



Aula-Empresa Madrid Subterra

Actividades realizadas 18/19

Javier Muñoz-Antón

INDUSTRIALES
ETSII | UPM



INDUSTRIALES
ETSII | UPM



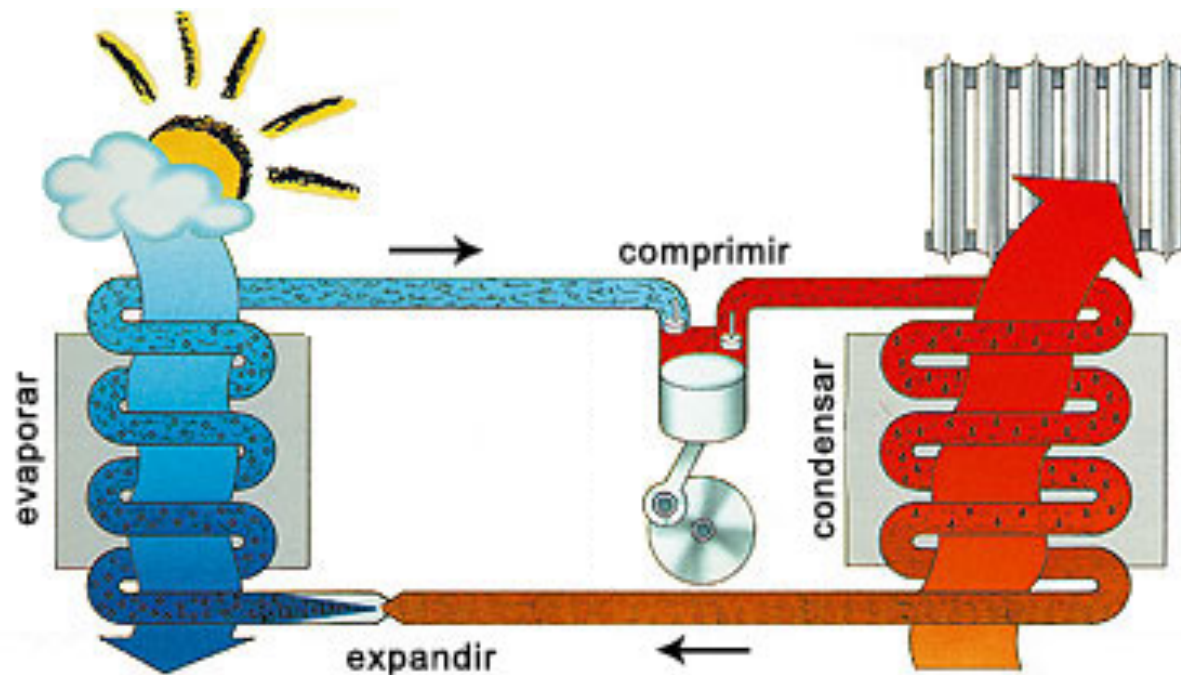
1919 - 2019





- ¿Cómo aprovechar energéticamente las infraestructuras subterráneas?
 - Varias posibilidades
 - Geotermia
 - Aerotermia
 - Hidrotermia
 - Intercambiadores de calor
 - ... muros termoactivos
- Bomba de calor

- Bomba de calor
 - por cada W eléctrico se pueden obtener entre 2 y 4 W térmicos



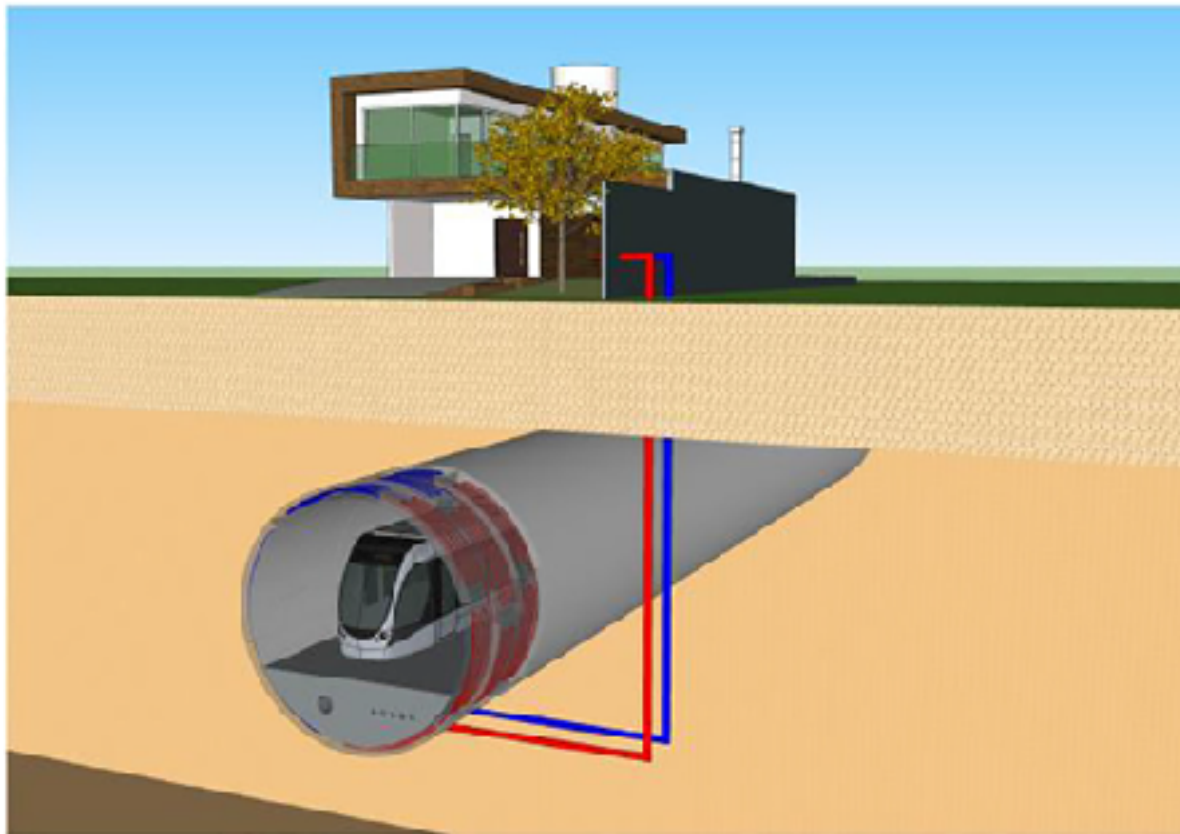


- Bomba de calor
 - por cada W eléctrico se pueden obtener entre 2 y 4 W térmicos
- ¿Qué podemos conseguir con la bomba de calor?
 - Producir calefacción en invierno
 - Producir refrigeración en verano
 - Producir Agua Caliente Sanitaria (ACS)

- Intercambiadores de calor



- Muros termoactivos



Marco Barla, Alice Di Donna, Energy tunnels: concept and design aspects, Underground Space 3 (2018) 268–276



1. Elaboración de mapa de potencial energético en la infraestructura de Madrid Calle 30. Caracterización del recurso.
2. Análisis del potencial energético real en la infraestructura de Madrid Calle 30 mediante simulación numérica.
3. Refrigeración del aire de entrada en estaciones de la red de Metro de Madrid mediante uso de energía geotérmica.
4. Análisis de soluciones técnicas para el aprovechamiento térmico del calor residual en la infraestructura de Metro de Madrid.

Javier Muñoz Antón – Profesor ETSII, Coordinador

Juan Manuel González García – Profesor ETSII

- Ezequiel Armesto Longueira –Grado Ingeniero de la Energía
- Jaime Codosero Escobar –Grado Ingeniería en Tecnologías Industriales
- Patricia Tobaruela González –Grado Ingeniería en Tecnologías Industriales

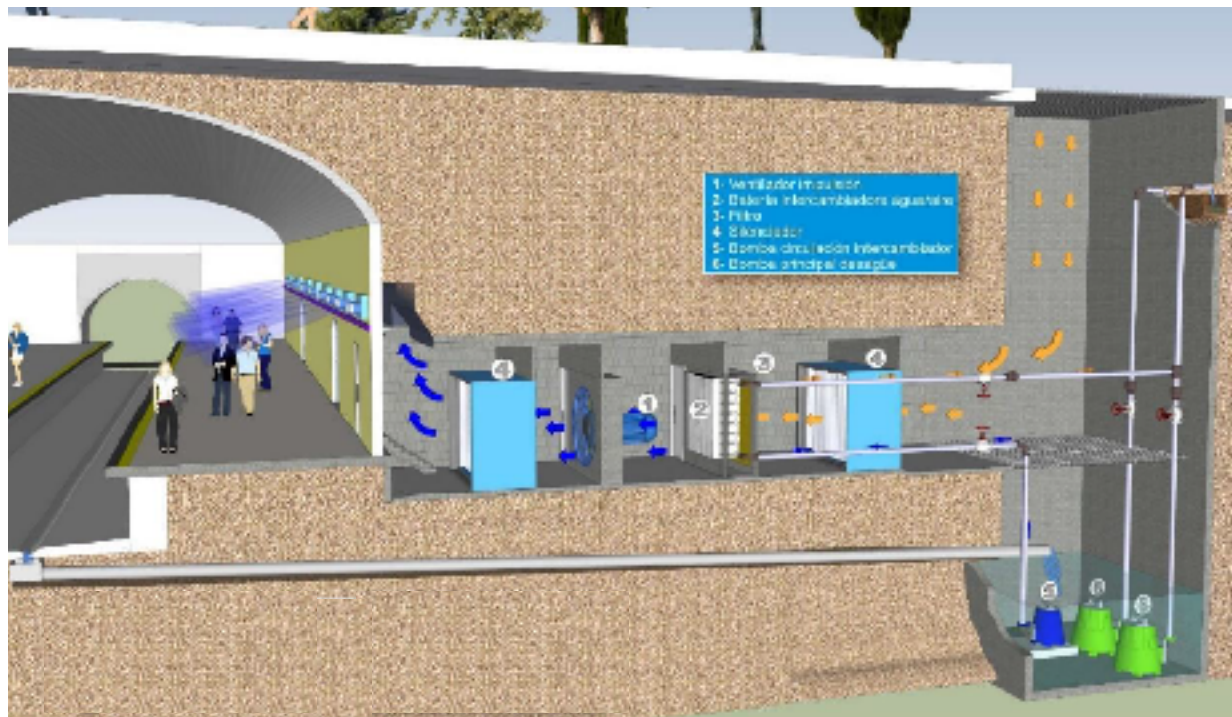
Javier Muñoz Antón – Profesor ETSII, Coordinador

Juan Manuel González García – Profesor ETSII

- Jone Aramburu Barreiro – Máster Universitario en Ingeniería de la Energía
- Fernando Padellano Avilés – Máster Universitario en Ingeniería de la Energía
- Julián Pérez Tavernier – Máster Universitario en Ingeniería de la Energía

- Metro:
 - atemperación del aire de sus estaciones con el agua de sus pozos y/o geotermia
 - aprovechamiento de calor residual para producción de ACS (aerotermia)
- Madrid Calle 30, túneles,
 - Refrigeración
 - Calefacción
 - Producción ACS

- Intercambiadores de calor: aprovechamiento del agua de escorrentía para la atemperación de estaciones



- Intercambiadores de calor: aprovechamiento del agua de escorrentía para la atemperación de estaciones

- Datos facilitados por Metro

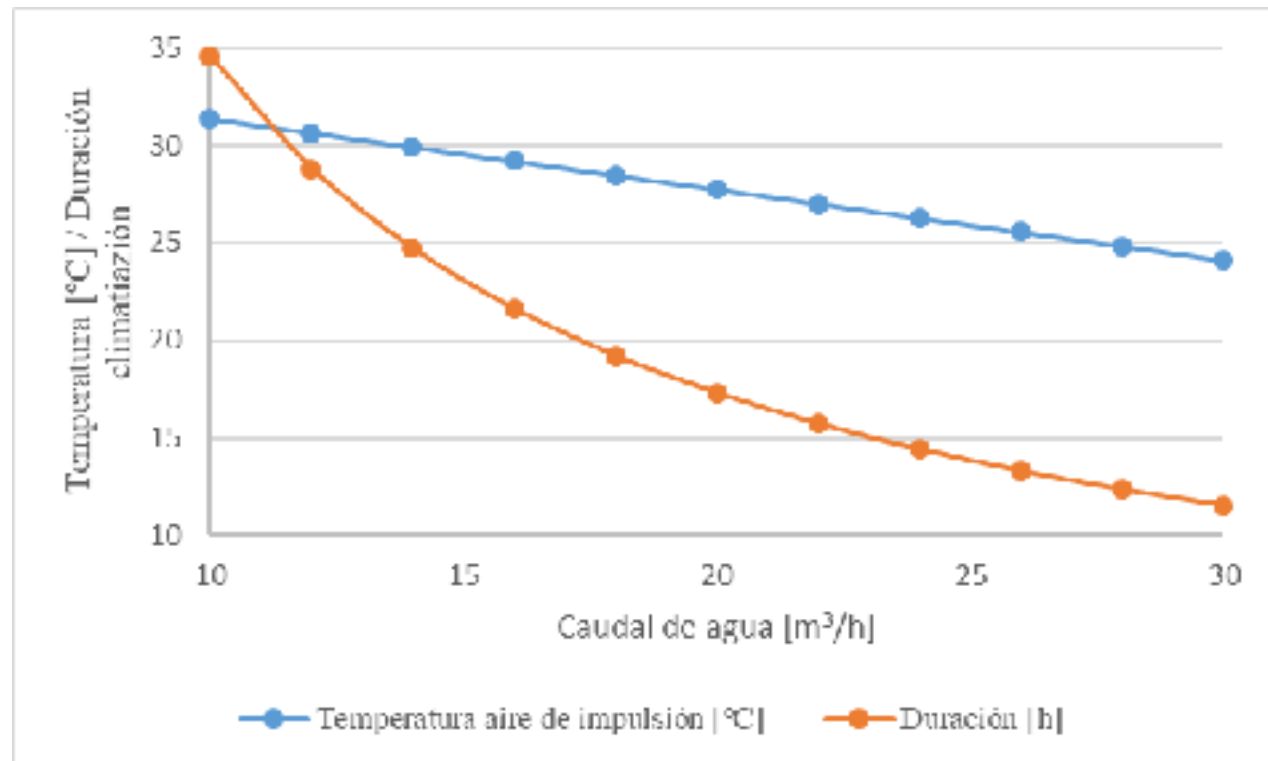
Baterías Datos de cálculo	Potencia		Caudal aire (m³/h)	Aire entrada		Aire salida		Qw (kg/h)	Agente térmico		PC agua (kPa)
	kW	kcal/h		BSe(°C)	HRe(%)	BSe(°C)	HRs(%)		T (°C)	Tipo	
21 Bía de frío:	-93,0	-80.020	40.000	35,0	30,0	27,7	45	20.000	18/22	Agua	27,1

- Valores replicados de los cálculos facilitados por Metro

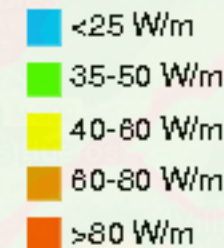
Altitud	Potencia	Caudal aire	Entrada		Salida		Caudal de agua	Agua
			Tbs	HR	Tbs	HR		
[m]	[kW]	[m³/h]	[C]	[%]	[C]	[%]	[kg/h]	[C]
0	93	40000	35	30	27,8	45,1	20000	18/22
661	93	40000	35	30	27,2	46,7	20000	18/22

- Intercambiadores de calor: aprovechamiento del agua de escorrentía para la atemperación de estaciones

- VOLUMEN MEDIO BOMBEADO/DIA JORNADA SECA 346m³ (P. BOMBAS BAMBU-CHAMARTIN)



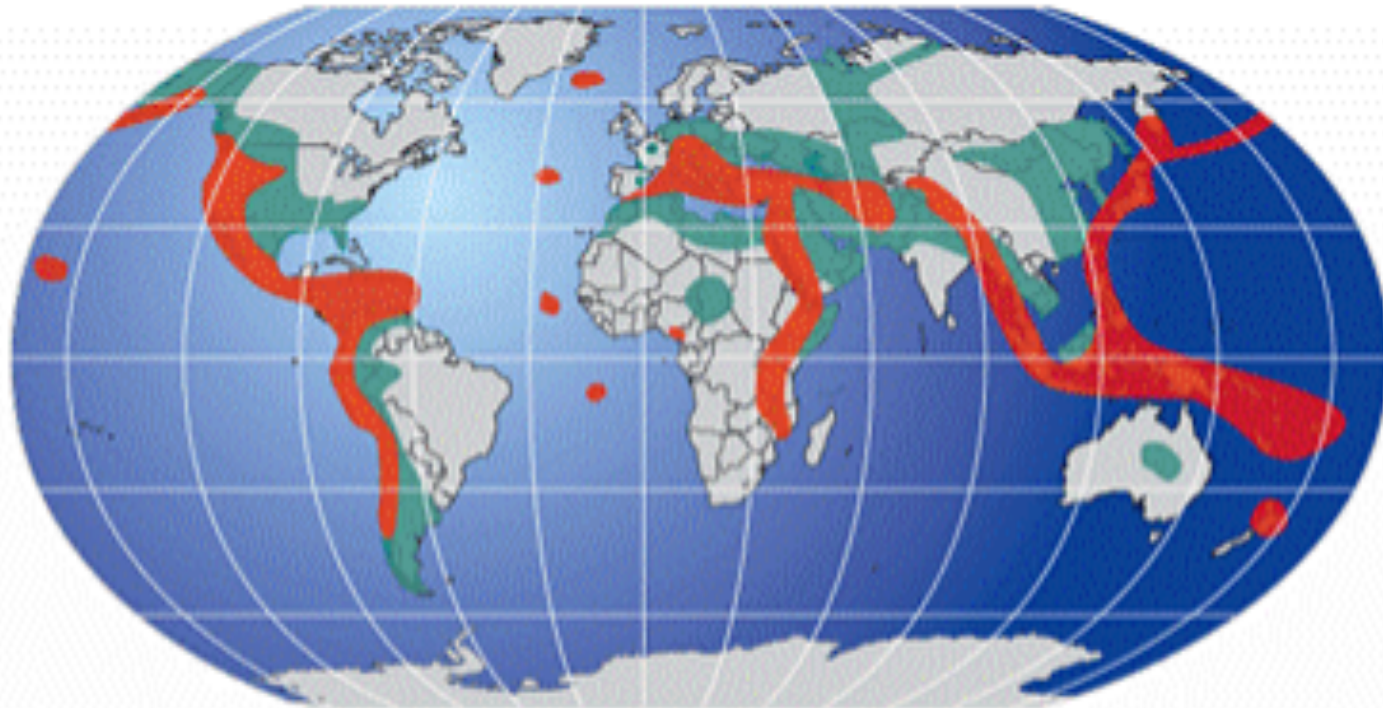
- Geotermia: suelo + bomba de calor
- El suelo de Madrid es variado en su recurso geotérmico







- Geotermia: suelo + bomba de calor
- El suelo del municipio de Madrid es variado en su recurso geotérmico
- Resultados más representativos:
 - Calefacción 0,0177 kW/m
 - Refrigeración 0,0051 kW/m
 - ACS 0,24 L_{ACS}/m
- Se necesita más información del suelo para obtener mejores resultados



- ZONAS PROPICIAS AL DESARROLLO DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA DE ALTA TEMPERATURA
(REGIONES TECTÓNICAS Y VOLCÁNICAS EMERGIDAS)
- ZONAS FAVORABLES A LA ENERGÍA GEOTÉRMICA DE BAJA TEMPERATURA
(CUENCAS SEDIMENTARIAS)
- ZONAS DE ZÓCALO CRISTALINO RESERVADAS PARA LA ENERGÍA GEOTÉRMICA DE MUY BAJA TEMPERATURA

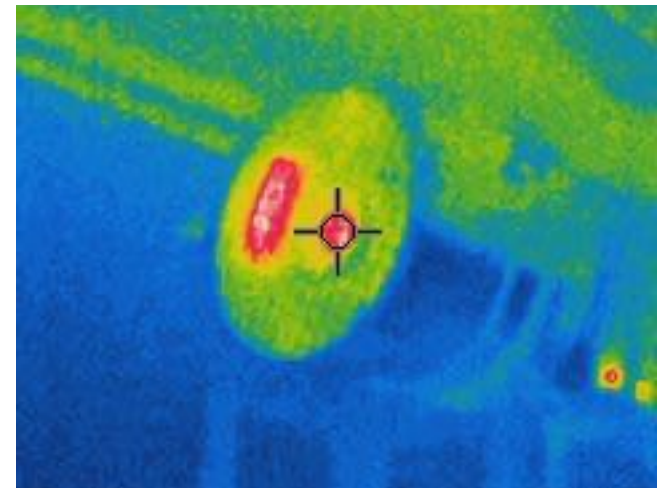
Site Geothermie-Perspectives de l'ADEME et du BRGM) <http://www.geothermie-perspectives.fr/>



Túnel de la M-30 a la altura del Paseo de la Virgen del Puerto



- Aerothermia: aire interior túneles + bomba de calor
- Posibilidad de aprovechar el calor residual del aire proveniente de:
 - Madrid Calle 30 → Vehículos, humos de escape, etc.
 - Metro → Trenes, usuarios, etc.
- Ventiladores de más de 100.000 m³/h





- Posibilidad de aprovechar el calor del aire
 - Refrigeración: 0,0074 kWh/m³
 - Calefacción: 0,0069 kWh/m³
 - ACS: 0,14 litros/m³



- Posibilidad de aprovechar el calor del aire
 - Refrigeración: 740 kW en 1h funcionamiento
 - Calefacción: 690 kW en 1h funcionamiento
 - ACS: 14000 litros en 1h funcionamiento

Ventiladores de 100.000 m³/h

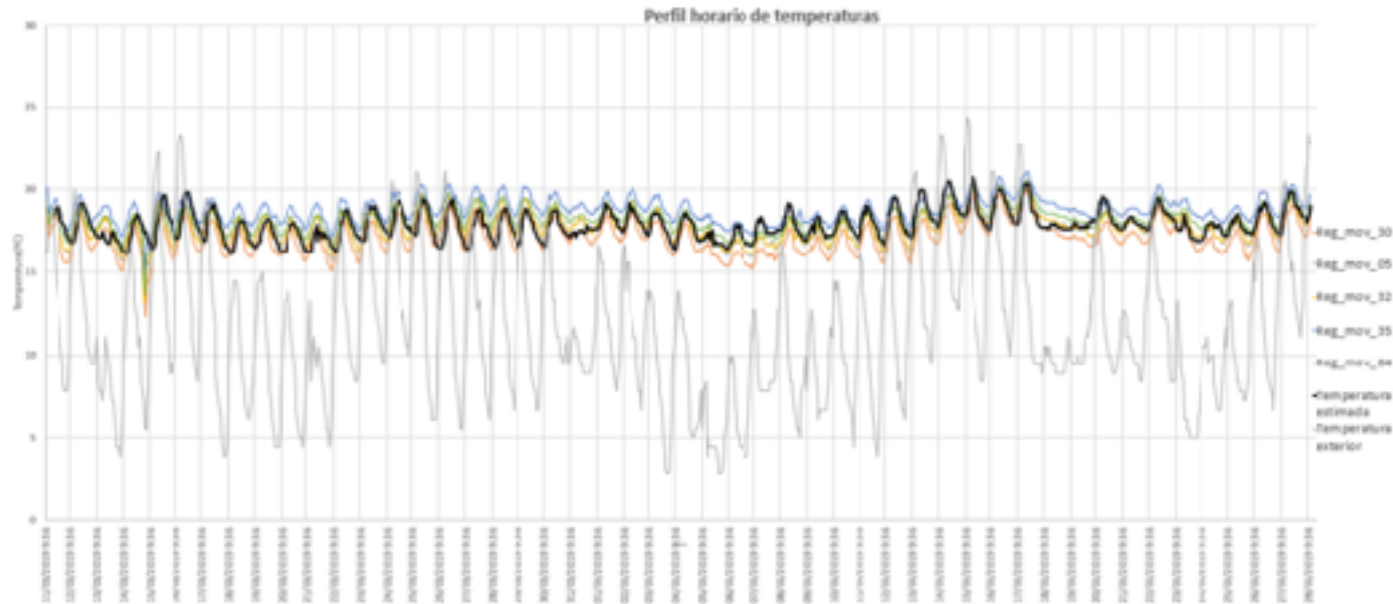


- Posibilidad de aprovechar el calor del aire
 - Refrigeración anual de 37 viviendas 1h funcionamiento
 - Calefacción anual de 4 viviendas 1h funcionamiento
 - ACS diario de más de 450 personas 1h funcionamiento

IDAE: 20 kWh de refrigeración al año por vivienda; 120 kWh de calefacción al año por vivienda

CTE HE4: ACS 30 litros por persona al día

- Estudio para Madrid Calle 30
 - Campaña de medida de temperatura en túnel
 - Modelo de estimación temperatura interior del túnel a partir de las condiciones climatológicas exteriores



- Estudio para Madrid Calle 30
 - Campaña de medida de temperatura en túnel
 - Modelo de estimación temperatura interior del túnel a partir de las condiciones climatológicas exteriores
 - Estimación del potencial:
 - Refrigeración: $0,0074 \text{ kWh/m}^3$
 - Calefacción: $0,0069 \text{ kWh/m}^3$
 - ACS: $0,14 \text{ litros/m}^3$

- Estudio para Metro
 - Producción de ACS a partir del aire de túneles
Gran Vía – Tribunal – Bilbao
 - Caudal ventiladores en condiciones nominales:
448.000 m³/h
 - Posibilidad de abastecer:
7500 personas al mes



- Labores pendientes:
 - Medida continuada de la temperatura del aire en localizaciones donde se desee obtener una mejor caracterización del recurso
 - Análisis de espacios para colocar los equipos asociados a la aerothermia
 - Estudio del modelo de explotación



- Hidrotermia: pozos de agua + bomba de calor
 - Pozos de MC30 y Metro tienen aproximadamente la misma temperatura, el potencial es similar por cada m^3
 - Aproximadamente
 - Refrigeración: 9 kWh/m^3 bombeado
 - Calefacción: $4,27 \text{ kWh/m}^3$ bombeado
 - ACS: 79 litros/m^3 bombeado



- Aproximadamente, con los pozos de MC30 se puede producir:
 - Refrigeración: asumiendo 20 kWh/m² al año (IDAE)
 - Calefacción: asumiendo 120 kWh/m² al año (IDAE)
 - ACS: asumiendo 30 litros/persona al día (CTE)



- Aproximadamente, con los pozos de MC30 se puede producir:
 - Refrigeración: unas 4250 viviendas al año
 - Calefacción: cerca de 400 viviendas al año
 - ACS: casi de 20.000 personas al año

- Labores pendientes:
 - Medida continuada de la temperatura de agua de pozos de Metro y Madrid Calle 30, para una mejor aproximación
 - Análisis de espacios para colocar los equipos asociados a la hidrotermia
 - Estudio del modelo de explotación

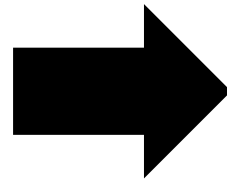
- Campaña de medida de temperatura
 - Pozos de agua
 - Aire túnel
- Resultados
 - Evaluación potencial energético pozos de agua (refrigeración, calefacción y ACS) → datos para construir un mapa de potencial energético
 - Evaluación potencial energético aire túnel (refrigeración, calefacción y ACS)
 - Construcción modelo para análisis de potencial geotérmico

- Evaluación potencial energético de
 - Pozos de agua
 - Aire ventilación túnel
- Resultados
 - Evaluación potencial energético pozos de agua para atemperación de aire estaciones
 - Evaluación potencial energético aire túnel para producción de ACS
 - Construcción modelo para análisis de potencial geotérmico

- Establecimiento de contacto con otros centros universitarios, nacionales y extranjeros, p.e., Universidad de Buenos Aires (Argentina)
- Desarrollo de metodologías de evaluación de recursos energéticos de infraestructuras subterráneas y su aprovechamiento



Recursos:
geotermia, aerotermia,
hidrotermia



Aprovechamiento:
refrigeración, calefacción, ACS,
atemperación estaciones

- Modelo estimación temperatura aire interior bypass MC30 y validación del mismo a partir de temperatura ambiente

**Gracias por su
atención**

Javier Muñoz Antón

INDUSTRIALES
ETSII | UPM

jamunoz@etsii.upm.es