

17<sup>a</sup> REUNIÓN INTERMEDIA  
DE LOS COMITÉS TÉCNICOS DE ALAMYS

3-7 de junio de 2012

# La eficiencia energética en metro bilbao

D. Luis Ramos

Jefe de Desarrollo Corporativo

Metro Bilbao



# Índice

1. La política de eficiencia energética.
2. Características del suministro
3. Balance de consumo energético
4. Estrategia
5. Conexión de Metro Bilbao a la red de transporte a 220 kV
6. Recuperación de energía en el proceso de frenado de los trenes
7. Marcha eficiente en la circulación
8. Revisión del módulo de regulación de tráfico del telemando de tráfico.
9. Gestión eficiente de la iluminación (control de presencia).
10. Iluminación de trenes
11. Iluminación de estaciones
12. Iluminación de accesos en estaciones
13. Iluminación en paneles informativos
14. Resumen de ahorros
15. Conclusiones



# 1. La política de eficiencia energética en metro bilbao

Creación de la Dirección de “Desarrollo Corporativo” con diferentes áreas de operación; una de ellas el “Área de eficiencia energética ” cuya responsabilidad es:

- Análisis de consumo.
- Detección de nichos de ahorro en todas las partidas de consumo de metro bilbao.
- Desarrollo de prototipos y pruebas.
- Validación de los nichos.
- Entregar a las áreas técnicas las propuestas validadas para su implantación.



# 1. Características de suministro

- ⚡ Número de subestaciones; 10 distribuidas por toda la línea.
- ⚡ Tensión de suministro; 30 kV en 9 subestaciones y 13,2 kV en 1 subestación
- ⚡ Potencia contratadas; 16.990 Kw.

## Los centros de transformación suministran energía a:

- ⚡ Feederes de acompañamiento y catenaria; 1500 V, CC
- ⚡ Estaciones subterráneas; 380 y 220, CA
- ⚡ Talleres; 380 y 220 CA

## 2. Características de la red y del material móvil de metro Bilbao



### 3. Balance de consumo energético

Balance de consumo en Metro Bilbao	Consumo (kWh/año)
Tracción (70%)	53.200.000
Estaciones (30%)	22.800.000
<b>Total (100%):</b>	<b>76.000.000</b>

#### Balance de consumos en estaciones soterradas

Tipo de consumo	%	Consumo/año
Iluminación	61	11.211.690
Escaleras y ascensores	33	7.235.715
Enclavamiento	6	4.805

## 4. Estrategia

Preguntas:

¿Estamos haciendo las cosa bien?

¿Se podrían hacer de otra forma?

Respuestas/Conclusiones:

Hacer reingeniería (rediseño)

➤ Conexión de Metro Bilbao a la Red de Transporte de Electricidad

- ✓ Conexión de Metro Bilbao a la red de transporte, a 220 kV
- ✓ Devolución de energía a la red procedente del frenado de los trenes.
- ✓ Marcha eficiente en la conducción de trenes.
- ✓ Revisión del Módulo de Regulación de Tráfico, con criterios de eficiencia.
- ✓ Gestión eficiente de la iluminación (Control de presencia)

➤ Migración a tecnologías mas eficientes de iluminación:

- ✓ Iluminación en UT´s.
- ✓ Iluminación en estaciones.
- ✓ Iluminación en acceso a estaciones
- ✓ Iluminación en paneles informativos.
- ✓ Iluminación en escaleras.

## 5. Proyecto Conexión de Metro Bilbao a la red de transporte, a 220 kV

**Situación actual.** Conexión de cada una de las 10 subestaciones transformadoras -rectificadoras a la red de distribución (10 contratos independientes).

**Situación que se pretende.** Una única conexión a la red de transporte, a 220 kV, y todas las subestaciones conectadas entre sí a 30 kV., para establecer en Metro Bilbao una red propia (Un único contrato).

**Objetivo de este proyecto.** En caso de catástrofe o de siniestro en la red de distribución, poder suministrar energía eléctrica a las zonas afectadas, a través de la red propia de Metro Bilbao, que estaría conectada a la red de transporte.

El fundamento de este proyecto es que la red de transporte es más segura que la red de distribución.

**Beneficiarios de este proyecto.** Las zonas urbanas por donde discurren la red de los metropolitanos.

## Ventajas para Metro Bilbao:

### Ventajas económicas

➤ **Ventaja inmediata.** Paso de la tarifa 6.1 (<36 kV) a la tarifa 6.4 (>145 kV), lo que implicaría una reducción en el pago por el acceso a redes de 1.800.000 euros/año.

### ➤ Ventajas derivadas.

- ✓ La práctica totalidad de la energía procedente del frenado de trenes y no aprovechada por otros, sería devuelta a la red propia de Metro Bilbao.
- ✓ Al no haber afección por calidad de suministro en subestaciones colaterales, se optimizaría la potencia total contratada disminuyendo el término de potencia de la Tarifa de Acceso a Redes.

### Ventajas técnicas

- Control directo sobre la calidad del suministro.
- Mejor estabilización de la tensión de alimentación.

## Infraestructuras necesarias

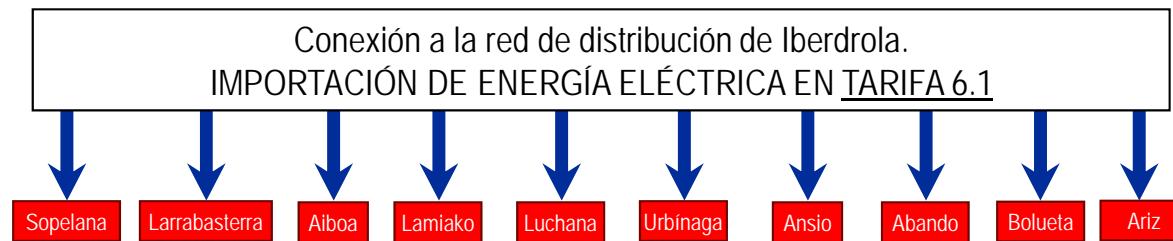
Construcción de una nueva subestación en las cercanías de la red de Metro Bilbao para la conexión a la red de transporte, con una transformación de 220-30 kV.

Este costo debería ser soportado por el Sistema Eléctrico Nacional, SEN.

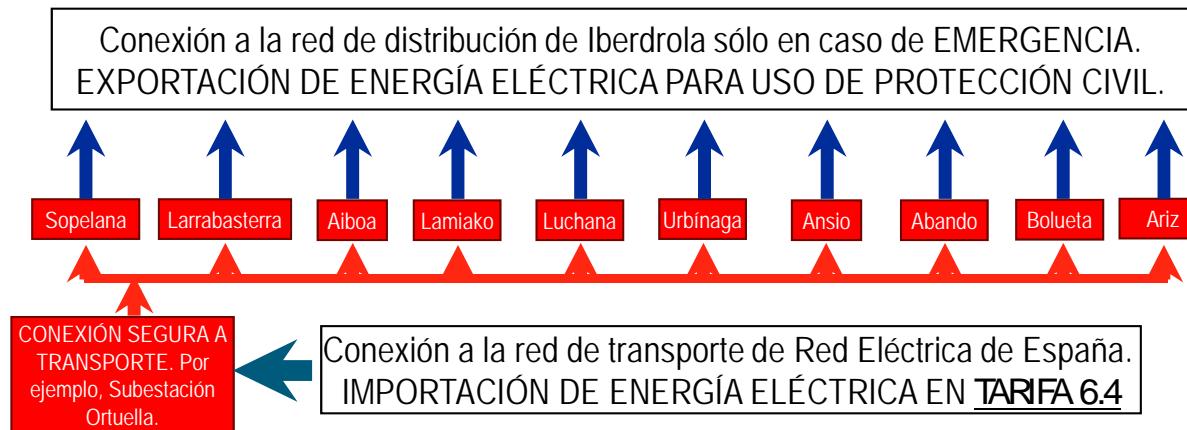
Interconexión, a 30 kV, de las subestaciones de Metro Bilbao.

Este costo sería soportado por Metro Bilbao.

## Situación actual



## Situación a futuro



## 6. Recuperación de energía en el proceso de frenado de los trenes

### Fundamentos del proyecto:

- ✓ Parte de la energía cinética generada en el proceso de aceleración se libera en el proceso de frenado.
- ✓ Hasta el proyecto, una unidad traccionando puede absorber la energía cinética liberada por otra unidad cercana.
- ✓ La energía no aprovechada en ese proceso de recuperación se “quemaba” en resistencias.



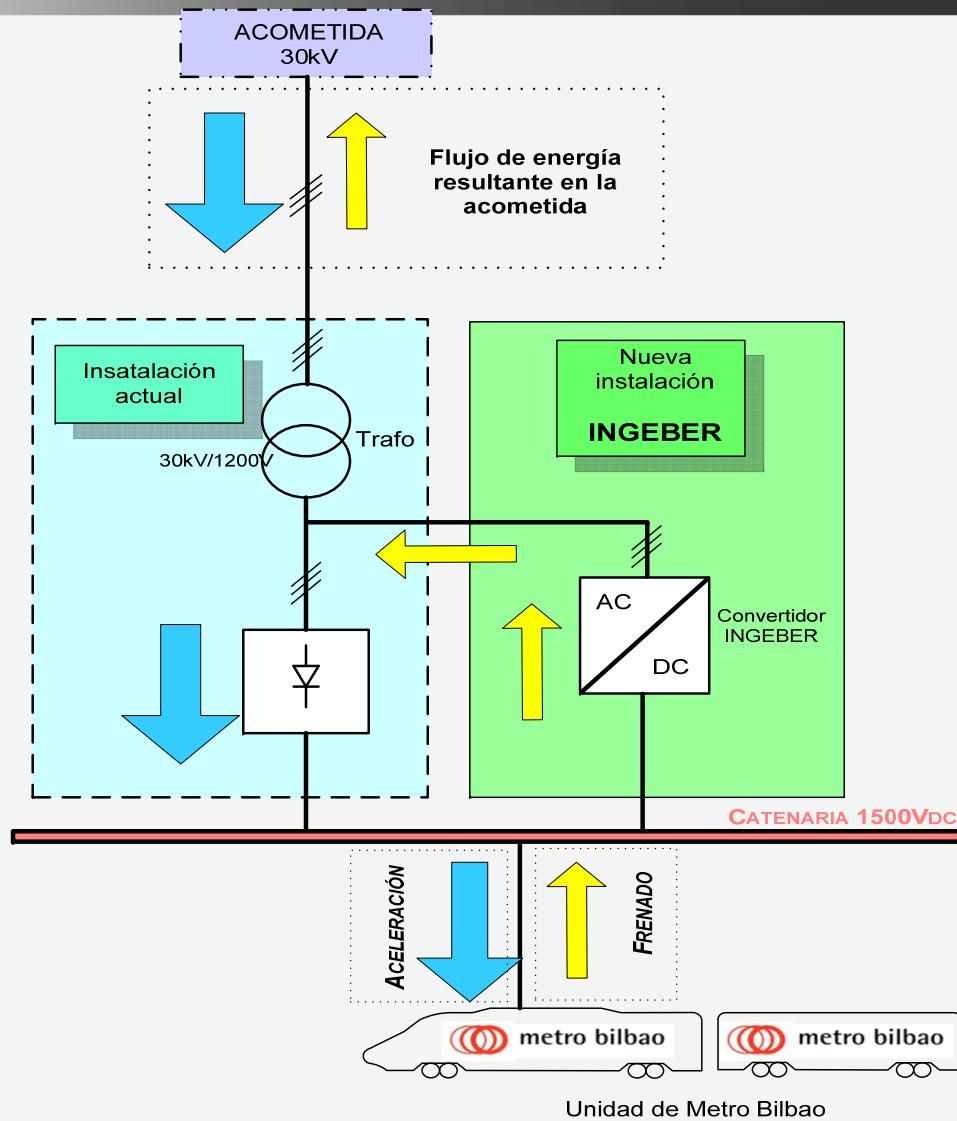
## Objeto del proyecto:

- ✓ Dotar a las subestaciones de Metro Bilbao de un sistema reversible que permita la devolución a la red de distribución de la energía potencialmente recuperable y que se quemaba en resistencias.

Los sistemas de alimentación de la catenaria estaban formados por puentes rectificadores, unidireccionales.

Sólo se podía aprovechar la energía regenerada en la frenada si había una unidad cercana traccionando. Es decir, no se podía devolver energía a la red de distribución.





## Ámbito de actuación:

Subestación	Consumo anual (kWh/año)
Ripa	13.467.498
Aiboa	8.060783
Ariz	6.174.863
Lutxana	9.435.168
Urbinaga	9.504.511

% de devolución a la red, de la energía contratada, 8,5 %

Estas 5 subestaciones pueden devolver a la red el 90 % de la energía potencialmente recuperable.

$$8,5\% \text{ según } 53.200.000 = 4.522.000 \text{ kWh/año}$$

## 7. Marcha eficiente en la circulación de trenes

### Antecedentes

Metro Bilbao opera mediante un sistema de conducción automático diseñado con un criterio básico de invertir el menor tiempo posible en recorrer cada intersección.

El sistema de operación de la red de Metro Bilbao que soporta este sistema automático se basa, fundamentalmente, en:

- ✓ Sistema de protección de tren (ATP)
- ✓ Sistema de conducción automática (ATO)

El servicio opera actualmente en base a 3 marchas, rápida, normal y lenta.

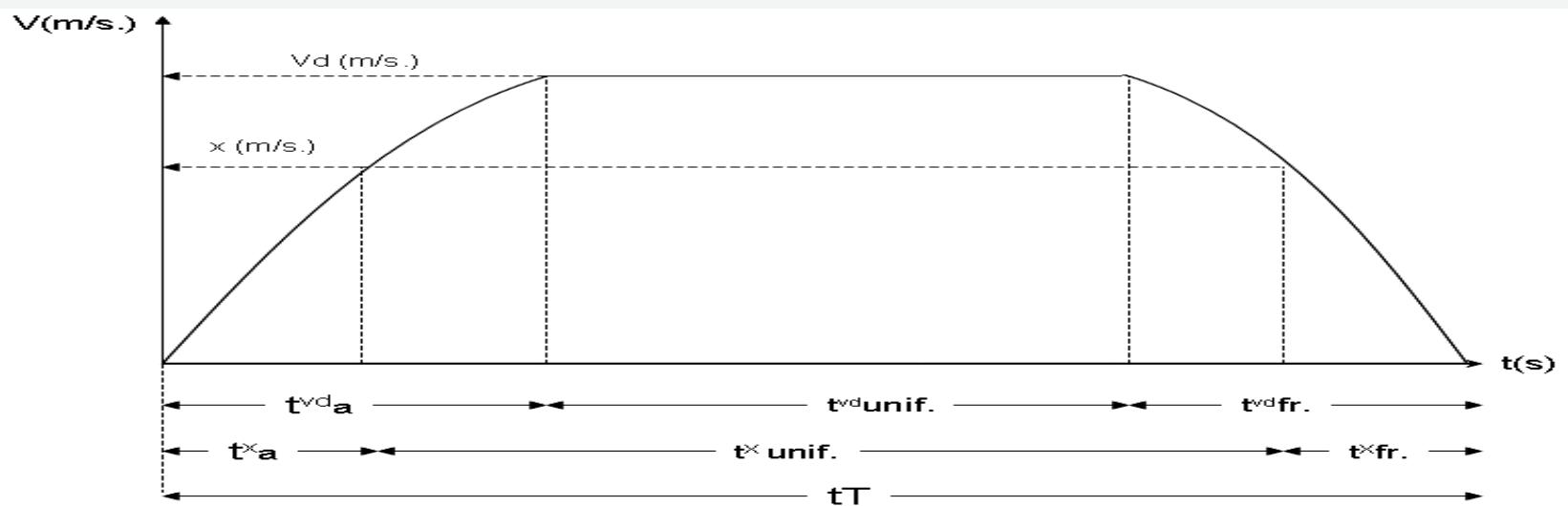
La marcha normal es la base con la que se diseña el servicio que se presta y las rápida y lenta se utilizan para regular el tráfico en situaciones degradadas.

El criterio para definir la marcha normal es alcanzar la velocidad prescrita en cada circuito de vía en el menor tiempo posible. Lo mismo para las deceleraciones en el caso de frenada.

## Objetivo del proyecto:

Observaciones del personal de conducción, cálculos y simulaciones se detectado que sin penalizar el tiempo de marcha entre estaciones se podrían implantar otros modos de conducción, diseñados con criterios de eficiencia energética.

Se trata, pues, de rediseñar e implantar las marchas y velocidades de forma que mantengan el compromiso de una reducción del consumo energético y la no penalización del tiempo de marcha en las diversas intersecciones.



Siendo:  $V_d$ : Velocidad de diseño (prescrita) /  $X$ : nueva velocidad a prescribir /  $T_a$ : tiempo acelerando /  $T_{unif.}$ : Tiempo a velocidad uniforme /  $T_{fr}$ : tiempo frenando /  $t_T$ : Tiempo de marcha en el tramo analizado

## Datos básicos:

Consumo de tracción, 53.200.000 kWh.

Estimación de ahorro, según simulación, por implementación de la marcha eficiente: 6,08 %.

Actuación prevista; modificar el soft los equipos embarcados (ATO) para implementar el nuevo modo de conducción; nuevas velocidades y aceleraciones para cada interestación.

Limitaciones; que la penalización en tiempo no implique la necesidad de nuevas unidades.

6,08 % según 53.200.000 kWh/año = 3.234.560 kWh/año

## 8. Revisión del Módulo de Regulación de Tráfico

### Situación inicial viabilidad del cambio

Un grupo de trabajo en Metro Bilbao, en base a sus percepciones y cálculos numéricos básicos, recomienda la modificación de la marcha. Se realizan varias pruebas de campo y se concluye en que respecto a la situación inicial:

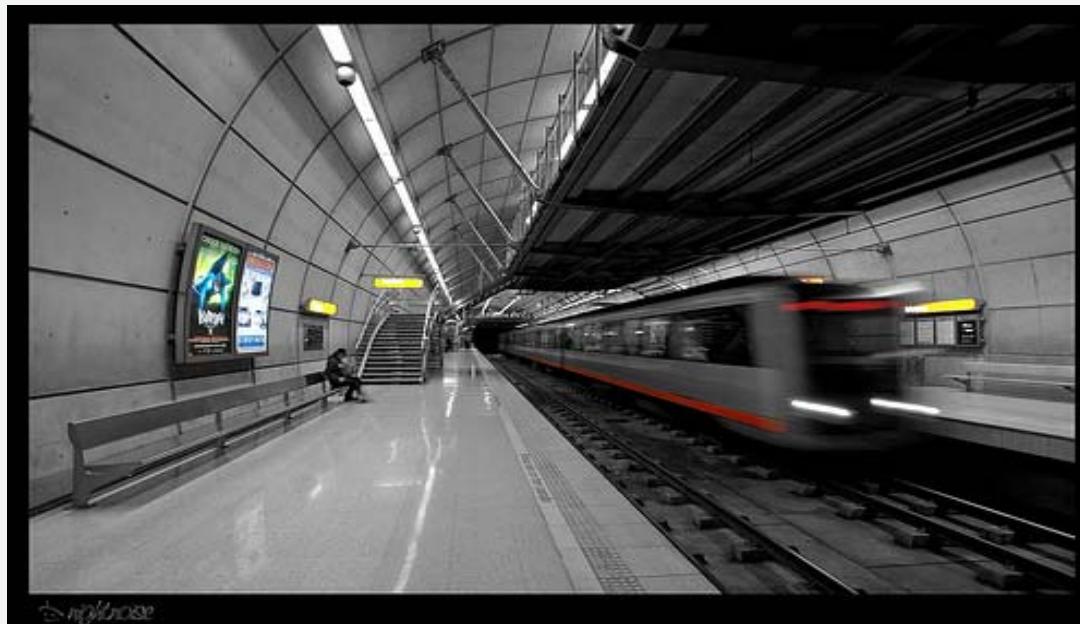
	Vmax (km/h)	a(m/s <sup>2</sup> )	d(m/s <sup>2</sup> )	Jerk (m/s <sup>3</sup> )
Marcha lenta	80	0,8	0,6	0,78
Marcha normal	80	1	1	0,78
Marcha rápida	80	1,2	1,2	0,78

Se puede realizar un cambio sencillo, "ir más despacio".



## Cambios período 2011/2012

Primer semestre 2011 Metro Bilbao inicia la modificación del “módulo de regulación” del telemando de tráfico y se modifican las marchas de tal forma que la marcha normal (de diseño) se confecciona con parámetros de lenta.



## Situación actual y resultados conseguidos

Una vez asentados los cambios anteriormente indicados el resultado conseguido es:

Cambio \ Marcha	Rápida	Normal	Lenta	(1) Consumo (kWh) Recorrido total dos líneas ida y vuelta
Antes	58 %	26 %	16 %	1.613,33
Después	21,91 %	15,75 %	62,34 %	1.491,03

(1) Cálculos realizados con la herramienta de simulación desarrollada por la Universidad de Comillas

$$\text{Ahorro \%} = \frac{\text{Consumo 2012}}{\text{Consumo 2011}} = \frac{Q \Delta^{2011}/_{2012}}{Q_{2011}} = 7,6 \%$$

Luego el ahorro conseguido es  $0,076 \times 0,7 \times 76 \text{ GWh} = 4.043.200 \text{ kWh/año}$

Ahorro neto descontando la pérdida de eficacia de las celdas: 3.699.528 kWh/año

## 9. Gestión eficiente de la iluminación (control de presencia)

Iluminación en estaciones, 24 horas/día, 365 días al año.

- Servicio ferroviario 24 horas; sábados, navidad, Aste Nagusia.
- Ampliación de servicio, viernes no verano y vísperas de festivos.

260 día/año, en horario nocturno sin servicio para labores de limpieza y mantenimiento.

### Zonas de regulación:

Zona de regulación	Parte de la estación
Zona 1	Cañón 1 + mezzanina 1 + acceso 1
Zona 2	Andén 1 + andén 2
Zona 3	Cañón 2 + mezzanina 2 + acceso 2

## Criterio de aplicación a los detectores de presencia

- Criterio básico. Una zona iluminada y 2 apagadas (con iluminación de emergencia).
- La activación del detector habilitará 30 min. de iluminación (en estudio).
- Horas de funcionamiento. De 23 h 45 m a 5 h 45 m = 6 horas.

Ahorro por instalación de un control de presencia en las 23 estaciones soterradas, manteniendo la iluminación de emergencia: 1.011.670 kWh.

# 10. Iluminación de trenes

## Migración a tecnología Led

Datos del parque de material móvil:

UT	Total	Número de tubos (56/18 w)	Consumo/año (kWh)
5 coches	22	5.104	972.397
4 coches	24	4.464	848.625
Total	46	9.568	1.821.022

Ahorro estimado por migración a tecnología led; 63%

$$1.821.022 \times 0,63 = 1.147.244 \text{ kWh/año}$$

# 11. Iluminación en estaciones

## Migración a tecnología Led

Balance de consumos en estaciones soterradas:

Tipo de consumo	%	Consumo/año
Alumbrado	61	11.211.690
Escaleras y ascensores	33	7.235715
Enclavamiento	6	4.805
Total		18.452.210

## Ámbito de actuación: (Andenes, mezzaninas y cañones de acceso).

Consumo: \_\_\_\_\_ 11.211.690 kWh

Número de lámparas: \_\_\_\_\_ 18.814 fluorescentes

Potencia total instalada: \_\_\_\_\_ 1.300 kW

Acción	% de ahorro
Sustitución por Led y regulación en andén si presencia de tren	51%
Sustitución por Led, regulación en andén si presencia de tren y cambio de nivel lumínico	67 %
Sustitución por Led, cambio de nivel lumínico, regulación en andén si presencia de tren y control por grupos de luminarias	67%

51 % según 11.211.690 kWh/año = 5.717.962 kWh/año

## 12. Iluminación en accesos a estaciones.

En cañones de acceso a estaciones, la iluminación está integrada en los pasamanos de las escaleras.

Número de equipos:

100	Escaleras mecánicas
10	Pasillos rodantes
2.284	Número de tubos fluorescente
173 kW	Potencia instalada
1.660.180 kWh	Consumo anual

Acción	Ahorro
Sustitución por tubo T5	43 %

43 % según 1.660.180 kWh/año = 713.877 kWh/año

# 13. Iluminación en paneles informativos

## Cuantificación de los equipos

Tipo de soporte	nº de caras	nº de tubos	consumo (kWh/año)
Curvo	296	1.480	377.436
Plano	369	1.566	640.429
			1.017.865

Tipo de soporte	Actuación	ahorro
Curvo	T8 con tecnología led	50%
Plano	T5 + balasto electrónico	50%

50 % según 1.017.865 kWh/año = 508.932 kWh/año

## 14. Objetivo de ahorros

Concepto	Ahorro (kWh/año)
Devolución de energía a la red procedente del frenado	4.522.000
Modificación de los modos de conducción	3.234.560
Revisión del módulo de regulación de tráfico	3.699.528
Gestión eficiente de la iluminación en estaciones (control de presencia)	1.011.670
Iluminación en UT's	1.147.244
Iluminación en estaciones	5.717.962
Iluminación en paneles informativos	508.932
Iluminación en escaleras	713.877

Nota: Los ahorros indicados están basados en actuaciones individualizadas.  
No está contemplada la interacción/cruce entre ellas.

## 15. Conclusiones

- Metro Bilbao ha desarrollado una cultura basada en consumir lo **mínimo** / recupera lo **máximo** que puedas.
- No hemos confeccionado un balance total porque se cruzan los resultados, por ejemplo marcha eficiente con recuperación procedente del frenado.
- Nunca implantamos nada en base a número teóricos (cultura de trabajo con prototipos).
- Estamos convencidos de que la energía más barata es la que hemos comprado hoy, por lo tanto todo lo que invertimos en eficiencia si hoy es restable mañana será más.

# Gracias por su atención Obrigado

D. Luis Ramos

[lramos@metrobilbao.net](mailto:lramos@metrobilbao.net)