de mantenimiento para garantizar la seguridad en tareas de

mantenimiento. Teniendo todos estos aspectos en cuenta, podemos deducir un factor de utilización en las zonas de uso público de estaciones del 0,87.

En el resto de las estancias se determinan unos factores de utilización que varían dependiendo del uso previsto para ellos: periodos laborales, revisiones periódicas de mantenimiento, etc...

A continuación, se muestran los resultados para cada una de las estaciones:

ESTACIÓN: MAR DE CRISTAL – PARQUE ALFREDO KRAUS

Estación – E1.1 Mar de Cristal – Parque Alfredo Kraus							
Nivel	Usos	Área (m²)	Lux	Factor Utilización	w/m2/100lux	kWh/año	W/m2
E1.1_Nivel 0_Calle	Templete	68,21	100	0,41	1,52	372,4	1,52
E1.1_Nivel -1_Vestíbulo	Aseos	30,91	200	0,87	4,1	1931,7	8,2
E1.1_Nivel -1_Vestíbulo	Aseos	30,91	200	0,87	4,1	1931,7	8,2
E1.1_Nivel -1_Vestíbulo	Cuarto Basura	12,60	100	0,1	4,2	46,4	4,2
E1.1_Nivel -1_Vestíbulo	Circulación	253,07	100	0,87	1,45	2796,6	1,45
E1.1_Nivel -1_Vestíbulo	Circulación	53,36	100	0,87	1,45	589,7	1,45
E1.1_Nivel -1_Vestíbulo	Circulación	189,50	100	0,87	1,45	2094,1	1,45
E1.1_Nivel -1_Vestíbulo	Circulación	68,33	100	0,87	1,45	755,1	1,45
E1.1_Nivel -1_Vestíbulo	Cuarto Limpieza	12,60	100	0,1	4,2	46,4	4,2
E1.1_Nivel -1_Vestíbulo	Cuarto Operador	21,89	500	1	1,84	1764,2	9,2
E1.1_Nivel -1_Vestíbulo	Compensación	70,41	50	0,002	1,2	0,7	0,6
E1.1_Nivel -1_Vestíbulo	Compensación	42,00	50	0,002	1,2	0,4	0,6
E1.1_Nivel -1_Vestíbulo	Cuarto Condensadoras	36,34	100	0,002	2,3	1,5	2,3
E1.1_Nivel -1_Vestíbulo	Disponible	77,51	100	0,1	1,3	88,3	1,3
E1.1_Nivel -1_Vestíbulo	Disponible	28,64	100	0,1	1,3	32,6	1,3
E1.1_Nivel -1_Vestíbulo	Disponible	333,32	100	0,1	1,3	379,6	1,3
E1.1_Nivel -1_Vestíbulo	Disponible	41,79	100	0,1	1,3	47,6	1,3
E1.1_Nivel -1_Vestíbulo	Cuarto Escaleras Mecánicas	20,70	300	0,016	1,6	13,9	4,8
E1.1_Nivel -1_Vestíbulo	Cuarto Escaleras Mecánicas	20,00	300	0,016	1,6	13,5	4,8
E1.1_Nivel -1_Vestíbulo	Equipos	28,75	200	0,02	4,2	42,3	8,4
E1.1_Nivel -1_Vestíbulo	Presurización	30,16	200	0,1	4,8	253,6	9,6
E1.1_Nivel -1_Vestíbulo	Presurización	14,56	200	0,1	4,8	122,4	9,6
E1.1_Nivel -1_Vestíbulo	Subestación Eléctrica	23,92	300	0,016	3,1	31,2	9,3
E1.1_Nivel -1_Vestíbulo	Subestación Eléctrica	31,28	300	0,016	3,1	40,8	9,3
E1.1_Nivel -1_Vestíbulo	Ventilación	11,06	200	0,016	4,2	13,0	8,4
E1.1_Nivel -1_Vestíbulo	Ventilación	101,47	200	0,016	4,2	119,5	8,4
E1.1_Nivel -1_Vestíbulo	Ventilación	119,97	200	0,016	4,4	148,0	8,8

Estación – E1.1 Mar de Cristal – Parque Alfredo Kraus							
Nivel	Usos	Área (m²)	Lux	Factor Utilización	w/m2/100lux	kWh/año	W/m2
E1.1_Nivel -1_Vestíbulo	Vestuario	11,25	200	0,1	4,8	94,6	9,6
E1.1_Nivel -1_Vestíbulo	Vestuario	11,25	200	0,1	4,8	94,6	9,6
E1.1_Nivel -1_Vestíbulo	Vestuario	11,23	200	0,1	4,8	94,4	9,6
E1.1_Nivel -1_Vestíbulo	Vestuario	11,23	200	0,1	4,8	94,4	9,6
E1.1_Nivel -1_Vestíbulo	Vestíbulo	2043,52	200	0,87	1,64	51083,0	3,28
E1.1_Nivel -2_L4	Circulación	127,73	100	0,87	1,52	1479,7	1,52
E1.1_Nivel -2_L4	Circulación	518,50	100	0,87	1,52	6006,4	1,52
E1.1_Nivel -2_L4	Compensación	33,91	50	0,002	4,5	1,3	2,25
E1.1_Nivel -2_L4	Cuarto Escaleras Mecánicas	15,00	300	0,016	1,6	10,1	4,8
E1.1_Nivel -3_Subestación	Subestación Eléctrica	546,80	300	0,016	3,2	735,7	9,6
E1.1_Nivel -3_L8	Circulación	1784,93	100	0,87	1,3	17684,3	1,3
E1.1_Nivel -3_L8	Circulación	113,20	100	0,87	1,3	1121,5	1,3
E1.1_Nivel -3_L8	Circulación	53,36	100	0,87	1,3	528,7	1,3
E1.1_Nivel -3_L8	Circulación	53,27	100	0,87	1,3	527,8	1,3
E1.1_Nivel -3_L8	Circulación	104,74	100	0,87	1,3	1037,7	1,3
E1.1_Nivel -3_L8	Compensación	32,80	50	0,002	4,2	1,2	2,1
E1.1_Nivel -3_L8	Compensación	11,79	50	0,002	4,2	0,4	2,1
E1.1_Nivel -3_L8	Disponible	30,11	100	0,1	1,3	34,3	1,3
E1.1_Nivel -3_L8	Disponible	252,18	100	0,1	1,3	287,2	1,3
E1.1_Nivel -3_L8	Cuarto Escaleras Mecánicas	20,00	200	0,016	1,6	9,0	3,2
E1.1_Nivel -3_L8	Cuarto Escaleras Mecánicas	20,00	200	0,016	1,6	9,0	3,2
E1.1_Nivel -3_L8	Cuarto Escaleras Mecánicas	15,00	200	0,016	1,6	6,7	3,2
E1.1_Nivel -3_L8	Presurización	30,16	50	0,002	4,3	1,1	2,15
E1.1_Nivel -3_L8	Subestación Eléctrica	551,55	300	0,016	3,3	765,3	9,9
E1.1_Nivel -3_L8	Ventilación	27,68	50	0,002	4,1	1,0	2,05
E1.1_Nivel -3_L8	Ventilación	28,76	50	0,002	4,1	1,0	2,05
E1.1_Nivel-4_Preandén	Circulación	418,71	100	0,87	1,3	4148,4	1,3
E1.1_Nivel-4_Preandén	Circulación	56,84	100	0,87	1,3	563,1	1,3
E1.1_Nivel-4_Preandén	Circulación	56,84	100	0,87	1,3	563,1	1,3
E1.1_Nivel-4_Preandén	Compensación	116,67	50	0,002	4,3	4,4	2,15
E1.1_Nivel-4_Preandén	Compensación	11,79	50	0,002	4,3	0,4	2,15
E1.1_Nivel-4_Preandén	Disponible	228,92	100	0,1	1,4	280,7	1,4
E1.1_Nivel-4_Preandén	Disponible	20,85	100	0,1	1,4	25,6	1,4
E1.1_Nivel-4_Preandén	Disponible	84,94	100	0,1	1,4	104,2	1,4
E1.1_Nivel-4_Preandén	Cuarto Escaleras Mecánicas	20,81	200	0,016	4,3	25,1	8,6

Estación – E1.1 Mar de Cristal – Parque Alfredo Kraus							
Nivel	Usos	Área (m²)	Lux	Factor Utilización	w/m2/100lux	kWh/año	W/m2
E1.1_Nivel-4_Preandén	Cuarto Escaleras Mecánicas	20,81	200	0,016	4,3	25,1	8,6
E1.1_Nivel-4_Preandén	Parada de rescate	381,15	100	0,01	1,4	46,7	1,4
E1.1_Nivel-4_Preandén	Presurización	26,68	50	0,002	3,3	0,8	1,65
E1.1_Nivel-4_Preandén	Presurización	26,68	50	0,002	3,3	0,8	1,65
E1.1_Nivel-4_Preandén	Ventilación	30,38	100	0,002	3,3	1,8	3,3
E1.1_Nivel-4_Preandén	Ventilación	31,42	100	0,002	3,3	1,8	3,3
E1.1_Nivel-5_Andén	Andén	517,50	200	0,87	1,54	12147,4	3,08
E1.1_Nivel-5_Andén	Andén	517,50	200	0,87	1,54	12147,4	3,08
E1.1_Nivel-5_Andén	Cabina de Andén	14,64	500	1	1,8	1154,2	9
E1.1_Nivel-5_Andén	Cuarto de Alta Tensión	49,92	300	0,016	3,2	67,2	9,6
E1.1_Nivel-5_Andén	Cuarto de Baja Tensión	42,50	300	0,016	3,2	57,2	9,6
E1.1_Nivel-5_Andén	Cuarto de Comunicaciones	39,77	500	0,016	1,5	41,8	7,5
E1.1_Nivel-5_Andén	Cuarto Aux. Comunicaciones	5,40	500	0,016	1,5	5,7	7,5
E1.1_Nivel-5_Andén	Cuarto de Enclavamiento	51,27	500	0,016	1,8	64,7	9
E1.1_Nivel-5_Andén	Protección Contra Incendios	24,03	200	0,002	3,8	3,2	7,6
E1.1_Nivel-5_Andén	Circulación	8,01	100	0,87	1,64	100,1	1,64
E1.1_Nivel-5_Andén	Circulación	3,96	100	0,87	1,64	49,5	1,64
E1.1_Nivel-5_Andén	Circulación	221,62	100	0,87	1,64	2770,0	1,64
E1.1_Nivel-5_Andén	Circulación	234,07	100	0,87	1,64	2925,6	1,64
E1.1_Nivel-5_Andén	Circulación	5,40	100	0,87	1,64	67,5	1,64
E1.1_Nivel-5_Andén	Circulación	241,80	100	0,87	1,64	3022,2	1,64
E1.1_Nivel-5_Andén	Circulación	73,42	100	0,87	1,64	917,7	1,64
E1.1_Nivel-5_Andén	Circulación	19,32	100	0,87	1,64	241,5	1,64
E1.1_Nivel-5_Andén	Circulación	73,42	100	0,87	1,64	917,7	1,64
E1.1_Nivel-5_Andén	Circulación	19,32	100	0,87	1,64	241,5	1,64
E1.1_Nivel-5_Andén	Cuarto de Seccionador	9,37	200	0,002	4,5	1,5	9
E1.1_Nivel-5_Andén	Bombeo Fecales	10,07	100	0,002	3,8	0,7	3,8
E1.1_Nivel-5_Andén	Cuarto Telefonía	16,27	300	0,016	1,8	12,3	5,4
E1.1_Nivel-5_Andén	Ventilación	13,32	100	0,002	5,6	1,3	5,6
E1.1_Nivel-5_Andén	Ventilación	13,36	100	0,002	5,6	1,3	5,6
					Total:	138138,6	

ESTACIÓN: MAR DE CRISTAL – CALLE AREQUIPA

Estación – E1.2 Mar de Cristal-Calle Arequipa							
Nivel	Usos	Área (m²)	Lux	Factor Utilización	w/m2/100lux	kWh/año	W/m2
E1.2_Nivel -1_Vestíbulo	Aseos	23,42	200	0,87	4,1	1463,6	8,2
E1.2_Nivel -1_Vestíbulo	Aseos	23,42	200	0,87	4,1	1463,6	8,2
E1.2_Nivel -1_Vestíbulo	Cuarto Basuras	13,50	100	0,1	4,2	49,7	4,2
E1.2_Nivel -1_Vestíbulo	Circulación	30,01	100	0,87	1,45	331,6	1,45
E1.2_Nivel -1_Vestíbulo	Circulación	251,17	100	0,87	1,45	2775,6	1,45
E1.2_Nivel -1_Vestíbulo	Circulación	215,77	100	0,87	1,45	2384,4	1,45
E1.2_Nivel -1_Vestíbulo	Circulación	59,52	100	0,87	1,45	657,7	1,45
E1.2_Nivel -1_Vestíbulo	Cuarto Limpieza	13,50	100	0,1	4,2	49,7	4,2
E1.2_Nivel -1_Vestíbulo	Cuarto Operador	19,91	500	1	1,84	1604,6	9,2
E1.2_Nivel -1_Vestíbulo	Compensación	49,49	50	0,002	1,2	0,5	0,6
E1.2_Nivel -1_Vestíbulo	Compensación	22,06	50	0,002	1,2	0,2	0,6
E1.2_Nivel -1_Vestíbulo	Condensadoras	32,24	100	0,002	2,3	1,3	2,3
E1.2_Nivel -1_Vestíbulo	Disponible	522,71	100	0,1	1,3	595,3	1,3
E1.2_Nivel -1_Vestíbulo	Disponible	58,57	100	0,1	1,3	66,7	1,3
E1.2_Nivel -1_Vestíbulo	Disponible	50,87	100	0,1	1,3	57,9	1,3
E1.2_Nivel -1_Vestíbulo	Equipos	22,50	200	0,02	4,2	33,1	8,4
E1.2_Nivel -1_Vestíbulo	Presurización	31,23	200	0,1	4,8	262,6	9,6
E1.2_Nivel -1_Vestíbulo	Ventilación	169,38	200	0,016	4,2	199,4	8,4
E1.2_Nivel -1_Vestíbulo	Vestuario	11,60	200	0,1	4,8	97,6	9,6
E1.2_Nivel -1_Vestíbulo	Vestuario	11,60	200	0,1	4,8	97,6	9,6
E1.2_Nivel -1_Vestíbulo	Vestuario	11,60	200	0,1	4,8	97,6	9,6
E1.2_Nivel -1_Vestíbulo	Vestuario	11,60	200	0,1	4,8	97,6	9,6
E1.2_Nivel -1_Vestíbulo	Vestíbulo	464,44	200	0,87	1,64	11609,9	3,28
E1.2_Nivel -2_L4	Circulación	1554,66	100	0,87	1,52	18009,5	1,52
E1.2_Nivel -2_L4	Compensación	9,38	50	0,002	4,5	0,4	2,25
E1.2_Nivel -2_L4	Disponible	38,10	100	0,1	1,3	43,4	1,3
E1.2_Nivel -2_L4	Cuarto Escaleras Mecánicas	15,00	200	0,016	1,6	6,7	3,2
E1.2_Nivel -2_SE	Subestación Eléctrica	514,82	300	0,016	3,2	692,7	9,6
E1.2_Nivel -3_Intermedio	Circulación	175,58	100	0,87	1,3	1739,6	1,3
E1.2_Nivel -3_Intermedio	Circulación	32,58	100	0,87	1,3	322,8	1,3
E1.2_Nivel -3_Intermedio	Circulación	59,52	100	0,87	1,3	589,7	1,3
E1.2_Nivel -3_Intermedio	Compensación	9,03	50	0,002	4,2	0,3	2,1
E1.2_Nivel -3_Intermedio	Disponible	46,32	100	0,1	1,3	52,7	1,3

Estación – E1.2 Mar de Cristal-Calle Arequipa							
Nivel	Usos	Área (m²)	Lux	Factor Utilización	w/m2/100lux	kWh/año	W/m2
E1.2_Nivel -3_Intermedio	Disponible	114,26	100	0,1	1,3	130,1	1,3
E1.2_Nivel -3_Intermedio	Disponible	13,80	100	0,1	1,3	15,7	1,3
E1.2_Nivel -3_Intermedio	Cuarto Escaleras Mecánicas	15,00	200	0,016	1,6	6,7	3,2
E1.2_Nivel -3_Intermedio	Cuarto Escaleras Mecánicas	15,00	200	0,016	1,6	6,7	3,2
E1.2_Nivel -3_Intermedio	Presurización	24,63	50	0,002	4,3	0,9	2,15
E1.2_Nivel -3_Intermedio	Subestación Eléctrica	602,15	300	0,016	3	759,6	9
E1.2_Nivel -3_Intermedio	Ventilación	4,80	50	0,002	4,1	0,2	2,05
E1.2_Nivel -3_Intermedio	Ventilación	4,80	50	0,002	4,1	0,2	2,05
E1.2_Nivel -4_Preandén	Circulación	1450,73	100	0,87	1,3	14373,2	1,3
E1.2_Nivel -4_Preandén	Circulación	119,34	100	0,87	1,3	1182,4	1,3
E1.2_Nivel -4_Preandén	Circulación	260,32	100	0,87	1,3	2579,1	1,3
E1.2_Nivel -4_Preandén	Compensación	126,76	50	0,002	4,3	4,8	2,15
E1.2_Nivel -4_Preandén	Compensación	10,81	50	0,002	4,3	0,4	2,15
E1.2_Nivel -4_Preandén	Disponible	29,47	100	0,1	1,4	36,1	1,4
E1.2_Nivel -4_Preandén	Disponible	8,13	100	0,1	1,4	10,0	1,4
E1.2_Nivel -4_Preandén	Disponible	5,55	100	0,1	1,4	6,8	1,4
E1.2_Nivel -4_Preandén	Cuarto Escaleras Mecánicas	15,00	200	0,016	4,3	18,1	8,6
E1.2_Nivel -4_Preandén	Cuarto Escaleras Mecánicas	15,00	200	0,016	4,3	18,1	8,6
E1.2_Nivel -4_Preandén	Presurización	128,89	50	0,002	3,3	3,7	1,65
E1.2_Nivel -4_Preandén	Ventilación	4,80	100	0,002	3,3	0,3	3,3
E1.2_Nivel -4_Preandén	Ventilación	4,80	100	0,002	3,3	0,3	3,3
E1.2_Nivel -5_Andén	Andén	517,50	200	0,87	1,54	12147,4	3,08
E1.2_Nivel -5_Andén	Andén	517,50	200	0,87	1,54	12147,4	3,08
E1.2_Nivel -5_Andén	Cabina de Andén	12,46	500	1	1,8	982,3	9
E1.2_Nivel -5_Andén	Cuarto de Baja Tensión	45,00	300	0,016	3,2	60,5	9,6
E1.2_Nivel -5_Andén	Cuarto de Comunicaciones	38,30	500	0,016	1,5	40,3	7,5
E1.2_Nivel -5_Andén	Cuarto de Comunicaciones	6,30	500	0,016	1,5	6,6	7,5
E1.2_Nivel -5_Andén	Cuarto de Enclavamiento	51,03	500	0,016	1,8	64,4	9
E1.2_Nivel -5_Andén	Protección Contra Incendios	24,30	200	0,002	3,8	3,2	7,6
E1.2_Nivel -5_Andén	Circulación	61,50	100	0,87	1,64	768,7	1,64
E1.2_Nivel -5_Andén	Circulación	61,50	100	0,87	1,64	768,7	1,64
E1.2_Nivel -5_Andén	Circulación	149,76	100	0,87	1,64	1871,8	1,64
E1.2_Nivel -5_Andén	Circulación	126,39	100	0,87	1,64	1579,7	1,64
E1.2_Nivel -5_Andén	Circulación	8,14	100	0,87	1,64	101,7	1,64
E1.2_Nivel -5_Andén	Circulación	8,14	100	0,87	1,64	101,7	1,64

Estación – E1.2 Mar de Cristal-Calle Arequipa							
Nivel	Usos	Área (m²)	Lux	Factor Utilización	w/m2/100lux	kWh/año	W/m2
E1.2_Nivel -5_Andén	Circulación	4,62	100	0,87	1,64	57,7	1,64
E1.2_Nivel -5_Andén	Circulación	7,37	100	0,87	1,64	92,1	1,64
E1.2_Nivel -5_Andén	Circulación	3,96	100	0,87	1,64	49,5	1,64
E1.2_Nivel -5_Andén	Seccionador	13,40	200	0,002	4,5	2,1	9
E1.2_Nivel -5_Andén	Cuarto de Alta Tensión	44,20	300	0,016	3,2	59,5	9,6
E1.2_Nivel -5_Andén	Disponible	6,92	100	0,1	1,4	8,5	1,4
E1.2_Nivel -5_Andén	Bombeo Fecales	5,95	100	0,002	3,8	0,4	3,8
E1.2_Nivel -5_Andén	Cuarto Telefonía	17,50	300	0,016	1,8	13,2	5,4
E1.2_Nivel -5_Andén	Ventilación	6,29	100	0,002	5,6	0,6	5,6
E1.2_Nivel -5_Andén	Ventilación	6,29	100	0,002	5,6	0,6	5,6
					Total:	95537,9	

ESTACIÓN: IFEMA – CÁRCAVAS

Estación – E2.IFEMA-Càrcavas							
Nivel	Usos	Área (m²)	Lux	Factor Utilización	w/m2/100lux	kWh/año	W/m2
E2_Nivel 0_Calle	Templete	23,18	100	0,41	1,52	126,5	1,52
E2_Nivel -1_Intermedio	Circulación	220,21	100	0,87	1,3	2181,7	1,3
E2_Nivel -1_Intermedio	Disponible	140,92	100	0,1	1,3	160,5	1,3
E2_Nivel -1_Intermedio	Cuarto Escaleras Mecánicas	15,00	200	0,016	1,6	6,7	3,2
E2_Nivel -1_Intermedio	Cuarto Escaleras Mecánicas	15,00	200	0,016	1,6	6,7	3,2
E2_Nivel -2_Vestíbulo	Aseos	26,06	200	0,87	4,1	1628,6	8,2
E2_Nivel -2_Vestíbulo	Aseos	26,03	200	0,87	4,1	1626,7	8,2
E2_Nivel -2_Vestíbulo	Cuarto Basuras	14,27	100	0,1	4,2	52,5	4,2
E2_Nivel -2_Vestíbulo	Circulación	45,44	100	0,87	1,45	502,1	1,45
E2_Nivel -2_Vestíbulo	Circulación	15,50	100	0,87	1,45	171,3	1,45
E2_Nivel -2_Vestíbulo	Circulación	63,24	100	0,87	1,45	698,8	1,45
E2_Nivel -2_Vestíbulo	Cuarto Limpieza	14,77	100	0,1	4,2	54,3	4,2
E2_Nivel -2_Vestíbulo	Cuarto Operador	20,00	500	1	1,84	1611,8	9,2
E2_Nivel -2_Vestíbulo	Compensación	62,05	50	0,002	1,2	0,7	0,6
E2_Nivel -2_Vestíbulo	Cuarto Condensadoras	52,06	100	0,002	2,3	2,1	2,3
E2_Nivel -2_Vestíbulo	Disponible	24,33	100	0,1	1,3	27,7	1,3
E2_Nivel -2_Vestíbulo	Disponible	72,90	100	0,1	1,3	83,0	1,3

Estación – E2.IFEMA-Càrcavas							
Nivel	Usos	Área (m²)	Lux	Factor Utilización	w/m2/100lux	kWh/año	W/m2
E2_Nivel -2_Vestíbulo	Disponible	63,76	100	0,1	1,3	72,6	1,3
E2_Nivel -2_Vestíbulo	Equipos	22,50	200	0,02	4,2	33,1	8,4
E2_Nivel -2_Vestíbulo	Presurización	74,82	200	0,1	4,8	629,2	9,6
E2_Nivel -2_Vestíbulo	Ventilación	140,59	200	0,016	4,2	165,5	8,4
E2_Nivel -2_Vestíbulo	Vestuario	14,60	200	0,1	4,8	122,8	9,6
E2_Nivel -2_Vestíbulo	Vestuario	14,61	200	0,1	4,8	122,9	9,6
E2_Nivel -2_Vestíbulo	Vestuario	13,25	200	0,1	4,8	111,4	9,6
E2_Nivel -2_Vestíbulo	Vestuario	13,25	200	0,1	4,8	111,4	9,6
E2_Nivel -2_Vestíbulo	Vestíbulo	880,84	200	0,87	1,64	22018,8	3,28
E2_Nivel -3_Preandén	Circulación	291,38	100	0,87	1,3	2886,9	1,3
E2_Nivel -3_Preandén	Circulación	128,23	100	0,87	1,3	1270,4	1,3
E2_Nivel -3_Preandén	Circulación	10,50	100	0,87	1,3	104,0	1,3
E2_Nivel -3_Preandén	Compensación	75,79	50	0,002	4,3	2,9	2,15
E2_Nivel -3_Preandén	Compensación	9,02	50	0,002	4,3	0,3	2,15
E2_Nivel -3_Preandén	Disponible	19,67	100	0,1	1,4	24,1	1,4
E2_Nivel -3_Preandén	Disponible	46,51	100	0,1	1,4	57,0	1,4
E2_Nivel -3_Preandén	Disponible	42,88	100	0,1	1,4	52,6	1,4
E2_Nivel -3_Preandén	Cuarto Escaleras Mecánicas	21,00	200	0,016	4,3	25,3	8,6
E2_Nivel -3_Preandén	Cuarto Escaleras Mecánicas	15,00	200	0,016	4,3	18,1	8,6
E2_Nivel -3_Preandén	Cuarto Escaleras Mecánicas	15,25	200	0,016	4,3	18,4	8,6
E2_Nivel -3_Preandén	Parada de rescate	150,29	100	0,01	1,4	18,4	1,4
E2_Nivel -3_Preandén	Presurización	69,39	50	0,002	3,3	2,0	1,65
E2_Nivel -3_Preandén	Ventilación	12,78	100	0,002	3,3	0,7	3,3
E2_Nivel -3_Preandén	Ventilación	9,90	100	0,002	3,3	0,6	3,3
E2_Nivel -4_Andén	Andén	507,85	200	0,87	1,54	11920,9	3,08
E2_Nivel -4_Andén	Andén	507,99	200	0,87	1,54	11924,2	3,08
E2_Nive -4_Andén	Cabina de Andén	14,30	500	1	1,8	1127,4	9
E2_Nivel -4_Andén	Cuarto Baja Tensión	43,23	300	0,016	3,2	58,2	9,6
E2_Nivel -4_Andén	Cuarto Comunicaciones	8,89	500	0,016	1,5	9,3	7,5
E2_Nivel -4_Andén	Cuarto Comunicaciones	39,98	500	0,016	1,5	42,0	7,5
E2_Nivel -4_Andén	Cuarto Enclavamiento	49,14	500	0,016	1,8	62,0	9
E2_Nivel -4_Andén	Protección Contra Incendios	22,80	200	0,002	3,8	3,0	7,6
E2_Nivel -4_Andén	Circulación	19,95	100	0,87	1,64	249,4	1,64
E2_Nivel -4_Andén	Circulación	3,89	100	0,87	1,64	48,6	1,64

Estación – E2.IFEMA-Càrcavas							
Nivel	Usos	Área (m²)	Lux	Factor Utilización	w/m2/100lux	kWh/año	W/m2
E2_Nivel -4_Andén	Circulación	152,89	100	0,87	1,64	1910,9	1,64
E2_Nivel -4_Andén	Circulación	144,57	100	0,87	1,64	1806,9	1,64
E2_Nivel -4_Andén	Circulación	7,83	100	0,87	1,64	97,9	1,64
E2_Nivel -4_Andén	Circulación	30,65	100	0,87	1,64	383,1	1,64
E2_Nivel -4_Andén	Circulación	52,95	100	0,87	1,64	661,8	1,64
E2_Nivel -4_Andén	Circulación	7,84	100	0,87	1,64	98,0	1,64
E2_Nivel -4_Andén	Seccionador	6,89	200	0,002	4,5	1,1	9
E2_Nivel -4_Andén	Cuarto de Alta Tensión	40,00	300	0,016	3,2	53,8	9,6
E2_Nivel -4_Andén	Disponible	26,26	100	0,1	1,4	32,2	1,4
E2_Nivel -4_Andén	Disponible	16,02	100	0,1	1,4	19,6	1,4
E2_Nivel -4_Andén	Fuente	0,72	100	0,016	1,6	0,2	1,6
E2_Nivel -4_Andén	Fuente	0,93	100	0,016	1,6	0,2	1,6
E2_Nivel -4_Andén	Fuente	0,93	100	0,016	1,6	0,2	1,6
E2_Nivel -4_Andén	Fuente	0,72	100	0,016	1,6	0,2	1,6
E2_Nivel -4_Andén	Bombeo Fecales	19,92	100	0,002	3,8	1,3	3,8
E2_Nivel -4_Andén	Cuarto Telefonía	32,52	300	0,016	1,8	24,6	5,4
E2_Nivel -4_Andén	Ventilación	6,12	100	0,002	5,6	0,6	5,6
E2_Nivel -4_Andén	Ventilación	6,11	100	0,002	5,6	0,6	5,6
						Total:	67349,9

ESTACIÓN: INTERCAMBIADOR – CIUDAD DE LA JUSTICIA

Estación – E3. Intercambiador-Ciudad de la Justicia							
Nivel	Usos	Área (m2)	Lux	Factor Utilización	w/m2/100lux	kWh/año	W/m2
E3_Nivel -1_Vestíbulo y P1	Aseos	22,05	200	0,87	4,1	1378,0	8,2
E3_Nivel -1_Vestíbulo y P1	Aseos	22,05	200	0,87	4,1	1378,0	8,2
E3_Nivel -1_Vestíbulo y P1	Cuarto de Basura	12,22	100	0,1	4,2	45,0	4,2
E3_Nivel -1_Vestíbulo y P1	Circulación	18,04	100	0,87	1,45	199,4	1,45
E3_Nivel -1_Vestíbulo y P1	Cuarto de Limpieza	12,22	100	0,1	4,2	45,0	4,2
E3_Nivel -1_Vestíbulo y P1	Cuarto Operador	19,75	500	1	1,84	1591,7	9,2
E3_Nivel -1_Vestíbulo y P1	Compensación	22,62	50	0,002	1,2	0,2	0,6
E3_Nivel -1_Vestíbulo y P1	Equipos	20,18	200	0,02	4,2	29,7	8,4
E3_Nivel -1_Vestíbulo y P1	Parking	792,33	100	0,4	1,84	5108,4	1,84

Estación – E3. Intercambiador-Ciudad de la Justicia							
Nivel	Usos	Área (m2)	Lux	Factor Utilización	w/m2/100lux	kWh/año	W/m2
E3_Nivel -1_Vestíbulo y P1	Parking	2,11	100	0,4	1,84	13,6	1,84
E3_Nivel -1_Vestíbulo y P1	Parking	3,48	100	0,4	1,84	22,4	1,84
E3_Nivel -1_Vestíbulo y P1	Parking	3,34	100	0,4	1,84	21,5	1,84
E3_Nivel -1_Vestíbulo y P1	Parking	74,13	100	0,4	1,84	477,9	1,84
E3_Nivel -1_Vestíbulo y P1	Ventilación	18,11	200	0,016	4,2	21,3	8,4
E3_Nivel -1_Vestíbulo y P1	Ventilación	18,18	200	0,016	4,2	21,4	8,4
E3_Nivel -1_Vestíbulo y P1	Ventilación	147,16	200	0,016	4,2	173,3	8,4
E3_Nivel -1_Vestíbulo y P1	Vestuario	12,00	200	0,1	4,8	100,9	9,6
E3_Nivel -1_Vestíbulo y P1	Vestuario	12,00	200	0,1	4,8	100,9	9,6
E3_Nivel -1_Vestíbulo y P1	Vestuario	15,30	200	0,1	4,8	128,7	9,6
E3_Nivel -1_Vestíbulo y P1	Vestuario	11,90	200	0,1	4,8	100,1	9,6
E3_Nivel -1_Vestíbulo y P1	Vestíbulo	948,67	200	0,87	1,64	23714,4	3,28
E3_Nivel -2_P2	Compensación	22,27	50	0,002	4,5	0,9	2,25
E3_Nivel -2_P2	Compensación	40,79	50	0,002	4,5	1,6	2,25
E3_Nivel -2_P2	Sala Condensadoras	51,31	100	0,002	2,3	2,1	2,3
E3_Nivel -2_P2	Disponible	18,08	100	0,1	1,3	20,6	1,3
E3_Nivel -2_P2	Disponible	17,77	100	0,1	1,3	20,2	1,3
E3_Nivel -2_P2	Parking	2158,84	100	0,4	1,84	13918,8	1,84
E3_Nivel -2_P2	Parking	31,73	100	0,4	1,84	204,6	1,84
E3_Nivel -2_P2	Parking	13,96	100	0,4	1,84	90,0	1,84
E3_Nivel -2_P2	Parking	1,93	100	0,4	1,84	12,4	1,84
E3_Nivel -2_P2	Presurización	22,62	50	0,002	4,3	0,9	2,15
E3_Nivel -2_Intermedio 1	Circulación	438,75	100	0,87	1,52	5082,6	1,52
E3_Nivel -2_Intermedio 1	Circulación	16,59	100	0,87	1,3	164,4	1,3
E3_Nivel -2_Intermedio 1	Compensación	40,79	50	0,002	4,5	1,6	2,25
E3_Nivel -2_Intermedio 1	Cuarto de Condensadoras	51,31	100	0,002	2,3	2,1	2,3
E3_Nivel -2_Intermedio 1	Disponible	71,92	100	0,1	1,3	81,9	1,3
E3_Nivel -2_Intermedio 1	Cuarto Escaleras Mecánica	19,38	200	0,016	1,6	8,7	3,2
E3_Nivel -2_Intermedio 1	Parking	31,73	100	0,4	1,84	204,6	1,84
E3_Nivel -2_Intermedio 1	Parking	13,96	100	0,4	1,84	90,0	1,84
E3_Nivel -2_Intermedio 1	Parking	3,34	100	0,4	1,84	21,5	1,84
E3_Nivel -2_Intermedio 1	Parking	3,48	100	0,4	1,84	22,4	1,84
E3_Nivel -2_Intermedio 1	Parking	1,93	100	0,4	1,84	12,4	1,84
E3_Nivel -2_Intermedio 1	Presurización	22,62	50	0,002	4,3	0,9	2,15
E3_Nivel -2_Intermedio 1	Ventilación	14,90	50	0,002	4,1	0,5	2,05

Estación – E3. Intercambiador-Ciudad de la Justicia							
Nivel	Usos	Área (m2)	Lux	Factor Utilización	w/m2/100lux	kWh/año	W/m2
E3_Nivel -2_Intermedio 1	Ventilación	14,53	50	0,002	4,1	0,5	2,05
E3_Nivel -3_P3	Parking	31,73	100	0,4	1,84	204,6	1,84
E3_Nivel -3_P3	Parking	13,96	100	0,4	1,84	90,0	1,84
E3_Nivel -3_P3	Parking	1,93	100	0,4	1,84	12,4	1,84
E3_Nivel -3_Intermedio 2 y P4	Circulación	444,82	100	0,87	1,52	5152,9	1,52
E3_Nivel -3_Intermedio 2 y P4	Circulación	71,92	100	0,87	1,3	712,6	1,3
E3_Nivel -3_Intermedio 2 y P4	Compensación	18,15	50	0,002	4,2	0,7	2,1
E3_Nivel -3_Intermedio 2 y P4	Compensación	9,01	50	0,002	4,2	0,3	2,1
E3_Nivel -3_Intermedio 2 y P4	Disponible	118,17	100	0,1	1,3	134,6	1,3
E3_Nivel -3_Intermedio 2 y P4	Cuarto Escaleras Mecánica	19,38	200	0,016	1,6	8,7	3,2
E3_Nivel -3_Intermedio 2 y P4	Parking	2158,24	100	0,87	1,3	21382,9	1,3
E3_Nivel -3_Intermedio 2 y P4	Parking	31,73	100	0,4	1,84	204,6	1,84
E3_Nivel -3_Intermedio 2 y P4	Parking	13,96	100	0,4	1,84	90,0	1,84
E3_Nivel -3_Intermedio 2 y P4	Parking	1,93	100	0,4	1,84	12,4	1,84
E3_Nivel -3_Intermedio 2 y P4	Parking	3,48	100	0,4	1,84	22,4	1,84
E3_Nivel -3_Intermedio 2 y P4	Parking	3,34	100	0,4	1,84	21,5	1,84
E3_Nivel -3_Intermedio 2 y P4	Presurización	6,90	50	0,002	4,3	0,3	2,15
E3_Nivel -3_Intermedio 2 y P4	Ventilación	15,00	50	0,002	4,1	0,5	2,05
E3_Nivel -3_Intermedio 2 y P4	Ventilación	14,62	50	0,002	4,1	0,5	2,05
E3_Nivel -4_Intermedio 3	Circulación	438,75	100	0,87	1,52	5082,6	1,52
E3_Nivel -4_Intermedio 3	Cuarto Escaleras Mecánica	19,25	200	0,016	1,6	8,6	3,2
E3_Nivel -5ª_Subestación	Subestación Eléctrica	416,90	300	0,016	3,2	561,0	9,6
E3_Nivel -5_Preandén	Circulación	835,98	100	0,87	1,3	8282,5	1,3
E3_Nivel -5_Preandén	Circulación	118,62	100	0,87	1,3	1175,2	1,3
E3_Nivel -5_Preandén	Compensación	18,15	50	0,002	4,3	0,7	2,15
E3_Nivel -5_Preandén	Compensación	12,00	50	0,002	4,3	0,5	2,15
E3_Nivel -5_Preandén	Disponible	34,07	100	0,1	1,4	41,8	1,4
E3_Nivel -5_Preandén	Disponible	224,37	100	0,1	1,4	275,2	1,4
E3_Nivel -5_Preandén	Disponible	102,22	100	0,1	1,4	125,4	1,4
E3_Nivel -5_Preandén	Cuarto Escaleras Mecánica	15,00	200	0,016	4,3	18,1	8,6
E3_Nivel -5_Preandén	Cuarto Escaleras Mecánica	15,63	200	0,016	4,3	18,8	8,6
E3_Nivel -5_Preandén	Cuarto Escaleras Mecánica	15,20	200	0,016	4,3	18,3	8,6
E3_Nivel -5_Preandén	Presurización	110,56	50	0,002	3,3	3,2	1,65
E3_Nivel -5_Preandén	Subestación Eléctrica	422,40	300	0,016	3,3	586,1	9,9
E3_Nivel -5_Preandén	Ventilación	15,00	100	0,002	3,3	0,9	3,3

Estación – E3. Intercambiador-Ciudad de la Justicia							
Nivel	Usos	Área (m2)	Lux	Factor Utilización	w/m2/100lux	kWh/año	W/m2
E3_Nivel -5_Preandén	Ventilación	14,62	100	0,002	3,3	0,8	3,3
E3_Nivel -6_Andén	Andén	517,50	200	0,87	1,54	12147,4	3,08
E3_Nivel -6_Andén	Andén	517,50	200	0,87	1,54	12147,4	3,08
E3_Nivel -6_Andén	Cabina de Andén	15,00	500	1	1,8	1182,6	9
E3_Nivel -6_Andén	Cuarto de Baja Tensión	39,89	300	0,016	3,2	53,7	9,6
E3_Nivel -6_Andén	Cuarto Comunicaciones	41,68	500	0,016	1,5	43,8	7,5
E3_Nivel -6_Andén	Cuarto Comunicaciones	6,90	500	0,016	1,5	7,3	7,5
E3_Nivel -6_Andén	Cuarto de Enclavamiento	75,16	500	0,016	1,8	94,8	9
E3_Nivel -6_Andén	Circulación	395,49	100	0,87	1,64	4943,1	1,64
E3_Nivel -6_Andén	Circulación	12,09	100	0,87	1,64	151,1	1,64
E3_Nivel -6_Andén	Circulación	60,47	100	0,87	1,64	755,8	1,64
E3_Nivel -6_Andén	Circulación	60,47	100	0,87	1,64	755,8	1,64
E3_Nivel -6_Andén	Circulación	12,09	100	0,87	1,64	151,1	1,64
E3_Nivel -6_Andén	Circulación	12,61	100	0,87	1,64	157,6	1,64
E3_Nivel -6_Andén	Circulación	5,42	100	0,87	1,64	67,7	1,64
E3_Nivel -6_Andén	Circulación	6,60	100	0,87	1,64	82,5	1,64
E3_Nivel -6_Andén	Circulación	34,51	100	0,87	1,64	431,3	1,64
E3_Nivel -6_Andén	Circulación	172,49	100	0,87	1,64	2155,9	1,64
E3_Nivel -6_Andén	Cuarto Seccionador	9,99	200	0,002	4,5	1,6	9
E3_Nivel -6_Andén	Cuarto de Alta Tensión	41,93	300	0,016	3,2	56,4	9,6
E3_Nivel -6_Andén	Disponible	202,33	100	0,1	1,4	248,1	1,4
E3_Nivel -6_Andén	Disponible	7,53	100	0,1	1,4	9,2	1,4
E3_Nivel -6_Andén	Disponible	11,90	100	0,1	1,4	14,6	1,4
E3_Nivel -6_Andén	Fuente	0,72	100	0,016	1,6	0,2	1,6
E3_Nivel -6_Andén	Fuente	0,72	100	0,016	1,6	0,2	1,6
E3_Nivel -6_Andén	Fuente	0,72	100	0,016	1,6	0,2	1,6
E3_Nivel -6_Andén	Fuente	0,72	100	0,016	1,6	0,2	1,6
E3_Nivel -6_Andén	Bombeo fecales	12,50	100	0,002	3,8	0,8	3,8
E3_Nivel -6_Andén	Protección Contra Incendios	21,75	200	0,002	3,8	2,9	7,6
E3_Nivel -6_Andén	Cuarto de Telefonía	19,25	300	0,016	1,8	14,6	5,4
E3_Nivel -6_Andén	Ventilación	9,90	100	0,002	5,6	1,0	5,6
E3_Nivel -6_Andén	Ventilación	9,90	100	0,002	5,6	1,0	5,6
Total:						134569,5	

ESTACIÓN: HOSPITAL ZENDAL

Estación – E4. Hospital Zendal						
Comentarios	Área (m²)	Lux	Factor Utilización	w/m2/100lux	kWh/año	W/m2
Circulación	44,29	100	0,41	1,52	241,8	1,52
Circulación	59,61	100	0,87	1,64	745,1	1,64
Cuarto de Basura	13,48	100	0,1	4,2	49,6	4,2
Circulación	747,16	100	0,87	1,64	9338,6	1,64
Circulación	45,61	100	0,87	1,45	504,0	1,45
Cuarto de Limpieza	13,48	100	0,1	4,2	49,6	4,2
Cuarto de Operador	23,78	500	1	1,84	1916,5	9,2
Compensación	14,47	50	0,002	4,3	0,5	2,15
Compensación	70,53	50	0,002	4,3	2,7	2,15
Cuarto de Condensadoras	40,05	100	0,002	2,3	1,6	2,3
Disponible	12,02	100	0,1	1,3	13,7	1,3
Disponible	18,65	100	0,1	1,3	21,2	1,3
Disponible	732,62	100	0,1	1,3	834,3	1,3
Disponible	12,40	100	0,1	1,4	15,2	1,4
Cuarto de Escaleras Mecánicas	15,00	200	0,016	4,3	18,1	8,6
Cuarto de Escaleras Mecánicas	15,00	200	0,016	4,3	18,1	8,6
Equipos	22,50	200	0,02	4,2	33,1	8,4
Presurización	34,07	200	0,1	4,8	286,5	9,6
Ventilación	24,54	100	0,002	3,3	1,4	3,3
Ventilación	24,54	100	0,002	3,3	1,4	3,3
Ventilación	139,33	200	0,016	4,2	164,0	8,4
Aseos	23,72	200	0,87	4,1	1482,4	8,2
Aseos	23,72	200	0,87	4,1	1482,4	8,2
Circulación	309,59	100	0,87	1,64	3869,5	1,64
Circulación	93,65	100	0,87	1,45	1034,9	1,45
Circulación	29,31	100	0,87	1,45	323,9	1,45
Circulación	13,69	100	0,87	1,45	151,3	1,45
Circulación	116,06	100	0,87	1,45	1282,5	1,45
Compensación	102,69	50	0,002	4,3	3,9	2,15
Disponible	26,08	100	0,1	1,4	32,0	1,4
Disponible	12,51	100	0,1	1,4	15,3	1,4
Disponible	12,51	100	0,1	1,4	15,3	1,4
Cuarto de Escaleras Mecánicas	15,00	200	0,016	4,3	18,1	8,6

Estación – E4. Hospital Zental						
Comentarios	Área (m²)	Lux	Factor Utilización	w/m2/100lux	kWh/año	W/m2
Cuarto de Escaleras Mecánicas	15,30	200	0,016	1,6	6,9	3,2
Cuarto de Escaleras Mecánicas	15,30	200	0,016	1,6	6,9	3,2
Parada de rescate	295,87	100	0,01	1,4	36,3	1,4
Presurización	64,01	50	0,002	3,3	1,9	1,65
Ventilación	11,38	100	0,002	5,6	1,1	5,6
Ventilación	11,38	100	0,002	5,6	1,1	5,6
Vestuario	12,92	200	0,1	4,8	108,7	9,6
Vestuario	13,35	200	0,1	4,8	112,3	9,6
Vestuario	13,35	200	0,1	4,8	112,3	9,6
Vestuario	12,92	200	0,1	4,8	108,7	9,6
Andén	517,50	200	0,87	1,54	12147,4	3,08
Andén	517,50	200	0,87	1,54	12147,4	3,08
Cabina de Andén	16,65	500	1	1,8	1312,7	9
Cuarto de Baja Tensión	40,80	300	0,016	3,2	54,9	9,6
Cuarto de Comunicaciones	41,00	500	0,016	1,5	43,1	7,5
Cuarto de Comunicaciones	7,75	500	0,016	1,5	8,1	7,5
Cuarto de Enclavamiento	50,17	500	0,016	1,8	63,3	9
Protección Contra Incendios	24,15	200	0,002	3,8	3,2	7,6
Circulación	143,58	100	0,87	1,64	1794,6	1,64
Circulación	147,74	100	0,87	1,64	1846,6	1,64
Vestíbulo	8,45	200	0,87	1,64	211,2	3,28
Circulación	5,50	100	0,87	1,45	60,8	1,45
Circulación	7,72	100	0,87	1,45	85,3	1,45
Circulación	10,50	100	0,87	1,45	116,0	1,45
Circulación	36,88	100	0,87	1,45	407,6	1,45
Circulación	10,50	100	0,87	1,45	116,0	1,45
Circulación	36,88	100	0,87	1,45	407,6	1,45
Seccionador	10,75	200	0,002	4,5	1,7	9
Cuarto de Alta Tensión	42,54	300	0,016	3,2	57,2	9,6
Bombeo Fecales	5,76	100	0,002	3,8	0,4	3,8
Cuarto Telefonía	17,15	300	0,016	1,8	13,0	5,4
Ventilación	11,90	100	0,002	5,6	1,2	5,6
Ventilación	10,06	100	0,002	5,6	1,0	5,6
				Total:	55364,7	

ESTACIÓN: BARAJAS T4

Estación – E5.Barajas T4							
Nivel	Usos	Área (m²)	Lux	Factor Utilización	w/m2/100lux	kWh/año	W/m2
E5_Nivel -1_SE	Subestación Eléctrica	498,84	300	0,016	3,2	671,2	9,6
E5_Nivel -1_Vestíbulo	Cuarto de Basura	13,50	100	0,1	4,2	49,7	4,2
E5_Nivel -1_Vestíbulo	Circulación	56,84	100	0,87	1,45	628,1	1,45
E5_Nivel -1_Vestíbulo	Circulación	34,82	100	0,87	1,45	384,8	1,45
E5_Nivel -1_Vestíbulo	Circulación	561,94	100	0,87	1,45	6209,9	1,45
E5_Nivel -1_Vestíbulo	Circulación	74,35	100	0,87	1,45	821,6	1,45
E5_Nivel -1_Vestíbulo	Cuarto de Limpieza	13,50	100	0,1	4,2	49,7	4,2
E5_Nivel -1_Vestíbulo	Cuarto de Operador	19,99	500	1	1,84	1611,0	9,2
E5_Nivel -1_Vestíbulo	Compensación	13,50	50	0,002	1,2	0,1	0,6
E5_Nivel -1_Vestíbulo	Compensación	78,06	50	0,002	1,2	0,8	0,6
E5_Nivel -1_Vestíbulo	Cuarto de Condensadoras	51,28	100	0,002	2,3	2,1	2,3
E5_Nivel -1_Vestíbulo	Disponible	16,42	100	0,1	1,3	18,7	1,3
E5_Nivel -1_Vestíbulo	Disponible	302,69	100	0,1	1,3	344,7	1,3
E5_Nivel -1_Vestíbulo	Disponible	48,95	100	0,1	1,3	55,7	1,3
E5_Nivel -1_Vestíbulo	Disponible	5,90	100	0,1	1,3	6,7	1,3
E5_Nivel -1_Vestíbulo	Disponible	18,75	100	0,1	1,3	21,4	1,3
E5_Nivel -1_Vestíbulo	Disponible	16,42	100	0,1	1,3	18,7	1,3
E5_Nivel -1_Vestíbulo	Cuarto Escaleras Mecánicas	22,50	200	0,016	4,3	27,1	8,6
E5_Nivel -1_Vestíbulo	Equipos	22,50	200	0,02	4,2	33,1	8,4
E5_Nivel -1_Vestíbulo	Presurización	27,74	200	0,1	4,8	233,3	9,6
E5_Nivel -1_Vestíbulo	Subestación Eléctrica	505,28	300	0,016	3,2	679,9	9,6
E5_Nivel -1_Vestíbulo	Ventilación	19,60	200	0,016	4,2	23,1	8,4
E5_Nivel -1_Vestíbulo	Ventilación	19,60	200	0,016	4,2	23,1	8,4
E5_Nivel -1_Vestíbulo	Ventilación	152,17	200	0,016	4,2	179,2	8,4
E5_Nivel -2_Preandén	Aseo	26,27	200	0,87	4,1	1641,7	8,2
E5_Nivel -2_Preandén	Aseo	26,27	200	0,87	4,1	1641,7	8,2
E5_Nivel -2_Preandén	Circulación	120,80	100	0,87	1,3	1196,8	1,3
E5_Nivel -2_Preandén	Circulación	13,12	100	0,87	1,3	130,0	1,3
E5_Nivel -2_Preandén	Circulación	274,50	100	0,87	1,3	2719,6	1,3
E5_Nivel -2_Preandén	Circulación	38,57	100	0,87	1,3	382,1	1,3
E5_Nivel -2_Preandén	Compensación	50,50	50	0,002	4,3	1,9	2,15
E5_Nivel -2_Preandén	Compensación	14,03	50	0,002	4,3	0,5	2,15
E5_Nivel -2_Preandén	Disponible	26,94	100	0,1	1,4	33,0	1,4

Estación – E5.Barajas T4							
Nivel	Usos	Área (m²)	Lux	Factor Utilización	w/m2/100lux	kWh/año	W/m2
E5_Nivel -2_Preandén	Disponible	28,87	100	0,1	1,4	35,4	1,4
E5_Nivel -2_Preandén	Disponible	21,32	100	0,1	1,4	26,1	1,4
E5_Nivel -2_Preandén	Disponible	21,32	100	0,1	1,4	26,1	1,4
E5_Nivel -2_Preandén	Disponible	60,82	100	0,1	1,4	74,6	1,4
E5_Nivel -2_Preandén	Disponible	43,65	100	0,1	1,4	53,5	1,4
E5_Nivel -2_Preandén	Cuarto Escaleras Mecánicas	15,00	200	0,016	4,3	18,1	8,6
E5_Nivel -2_Preandén	Cuarto Escaleras Mecánicas	20,25	200	0,016	4,3	24,4	8,6
E5_Nivel -2_Preandén	Cuarto Escaleras Mecánicas	20,25	200	0,016	4,3	24,4	8,6
E5_Nivel -2_Preandén	Parada de rescate	156,55	100	0,01	1,4	19,2	1,4
E5_Nivel -2_Preandén	Presurización	120,73	50	0,002	3,3	3,5	1,65
E5_Nivel -2_Preandén	Ventilación	14,70	100	0,002	3,3	0,8	3,3
E5_Nivel -2_Preandén	Ventilación	14,70	100	0,002	3,3	0,8	3,3
E5_Nivel -2_Preandén	Vestuario	12,00	200	0,1	4,8	100,9	9,6
E5_Nivel -2_Preandén	Vestuario	12,00	200	0,1	4,8	100,9	9,6
E5_Nivel -2_Preandén	Vestuario	13,66	200	0,1	4,8	114,9	9,6
E5_Nivel -2_Preandén	Vestuario	13,66	200	0,1	4,8	114,9	9,6
E5_Nivel -3_Andén	Andén	517,50	200	0,87	1,54	12147,4	3,08
E5_Nivel -3_Andén	Andén	517,50	200	0,87	1,54	12147,4	3,08
E5_Nivel -3_Andén	Cabina de Andén	14,20	500	1	1,8	1119,5	9
E5_Nivel -3_Andén	Cuarto de Baja Tensión	42,50	300	0,016	3,2	57,2	9,6
E5_Nivel -3_Andén	Cuarto de Comunicaciones	8,42	500	0,016	1,5	8,9	7,5
E5_Nivel -3_Andén	Cuarto de Comunicaciones	40,13	500	0,016	1,5	42,2	7,5
E5_Nivel -3_Andén	Cuarto de Enclavamiento	54,20	500	0,016	1,8	68,4	9
E5_Nivel -3_Andén	Protección Contra Incendios	26,13	200	0,002	3,8	3,5	7,6
E5_Nivel -3_Andén	Circulación	151,57	100	0,87	1,64	1894,4	1,64
E5_Nivel -3_Andén	Circulación	154,57	100	0,87	1,64	1931,9	1,64
E5_Nivel -3_Andén	Circulación	7,23	100	0,87	1,64	90,4	1,64
E5_Nivel -3_Andén	Circulación	5,15	100	0,87	1,64	64,4	1,64
E5_Nivel -3_Andén	Circulación	10,29	100	0,87	1,64	128,6	1,64
E5_Nivel -3_Andén	Circulación	12,60	100	0,87	1,64	157,5	1,64
E5_Nivel -3_Andén	Circulación	65,52	100	0,87	1,64	818,9	1,64
E5_Nivel -3_Andén	Circulación	65,52	100	0,87	1,64	818,9	1,64
E5_Nivel -3_Andén	Circulación	12,60	100	0,87	1,64	157,5	1,64
E5_Nivel -3_Andén	Seccionador	9,65	200	0,002	4,5	1,5	9

Estación – E5.Barajas T4							
Nivel	Usos	Área (m²)	Lux	Factor Utilización	w/m2/100lux	kWh/año	W/m2
E5_Nivel -3_Andén	Cuarto de Alta Tensión	41,37	300	0,016	3,2	55,7	9,6
E5_Nivel -3_Andén	Bombeo de Aguas Fecales	6,22	100	0,002	3,8	0,4	3,8
E5_Nivel -3_Andén	Cuarto Telefonía	18,90	300	0,016	1,8	14,3	5,4
E5_Nivel -3_Andén	Ventilación	11,02	100	0,002	5,6	1,1	5,6
E5_Nivel -3_Andén	Ventilación	9,60	100	0,002	5,6	0,9	5,6
						Total:	50961,7

ESTACIÓN: VALDEBEBAS NORTE

Estación – E6. Valdebebas Norte							
Nivel	Usos	Área (m²)	Lux	Factor Utilización	w/m2/100lux	kWh/año	W/m2
E6_Nivel 0_Calle	Ascensores	16,67	100	0,41	1,52	91,0	1,52
E6_Nivel 0_Calle	Templete	33,93	100	0,41	1,52	185,2	1,52
E6_Nivel -1_Intermedio	Circulación	43,04	100	0,87	1,3	426,4	1,3
E6_Nivel -1ª_Subestación	Subestación de tracción	539,19	300	0,016	3,2	725,5	9,6
E6_Nivel -1ª_Subestación	Subestación de tracción	370,58	300	0,016	3,2	498,6	9,6
E6_Nivel -2_Vestíbulo	Cuarto Basura	13,60	100	0,1	4,2	50,0	4,2
E6_Nivel -2_Vestíbulo	Circulación	10,00	100	0,87	1,45	110,5	1,45
E6_Nivel -2_Vestíbulo	Cuarto Limpieza	13,60	100	0,1	4,2	50,0	4,2
E6_Nivel -2_Vestíbulo	Cuarto de Operador	22,41	500	1	1,84	1806,1	9,2
E6_Nivel -2_Vestíbulo	Compensación	15,29	50	0,002	1,2	0,2	0,6
E6_Nivel -2_Vestíbulo	Cuarto Escaleras Mecánicas	15,00	300	0,016	1,6	10,1	4,8
E6_Nivel -2_Vestíbulo	Cuarto Escaleras Mecánicas	15,60	300	0,016	1,6	10,5	4,8
E6_Nivel -2_Vestíbulo	Equipos	22,93	200	0,02	4,2	33,7	8,4
E6_Nivel -2_Vestíbulo	Vestíbulo	575,45	200	0,87	1,64	14384,8	3,28
E6_Nivel -1b_Subestación	Circulación	101,61	100	0,87	1,45	1122,9	1,45
E6_Nivel -1b_Subestación	Circulación	3,74	100	0,87	1,45	41,3	1,45
E6_Nivel -1b_Subestación	Circulación	49,14	100	0,87	1,45	543,0	1,45
E6_Nivel -1b_Subestación	Compensación	32,56	50	0,002	1,2	0,3	0,6
E6_Nivel -1b_Subestación	Cuarto de Condensadoras	25,90	100	0,002	2,3	1,0	2,3
E6_Nivel -1b_Subestación	Presurización	24,25	200	0,1	4,8	203,9	9,6
E6_Nivel -1b_Subestación	Subestación de tracción	537,07	300	0,016	3,2	722,6	9,6
E6_Nivel -1b_Subestación	Subestación de tracción	373,94	300	0,016	3,2	503,1	9,6

Estación – E6. Valdebebas Norte							
Nivel	Usos	Área (m²)	Lux	Factor Utilización	w/m2/100lux	kWh/año	W/m2
E6_Nivel -1b_Subestación	Subestación de tracción	28,56	300	0,016	3,2	38,4	9,6
E6_Nivel -1b_Subestación	Subestación de tracción	2,94	300	0,016	3,2	4,0	9,6
E6_Nivel -1b_Subestación	Ventilación	212,68	200	0,016	4,2	250,4	8,4
E6_Nivel -3_Preandén	Aseos	18,14	200	0,87	4,1	1133,6	8,2
E6_Nivel -3_Preandén	Aseos	18,14	200	0,87	4,1	1133,6	8,2
E6_Nivel -3_Preandén	Circulación	102,36	100	0,87	1,3	1014,1	1,3
E6_Nivel -3_Preandén	Circulación	9,24	100	0,87	1,3	91,5	1,3
E6_Nivel -3_Preandén	Compensación	46,36	50	0,002	4,3	1,7	2,15
E6_Nivel -3_Preandén	Compensación	9,20	50	0,002	4,3	0,3	2,15
E6_Nivel -3_Preandén	Disponible	38,35	100	0,1	1,4	47,0	1,4
E6_Nivel -3_Preandén	Disponible	209,85	100	0,1	1,4	257,4	1,4
E6_Nivel -3_Preandén	Disponible	18,68	100	0,1	1,4	22,9	1,4
E6_Nivel -3_Preandén	Disponible	18,68	100	0,1	1,4	22,9	1,4
E6_Nivel -3_Preandén	Cuarto Escaleras Mecánicas	16,17	200	0,016	4,3	19,5	8,6
E6_Nivel -3_Preandén	Cuarto Escaleras Mecánicas	23,05	200	0,016	4,3	27,8	8,6
E6_Nivel -3_Preandén	Cuarto Escaleras Mecánicas	23,05	200	0,016	4,3	27,8	8,6
E6_Nivel -3_Preandén	Parada de rescate	201,86	100	0,01	1,4	24,8	1,4
E6_Nivel -3_Preandén	Presurización	134,60	50	0,002	3,3	3,9	1,65
E6_Nivel -3_Preandén	Ventilación	13,50	100	0,002	3,3	0,8	3,3
E6_Nivel -3_Preandén	Ventilación	13,50	100	0,002	3,3	0,8	3,3
E6_Nivel -3_Preandén	Vestuario	9,26	200	0,1	4,8	77,9	9,6
E6_Nivel -3_Preandén	Vestuario	9,26	200	0,1	4,8	77,9	9,6
E6_Nivel -3_Preandén	Vestíbulo	240,29	200	0,87	1,64	6006,7	3,28
E6_Nivel -4_Andén	Andén	517,50	200	0,87	1,54	12147,4	3,08
E6_Nivel -4_Andén	Andén	517,50	200	0,87	1,54	12147,4	3,08
E6_Nivel -4_Andén	Cabina Andén	14,35	500	1	1,8	1131,4	9
E6_Nivel -4_Andén	Cuarto de Baja tensión	42,50	300	0,016	3,2	57,2	9,6
E6_Nivel -4_Andén	Cuarto Comunicaciones	40,00	500	0,016	1,5	42,0	7,5
E6_Nivel -4_Andén	Cuarto Comunicaciones	5,58	500	0,016	1,5	5,9	7,5
E6_Nivel -4_Andén	Enclavamiento	51,38	500	0,016	1,8	64,8	9
E6_Nivel -4_Andén	Circulación	7,00	100	0,87	1,64	87,5	1,64
E6_Nivel -4_Andén	Circulación	130,11	100	0,87	1,64	1626,2	1,64
E6_Nivel -4_Andén	Circulación	130,11	100	0,87	1,64	1626,2	1,64
E6_Nivel -4_Andén	Circulación	6,60	100	0,87	1,64	82,5	1,64
E6_Nivel -4_Andén	Circulación	3,96	100	0,87	1,64	49,5	1,64

Estación – E6. Valdebebas Norte							
Nivel	Usos	Área (m²)	Lux	Factor Utilización	w/m2/100lux	kWh/año	W/m2
E6_Nivel -4_Andén	Circulación	14,35	100	0,87	1,64	179,4	1,64
E6_Nivel -4_Andén	Circulación	64,37	100	0,87	1,64	804,5	1,64
E6_Nivel -4_Andén	Circulación	64,37	100	0,87	1,64	804,5	1,64
E6_Nivel -4_Andén	Circulación	14,35	100	0,87	1,64	179,4	1,64
E6_Nivel -4_Andén	Cuarto de Seccionador	7,50	200	0,002	4,5	1,2	9
E6_Nivel -4_Andén	Cuarto de Alta tensión	41,93	300	0,016	3,2	56,4	9,6
E6_Nivel -4_Andén	Bombeo Fecales	6,12	100	0,002	3,8	0,4	3,8
E6_Nivel -4_Andén	Protección contra Incendios	24,48	200	0,002	3,8	3,3	7,6
E6_Nivel -4_Andén	Cuarto telefonía	15,00	300	0,016	1,8	11,4	5,4
E6_Nivel -4_Andén	Ventilación	10,20	100	0,002	5,6	1,0	5,6
E6_Nivel -4_Andén	Ventilación	10,20	100	0,002	5,6	1,0	5,6
Total:						62917,3	

CUADRO RESUMEN CONSUMO ALUMBRADO EN ESTACIONES

ESTACIÓN	CONSUMO TOTAL (Kwh/año)
E1.1 Mar de Cristal – Parque Alfredo Kraus	138139
E1.2 Mar de Cristal-Calle Arequipa	95538
E2. IFEMA-Cárcavas	67350
E3. Intercambiador – Ciudad de la Justicia	134570
E4. Hospital Zendal	55365
E5. Barajas T4	50962
E6. Valdebebas Norte	62918

CONSUMO ELÉCTRICO EN ESTACIONES

	Kwh/año
ALTERNATIVA 1	446386
ALTERNATIVA 2	509304
ALTERNATIVA 3	403785
ALTERNATIVA 4	466703

3.1.1.2. Estimación del consumo energético por iluminación en túneles

Si bien el número de luminarias y por tanto la potencia instalada para iluminación de los túneles es importante, su uso se limita a labores de mantenimiento o en casos de una posible evacuación, por lo que su consumo energético se ve afectado por un factor de utilización muy bajo.

En este caso, vamos a tener en cuenta el alumbrado de los túneles durante los periodos de mantenimiento, y que deben realizarse fuera del horario de operación. Es decir, durante las 4h y 30m nocturnos; el resto del tiempo, durante el horario de funcionamiento, se deja una parte de la iluminación de señalización y vías de evacuación. Teniendo en cuenta todo ello, consideraremos un factor de utilización de 0,18, si bien este valor puede verse reducido al depender de los programas de mantenimiento de túneles.

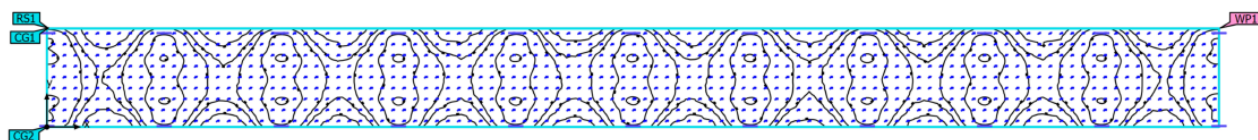
Niveles de iluminación en túneles: Durante los periodos de mantenimiento la iluminación media en túneles será de 30 lux, el resto de los periodos se mantendrá de 1 lux y de 5 lux en las salidas de evacuación.

Potencia instalada en la iluminación de túneles:

Para establecer la potencia aproximada requerida para la iluminación del túnel hemos considerado los siguientes factores:

- Iluminación media: 30 Lux
- Factor de mantenimiento: 0,8
- Posición de luminarias: laterales del túnel a 2m de altura.
- Anchura media del túnel 8,4m
- Distancia entre luminarias: 10m
- Potencia eléctrica luminaria: 28,5W
- Flujo luminoso por luminaria: 4000 Lm

Con todo ello, realizamos una simulación para un tramo de 100m de túnel, obteniendo los siguientes resultados:



Results

	Symbol	Calculated	Target	Check	Index
Workplane	$E_{\text{perpendicular}}$	36.7 lx	≥ 30.0 lx	✓	WP1
	g_1	0.44	-	-	WP1
Consumption values	Consumption	690 kWh/a	max. 29450 kWh/a	✓	
Room	Lighting power density	0.75 W/m ²	-	-	
		2.03 W/m ² /100 lx	-	-	

Es decir, por cada 100m de túnel precisaríamos una potencia de 570W. En ese caso la potencia necesaria a instalar en todo el tramo de metro sería, para cada alternativa:

- Alternativa 1 (9.043m): 51.545,1 W
- Alternativa 2: (8.496m): 48.427,2 W
- Alternativa 3 (9.096m): 51.847,2 W
- Alternativa 4 (8.349m): 47.589,3 W

Teniendo en cuenta el factor de utilización anterior, el consumo medio anual será en cada caso de:

- Alternativa 1 (9.043m): 8.760h x 51.5 kW x 0,18 = 81.205,2 kWh/año
- Alternativa 2: (8.496m): 8.760h x 48,4kW x 0,18 = 76.317,1 kWh/año
- Alternativa 3 (9.096m): 8.760h x 51,8 kW x 0,18 = 81.678,2 kWh/año
- Alternativa 4 (8.349m): 8.760h x 47,6 kW x 0,18 = 75.055,7 kWh/año

3.2. SISTEMAS DE VENTILACIÓN

Los sistemas de ventilación en las estaciones y túneles de Metro han de cumplir, en condiciones normales de explotación, lo siguiente:

- Renovación del ambiente interior del sistema, extrayendo el aire viciado (monóxido de carbono, olores, etc.) e introduciendo aire fresco del exterior, siempre que el aire que se capte (generalmente a nivel de calzada) cumpla unos requisitos mínimos de pureza.
- Limitación de la carga térmica en el sistema, producida por los trenes, personas y demás cargas caloríficas (alumbrado, centros de transformación, motores, equipos de climatización aire-aire, etc.).
- Limitación de las corrientes de aire y variaciones de presión provocadas por el efecto pistón que efectúa el tren a su paso.

Existen, asimismo, otros objetivos del "sistema de ventilación" que, en ciertas condiciones, podrían ser aplicables a situaciones de emergencia, tales como son la accesibilidad al túnel y estaciones a través de los pozos de extracción y los de compensación-inmisión y la extracción de humos (derivado de un incendio) o de atmósferas peligrosas (emanaciones de gases combustibles o vapores tóxicos), presurización de escaleras de evacuación, etc... No obstante, dado que su uso no está vinculado a las condiciones de funcionamiento normales, no las tendremos en cuenta a la hora de evaluar su consumo energético.

La ventilación de las estaciones se consigue mediante la inyección de aire exterior a través de dos ventiladores, con el caudal suficiente como para mantener unas condiciones ambientales saludables en todos los espacios. El aire exterior es repartido a cada planta a través de dos conductos verticales que llegan hasta el andén; en su trazado, el flujo de aire es distribuido por todas las plantas, vestíbulos cuartos técnicos y pasillos.

La extracción de aire se realiza a través de los pozos de ventilación situados en los túneles entre cada estación. Cada cámara contiene dos extractores encargados de evacuar el aire viciado de los túneles; su funcionamiento tiene dos misiones principales:

- Por un lado, la de reducir la acumulación de calor que se produce en el interior del túnel debida principalmente al funcionamiento de los vagones (sistemas de refrigeración de motores y sus condensadoras de los equipos de climatización).
- Por otro lado, sirve para despejar de humos y contaminantes los túneles en caso de algún incidente o emergencia, para despejar las vías de evacuación y rescate.

Los caudales que se manejan en cada caso son diferentes, por lo que los sistemas de extracción trabajarán en condiciones diferentes de caudal y por tanto de consumo, siendo muy superior en el caso de una emergencia. En cualquier caso, este estudio únicamente contemplaremos la situación habitual de explotación.

En este caso, el funcionamiento de los pozos de ventilación es capaz de generar una corriente de arrastre que va desde los andenes de las estaciones aledañas hacia los túneles, de forma que los túneles trabajan siempre en depresión con respecto a los andenes, obligando despejar el aire viciado y el exceso de calor de las zonas habitables.

Por otro lado, se hace necesario inyectar aire exterior al interior de las estaciones y andenes para mantener las condiciones exigidas de renovación de aire en todos los espacios confinados.

3.2.1 Estimación consumo energético debido a los sistemas de ventilación

Uno de los sistemas que más afectan al consumo energético de las estaciones de metro, después de los sistemas de tracción, son los sistemas de ventilación necesarios para mantener

unas condiciones ambientales y funcionales adecuadas. Los 891 ventiladores que actualmente tiene instalados Metro de Madrid consumen hasta 80 gigavatios de energía anuales; este dato da idea del importante peso energético que supone estos sistemas y su potencial de ahorro energético.

La ventilación se puede afrontar de tres formas:

- **De forma natural**, aprovechando corrientes de convección o diferencias de presión entre los ambientes exteriores e interiores, para lo cual se hace necesario realizar importantes huecos de ventilación con el exterior.
- **De forma artificial**, mediante sistemas electromecánicos para la admisión y extracción del aire interior.
- **De forma mixta**, complementando ambos sistemas.

El grado de confinamiento característico de una estación subterránea y sus túneles, hace necesario que los sistemas de ventilación sean, en mayor o menor medida, apoyado por sistemas electromecánicos, lo que da lugar a este importante gasto energético.

Dentro de los sistemas de ventilación podemos diferenciar entre:

- Sistemas de ventilación destinados a disipar el calor interior
- Sistemas de ventilación para conseguir los niveles de renovación de aire necesarios para un entorno ambiental adecuado.
- Sistemas de ventilación para el control de humos en caso de incendio.
- Sistemas de ventilación para la compensación de presiones en túneles.

Cálculo de las necesidades de ventilación en estaciones:

Se ventilarán los cuartos técnicos eléctricos con un mínimo de 6 renovaciones por hora y teniendo en cuenta las necesidades de ventilación de los equipos que se instalarán en su interior, el resto de los cuartos técnicos se ventilará con un mínimo de 3 renovaciones por hora, todos los cuartos bajo rasante se mantendrán sobre presionados.

Las zonas ocupadas por los viajeros, como vestíbulos, pasillos y andenes, tendremos en cuenta una calidad del aire IDA3, con un caudal medio de 8 l/s por persona.

Para establecer el caudal máximo de los sistemas de ventilación hemos considerado las condiciones de ocupación en hora punta, siendo en estos casos de un valor medio de 180 personas simultáneas en las estaciones y de 230 personas en los intercambiadores.

Siguiendo estos criterios, en estas condiciones precisamos inyectar un caudal de ventilación de al menos 5.184 m³/h para las estaciones y de 6.624 m³/h en intercambiadores.

Por otro lado, debemos establecer las condiciones de extracción de aire en vestíbulos y andenes para evitar la acumulación de calor debidas a las cargas internas propias de las personas, alumbrado, equipamiento y durante la permanencia del tren en la estación (hay que tener en cuenta que uno de los factores que mas contribuyen en el calentamiento de los andenes son las salidas de ventilación y condensadoras de los sistemas de climatización de los vagones). Si bien, estos factores son muy variables y depende sobre todo de las frecuencias de los trenes, la ocupación de los andenes y la época del año, podemos basarnos en estimaciones que oscilan entre 13.000w y 23.000 W de carga térmica por planta de andén.

El caudal necesario para disipar el calor interior viene dado por la siguiente ecuación:

$$Q_a = (P_t / (1,16 \cdot \Delta T)) \text{ m}^3/\text{s}$$

Donde:

Qa es el caudal de aire que se desea extraer (m³/s),

Pt es la carga térmica para disipar (kW),

ΔT es el aumento permitido de la temperatura del aire ambiente (°C).

Siguiendo todos estos criterios, necesitaríamos un caudal de extracción de aire entre 40.000 m³/h y 80.000 m³/h, por estación.

• Equipamiento instalado en salas de estación (por sala):

- 2 Ventiladores axiales Ø 1.100 de 2 velocidades: 20.000 / 45.000 m³/h –110 / 450 Pa – 4,5 / 20,0 kW. Ejecución mural.

El caudal de ventilación se regulará automáticamente en función de la concentración de CO₂ interior y mediante sondas de temperatura, redundando en la eficiencia y ahorro energético. Para ello, todos los motores de los ventiladores contarán con variadores de velocidad electrónicos.

Cálculo de las necesidades de ventilación en túneles

Los pozos de ventilación Inter estaciones se dimensionan para el caso mas desfavorable que se da cuando es necesario despejar de humo y contaminantes el túnel en caso de una emergencia.

En su uso habitual, estos ventiladores se encargarán de despejar el calor procedente de los vagones en su tránsito por el túnel (sobre todo de los sistemas de climatización y refrigeración de motores), así como evacuar el aire de los andenes aledaños.

Así, cada pozo de ventilación estará dotado de dos ventiladores con las siguientes características:

- 2 ventiladores axiales Ø 1.800 mm de 2 velocidades: 180.000 /240.000 m³/h- 340 / 600 Pa - 31 / 73 kW. Clase térmica 200 °C / 2h.

3.2.1.1. Consumo energético ventilación de túneles:

El consumo energético de un sistema de ventilación electromecánico depende principalmente de cuatro factores:

- ✓ Caudal de impulsión
- ✓ Presión disponible
- ✓ Rendimientos eléctrico y mecánico del equipo de ventilación.
- ✓ El tiempo de funcionamiento del sistema de ventilación.

La cantidad de energía que debemos consumir para poder desplazar el caudal de aire debido a los sistemas de ventilación y extracción lo podemos evaluar aproximadamente en función de los parámetros anteriores, aplicando la siguiente ecuación que los relaciona:

$$Ev = \frac{P}{\varphi} \times h \text{ (kWh/año)}$$

Donde:

Ev es la energía total consumida al año en kWh

P = Potencia del ventilador en kW

h = número de horas de funcionamiento al año

φ= Rendimiento del ventilador

Teniendo en cuenta que estos ventiladores trabajan con un rendimiento próximo a 0,8 y un régimen de funcionamiento medio en periodo estival (caudal de 360.000 m³/h durante 5 meses), y a caudal bajo durante el resto del año (caudal de 180.000 m³/h) y el consumo anual total bajo estas hipótesis se estima en: 395.250 kWh/año por pozo de ventilación.

Siendo que existen 6 pozos de ventilación, el consumo total estimado será de: 2.371.500 kWh/año. Si bien, esta cifra puede verse reducida aplicando las medidas de ahorro energético mediante el control de caudal según necesidades.

3.2.1.2. Consumo energético ventilación en estaciones de metro

En este caso, teniendo en cuenta un rendimiento de 0,7 y los periodos de funcionamiento durante el uso normal de las estaciones, se estima un consumo medio de 160.600 kWh/año por estación. Siendo que existen siete estaciones, el consumo neto anual queda estimado en 1.124.200 kWh/año.

No obstante, este valor puede verse reducido de forma importante si hacemos uso de los sistemas de control de caudal mediante ventiladores de caudal variable y detectores de calidad ambiental.

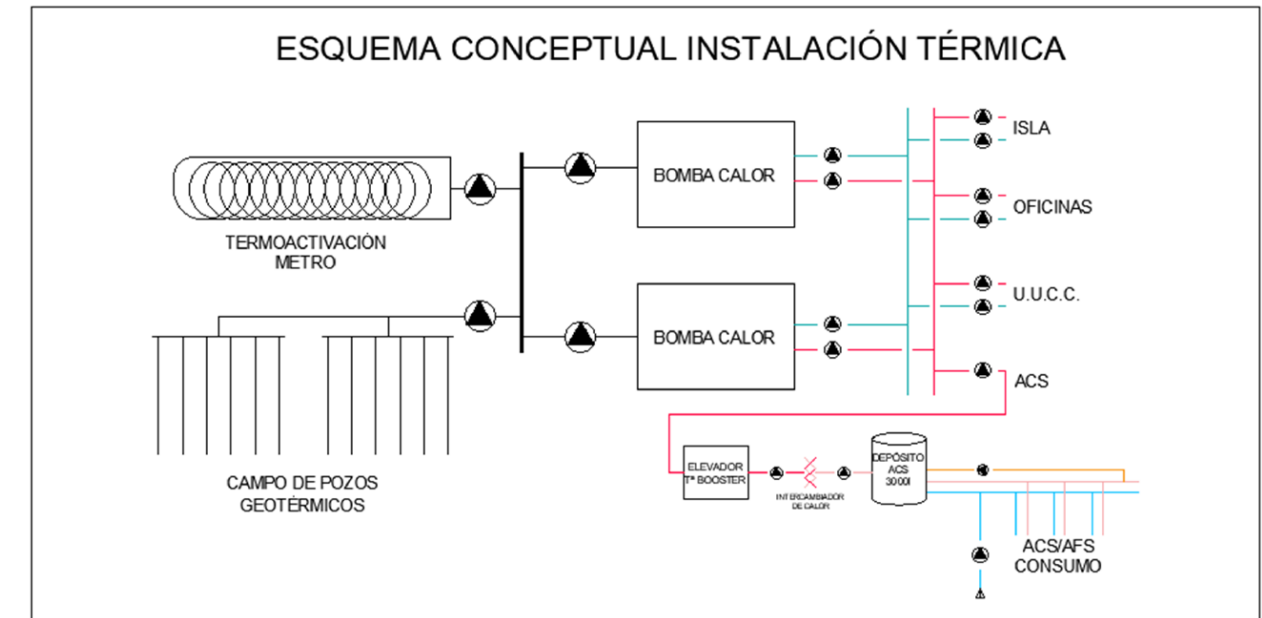
3.3. SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN

Si bien el volumen de los espacios a climatizar, en las estaciones de metro no son importantes, y se limitan a todos aquellos cuartos técnicos, vestuarios/aseos y espacios de trabajo, que precisan unas condiciones térmicas adecuadas, se buscarán sistemas de climatización lo más eficientes posibles. Siguiendo esta premisa, hoy en día, el uso de la aerotermia nos proporciona las suficientes ventajas.

Algunas dependencias técnicas, como cuartos de comunicaciones, enclavamientos (cuartos de equipamiento de señalización ferroviaria), son muy sensibles a las temperaturas, por lo que se extremará su control y eficiencia.

Dependiendo de las necesidades térmicas de cada estación, la producción térmica general del edificio correrá por cuenta de dos bombas de calor aire-agua de tipo polivalente para la generación tanto de frío como de calor.

Si bien para los usos propios de cada estación las necesidades principales son en mayoría como funcionamiento de refrigeración durante todo el año, se determinará la posibilidad de utilizar sistemas con mayor eficiencia como la geotermia de baja entalpía en casos concretos donde pueda coexistir una demanda tanto de frío como de calor, de esa forma se puede evitar la colmatación térmica del terreno pudiendo ser útil este sistema si se contempla la utilización exterior con otros usuarios de tipología más variable que lo equilibren (proximidad de edificios públicos de la Comunidad de Madrid).



3.3.1 Espacios para climatizar

Los siguientes espacios estarán dotados de climatización:

E1.1. Mar de Cristal - Alfredo Kraus:

- Aseos (61,83 m2)
- Cuarto de operador (21,89 m2)
- Vestuario (44,95 m2)
- Cabina de andén (14,64 m2)
- Cuarto de comunicaciones (39,77m2)
- Cuarto de enclavamiento (51,27 m2)
- Cuarto telefonía (16,27 m2)

E 1.2 Mar de Cristal - Calle Arequipa:

- Aseos (46,83 m2)
- Cuarto de operador (19,91 m2)
- Vestuario (46,40 m2)
- Cabina de andén (12,46 m2)
- Cuarto de comunicaciones (38,30m2)
- Cuarto de enclavamiento (51,03 m2)
- Cuarto telefonía (17,50 m2)

E 2 Ifema – Cárcavas:

- Aseos (59,09 m²)
- Cuarto de operador (20,00 m²)
- Vestuario (55,06 m²)
- Cabina de andén (14,30 m²)
- Cuarto de comunicaciones (48,88m²)
- Cuarto de enclavamiento (49,14 m²)
- Cuarto telefonía (32,52 m²)

E 3 Intercambiador - Ciudad de la Justicia

- Aseos (44,10 m²)
- Cuarto de operador (19,75 m²)
- Vestuario (51,20 m²)
- Cabina de andén (15,00 m²)
- Cuarto de comunicaciones (48,58m²)
- Cuarto de enclavamiento (75,16 m²)
- Cuarto telefonía (19,25 m²)

E 4 Hospital Zendal

- Aseos (47,44)
- Cuarto de operador (23,78 m²)
- Vestuario (52,52 m²)
- Cabina de andén (16,65 m²)
- Cuarto de comunicaciones (41,00m²)
- Cuarto de enclavamiento (50,51 m²)
- Cuarto telefonía (17,15 m²)

E 5 Estación Barajas T4:

- Aseos (52,54m²)
- Vestuarios (51,31 m²)
- Cabina de andén (14,20 m²)
- Cuarto de telefonía (18,90 m²)
- Cuarto de comunicaciones (48,56 m²)
- Cuarto de enclavamiento (54,20 m²)
- Cuarto de operador (19,99 m²)

E 6 Valdebebas Norte:

- Aseos (36,27 m²)
- Cuarto de operador (22,41 m²)
- Vestuario (18,53 m²)
- Cabina de andén (14,35 m²)
- Cuarto de comunicaciones (40,00 m²)
- Cuarto de enclavamiento (51,38 m²)
- Cuarto telefonía (15,00 m²)

Condiciones de diseño de los sistemas de climatización

Las condiciones interiores de diseño que se han tenido en cuenta en este estudio energético para las instalaciones de HVAC son las siguientes:

- Andenes y zonas de circulación:
 - ✓ Verano: 25 °C 50% HR
 - ✓ Invierno: 20 °C 50% HR

No obstante, se ha de tener en cuenta que las zonas de uso público (andenes y zonas de circulación) son espacios que no requieren de una climatización exhaustiva sino un atemperado. La experiencia en este tipo de actividades aconseja no tener un excesivo gradiente térmico entre la temperatura ambiente de estos espacios y el ambiente exterior. Será más confortable para los usuarios no tener que modificar su vestimenta (ropa de abrigo en invierno o ropa ligera en verano) durante el tiempo de estancia, que en condiciones normales serán minutos.

Es por esto por lo que las condiciones interiores indicadas serán orientativas, ajustándose en todo momento en pro de una mayor eficiencia y confort para los usuarios.

También se primará, siempre que sea posible, y desde el punto de vista energético, un control de la temperatura interior mediante ventilación exterior.

- Oficinas administrativas y espacios interiores con permanencia sedentaria de personas:

Se han seguido indicaciones del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios RITE y en el Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo en su anexo III: La temperatura de los locales donde se realicen trabajos sedentarios propios de oficinas o similares estará comprendida entre 17 y 27 °C.

- **Las salas técnicas con temperatura controlada:** dispondrán de un sistema de climatización o ventilación en función de los equipos específicos que confinan según recomendaciones del fabricante. En este caso tomaremos en nuestro estudio una temperatura media de 20°C.

Equipos de producción térmica:

Como observamos, los espacios y superficies que son necesarios climatizar son de tipologías y superficies similares en cada estación, por lo que se adoptará soluciones también equivalentes.

Para dar servicio al 100% de las necesidades de refrigeración y calefacción se ha considerado el uso de dos bombas de calor VRV, condensadas por aire, en funcionamiento escalonado, de 23 kWc / 22 kWf. Pudiendo dar al sistema una potencia total de 46 kW en calor y 44 kW en frío con COP de 3 a 3,5.

Dado que algunos de los espacios a climatizar solo precisan frío, en algunos casos pueden coexistir el uso simultaneo tanto de frío como de calor, en esos casos, se optará por un sistema de distribución de refrigerante a 3 tubos. Este sistema, además de permitir una máxima flexibilidad, mejora la eficiencia energética del sistema al poder transferir el calor residual hacia las estancias que precisan calor.

3.3.2 Estimación consumo energético debido a los sistemas de climatización en las estaciones de metro

3.3.2.1. Consumo energético climatización estaciones de metro

Considerando los rendimientos energéticos de las bombas de calor geotérmicas, se puede establecer una potencia eléctrica necesaria para los sistemas de climatización de 13 kW para cada estación.

A la hora de estimar el consumo energético anual debido al uso de los sistemas de climatización se han de tener en cuenta lo siguiente:

- Número de horas eficaces de funcionamiento de los equipos de climatización: dependerá del tipo de estancia, así, un espacio de trabajo estará sujeto a un horario programado, mientras que un cuarto técnico deberá mantener constante la temperatura a lo largo de todo el día.
- Potencia eléctrica de los sistemas de climatización.
- Temperatura a la que deben estar los espacios a climatizar: en este caso tomaremos una temperatura interior de 22°C en invierno y 25°C en verano para los espacios habitables, y de 20°C durante todo el año en cuartos técnicos.

- Pérdidas y ganancias de calor en cada espacio: debido sobre todo a los sistemas de ventilación y a las ganancias de los equipos eléctricos y electrónicos.

Teniendo en cuenta todos estos aspectos, y las experiencias con otras estaciones similares, podemos estimar los siguientes consumos eléctricos:

Estación	Potencia eléctrica instalada (kW)	Superficie a climatizar (m2)	consumo anual (kwh/año)
E1.1. Mar de Cristal - Alfredo Kraus	13	250,62	37944
E1.2. Mar de Cristal - Arequipa	13	232,43	35190
E2. Ifema - Cárcavas	13	278,99	42239
E3. Intercambiador - Ciudad de la Justicia	13	273,04	41338
E4. Hospital Zendal	13	249,05	37706
E5. Barajas T4	13	259,97	39359
E6. Valdebebas Norte	13	197,94	29968

En suma, el consumo energético anual se estima que en 263.744 kWh/año

3.4. SISTEMAS DE TRANSPORTE VERTICAL

El transporte vertical por excelencia en los metros de Madrid es la escalera mecánica, pues permite transportar de forma puntual una gran afluencia de personas en cortos periodos de tiempo. Si bien existen otros medios de transporte vertical como ascensores, aunque tienen un uso menos frecuentado.

Escaleras mecánicas: Las escaleras mecánicas han de estar diseñada para soportar un gran tráfico y velocidades de funcionamiento de 0,65 m/s hasta 0,75 m/s, garantizando un alto porcentaje de disponibilidad, minimizando los periodos de mantenimiento y con una alta eficiencia energética.

La norma EN-ISO 25745:2015 en su parte 3, describe las pautas que deben seguir las escaleras mecánicas en cuanto a la medida de su eficiencia energética y su clasificación. Esta norma proporciona:

- Un método para estimar el consumo de energía de las escaleras según una base diaria y otra anual.
- Un método de clasificación energética de las escaleras mecánicas.
- Una guía para reducir el consumo de energía.

La eficiencia energética de una escalera mecánica depende de muchos factores, entre ellos su modo de funcionamiento según su carga, debiendo poder acoplarse a la misma en el punto de mayor rendimiento del motor en relación con su curva del par-motor. Para ello se utilizarán sistemas dotados de variadores de frecuencia en lugar de los arrancadores estrella-triángulo.

Han de seguirse además otras estrategias como los sistemas de arranque a demanda (también llamado modo arranque-paro o modo automático), y que deberá activarse solo en aquellos periodos con poca frecuencia de pasajeros ya que las frecuentes paradas y arranques pueden provocar desgastes mecánicos prematuros.

Los principales ahorros con el variador se alcanzan cuando se reduce la velocidad del motor al no haber usuarios sobre la escalera, esta es la conocida velocidad en espera (stand-by-speed), y se puede lograr el óptimo ahorro de energía a través de la reducción del voltaje.

La combinación del sistema start/stop y el stand-by-speed, proporciona el más efectivo ahorro de energía.

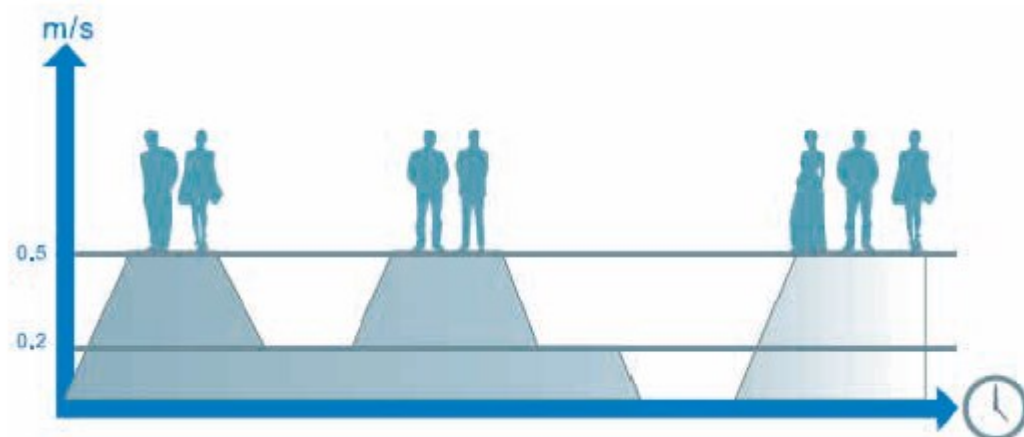


Figura nº 1. Esquema de funcionamiento combinado Start/Stop – stand-by-speed. Fuente: KONE

En aquellas escaleras mecánicas donde es previsible un tráfico importante de viajeros, es interesante hacer uso de sistemas de regeneración de energía con unidades de retroalimentación de energía (PFU). Estos convertidores se instalan en las escaleras de bajada, y permiten regenerar la energía de frenada, pudiendo reemplazar a las resistencias de frenado.

Tanto el motor como las PFU pueden regenerar hasta un 60% de la energía requerida para la potencia nominal del motor.

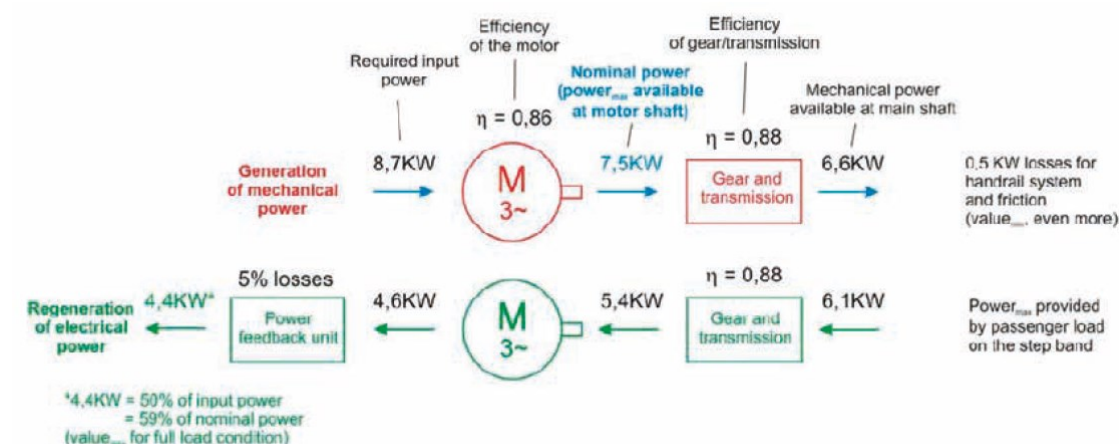


Figura nº 2. Regeneración de energía en escaleras mecánicas Fuente: KONE

La aplicación de estas medidas puede suponer un potencial de ahorro energético del 40%



Figura nº 3. Ejemplo de diferencia de certificación energética entre una escalera mecánica con variador y otra equivalente sin variador

Ascensores: Si bien los ascensores son elementos de transporte vertical exigidos en espacios públicos, su uso no repercute en gran medida en el consumo energético global de los sistemas de transporte vertical, dado que no permite el transporte rápido del flujo de pasajeros.

3.4.1 Estimación consumo energético debido a los sistemas de transporte vertical en las estaciones de metro

A la hora de estimar el consumo eléctrico de cada estación, vamos a tener en cuenta:

- El número de sistemas de elevación por cada estación.
- Potencia eléctrica de los equipos.
- Periodos de funcionamiento teniendo en cuenta las curvas de funcionamiento: tiempo neto funcionamiento con carga total, tiempo en modo stand-by y tiempos en modo stop.
- Carga a la que están sometidos, sobre todo en las escaleras mecánicas de subida en los periodos punta.

Las siguientes tablas representan el número de escaleras mecánicas, siendo la mitad de subida.

Escaleras mecánicas en estaciones					
	Calle - Vestíbulo	Vestíbulo - Preandén	Vestíbulo - Andén		Cañones de intercambio
			Andén 1	Andén 2	
Mar de Cristal Parque Alfredo Kraus	4	10	2	2	4
Mar de Cristal Calle de Arequipa	2	6	2	2	4
Ifema - Cárcavas	4	2	2	2	-
Intercambiador Ciudad de la Justicia	0 (entrada a nivel)	8	2	2	-
Aeropuerto T4	0 (entrada a nivel)	2	2	2	-
Valdebebas Norte	4	2	2	2	-
Total:	14	30	12	12	8

Ascensores en estaciones			
	Calle - Vestíbulo	Vestíbulo - Andén	
		Andén 1	Andén 2
Mar de Cristal Parque Alfredo Kraus	1	2	2
Mar de Cristal Calle de Arequipa	Entradas existentes	2	2

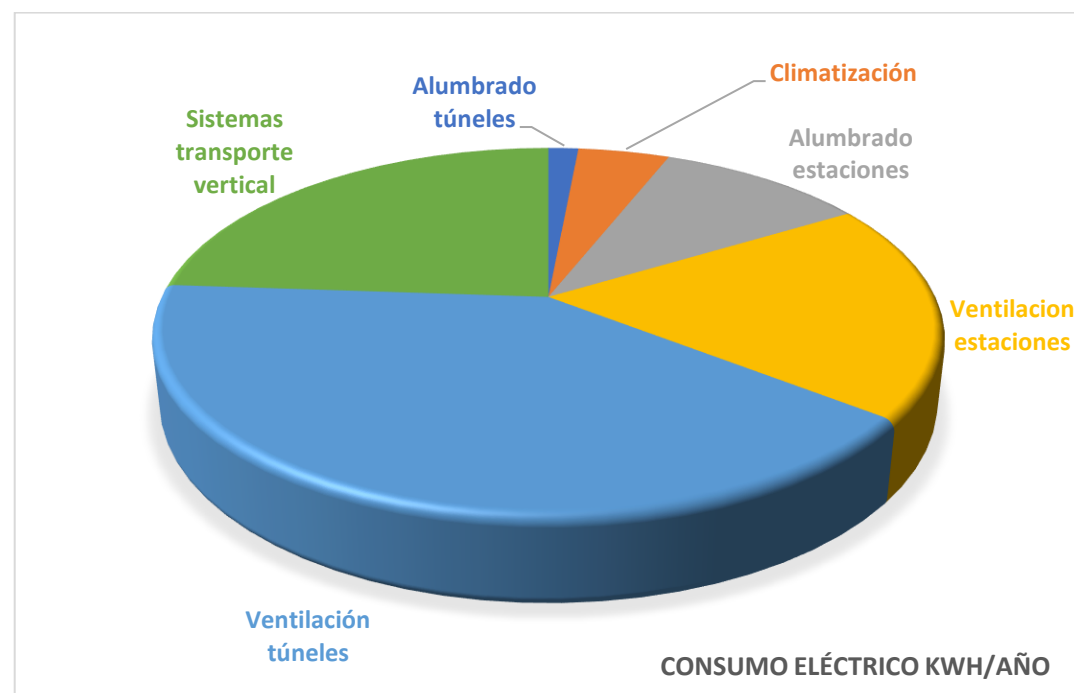
Ascensores en estaciones			
	Calle - Vestíbulo	Vestíbulo - Andén	
		Andén 1	Andén 2
Ifema - Cárcavas	2	2	2
Intercambiador	0	2	2
Ciudad de la Justicia	(entrada a nivel)		
Aeropuerto T4	0 (entrada a nivel)	2	2
Valdebebas Norte	2	2	2
Total	5	12	12

	Número escaleras mecánicas		consumo escaleras mecánicas kwh/año	
	Subida	bajada	Subida	bajada
Mar de Cristal Parque Alfredo Kraus	11	11	260172	144540
Mar de Cristal Calle de Arequipa	8	8	189216	105120
Ifema - Cárcavas	5	5	118260	65700
Intercambiador Ciudad de la Justicia	6	6	141912	78840
Aeropuerto T4	3	3	70956	39420
Valdebebas Norte	5	5	118260	65700
TOTAL	38	38	898776	499320
				1398096

4. ANALISIS DE LOS RESULTADOS

A continuación, resumimos los valores estimados de consumos energéticos debidos a los principales consumidores en toda la nueva línea de Metro:

- Alumbrado estaciones: 604.842 kWh/año
- Alumbrado túneles: 86.408,6 kWh/año
- Climatización: 263.744 kWh/año
- Ventilación estaciones: 1.124.200 kWh/año.
- Ventilación túneles: 2.371.500 kWh/año
- Sistemas de transporte vertical: 1.398.096 kWh/año



Podemos observar, cómo los sistemas de ventilación juegan un importante papel en el cómputo general del consumo energético, representando el 59,77% del consumo total (sin considerar los sistemas de transporte).

5. MEDIDAS DE AHORRO ENERGÉTICO ADOPTADAS

5.1. MEDIDAS DE AHORRO ENERGÉTICO ADOPTADAS EN LOS SISTEMAS DE VENTILACION Y CLIMATIZACIÓN

Se han adoptado las siguientes medidas a efectos de reducir el consumo energético en los sistemas de climatización y ventilación:

- Los sistemas de ventilación de las zonas climatizadas se equipan con recuperadores de energía del aire de extracción.
- Detectores de CO₂, CO, NO_x y humedad vinculados a las tomas de aire exterior para ajustar la ventilación a las necesidades instantáneas del edificio.
- Parcialización de sistemas por zonas con distinto uso y funcionalidad.
- Parcialización de equipos productores para una mejor adecuación de la producción al perfil de la demanda optimizando su rendimiento.
- Sistemas de bombeo en secundarios con variadores de velocidad.
- Aislamiento térmico de las redes de distribución de agua.
- Ventiladores de alta eficiencia de velocidad variable en la gran mayoría de equipos.

- Circuito fuente para climatización mediante pozos geotérmicos, este sistema de intercambio de calor se utilizará para obtener elevados rendimientos en la producción térmica pudiendo así considerarse como una energía renovable. Asimismo, se utilizará el secundario de la red de climatización como base para el sistema de elevación de temperatura en producción de ACS. Se conseguirá así un ahorro energético adicional recuperando energía calorífica de climatización en épocas de producción de frío.
- Control automático y dinámico de las instalaciones térmicas en función de las temperaturas exteriores.
- Las instalaciones generales serán controladas por un Sistema de Gestión Integral centralizado (BMS) compuesto por procesadores de control con el software necesario para las funciones de regulación y gestión energética.
- A su vez, se deberá poder gestionar de manera individualizada en cada espacio. Las unidades interiores dispondrán de termostato programable. El sistema central estará preparado para contabilizar los consumos de los diferentes usuarios.
- Este sistema dispondrá de un módulo de control de los consumos de cada equipo de la instalación para lo que se incorporarán los correspondientes analizadores de redes a la instalación posibilitando asimismo el control de la eficiencia de los equipos para realizar acciones de ahorro de energía en función de la diferencia de temperatura entre consigna y retorno.

5.2. EFICIENCIA ENERGÉTICA EN ILUMINACIÓN

Entre las medidas adoptadas para mejorar el rendimiento y la eficiencia energética en los sistemas de alumbrado hay que destacar los siguientes:

- **Uso de tecnología LED:** La tecnología LED, ha revolucionado el sector de la iluminación. Comparadas con las bombillas incandescentes y fluorescentes, las luces LED consumen considerablemente menos energía y tienen una vida útil más larga. Además, ofrecen una mayor flexibilidad en términos de diseño y control de iluminación.
- **Uso de sensores de presencia y de movimiento:** el uso de detectores de presencia y movimiento en aquellos espacios de ocupación ocasional generan un importante ahorro energético al utilizarse la luz artificial únicamente cuando se necesite.
- **Sistemas de regulación de intensidad lumínica:** El uso de regulación lumínica permite reducir el consumo energético en aquellos horarios fuera del uso público (mantenimiento, limpieza, etc...), o en aquellos espacios con posibilidad de disponer de luz natural (accesos exteriores a las estaciones).

5.3. MEDIDAS DE AHORRO ENERGÉTICO EN LOS SISTEMAS DE TRANSPORTE VERTICAL

El ahorro energético más efectivo en los sistemas de transporte vertical se obtiene mediante sistemas con variador del par en función de la carga y el empleo combinado de sistemas start/stop y stand-by-speed. Es posible también estudiar sistemas de recuperación de la energía en las escaleras de descenso en aquellas estaciones con un mayor tránsito de viajeros.

5.4. MEDIDAS DE AHORRO ENERGÉTICO EN LOS SISTEMAS DE TRACCIÓN

Si bien, en este estudio no se ha considerado el consumo energético relacionado con los sistemas de tracción, éstos suponen sin duda el mayor peso en el consumo energético de la explotación, llegando al 67% del consumo global de Metro de Madrid. Por ello creemos necesario mencionar las medidas de acción que Metro de Madrid está implantando en sus sistemas de transporte, y que quedan resumidas en su Plan de Ahorro Energético y plan de Eficiencia Energética. Estas medidas han supuesto un ahorro del 24,29% en sus primeros 5 años de implantación. Entre ellas mencionamos las siguientes:

1. Optimización del Modelo de Propulsión del Material Móvil:

Las curvas de tracción del Material Móvil (curvas características) son diseñadas para definir el régimen cinemático del mismo (velocidad y aceleración en función del tiempo)

La energía consumida asociada a cada curva característica puede ser corregida modificando dicho régimen cinemático mediante la definición de nuevas curvas de esfuerzo tracción/freno. Es posible optimizar dichas curvas actuando sobre los tiempos de potencia constante y de la aceleración.

2. Implantación de marchas económicas en conducción automática.

El sistema de conducción automática del Material Móvil, denominado ATO, determina el perfil de velocidades que desarrolla una unidad tren entre dos estaciones, en base a parámetros de tiempo, velocidad distancia perfil y prestaciones de los trenes.

Existen diversas marchas de conducción que determinan el tiempo de recorrido y la conducción entre estaciones. Las diversas marchas (tendida y económicas) gestionan el consumo energético mediante el ajuste de la deceleración y de las velocidades de deriva y remotor.

El diseño del modelo de marchas económicas para la operación eficiente de las líneas

en hora valle, permite maximizar el ahorro energético mediante la aplicación de órdenes de deriva velocidad de remotor y parábolas de freno reducidas, gestionando tiempos de recorrido y tiempos de parada en estación.



3. Desconexión de subestaciones eléctricas en hora valle.

Las subestaciones eléctricas proporcionan energía al sistema de transporte (tracción de trenes y servicios auxiliares) y a los sistemas de explotación existentes mientras que los trenes disponen de la capacidad de devolver energía durante la fase de frenado (freno regenerativo) en la que los motores actúan como generadores, devolviendo a la catenaria la energía cinética acumulada. Para devolver la energía, la tensión de regeneración del tren debe superar la tensión de catenaria, por lo que ésta deberá ser lo más baja posible dentro de los márgenes de normativa.

La desconexión de determinadas subestaciones eléctricas en hora valle, en función de la tabla de trenes y de la demanda de energía genera una bajada de tensión, siendo ésta más acusada en las proximidades de la subestación desconectada. Esta acción requiere la ejecución de maniobras (apagado/ en la operativa diaria del Puesto de Mando).

4. Reducción de la tensión de salida de subestaciones eléctricas.

Para el óptimo aprovechamiento de la energía regenerada, la tensión en catenaria no debe ser elevada. Los transformadores de tracción son los encargados de reducir la tensión de entrada en la subestación a un valor tal que, una vez rectificado y convertido a corriente continua, permita alimentar a la catenaria a la tensión adecuada. Los transformadores instalados en las subestaciones están equipados con tomas de regulación, que permiten cambiar la relación de transformación y ajustar el valor de

tensión de salida al valor deseado, con un margen de regulación de 5 respecto a la tensión nominal.

Esta acción produce un nuevo reparto de cargas en la línea de catenaria generando una transferencia de energía hacia las subestaciones cercanas a las que se aplica la medida.

5. Cross-bonding.

La energía eléctrica que demanda el Material Móvil fluye desde las subestaciones eléctricas, siendo transportada por la catenaria hasta el tren retornando por los carriles de la vía. Con la instalación de compensaciones, se consigue un mejor aprovechamiento de la energía al disminuir la caída de tensión. Por otro lado, la conexión de las SS/EE en paralelo aseguran la fiabilidad de la instalación mediante un sistema de “arrastrés” ante cualquier incidencia. Esta instalación asegura un aprovechamiento energético entre los diferentes trenes que circulan.

La regeneración en el Material Móvil mediante la reducción de los caminos eléctricos tanto en la catenaria (compensación de positivo) como en el carril (compensación de negativo) entre ambas vías, para encontrar posibles consumidores (trenes y/o subestaciones reversibles), con la consiguiente reducción de pérdidas por caídas de tensión.

Con ello se obtienen los siguientes efectos

- Aumento de la sección efectiva de la línea, reduciendo la resistencia de la misma.
- Mayor aprovechamiento de la energía devuelta durante el proceso de frenado del tren, al aumentar el número de caminos posibles hacia potenciales consumidores.

6. Eliminación de imanes de vía:

La línea aérea está dividida en sectores de tracción separados de sus colaterales mediante elementos denominados aisladores de sección, los cuales pueden ser de dos tipos: aisladores de sección con zona neutra y sin zona neutra.

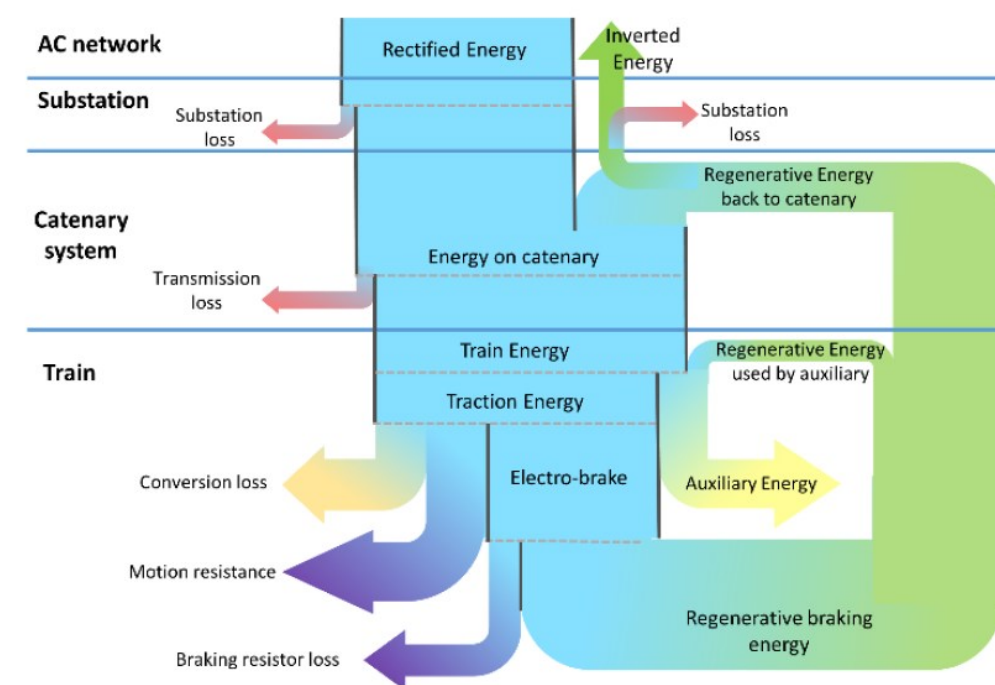
Para mejorar la captación de energía, al paso del tren, por un aislador de sección sin zona neutra existen elementos en la vía, denominados imanes de vía, que inhiben la tracción/frenado regenerativo del Material Móvil.

Los imanes suelen encontrarse en las entradas a las estaciones, momento en el que se produce el frenado, por lo que se impide el correcto aprovechamiento de la totalidad de la energía de frenado regenerativo del Material Móvil.

La modificación de los aisladores de sección y la retirada de los imanes correspondientes nos permite incrementar la ventana de tiempo en la que un tren puede regenerar energía en su proceso de frenado. Esta acción requiere modificaciones en los elementos de la línea aérea y la retirada de equipos en la plataforma de vía.

7. Instalación de subestaciones reversibles.

La energía regenerada por el Material Móvil como consecuencia de su frenado puede ser utilizada por otros trenes, por otras subestaciones o por otras instalaciones de explotación que se alimenten de la red de distribución interna y externa. Inyectar la energía regenerada por el Material Móvil en la red de distribución interna de 15 kV evitando su pérdida en forma de calor y utilizarla para otros consumidores internos (escaleras mecánicas, ascensores, sistemas de ventilación, etc...)



8. Implantación de alumbrado LED en trenes.

El uso de luminarias LED tanto en estaciones como en túneles y vagones de metro permite conseguir ahorros energético superior al 50%, además de optimizar el mantenimiento preventivo al disponer de una mayor vida útil.

9. Optimización de la climatización en el Material Móvil.

Los procesos de climatización del recinto de viajeros del Material Móvil contemplan los modos de funcionamiento de calefacción, ventilación y aire acondicionado. El modo habitual de funcionamiento se establece mediante una curva de confort en la cual se consideran diversas variables como son la temperatura exterior o la del recinto de viajeros, entre otras.

Esta medida tiene por objetivo optimizar el funcionamiento de los equipos de climatización del material móvil minimizando el consumo energético mediante la modificación de las curvas de enfriamiento dentro de unos rangos prefijados en función del periodo invierno/verano, y conforme a la normativa aplicable y parámetros de confort.

10. Optimización de la ventilación de estaciones y túneles.

Empleando estrategias que permitan ventilar cuando el salto térmico entre interior y exterior sea máximo y/o cuando el coste de la energía sea menor, asegurando la salubridad del ambiente.

5.5. GESTIÓN DE LA ENERGÍA

Entre los objetivos primordiales de la gestión energética debemos mencionar los siguientes:

- Conocer dónde y cuanto consumimos.
- Recopilar información sobre los consumos de las diferentes instalaciones en tiempo real, en un BIG-DATA, para su posterior uso en programas de inteligencia artificial capaces de distinguir desviaciones y realizar predicciones y avisos de alarma por consumos excesivos
- Generar acciones para adaptar el consumo a las verdaderas necesidades.

Aprovechamiento de las nuevas tecnologías predictivas y de gestión de la energía basadas en la IA:

- La inteligencia artificial (IA) ha emergido como una herramienta poderosa en muchos ámbitos de la sociedad, y entre ellas, la optimización del consumo energético mediante el análisis de datos en tiempo real y la toma de decisiones inteligentes basadas en el aprendizaje de los comportamientos energéticos del edificio.
- La IA puede reducir significativamente el consumo energético de un edificio al optimizar los recursos y detectar áreas de desperdicio. A su vez, la IA puede conducirnos a una reducción de los costos operativos y de mantenimiento a largo plazo.

Entre las aplicaciones de IA en la Gestión Energética podemos destacar:

Sistemas de Gestión de Edificios (BMS): los BMS utilizan algoritmos de IA para monitorear y controlar sistemas de HVAC, iluminación, y otros sistemas, para optimizar el consumo energético.

Predicción de la demanda: Los modelos de IA pueden predecir la demanda energética de un edificio basándose en factores como el clima, la ocupación y las actividades programadas, permitiendo una gestión más eficiente de los recursos.

Optimización de la Operación: Los algoritmos de IA pueden ajustar automáticamente la operación de equipos y sistemas para minimizar el consumo energético sin comprometer el confort, calidad del aire o la operatividad de los diferentes sistemas.

Detección de Anomalías: Los sistemas de IA pueden identificar anomalías en el consumo energético, como fugas o malfuncionamiento de equipos, permitiendo una respuesta rápida y reduciendo costos de mantenimiento.

Actualmente, Metro de Madrid está implantando un nuevo sistema de gestión inteligente de ventilación en túneles (GIV), este sistema permite controlar de forma individualizada cada ventilador, y cada 8 horas decide la mejor programación, teniendo en cuenta diversos criterios y variables, como las características técnicas de los trenes que circulan por la red, el número de viajeros, la temperatura del aire o las tarifas eléctricas; con ello se pueden conseguir ahorros energéticos que pueden suponer el 40% y reducir las emisiones de CO₂.

6. CONCLUSIONES

En este estudio se han ponderado, desde el punto de vista energético, todos aquellos elementos consumidores de energía para las nuevas estaciones de Metro y sus túneles. Con ello, se han identificado aquellos sistemas que más afectan al consumo energético y su potencial de reducción de energía. Entre ellos caben destacar por orden de importancia:

1. Sistemas de tracción
2. Sistemas de ventilación en túneles y estaciones
3. Sistemas de iluminación en estaciones y túneles
4. Sistemas de transporte vertical (escaleras mecánicas y ascensores)
5. Sistemas de climatización.

Dentro de su estrategia energética, Metro de Madrid está desarrollando e implantando programas de mejora energética en todas sus estaciones y líneas de metro.

En el Plan de ahorro de energía de Metro de Madrid (PAE) y posterior Plan de Eficiencia Energética (PEE), se han establecido una serie de pautas a seguir y que deben ser consideradas

en sus nuevas ampliaciones. Dichos planes se centran sobre todo en áreas como la optimización del consumo de tracción y aumento de la regeneración, la implantación de tecnología LED en los sistemas de alumbrado, así como la gestión eficiente e inteligente de la ventilación de estaciones y túneles. La implantación de estas soluciones ha demostrado unos resultados muy satisfactorios y se consideran como una referencia a seguir en el resto de las ampliaciones del Metro de Madrid.

Si bien no suponen una gran repercusión en el cómputo general energético, se han considerar también las medidas adoptadas para los sistemas de transporte vertical siendo recomendable seleccionar equipos de la mayor eficiencia energética del mercado, así como la posibilidad del uso de energías renovables como el aprovechamiento de la temperatura del terreno (geotermia de baja entalpía) para los sistemas de climatización propios de las estaciones, o el uso de la energía solar fotovoltaica, si bien este último queda muy limitado dada la baja disponibilidad de superficies exteriores aprovechables.

