



**COMILLAS**  
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

# MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

## DISEÑO DE UN PARQUE CIENTÍFICO Y TECNOLÓGICO EN EL ÁREA DEL ANTIGUO ESTADIO VALLEHERMOSO, MADRID

Autor: Álvaro Veuthey Mordini

Directora: María del Mar Cledera Castro

Madrid

Julio de 2019



# Índice de Documentos

## **DOCUMENTO I. MEMORIA**

Parte I. Introducción	página 1 a 3	3 páginas
Parte II. Diseño del emplazamiento	página 4 a 10	7 páginas
Parte III. Agua	página 11 a 56	46 páginas
Parte IV. Energía	página 57 a 98	42 páginas
Parte V. Conclusiones	página 99 a 106	8 páginas

## **DOCUMENTO II. ANEJOS**

Parte I. Presupuesto e Instalación Depósito Aguas Pluviales	página 1 a 3	3 páginas
Parte II. Opciones de tratamiento de aguas negras o grises	página 4 a 22	19 páginas
Parte III. Simulaciones HOMER Pro Carga Eléctrica	página 23 a 71	49 páginas
Parte IV. Simulaciones HOMER Pro Carga Térmica	página 72 a 82	11 páginas



## **AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESIS O MEMORIAS DE BACHILLERATO**

### ***1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.***

El autor D. Álvaro Veuthey Mordini DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: DISEÑO DE UN PARQUE CIENTÍFICO Y TECNOLÓGICO EN EL ÁREA DEL ANTIGUO ESTADIO VALLEHERMOSO, MADRID, que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

### ***2º. Objeto y fines de la cesión.***

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor CEDE a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

### ***3º. Condiciones de la cesión y acceso***

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducirla en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

### ***4º. Derechos del autor.***

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

### ***5º. Deberes del autor.***

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.
- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e

intereses a causa de la cesión.

- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

**6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.**

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a ...09... de .....Julio..... de ...2019...

**ACEPTA**

Fdo.....  


Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título  
**DISEÑO DE UN PARQUE CIENTÍFICO Y TECNOLÓGICO EN EL ÁREA DEL  
ANTIGUO ESTADIO VALLEHERMOSO, MADRID**

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el  
curso académico 2018/2019 es de mi autoría, original e inédito y  
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es  
plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada  
de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Álvaro Veuthey Mordini

Fecha: 09 / 07 / 2019



Autorizada la entrega del proyecto

**EL DIRECTOR DEL PROYECTO**

Fdo.: María del Mar Cledera Castro

Fecha: 09 / 07 / 2019



Firmado digitalmente por  
María del Mar Cledera  
Castro

Fecha: 2019.07.09 10:14:56  
+02'00'







**COMILLAS**

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

# MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

## DISEÑO DE UN PARQUE CIENTÍFICO Y TECNOLÓGICO EN EL ÁREA DEL ANTIGUO ESTADIO VALLEHERMOSO, MADRID

Autor: Álvaro Veuthey Mordini

Director: María del Mar Cledera Castro

Madrid

Julio de 2019



# **DISEÑO DE UN PARQUE CIENTÍFICO Y TECNOLÓGICO EN EL ÁREA DEL ANTIGUO ESTADIO VALLEHERMOSO, MADRID**

Autor: Veuthey Mordini, Álvaro.

Director: Cledera Castro, María del Mar.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

## **RESUMEN DEL PROYECTO**

### **Introducción**

El crecimiento económico de la sociedad va de la mano de un aumento de la población y, por lo tanto, de un aumento del consumo de recursos y generación de residuos. La ciudad de Madrid, en particular, es la comunidad con mayor crecimiento económico de España, superando en cinco décimas en el PIB al resto del país (BBVA, 2019).

Desde el año 2000 a día de hoy, año 2018, la población de la Comunidad de Madrid ha crecido de 5.2 millones de ciudadanos hasta los 6.5 millones. Además los pronósticos revelan que para el año 2030 la población de la capital rondará los 7 millones de habitantes (INE, 2019).

Un aumento de población implica un aumento de mano de obra, por lo que es necesario que la cantidad de puestos de crezca también, lo que lamentablemente no se cumple. El número de habitantes activos en la comunidad no sigue una evolución semejante al aumento de población en la misma, si no que se mantiene a un nivel constante. Existe por lo tanto, una necesidad de aumentar el número de puestos de trabajo (INE, 2019).

Por otra parte, un aumento de población sí que implica una mayor velocidad en el consumo de los recursos y en la generación de residuos. El objetivo de la sociedad debe ser el de convertirse en una comunidad sostenible a largo plazo, lo que implica un gran cambio de mentalidad.

El propósito de este proyecto de fin de máster es el de diseñar un parque científico y tecnológico en la Comunidad de Madrid, concretamente en el la zona del antiguo estadio Vallehermoso. El objetivo es que sea un área sostenible y sirva como referencia a futuras construcciones y a la sociedad en general. Para conseguir tal fin, el diseño del proyecto se centrará en dos pilares de la sostenibilidad, como son el agua y la energía.

Este informe proporciona la información para diseñar el antiguo estadio Vallehermoso en un parque científico innovador. La ubicación del parque es una parcela de aproximadamente 30.000 m<sup>2</sup> en el barrio de Chamberí, en Madrid. El parque constará de tres edificios principales de nueve plantas cada uno y una base de 40 metros de largo por otros 40 metros de ancho de superficie. El boletín oficial del estado (BOE) dictamina una superficie libre de 15 m<sup>2</sup> por empleado (BOE, 1997), por lo que las instalaciones albergarán 2.240 empleados.

## **Metodología**

Este tipo de proyectos suelen ser de una gran envergadura, por lo que se va a seguir la estrategia de dividir el considerable proyecto en partes más pequeñas. El objetivo de usar esta estrategia es la de ir solucionando los problemas de cada ámbito, que vayan surgiendo a la hora de elaborar el proyecto. De antemano, se separará en las siguientes secciones:

- Definición del emplazamiento: dimensión, características, número de ceración de puestos de trabajo, espacio designado a oficinas, lugares de ocio, vegetación, caminos, etc.
- Agua
- Energía

Finalmente, se juntarán y se integrarán cada uno de los distintos pilares y se diseñará una solución única y final, ya que el objetivo de este proyecto de fin de máster es el de diseñar un parque científico y tecnológico sostenible, no dar varias soluciones separadas.

En las secciones se agua y energía, con el fin de cuantificar la sostenibilidad del diseño, se ha establecido un caso clásico con el que poder hacer una comparación. Dicho caso clásico es una situación hipotética donde se determinan el consumo eléctrico y de agua en basa en el uso de las facilidades, número de empleados, extensión verde, superficie de los edificios, etc.

## **Resultados**

La superficie de la parcela, los 30.000 metros cuadrados, se ha distribuido de tal forma que los edificios ocupan 4.800 metros cuadrados, las aceras y los pavimentos 5.150 metros cuadrados y los 20.050 metros cuadrados se han destinado a los jardines y las zonas verdes.

Con la superficie de zonas verdes y el número de empleados del parque científico, 2.240, se ha calculado el consumo de agua. El caso clásico se ha dimensionado con la hipótesis de que se instalan urinarios, lavabos, duchas e inodoros de consumo estándar en los edificios y césped clásico en toda la zona verde. Con estas variables, el consumo de agua en las instalaciones es de más de 50 millones de litros al año y casi otros 17 millones de litros para regar todo el jardín, lo que asciende a un consumo anual total de 67 millones de litros.

La solución propuesta se ha diseñado instalando urinarios, lavabos, duchas e inodoros con un consumo de agua muy eficiente y plantando la zona verde con una vegetación variada de arbustos, setos, césped, tapizante y flores, con necesidades de riego variadas, pero en general, menores a las del césped clásico. Los resultados obtenidos son de un consumo en las instalaciones de casi 19 millones de litros anuales y un volumen de algo más de 10 millones de litros para el riego.

En lo que respecta al estudio económico del agua, la inversión necesaria para implantar la Solución Propuesta frente al Caso Clásico es mucho mayor, unos 150.000 €. Sin

embargo, en el tercer año de vida del proyecto, ya sale más rentable instalar una vegetación más variada y opciones de autoconsumo, como son el la reutilización de aguas residuales y captación de aguas de lluvia. A diez años vista, el tiempo que se ha diseñado la vida útil del proyecto, el ahorro llega hasta los 746.000 €.

Con respecto al consumo de energía en el parque científico se ha procedido de forma similar al apartado del agua. Se han realizado simulaciones con el programa *HOMER Pro* de las cargas térmicas y eléctricas para un edificio de esas características y en la zona de implantación. Son cuatro los casos correspondientes a la carga eléctrica: el Caso Clásico y tres casos con distintos porcentajes de penetración eléctrica de energía renovable, 12, 27 y 42%.

Opción	NPC (m€)	Energía Renovable (%)	Emisiones CO <sub>2</sub> (t/año)	Contribución (%)			RED	PV
				Red	PV	Bat	Energía comprada (MWh/año)	Energía generada (kWh/año)
<b>Caso Clásico</b>	<b>7,82</b>	0	4.036	100	0	0	6.39	0
<b>Caso 2</b>	<b>8,41</b>	12,6	3.554	87,4	12,6	0	5.62	809.959
<b>Caso 3</b>	<b>9,15</b>	27,2	2.983	72,8	27,2	0	4.72	1.860.558
<b>Caso 4</b>	<b>10,1</b>	42,9	2.469	57,1	42,9	0	3.91	3.090.466

Tabla 1 Resumen casos carga eléctrica

En la Tabla 1 se pueden observar los resultados de coste actual neto, el porcentaje de energía renovable, las emisiones de CO<sub>2</sub>, la contribución de cada elemento, la energía comprada a la red y la energía generada por las placas fotovoltaicas en los distintos casos.

Las simulaciones realizadas con las cargas térmicas son solo dos. Esto se debe a que el programa no contempla la posibilidad de instalar Pellets para generar energía térmica, por lo que se ha calculado el coste y el porcentaje de energía renovable que supone usar la biomasa de forma manual.

Opción	NPC (€)	Emisiones CO <sub>2</sub> (t/año)	Potencia útil caldera (kW)	Total Producción (kWh/año)	Volumen consumido/año (m <sup>3</sup> )	Coste G.N €/m <sup>3</sup>	Coste Pellet €/kg
<b>Caso Clásico</b>	263.671	69	820	329.092	35.834	0,68	-
<b>Caso Biomasa</b>	263.151	Neutra*	6 x 132 = 792	329.092	64.501	-	0,25

Tabla 2 Resumen casos carga térmica

En la Tabla 2 se resumen los resultados de coste actual neto, las emisiones de CO<sub>2</sub>, la potencia útil de las calderas, la producción de kWh al año, el volumen de combustible consumido al año y el coste de cada combustible.

## Conclusiones

### Conclusiones de sostenibilidad

La opción más sostenible es la de incorporar la Solución Propuesta como instalación en el parque científico y sostenible. Se ahorran 38 millones de litros de agua al año, un 57% menos que con el Caso Clásico. Además, el 27.2% de la energía necesaria para abastecer el parque científico se obtiene de energías renovables y de forma autosuficiente, lo que supone un 16% menos de emisiones de CO<sub>2</sub>. Finalmente, el total de la carga térmica se suministra de forma ecológica con las calderas térmicas de pellets, evitando verter las 69 toneladas de CO<sub>2</sub> a la atmósfera que se producirían si se venciese la carga térmica con calderas dotadas de gas natural. En total, las emisiones disminuyen en un 27% en la Solución Propuesta frente al Caso Clásico.

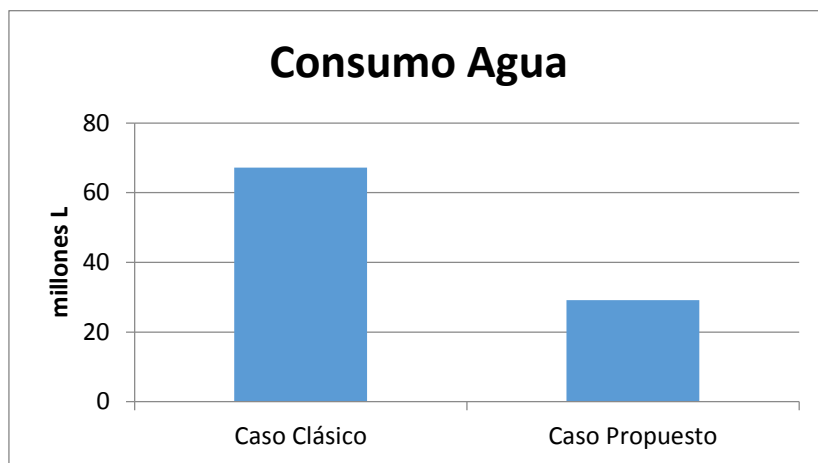


Figura 1 Resumen Consumo de Agua

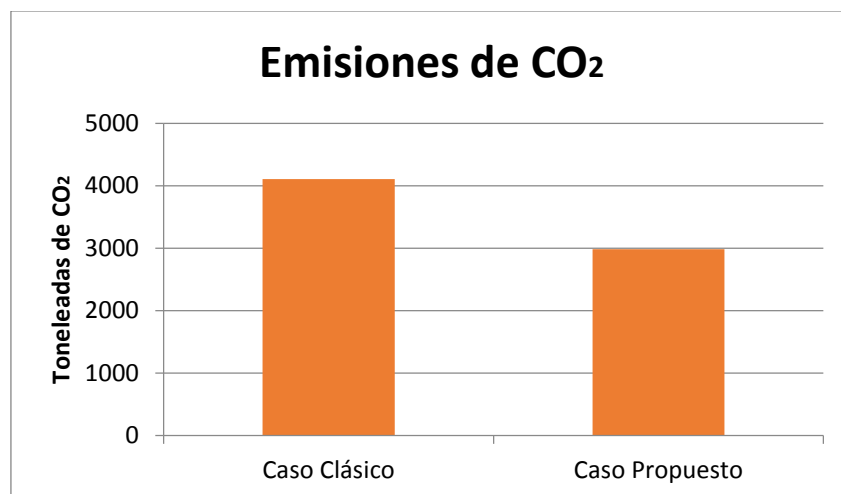


Figura 2 Resumen de Emisiones de CO<sub>2</sub>

## Conclusiones de los presupuestos económicos

El resumen del presupuesto económico se encuentra en la Tabla 3 y se puede ver de forma gráfica en la Figura 3.

	Caso Clásico	Solución Propuesta
<b>Agua</b>	2,16	1,41
<b>Energía</b>	8,08	9,41
<b>Total</b>	<b>10,24</b>	<b>10,82</b>

Tabla 3 Resumen presupuesto económico

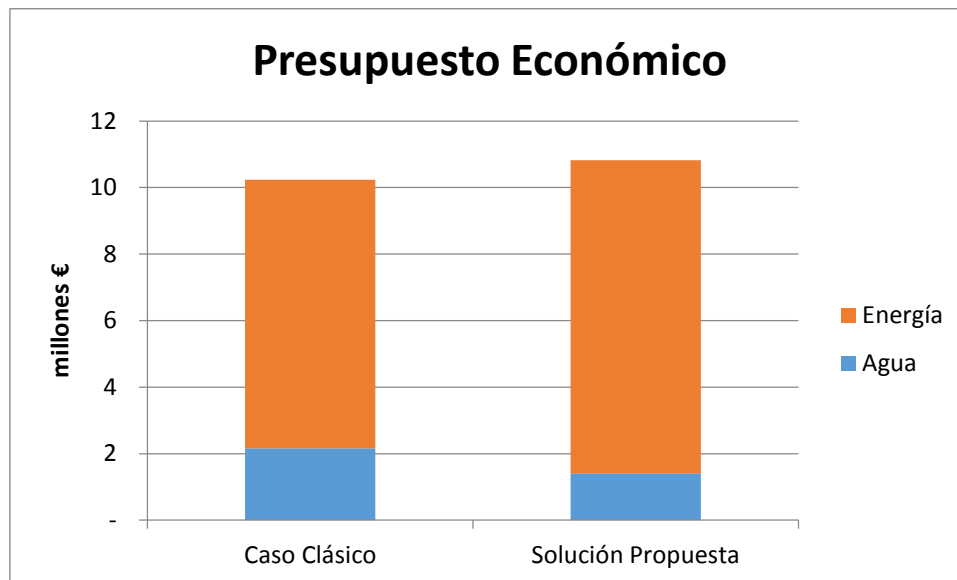


Figura 3 Presupuestos Económicos

Como se puede observar, instalar la Solución Propuesta resulta más costoso, casi 0.6 millones de €, que el Caso Clásico. Esto se debe a que el coste del pilar de la energía es mucho mayor en la solución propuesta en este proyecto, a pesar de que realizar la instalación salga más económico en dicho caso. Reducir las emisiones de CO2 instalando paneles fotovoltaicos es muy costoso, pero a cambio resulta beneficioso para el medio ambiente.

## Referencias

BBVA (2019) *BBVA Research: Madrid será la región de mayor crecimiento económico en 2018* — *idealista/news*. Available at:

<https://www.idealista.com/news/finanzas/economia/2018/04/23/765295-bbva-research-madrid-sera-la-region-de-mayor-crecimiento-economico-en-2018> (Accessed: 4 July 2019).

BOE (1997) *BOE.es - Documento BOE-A-1997-8669*. Available at:

<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1997-8669> (Accessed: 4 July 2019).

INE (2019) *Anuario Estadístico de la Comunidad de Madrid. Población y hogares*. Available at:

<http://www.madrid.org/iestadis/fijas/estructu/general/anuario/ianucap02.htm> (Accessed: 4 July 2019).



# **REDEVELOPMENT OF THE VALLEHERMOSO STADIUM INTO A SCIENCE AND TECHNOLOGY PARK IN MADRID**

Author: Veuthey Mordini, Álvaro.

Director: Cledera Castro, María del Mar.

Colaborative Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas.

## **ABSTRACT**

### **Introduction**

The economic growth of society is related with an increase in population and, therefore, an increase in the consumption of resources and the generation of waste. The city of Madrid, in particular, is the region with the highest economic growth in Spain, five tenths of a percentage point higher in GDP than the rest of the country (BBVA, 2019).

From the year 2000 until today, the Community of Madrid population of has grown from 5.2 million citizens to 6.5 million. In addition to that, forecasts reveal that by 2030, the population of the capital will be around 7 million of inhabitants (INE, 2019).

More population implies more number of workforces. Therefore, it is necessary that the number of jobs also grows, which unfortunately does not happen. The number of active inhabitants in the community does not follow the same evolution than the increase of population, but is frozen at a constant level. There is a need to increase the number of jobs (INE, 2019).

On the other hand, an increase in population does imply a greater speed in the consumption of resources and in the generation of waste. The objective of society must be to become a sustainable community in the long term, which implies a great change in the mentality.

The purpose of this master's degree project is to design a science and technology park in the Community of Madrid, specifically in the area of the Vallehermoso stadium. The aim is to make it a sustainable area and be a reference for future buildings and for the society in general. To achieve this goal, the design of the project will focus on two pillars of sustainability, water and energy.

This report provides the information to redesign the old Vallehermoso stadium into an innovative science park. The location of the park is a plot of approximately 30,000 m<sup>2</sup> in the Chamberi district of Madrid. The park will consist of three main buildings of nine floors each and a base 40 meters long by another 40 meters wide surface. The Official State Gazette (BOE) dictates a free area of 15 m<sup>2</sup> per employee (BOE, 1997), so the facilities will house 2,240 employees.

## **Methodology**

This type of project is usually large. Therefore, the strategy will be dividing the considerable size into smaller parts. The objective of using this strategy is to solve the problems in each area that appear when preparing the project. It will be separated into the following sections:

- Definition of the site: dimension, characteristics, number of jobs created, space allocated to offices, places of leisure, vegetation, paths, etc.
- Water
- Energy

Finally, each of the different pillars will be brought together and integrated and a unique and final solution will be designed. The aim of this end-of-master project is to design a sustainable science and technology park, not to provide several separate solutions.

In the sections on water and energy, in order to quantify the sustainability of the design, a classic case has been established. With this classic case will be use to compare each solution. This classic case is a hypothetical situation where electricity and water consumption are determined based on the use of facilities, number of employees, green area, surface area of buildings, etc.

## **Results**

The surface of the plot, 30.000 square meters, has been distributed in the following way: the buildings occupy 4,800 square meters, the pavements 5,150 square meters and the last 20,050 square meters have been used for gardens and green areas.

With the surface area of gardens and the number of employees of the science park, 2,240, the water consumption has been calculated. The classic case has been dimensioned with the hypothesis that urinals, washbasins, showers and standard consumption toilets are installed in the buildings and classic grass throughout the green area. With these variables, the water consumption in the facilities is more than 50 million liters per year and almost another 17 million liters to irrigate the entire garden. The total annual consumption is of 67 million liters.

The proposed solution has been designed installing urinals, washbasins, showers and toilets with very efficient water consumption and planting the green area with a varied vegetation of shrubs, hedges, lawn, upholstery and flowers, which need a varied irrigation, but generally lower than those of classic grass. The result obtained is a consumption in the facilities of almost 19 million liters per year and a volume of just over 10 million liters for irrigation.

For the economic study, the investment required to implement the Proposed Solution instead of the Classic Case is much higher, around 150.000 € more. However, in the third year of life of the project, it is more profitable to install a more varied vegetation and self-consumption options, such as the reuse of wastewater and rainwater collection.

Ten years from now, the time that the useful life of the project has been designed, the saving reaches up to 746.000 €.

Regarding the energy consumption in the Science Park, the same procedure than for the water has been followed. Simulations have been done with the HOMER Pro, program for thermal and electrical loads for building such as the Science and technology Park. There are four cases corresponding to the electric charge: the Classic Case and three cases with different percentages of renewable energy penetration: 12, 27 and 42%.

Option	NPC (m€)	Renewable Energy (%)	CO <sub>2</sub> Emissions (t/año)	Contribution (%)			GRID	PV
				Grid	PV	Bat	Energy bought (MWh/year)	Energy generated (kWh/year)
Classic Case	7,82	0	4.036	100	0	0	6.39	0
Case 2	8,41	12,6	3.554	87,4	12,6	0	5.62	809.959
Case 3	9,15	27,2	2.983	72,8	27,2	0	4.72	1.860.558
Case 4	10,1	42,9	2.469	57,1	42,9	0	3.91	3.090.466

Table 1 Summary of electrical cases

Table 1 shows the current net cost results, the percentage of renewable energy, CO<sub>2</sub> emissions, the contribution of each element, the energy purchased from the grid and the energy generated by the photovoltaic panels in the different cases.

There are only two simulations carried out with thermal loads. This is because the program does not contemplate the possibility of installing Pellets to generate thermal energy, so we have calculated the cost and percentage of renewable energy that involves using biomass manually.

Option	NPC (€)	CO <sub>2</sub> Emissions (t/year)	Useful boiler power (kW)	Total Production (kWh/year)	Volume consumed/year (m <sup>3</sup> )	G.N Cost €/m <sup>3</sup>	Pellet Cost €/kg
Classic Case	263.671	69	820	329.092	35.834	0,68	-
Biomass Case	263.151	Neutral*	6 x 132 = 792	329.092	64.501	-	0,25

Table 2 Thermal load cases overview

Table 2 summarizes the results of net current cost, CO<sub>2</sub> emissions, useful boiler power, kWh production per year, the volume of fuel consumed per year and the cost of each fuel.

## Conclusions

### Sustainability conclusions

The most sustainable option is to incorporate the Proposed Solution as a facility in the science and technology park. 38 million liters of water are saved per year, 57% less than with the Classic Case. In addition, 27.2% of the energy needed to supply the science park is obtained from renewable energies and in a self-sufficient way, which means 16% less CO<sub>2</sub> emissions. Finally, the total thermal load is supplied ecologically with thermal pellet boilers, avoiding the 69 tons of CO<sub>2</sub> into the atmosphere that would be produced if the thermal load were overcome with boilers equipped with natural gas. In total, emissions are reduced by 27% in the Proposed Solution as opposed to the Classic Case.

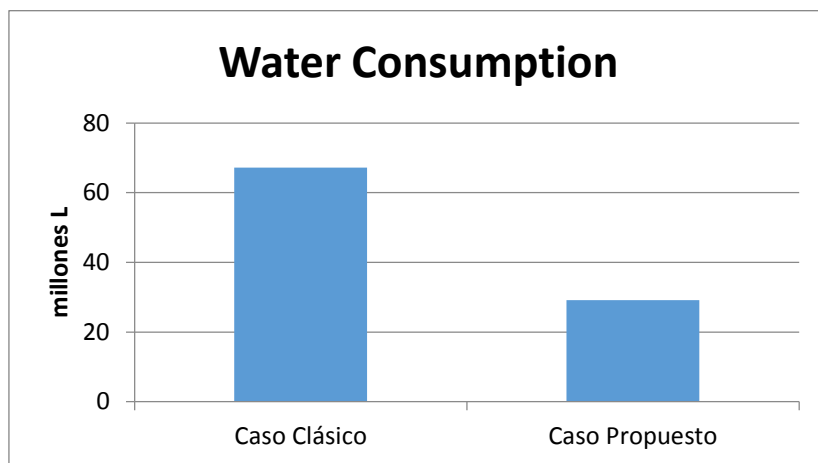


Figure 1

Figura 4 Water Consumption Summary

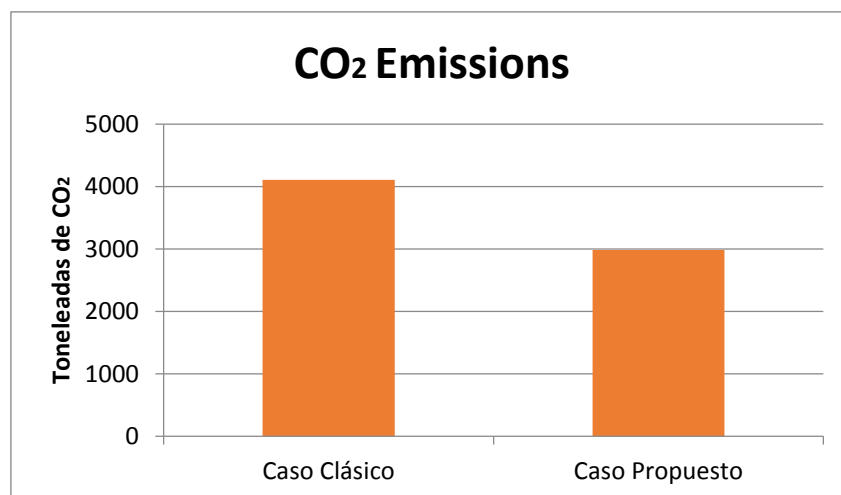


Figure 5 CO<sub>2</sub> Emissions Summary

## Economic budgets conclusions

The summary of the economic budget can be found in Table 3 and can be seen graphically in Figure 3.

	Classic Case	Proposal Solution
<b>Water</b>	2,16	1,41
<b>Energy</b>	8,08	9,41
<b>Total</b>	<b>10,24</b>	<b>10,82</b>

Table 4 Economic Budget Summary

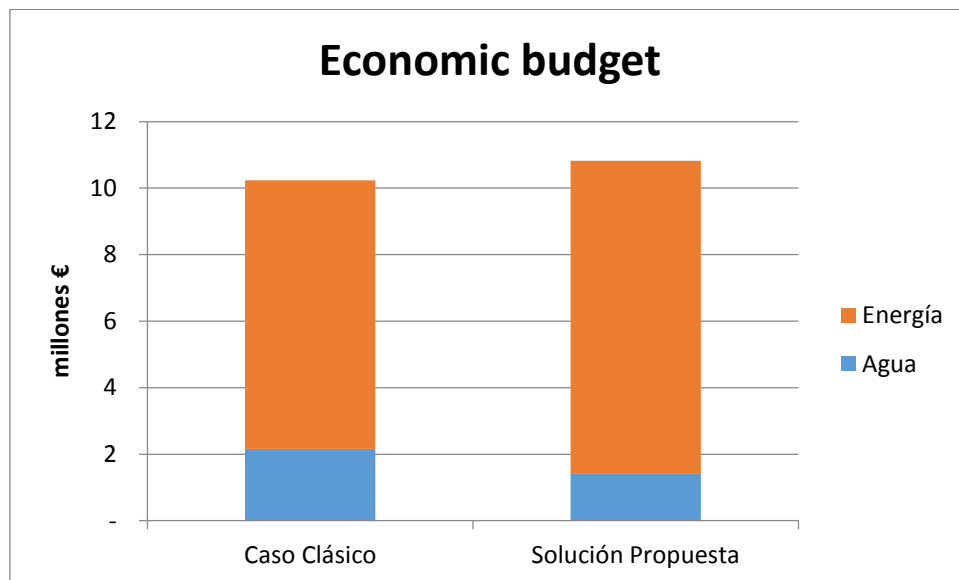


Figure 6 Economic Budget

As it can be seen, installing the Proposed Solution is more expensive, almost € 0.6 million more than the Classic Case. This is due to the fact that the cost of the energy pillar is much higher in the solution proposed in this project, even that the installation is cheaper in this case. Reducing CO<sub>2</sub> emissions by installing photovoltaic panels is very expensive, but in return it is beneficial for the environment.

## References

BBVA (2019) BBVA Research: Madrid será la región de mayor crecimiento económico en 2018 — idealista/news. Available at: <https://www.idealista.com/news/finanzas/economia/2018/04/23/765295-bbva-research-madrid-sera-la-region-de-mayor-crecimiento-economico-en-2018> (Accessed: 4 July 2019).

BOE (1997) BOE.es - Documento BOE-A-1997-8669. Available at: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1997-8669> (Accessed: 4 July 2019).

INE (2019) Anuario Estadístico de la Comunidad de Madrid. Población y hogares. Available at: <http://www.madrid.org/iestadis/fijas/estructu/general/anuario/ianucap02.htm> (Accessed: 4 July 2019).

## **Agradecimientos**

Tras un curso académico desarrollando y escribiendo mi trabajo de fin de máster, me gustaría agradecer a todas aquellas personas que me han ayudado en este proceso.

Para comenzar, me gustaría expresar mi más sincera gratitud a mi directora, Doña María del Mar Cledera Castro por su consejos y su dedicación. La mayor parte de este proyecto la realicé en el extranjero, en Australia, con lo que ello supone: cambios horarios, de calendario, comunicación con el director por correos y llamadas, etc. Estos factores no supusieron una barrera a la hora de comunicarme con mi directora, gracias a su esfuerzo por cuadrar horarios y por establecer una comunicación fluida y constante.

Agradecer también a mis familiares y amigos por apoyarme en todo momento y realizar críticas constructivas cuando lo necesitaba.

Aprovecho para agradecer a todos los miembros de la Universidad Pontificia de Comillas por estos seis años de formación y por la oportunidad de realizar un intercambio académico con la Universidad de Nueva Gales del Sur, en Sídney, Australia.





# DOCUMENTO I

## MEMORIA



**COMILLAS**  
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

**ICAI**



# Parte I

## Introducción



**COMILLAS**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA**

**ICAI**



## Índice de Contenido

1. Estado de la cuestión.....	1
2. Motivación.....	1
3. Motivación personal.....	2
4. Referencias.....	3



## 1. Estado de la cuestión

Lo primero antes de revisar el estado de la cuestión del proyecto, es definir lo que es un parque científico y tecnológico.

Un parque científico y tecnológico se define, según la "Asociación de Parques Científicos y Tecnológicos de España" (APTE), como:

“Un proyecto, generalmente asociado a un espacio físico que:

- Mantiene relaciones formales y operativas con las universidades, centros de investigación y otras instituciones de educación superior.
- Está diseñado para alentar la formación y el crecimiento de empresas basadas en el conocimiento y de otras organizaciones de alto valor añadido pertenecientes al sector terciario, normalmente residentes en el propio Parque.
- Posee un organismo estable de gestión que impulsa la transferencia de tecnología y fomenta la innovación entre las empresas y organizaciones usuarias del Parque.” (APTE, 2019)

El parque científico y tecnológico por excelencia y pionero es el de Silicon Valley en San Francisco, California. Silicon Valley fue el precursor en el desarrollo de parques científicos a nivel mundial y hoy en día es sede de empresas líderes como son Apple, Google, Tesla, HP, Intel, etc (Quora, 2017). A día de hoy España cuenta más de 50 parques científicos y/o tecnológicos distribuidos a lo largo de la toda la península (APTE, 2017). Concretamente en la Comunidad de Madrid hay tres: el Parque Científico de Madrid, el Parque Científico Universitario Carlos III de Madrid (Leganés) y TecnoAlcalá (Coslada). El número de empresas/ instituciones en los parques a nivel nacional asciende a más de 8.000 y el número de trabajadores ronda los 170.000, llegando a facturar más de 27.000 millones de Euros (APTE, 2017).

## 2. Motivación

La motivación para elaborar este proyecto de fin de master viene de dos enfoques distintos. Por un lado está el objetivo de aprender a diseñar un parque tecnológico que suponga un avance en la sociedad, aumentando el número de puestos de trabajo, pero que a la vez sienta las bases de un proyecto sostenible a largo plazo

y que sirva como ejemplo para futuros proyectos. A continuación se muestran algunos datos de consumo de agua, electricidad, generación de residuos y la huella de carbono por ciudadano.

### **3. Motivación personal**

La motivación personal para este proyecto está relacionada con la elección del emplazamiento de la ciudad tecnológica. Antes de su derrumbe en el año 2008, en la planta baja del Estadio Vallehermoso de encontraban las instalaciones de la sala de esgrima, la Sala de Armas de Madrid (SAMA). A raíz de la posibilidad de que Madrid albergase los Juegos Olímpicos de 2012 o 2016, se decidió derrumbar las instalaciones y construir un estadio moderno y adecuado para acoger dicho evento mundial. La idea era trasladar sala de esgrima a las instalaciones deportivas del Colegio Rufino Blanco, mientras se construía el nuevo estadio. Lamentablemente, las instalaciones de un colegio no cumplen los requisitos de una sala de esgrima, pero se suponía que era de forma temporal y con el fin de mejorar el antiguo emplazamiento.

Lo que pasó finalmente fue que a Madrid se le denegó la opción de albergar los Juegos Olímpicos de 2012 (Londres) y 2016 (Rio de Janeiro) y el proyecto quedó parado por mucho tiempo, muchos más años de los que se planeó. Es más, la mayoría de la superficie del antiguo estadio situado en pleno centro de Madrid sigue siendo un solar vacío. Se salva de ser un paraje completamente inhabitado por el gimnasio de la empresa privada GoFit, que abrió sus puertas en 2014. Aun con ese edificio de grandes dimensiones, se sigue sin aprovechar un área de 30.000 m<sup>2</sup>.

Con lo que respecta a la Sala de Armas de Madrid, el año pasado consiguieron llegar a un acuerdo con el Ayuntamiento de la Comunidad de Madrid y GoFit y tienen sus instalaciones en la parte baja del gimnasio. En resumen, casi diez años después de ser invitados a salir de su lugar y tras muchas horas de negociaciones y grandes decepciones.

Este proyecto tiene el objetivo de utilizar el área en desuso de una forma beneficiosa para toda la comunidad, creando una ciudad tecnológica y científica sostenible y puntera a nivel nacional e internacional.



## 4. Referencias

APTE (2017) *Estadísticas de los Parques Científicos y Tecnológicos de España en 2017 - APTE*. Available at: <https://www.apte.org/estadisticas> (Accessed: 8 July 2019).

APTE (2019) *Definición de Parque Científico y/o Tecnológico - APTE*. Available at: <https://www.apte.org/definicion-parque-cientifico-tecnologico> (Accessed: 8 July 2019).

Quora (2017) *What are the biggest Silicon Valley companies?* - *Quora*. Available at: <https://www.quora.com/What-are-the-biggest-Silicon-Valley-companies> (Accessed: 8 July 2019).



# Parte II

## Diseño del emplazamiento



**COMILLAS**  
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

**ICAI**



## Índice de Contenido

1. Introducción .....	4
2. Área .....	4
3. Historia.....	6
4. Dimensionamiento .....	7
4.1 Dimensiones del parque tecnológico.....	7
4.2 Número de empleados .....	7
5. Distribución del terreno .....	8
6. Referencias.....	10

## Índice de Figuras

Figura 1: Mapa de la parcela con las longitudes de las calles .....	5
Figura 2 Mapa satélite del emplazamiento .....	5
Figura 3 Boceto del terreno .....	8

## Índice de Tablas

Tabla 1 Dimensiones del diseño .....	9
Tabla 2 Distribución del terreno destinado a zonas verdes.....	9



## 1. Introducción

La ubicación escogida para el emplazamiento del parque tecnológico es la del antiguo Estadio Vallehermoso, asentado en el distrito de Chamberí, Madrid. El estadio fue un recinto deportivo desde 1957 hasta el año 2008, cuando se derribó con el fin de convertirse en un proyecto moderno y lamentablemente fallido, para que Madrid albergara los Juegos Olímpicos de 2012 o 2016 [1]. En dicho emplazamiento ya se ha construido un gimnasio de grandes dimensiones de la empresa GoFit, por lo que se diseñará el proyecto en la parcela contigua de aproximadamente 30.000 m<sup>2</sup> que se encuentra derruida por completo (Natalia Chientaroli, 2013).

## 2. Área

La parcela tiene una forma prácticamente rectangular. Las calles que la bordean son las siguientes:

- Calle Santander al noreste
- Calle de Melquíades Álvarez al noroeste
- Calle Jesús Maestro al suroeste
- El gimnasio GOfit al sureste



Figura 1: Mapa de la parcela con las longitudes de las calles



Figura 2 Mapa satélite del emplazamiento



Gracias a la herramienta de Google Maps Satélite, en figura 2, se puede observar con claridad cómo se trata de una parcela totalmente en desuso, algo que llama la atención al estar situado en pleno barrio céntrico de la capital española.

### **3. Historia**

Originalmente, el solar en el cual se emplazó el Estadio Vallehermoso fue el Cementerio de la Sacramental de San Martín desde 1848 hasta su posterior demolición en 1926. Tras aquello, el emplazamiento pasó a ser de propiedad privada y se explotó con fines agrícolas. En el año 1933 pasó a manos del Ayuntamiento, el cual lo cedió en el año 1957 a la Comunidad de Madrid por medio siglo, con el fin de que se construyese un estadio para la celebración de los II Juegos Iberoamericanos.

Por el año 2007, el complejo deportivo contaba con un estadio para 12.000 espectadores, una pista de atletismo, una piscina cubierta y otra de verano, una pista polideportiva, un campo de hockey, una sala de esgrima, entre otras tantas instalaciones. Mencionar que uno de los muchos atletas que pasaron por aquel recinto fue el célebre Carl Lewis, conocido como “el hijo del viento”.

En 2008 se decidió derruir el recinto deportivo con el fin de construir un complejo más moderno para la candidatura olímpica de Madrid 2012 o 2016. Tras las fallidas candidaturas de la capital española de albergar los JJOO y al coincidir con la crisis económica, el proyecto sucumbió y las empresas interesadas en su construcción retiraron sus ofertas.

El recinto se salva de estar completamente desamparado ya que una parte del mismo se cedió en el año 2011 a la empresa privada GOfit. La Comunidad de Madrid le cedió en suelo y su explotación comercial por 40 años sin necesidad de pagar ningún canon, pero con la condición de que los precios sean menores a los del mercado (Natalia Chientaroli, 2013).

## **4. Dimensionamiento**

Lo primero que ha de hacerse, antes de realizar futuros diseños y cálculos, es el dimensionamiento propio que va a tener el parque tecnológico y el número de empleados que va a albergar.

### **4.1 Dimensiones del parque tecnológico**

El parque científico y tecnológico que se va a diseñar constará de tres edificios principales. Con el fin de adaptarse lo más posible al entorno que le rodea y afectar lo mínimo a los bloques vecinos, los edificios no serán altos rascacielos, si no que tendrán una altura de 9 plantas. De éstas 9 plantas hay que tener en cuenta que una será la planta baja y otra la azotea, por lo que finalmente se destinarán las otras 7 para oficinas. Cada planta tendrá una altura aproximada de 3 metros. La cota de las torres no creará un efecto visual muy fuerte en el ambiente, ya que los edificios colindantes tienen, de media, unos 7 u 8 pisos de altura.

Por otro lado, la base de cada edificio será de 40 metros de largo por otros 40 metros de ancho, por lo que la superficie útil que se tratará en este proyecto será de 1.600 m<sup>2</sup> por planta, 11.200 m<sup>2</sup> por edificio y 33.600 m<sup>2</sup> entre los tres bloques.

### **4.2 Número de empleados**

La norma (BOE, 1997) dicta que las dimensiones mínimas de los locales de trabajo necesarias para que los trabajadores desempeñen su función sin riesgos de salud ni seguridad y en condiciones ergonómicas aceptables son:

- a) 3 metros de altura desde el piso hasta el techo. No obstante, en locales comerciales, de servicios, oficinas y despachos, la altura podrá reducirse a 2,5 metros.
- b) 2 metros cuadrados de superficie libre por trabajador.
- c) 10 metros cúbicos, no ocupados, por trabajador.

Según lo investigado, la norma que dicta el BOE es bastante estricta y no es fiel reflejo de la realidad, por lo que se ha decidido ser más permisivo en este aspecto y se le otorgarán 15 m<sup>2</sup> [2] de espacio por empleado.

$$\frac{\text{Área útil}}{\text{Superficie necesaria por empleado}} = \frac{33.600 \text{ m}^2}{15 \text{ m}^2/\text{empleado}} = \mathbf{2.240 \text{ empleados}}$$

## 5. Distribución del terreno

Con el fin de establecer las necesidades de agua es necesario dividir el terreno en distintas zonas. La zona empleada para edificar las tres torres, la que se empleará para las aceras y accesos al parque tecnológico y la de espacios verdes. Se ha realizado un simple plano en AutoCad para hacer el diseño más visual.

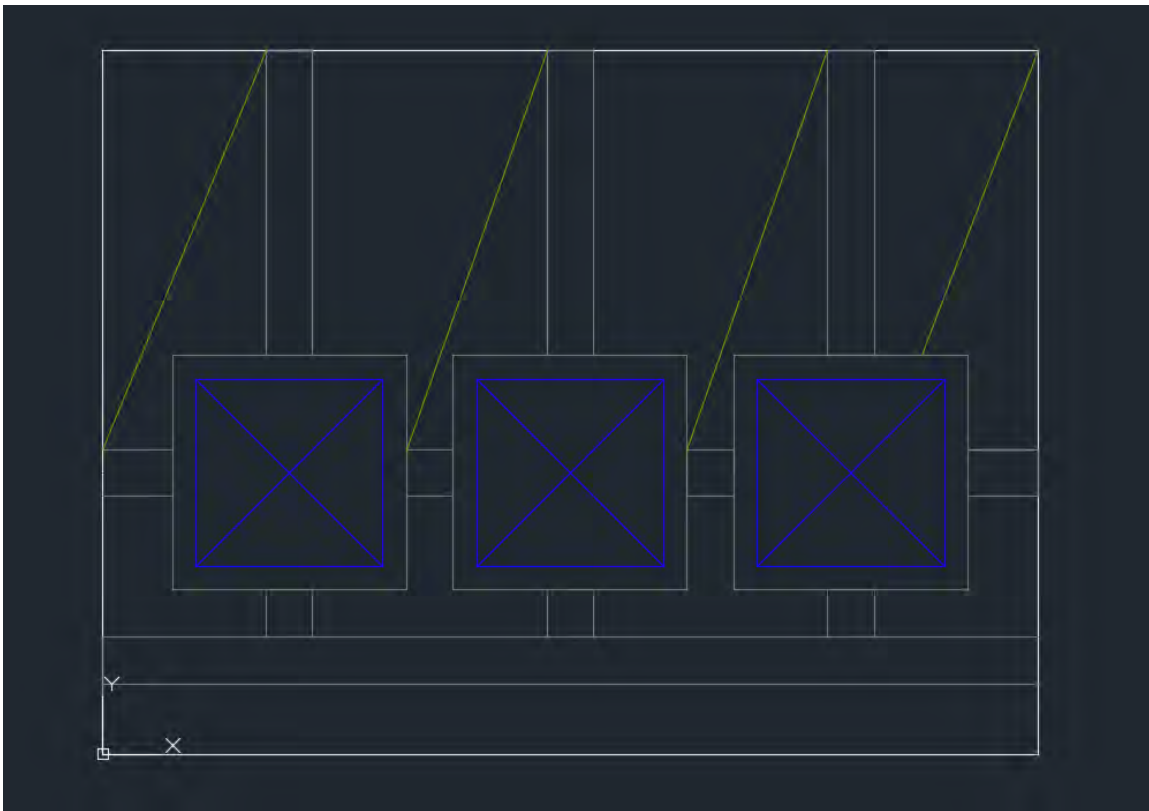


Figura 3 Boceto del terreno

Las aceras se han dimensionado con una anchura de unos 5 metros, dejando así una amplitud suficiente para caminar y restringir lo menos posible el área reservada para la vegetación.

	Ancho acera	Entradas Norte	Estradas Sur	Via Sur	Entradas entre torres	Acera de las torres	Total
<b>Dimensiones (m)</b>	5	975	225	1000	250	2700	<b>5150</b>

Tabla 1 Dimensiones del diseño

Con el espacio asignado a las bases de las torres y a las aceras y accesos, la distribución del terreno queda finalmente así:

	Oficinas	Aceras y pavimentos	Vegetación
<b>Proporción (%)</b>	16%	17%	67%
<b>Valor (m2)</b>	4.800	5.150	20.050

Tala 2 Distribución del terreno destinado a zonas verdes

La organización mundial de la salud (OMS) (El Pais, 1986) establece que la recomendación de área verde por habitante en una ciudad sea de 10 a 15 m<sup>2</sup>. Con el diseño realizado no se llega a cumplir el mínimo, pero se espera que no acudan físicamente el cien por cien de los empleados a la zona, ya que se promoverá el teletrabajo.

## 6. Referencias

BOE (1997) *BOE.es - Documento BOE-A-1997-8669*. Available at: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1997-8669> (Accessed: 4 July 2019).

Natalia Chientaroli (2013) *El estadio Vallehermoso pasa de joya olímpica a gimnasio privado con spa*. Available at: [https://www.eldiario.es/sociedad/estadio-Vallehermoso-olimpica-gimnasio-privado\\_0\\_111989035.html](https://www.eldiario.es/sociedad/estadio-Vallehermoso-olimpica-gimnasio-privado_0_111989035.html) (Accessed: 4 July 2019).

El País (1986) *1, 4 metros cuadrados por persona | Edición impresa | EL PAÍS*. Available at: [https://elpais.com/diario/1986/08/07/madrid/523797858\\_850215.html](https://elpais.com/diario/1986/08/07/madrid/523797858_850215.html) (Accessed: 4 July 2019).



# Parte III

## Agua



**COMILLAS**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA**

**ICAI**





## Índice de Contenido

1. Alcance .....	11
2. Criterios de evaluación.....	11
3. Contexto histórico y situación actual .....	11
4. Análisis de viabilidad.....	12
4.1 Caso clásico.....	12
4.1.1 Consumo .....	12
4.1.2 Riego .....	14
4.2 Oportunidades para reducir el consumo de agua y la generación de aguas residuales.....	15
4.2.1 Reducción del consumo en las instalaciones .....	15
4.2.2 Reducción en el consumo de agua para el riego.....	18
4.2.3 Tipos de vegetación.....	20
4.2.4 Selección de tipo de riego y especies.....	23
4.3 Resumen en la reducción en el consumo de agua para el riego.....	29
5. Evaluación de posibles opciones de suministro de agua .....	30
5.1 Suministro de las fuentes principales .....	30
5.2 Agua subterránea.....	31
5.3 Agua desalinizada.....	32
5.4 Aguas pluviales .....	32
5.4.1 Aplicaciones.....	33
5.4.2 Instalación .....	33
5.4.3 Captación de aguas de lluvia.....	34
5.4.4 Dimensionado de las instalaciones de aprovechamiento de agua de lluvia .....	35
6. Reutilización de aguas residuales .....	38
6.1 Tratamiento de aguas residuales .....	39
6.1.1 Tratamiento tradicional de aguas residuales .....	39
6.1.2 Estación depuradora de agua residual de la zona.....	41
6.2 Tratamiento de aguas residuales in situ/descentralizados .....	41
6.3 Opciones de tratamiento .....	41

6.3.1	Aguas grises .....	42
6.3.2	Aguas negras.....	44
6.4	Comparación de opciones de tratamiento .....	47
6.5	Propuesta opción de tratamiento de aguas residuales.....	49
7.	Conclusiones: Propuesta de una solución sostenible final del agua .....	49
7.1	Ahorro de agua .....	49
7.1	Estudio económico.....	50
8.	Referencias.....	54

## Índice de Figuras

Figura 1	Consumo comparativo según aplicación del Caso Base .....	14
Figura 2	Parcelas de Césped Classic; Fuente: (Heredero Rodríguez et al., 2010) 15	
Figura 3	Consumo comparativo según aplicación de la Solución Propuesta .	17
Figura 4	Tabla comparativa Caso Clásico vs Solución Propuesta .....	17
Figura 5	Cantidad de cada especie en la vegetación.....	18
Figura 6	Césped Classic vs Césped Sahara; Fuente: (Heredero Rodríguez et al., 2010) .....	20
Figura 7	Tipos de arbustos; Fuente: (Heredero Rodríguez et al., 2010) .....	21
Figura 8	Setos Aligustre vs Leilandi; Fuente: (Heredero Rodríguez et al., 2010) 21	
Figura 9	Tipos de tapizante; Fuente: (Heredero Rodríguez et al., 2010) .....	22
Figura 10	Petunias vs Tajetes; Fuente: (Heredero Rodríguez et al., 2010) ...	23
Figura 11	Goteo enterrado (Heredero Rodríguez et al., 2010).....	23
Figura 12	Acuíferos debajo de la Comunidad de Madrid; Fuente: (Bautista, 2014) 103	
Figura 13	Fuente UACDC, 2010 .....	32
Figura 14	Coeficientes de polución; Fuente: (Irrigation Australia, 2019) .....	35
Figura 15	Componentes de la instalación para la recuperación de aguas pluviales, Fuente: (ESPAÑA, 2016) .....	37

Figura 16 Tratamiento de aguas negras COPA ReAqua MBR .....	46
Figura 17 Ejemplo de dispositivo de tratamiento de aguas negras COPA ReAqua MBR .....	46
Figura 18 Costes instalación Caso Clásico .....	50
Figura 19 Costes instalación Solución Propuesta .....	51
Figura 20 Caso Clásico vs Solución Propuesta .....	53
Figura 21 Diferencia Caso Clásico vs Solución Propuesta .....	53

## Índice de Tablas

Tabla 1 Consumo según aplicación del Caso Clásico .....	13
Tabla 2 Consumo de agua para el riego .....	15
Tabla 3 Consumo según aplicación de la Solución Propuesta .....	16
Tabla 4 Resumen en la reducción del consumo de agua en las instalaciones de la oficina.....	18
Tabla 5 Sistemas de riego más comunes .....	19
Tabla 6 Análisis de tipos de césped.....	24
Tabla 7 Diferencia económica en el césped entre el caso clásico y la alternativa elegida .....	25
Tabla 8 Análisis de tipos de arbustos.....	25
Tabla 9 Diferencia económica en entre el caso clásico y la alternativa de arbustos elegida.....	25
Tabla 10 Análisis de tipos de setos.....	26
Tabla 11 Diferencia económica en entre el caso clásico y la alternativa de setos elegida .....	26
Tabla 12 Análisis de tipos de tapizante y diferencia económica en entre el caso clásico y la alternativa de tapizante elegida .....	27
Tabla 13 Análisis de tipos de flores.....	28
Tabla 14 Diferencia económica en entre el caso clásico y la alternativa de flores elegida .....	28

Tabla 15 Resumen en la reducción en el consumo de agua para el riego de cada elemento .....	29
Tabla 16 Resumen en la reducción en el consumo de agua para el riego total .	29
Tabla 17 Coeficientes de captación de agua de los tejados, Fuente: (España, 2015) 34	
Tabla 18 Necesidad de tratamiento de aguas grises y negras .....	42
Tabla 19 Comparación de cada tecnología en función de sus procesos de tratamiento de aguas .....	48

## 1. Alcance

El consumo medio de agua por habitante al día en la Comunidad de Madrid, fue de 131 litros en el año 2017. Comparándolo con los 171 litros que consumía cada madrileño en el año 2000 supone una gran bajada, pero el objetivo es reducir ese número (*Mapa del consumo de agua por habitante en España - Geografía Infinita*, no date). Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), son necesarios unos 100 litros de agua para satisfacer las necesidades de consumo y de higiene de un ser humano (Ambiental, 2017) por lo que todavía tenemos un margen de mejora de 31 litros. Además, aunque el consumo de agua en una oficina pueda parecer bajo, en realidad un trabajador consume entre 40 y 50 litros de agua por jornada laboral (Geographic, no date).

## 2. Criterios de evaluación

El objetivo es reducir el consumo de agua empleando distintas técnicas, para conseguir que la ciudad se convierta en auto sostenible. Los puntos que se van a tratar son:

- Reducir el consumo de agua potable
- Manejar aguas pluviales
- Prevención en la contaminación de agua subterránea

## 3. Contexto histórico y situación actual

Los expertos calculan que España sufre una sequía en cada ocho o diez años (Gerrity *et al.*, no date). Lamentablemente los años 2013 a 2016 fueron bastante secos, habiendo sido el 2017 el más seco desde 1965, llegando a tener hasta un 20 por ciento menos de precipitaciones que en media. Por otra parte, España es el país líder mundial en tener más embalses per cápita, pero los efectos de la sequía se agravan año tras año y se intensifican con el cambio climático.

A pesar de que tan solo el 15% del consumo de agua se emplea en el consumo urbano e industrial, destinando el resto a la ganadería y a la agricultura, como dice el dicho “cada gota cuenta”.

Con lo que respecta a la Comunidad de Madrid, en el año 2018 se consumieron casi 480 hectómetros cúbicos de agua (Estadística, 2014), y a pesar de que fue un 5% menos que el año anterior, hay que intentar reducir el número aún más. Además, la población en la comunidad crece a un porcentaje relativo del 1.7% y se espera y pronósticos revelan que para el año 2030 la población de la capital rondará los 7 millones de habitantes.

En este proyecto se explorarán las últimas tecnologías para el diseño de una infraestructura sostenible, con el fin de presentar un rango de opciones para mejorar el abastecimiento y consumo del agua.

## **4. Análisis de viabilidad**

### **4.1 Caso clásico**

#### **4.1.1 Consumo**

Con el fin de cuantificar la sostenibilidad del diseño, se ha establecido un caso clásico con el que poder hacer una comparación. Dicho caso clásico se basa en el uso de instalaciones, número de empleados y consumo medio. Además, se incluye el riego de las zonas verdes.

Las suposiciones que se han formulado a la hora de realizar este caso clásico son las siguientes:

- El número de empleados será de 2.240
- El ratio de hombres y mujeres es el mismo: 50% - 50%
- “El número recomendable de inodoros será de uno por cada quince mujeres o fracción que trabajen en la misma jornada. En el caso de hombres será de un retrete y un urinario por cada veinticinco hombres o fracción.” (BOE, 1997, Página 48)
- En media, una persona usa el servicio 8 veces cada 24 horas, ocurriendo 5 de ellas durante el horario laboral (City of Melbourne, no date).
- El tiempo medio que el lavabo de puede dejar abierto mientras uno se lava las manos es de 30 segundos.
- 250 días laborables al año (*Días laborables calculadora en España*, no date).

- Se estima que el 16% (Rubén Carbonero, 2015) de los empleados usarán la bici para ir a trabajar, lo que significa unos 360 trabajadores. De los 360 que van al trabajo, tan solo un 20% (Rubén Carbonero, 2015) hace uso de las duchas, por lo que al día se espera que haya unas 72 duchas.
- Numero de duchas 72 con un tiempo estipulado de 10 minutos con un consumo de 20 L/min (*Cuánta agua se consume en la ducha por minuto* | *Fundación Aquae*, no date).
- Un urinario consume una media de 7 litros por cada uso (Martin, Conserve and Clearinghouse, 2008)
- Un inodoro consume una media de 13.6 litros por cada uso (Martin, Conserve and Clearinghouse, 2008)
- En el lavabo se consumen unos 6 litros por cada uso (*¿Cuánta agua gastamos en la ducha?* | *ClickGasoil*, no date).

	Urinarios	Inodoros	Lavabos	Duchas	Consumo
Litros por uso	7	13.6	6	200	2
Usos por día	5.600	5.600	11.200	72	2.240
Litros por día	39.200	76.160	67.200	14.400	4.480
<b>Litros al año</b>	9.800.000	19.040.000	16.800.000	3.600.000	1.120.000

Tabla 3 Consumo según aplicación del Caso Clásico

Consumo total del Caso Clásico:

**50.360.000 L al año**

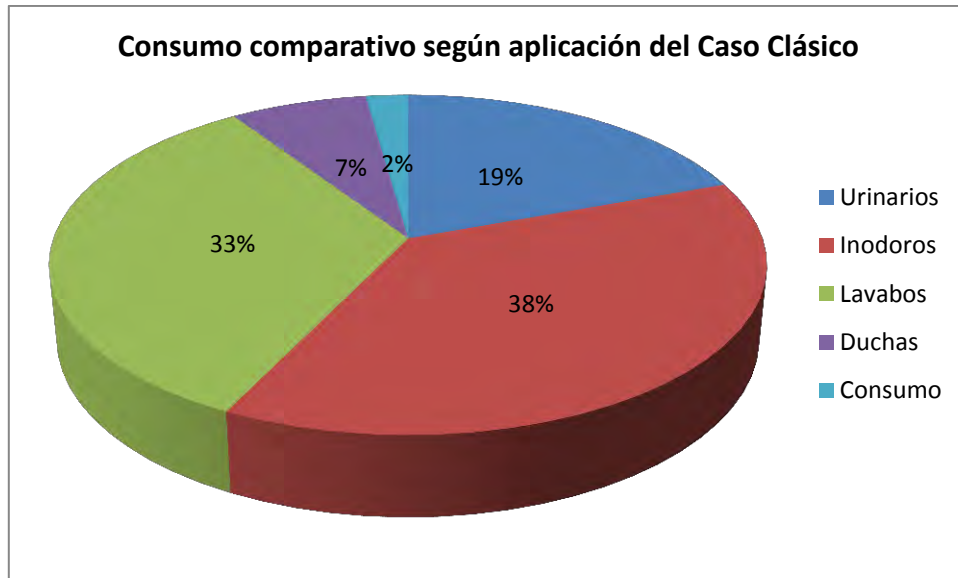


Figura 4 Consumo comparativo según aplicación del Caso Base

#### 4.1.2 Riego

Según lo estipulado en el punto 5 de la Parte II Diseño del emplazamiento, dos tercios del emplazamiento van a ser dotados de plantas y zonas verdes, por lo que este punto adquiere gran importancia.

Los datos que se van a utilizar en este proyecto provienen de un informe realizado por el departamento de I+D+i del Canal de Isabel II: "Eficiencia en el uso del agua en jardinería en la Comunidad de Madrid" (Heredero Rodríguez *et al.*, 2010). En dicho informe se instalaron 60 parcelas experimentales en un parque piloto con distintas combinaciones de planta, sistemas de riego y técnicas de jardinería. El objetivo es cuantificar y comparar las necesidades de aguas de las distintas variables. Las distintas combinaciones son las más representativas en la Comunidad de Madrid.





Figura 5 Parcelas de Césped Classic; Fuente: (Herdero Rodríguez et al., 2010)

En el caso clásico se establece que en la totalidad del área asignada a zona verde se plantará césped Classic y se regará por aspersion o difusión.

<b>Área Zona</b>	<b>20.050 m<sup>2</sup></b>
Dotación	842 L / año m <sup>2</sup>
<b>Consumo Total de agua para el riego</b>	<b>16,88 millones L / año</b>

Tabla 4 Consumo de agua para el riego

## 4.2 Oportunidades para reducir el consumo de agua y la generación de aguas residuales

### 4.2.1 Reducción del consumo en las instalaciones

La primera oportunidad en reducir el consumo se basa en aumentar la eficiencia de los equipos a utilizar. Con el uso de útiles de alto rendimiento se pueden reducir ambos: el consumo de agua y la generación de agua residual.

- **Urinarios:** la tecnología hoy en día permite instalar urinarios que no requieren agua ni energía. Además, al no utilizar agua, tienen hasta cinco veces menos probabilidades de bacterias (Caryosa, no date).
- **Inodoros:** como establece el artículo 11, punto 4 de la Ordenanza de Gestión y Uso Eficiente del Agua en la Ciudad de Madrid (Madrid, 2006): “En los inodoros, el mecanismo de accionamiento de la descarga de las cisternas será tal que permita **consumir un volumen máximo de 6 litros** por descarga y dispondrá de un dispositivo de interrupción de la misma o de un **sistema doble de pulsación.**”
- **Grifos del lavabo:** en el mismo artículo mencionado en el punto anterior se establece que: “Los grifos habrán de estar equipados con dispositivos economizadores de agua de modo que, para una presión de 2,5 kg/cm<sup>2</sup>, **el caudal máximo suministrado sea de 6 litros / minuto.** En ningún caso el caudal aportado por los grifos podrá ser superior a 10 litros / minuto.”
- **Grifos de ducha:** el mismo artículo mencionado arriba dicta que: Las duchas incluirán obligatoriamente economizadores de chorro o similares y un sistema de reducción de caudal de modo que, para una presión de 2,5 kg/cm<sup>2</sup>, **el caudal máximo suministrado sea de 10 litros/minuto.**  
Además Organización Mundial de la Salud (OMS) establece que la ducha debería limitarse **a 5 minutos** para un uso sostenible de agua y energía (*¿Cuánto tiempo pasas bajo la ducha? - Ethic : Ethic, no date*).  
Por lo tanto, el consumo medio se establece en 50 L/ducha
- **Consumo:** este factor no se va a cambiar, ya que la OMS establece que el consumo medio diario ha de ser de 2 litros por persona al día.

	Urinarios	Inodoro	Lavabo	Ducha	Consumo
Litros por uso	0	6	3	50	2
Usos por día	5.600	5.600	11.200	72	2.240
Litros por día	0	33.600	33.600	3.600	4.480
<b>Litros al año</b>	<b>0</b>	<b>8.400.000</b>	<b>8.400.000</b>	<b>900.000</b>	<b>1.120.000</b>

Tabla 5 Consumo según aplicación de la Solución Propuesta

Consumo total de la Solución Propuesta

**18.820.000 L al año**

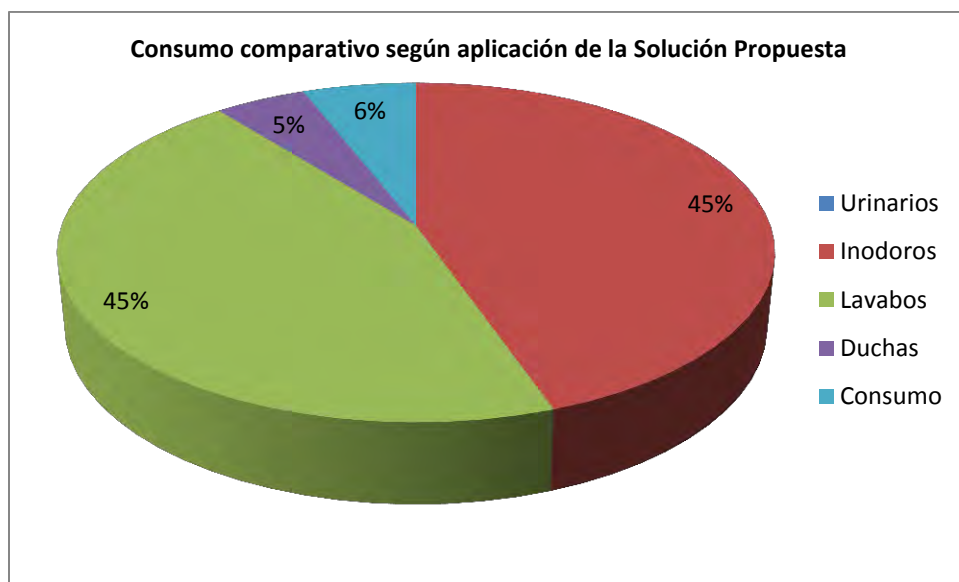


Figura 6 Consumo comparativo según aplicación de la Solución Propuesta

El uso de agua resultante asciende a 18.820.000 litros al año. La reducción del consumo comparado con el caso clásico es del 62.7%. El siguiente gráfico representa la comparación del caso clásico con el caso en el que se reduce el consumo en las instalaciones.

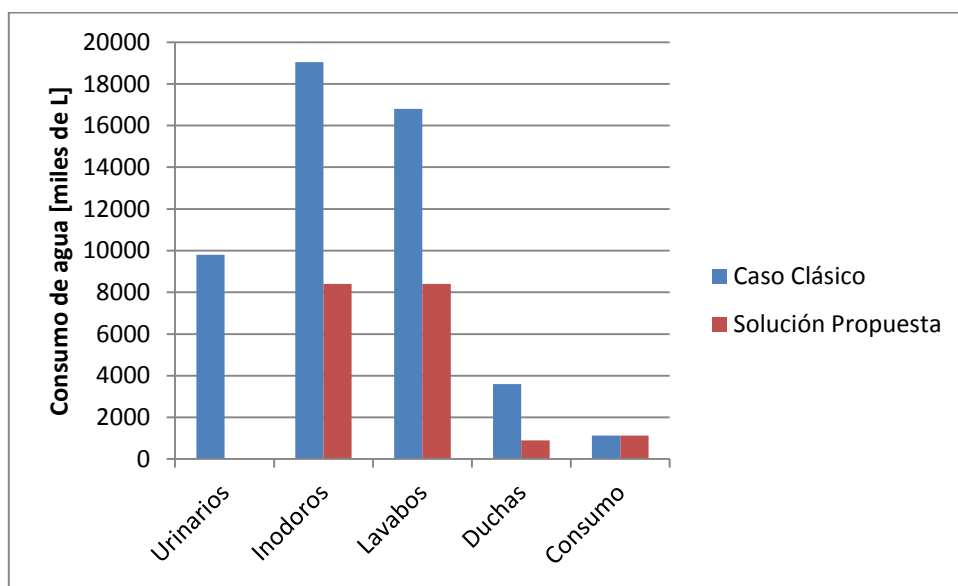


Figura 7 Tabla comparativa Caso Clásico vs Solución Propuesta

## Resumen en la reducción en el consumo de agua en las instalaciones de la oficina

	Caso Clásico	Caso Propuesto
Consumo	50.360.000 L	18.820.000 L
% de ahorro de agua	-	62.7 %

Tabla 6 Resumen en la reducción del consumo de agua en las instalaciones de la oficina

Con los resultados obtenidos se puede observar que tan solo cambiando los elementos de las instalaciones, el ahorro en el consumo de agua puede llegar casi al 63%.

### 4.2.2 Reducción en el consumo de agua para el riego

Se ha de establecer el reparto de área verde entre el césped, arbustos, setos, tapizante y flores. No existe una normativa a la hora de establecer los porcentajes de superficie que se ha de asignar a cada sector, pero con el fin de crear un espacio lo más variado posible, se ha decidido la siguiente estructura.

- Arbustos: 20%
- Setos: 20%
- Césped: 40%
- Tapizante: 15%
- Flores: 5%



Figura 8 Cantidad de cada especie en la vegetación

### 4.2.2.1 Sistemas de riego más comunes

En la siguiente tabla se exponen los sistemas de riego más comunes, para qué tipo de vegetación son más adecuados, sus ventajas e inconvenientes (Heredero Rodríguez *et al.*, 2010).

Sistema de riego	Adecuado	Ventajas	Inconvenientes
<b>Aspersión y difusión</b>	Césped	Posibilidad de automatizar Buena distribución de agua	Escorrentía <sup>1</sup> en laderas, evaporación y deriva por viento
<b>Microaspersión y microdifusión</b>	Laderas, parterres de arbustos y flores	Baja pluviometría Se puede automatizar	Se mojan las hojas y toda la superficie del suelo
<b>Goteo superficial</b>	Todo tipo de zonas, excepto céspedes	Baja pluviometría. Se moja poco suelo. Aparecen malas hierbas	Laborioso de instalar. Las tuberías estorban. Poco estéticos
<b>Goteo enterrado</b>	Todo tipo de zonas	Mismas que el goteo normal. Antivandálico al estar enterrado. No afea el jardín	Instalación aún más laboriosa que el goteo superficial. Tecnología algo complicada
<b>Manguera</b>	Riego de alcorques. Apoyo en plantaciones recientes	Barato, gasta poco si se usa bien. Sin averías	No se puede automatizar. Lleva mucho tiempo regar en jardín grande

Tabla 7 Sistemas de riego más comunes

### 4.2.2.2 Planificación

Aparte de los comentarios que se encuentran en la

Tabla 7, hay otros factores que hay que tener en cuenta. Para realizar un riego eficaz se ha de aportar el agua a las distintas zonas según sus necesidades y se ha de realizar un riego homogéneo en cada zona.

Un diseño correcto del jardín resulta clave para mejorar la eficiencia del regado. Se han de agrupar por zonas las plantas con similares necesidades hídricas.

<sup>1</sup> Escorrentía: Definición RAE: Corriente de agua que se vierte al rebasar su depósito o cauce naturales o artificiales.

- ❖ Las zonas con altas demandas son las de césped y plantas con grandes necesidades hídricas se suelen usar aspersores o difusores. El riego se realiza siempre a la vez.
- ❖ El goteo es el sistema de riego ideal para el resto de zonas, ya que es el sistema que menos consume. El problema con este tipo de riego es la estética, ya que las tuberías que guían el caudal hasta las plantas, resaltan mucho en el entorno.

#### 4.2.3 Tipos de vegetación

- Césped: el potencial de ahorro al ahora de instalar césped Sahara frente al Classic supone de un 8%. El ahorro frente a césped classic con difusores asciende a 60 L/año si se riega también con difusores. En cambio, si se decide regar por goteo, el ahorro asciende a 225 L/año.



Figura 9 Césped Classic vs Césped Sahara; Fuente: (Heredero Rodríguez et al., 2010)

- Arbustos: en el estudio realizado por el Canal de Isabel II se estudiaron hasta cuatro tipos distintos de arbustos: Fotínea, Cornus, Hebe y Atriplex.





Figura 10 Tipos de arbustos; Fuente: (Heredero Rodríguez et al., 2010)

Los resultados obtenidos revelaron que se puede llegar hasta ahorrar un 50% si se decide cultivar Atriplex en vez de Fotínea.

- Setos: a la hora de sembrar setos, resulta indiferente que sean Aligustre o Leilandi, ya que no existe potencial de ahorro entre ellas.



Figura 11 Setos Aligustre vs Leilandi; Fuente: (Heredero Rodríguez et al., 2010)

- Tapizante: según los resultados del experimento, con el tomillo se puede conseguir un 44% de ahorro frente a la vinca. Asimismo, si se instala Cotoneaster o Hipérico, los potenciales son 12% y 30% respectivamente.

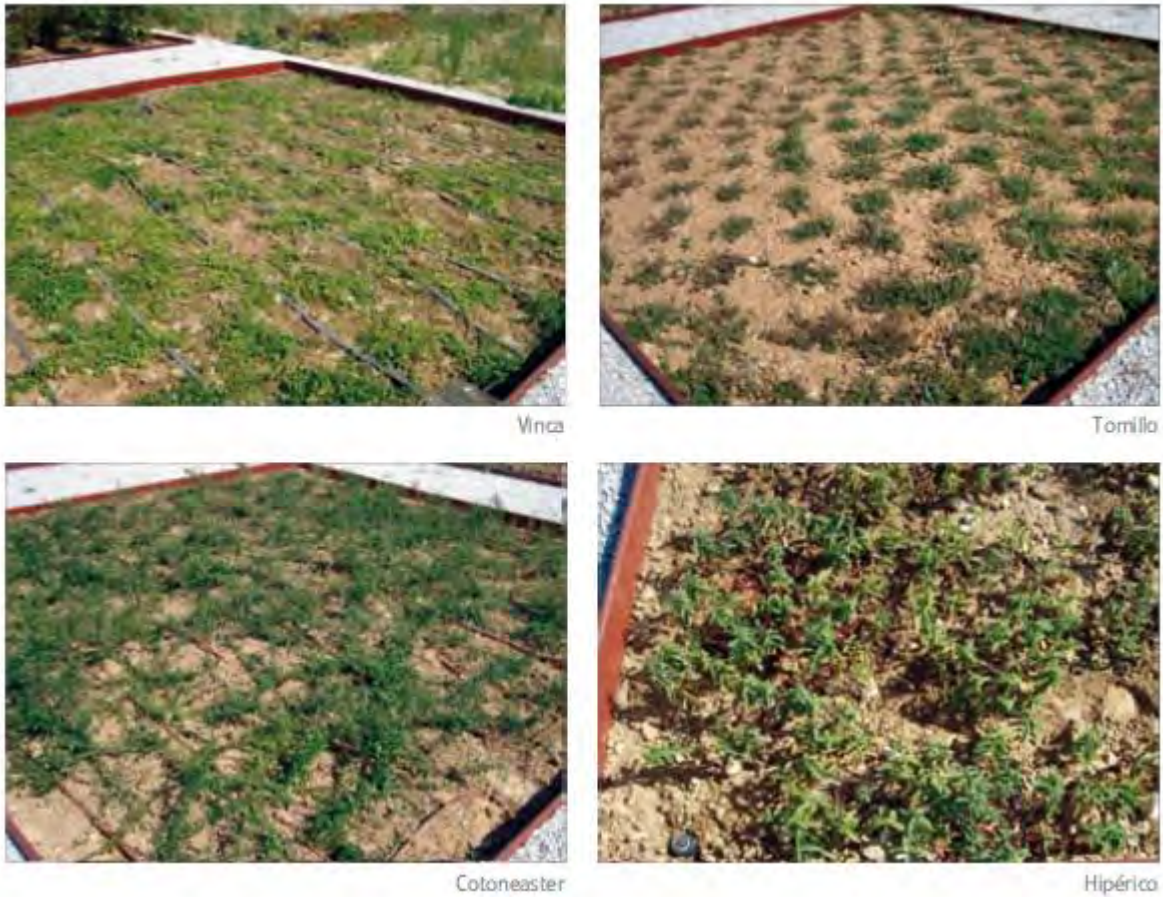


Figura 12 Tipos de tapizante; Fuente: (Heredero Rodríguez et al., 2010)

- Flores: se estudiaron los Tajetes y las Petunias y los resultados obtenidos son que no existe gran diferencia entre ambas, por lo que el potencial de ahorro es prácticamente nulo.





Figura 13 Petunias vs Tajetes; Fuente: (Heredero Rodríguez et al., 2010)

#### 4.2.4 Selección de tipo de riego y especies

##### Tipos de riego

Se han elegido dos distintos tipos de riego en clásico a las características y necesidades de las especies.

- Goteo enterrado para el césped, arbustos y setos. El goteo enterrado tiene las ventajas de una baja necesidad de pluviometría, y al contrario que en goteo superficial, no afea el jardín, ya que las tuberías circulan enterradas. En su contra juega que su instalación es muy laboriosa, pero al tratarse de un emplazamiento vacío, un solar, su implantación resultará más sencilla.



Figura 14 Goteo enterrado (Heredero Rodríguez et al., 2010)

Por otra parte, resulta algo más caro el coste de instalar goteo enterrado que goteo superficial, unos 7€ por cada m<sup>2</sup> de superficie. En cambio,

con el goteo enterrado se ahorra una cantidad mayor de agua, unos 25 litros al año por m<sup>2</sup>. Al tratarse de un proyecto con un interés mayor en la sostenibilidad que en el aspecto económico, se ha decidido enterrar el medio de riego.

- Difusor para el tapizante y las flores. La razón de regar las flores y el tapizante con difusores es la de que en el estudio presentado por el Canal de Isabel II son las variantes que menos agua consumen. Aparte de esto, la difusión se puede automatizar y en general la distribución de agua es buena. Hay que tener en cuenta a la hora de la instalación que el terreno ha de ser lo más llano posible, ya que existe riesgo que se formen escorrentías en laderas.

### Tipo de especies

- Césped: se ha decidido instalar césped Sahara ya que, como se puede observar en la
- Tabla 8, presenta un ahorro de 225 litros por año y m<sup>2</sup> y un ahorro en los costes totales frente al caso clásico de 6.98 € por m<sup>2</sup> a 10 años vista.

Alternativa	Sistema de riego	Dotación	Ahorro de Agua frente a césped con difusores	Costes de implantación	Costes de mantenimiento a 10 años	Costes de agua en 10 años	Costes TOTALES en 10 años	
		L/Año m2	L/Año m2	€/m2	€/m2	€/m2	€/m2	
<b>Caso Clásico</b>	Classic	Difusor	842	0	11,93	75,56	20,2	107,69
<b>Césped</b>	Classic	Goteo enterrado	664	177	11,12	74,75	15,95	101,82
	Sahara	Difusor	782	60	11,96	75,56	18,76	106,28
	<b>Sahara</b>	<b>Goteo enterrado</b>	<b>617</b>	<b>225</b>	<b>11,15</b>	<b>74,75</b>	<b>14,81</b>	<b>100,71</b>

Tabla 8 Análisis de tipos de césped

Diferencia económica entre el caso clásico y la alternativa elegida	Costes Totales en 10 años
Caso Clásico	107.69 €/m <sup>2</sup>
Césped Sahara con goteo enterrado	100.71 €/m <sup>2</sup>
<b>Diferencia</b>	<b>+6.98 €/m<sup>2</sup></b>

Tabla 9 Diferencia económica en el césped entre el caso clásico y la alternativa elegida

- Arbustos: a pesar de lo que se estableció en el punto 4.2.3 (si se decide cultivar Atriplex en vez de Fotínea se puede ahorrar hasta un 50%), se ha decidido plantar Fotínea con el fin de ser más preciso en los cálculos. El problema yace en que no se llegó a estudiar la variable de cultivar Atriplex con goteo enterrado y sí con la Fotínea. A pesar de no ser el cultivo óptimo, el ahorro frente a césped classic con difusores asciende a 462 L/ año, un ahorro en los costes totales frente al caso clásico de 63.73 € por m<sup>2</sup> a 10 años vista y a opinión personal, la Fotínea resulta más vistosa que la Atriplex.

	Alternativa	Sistema de riego	Dotación	Ahorro de Agua frente a césped con difusores	Costes de implantación	Costes de mantenimiento a 10 años	Costes de agua en 10 años	Costes TOTALES en 10 años
Variantes			L/Año m2	L/Año m2	€/m2	€/m2	€/m2	€/m2
<b>Caso Clásico</b>	Césped Classic	Difusor	842	0	11,93	75,56	20,2	107,69
<b>Arbustos</b>	Fotínea	Goteo	401	441	8,48	18,56	9,62	36,65
	<b>Fotínea</b>	<b>Goteo enterrado</b>	<b>380</b>	<b>462</b>	<b>12,38</b>	<b>22,46</b>	<b>9,11</b>	<b>43,96</b>
	Cornejo	Goteo	351	491	12,66	12,24	8,42	33,32
	Hebe	Goteo	501	341	7,98	13,4	12,02	33,41
	Atriplex	Goteo	251	591	11,88	11,86	10,86	34,56

Tabla 10 Análisis de tipos de arbustos

Diferencia económica entre el caso clásico y la alternativa elegida	Costes Totales en 10 años
<b>Caso Clásico</b>	107.69 €/m2
<b>Fotínea con goteo enterrado</b>	43.96 €/m2
<b>Diferencia</b>	<b>+63.73 €/m2</b>

Tabla 11 Diferencia económica en entre el caso clásico y la alternativa de arbustos elegida

- Setos: al no existir diferencia en el potencial de ahorro entre plantar Aligustre y Leilandi se ha decidido instalar ambas en la misma cantidad para fomentar la diversidad de especies.

El ahorro frente a césped classic con difusores asciende a 271 L/ año y un ahorro en los costes totales frente al caso clásico de 21.84 € por m<sup>2</sup> a 10 años vista.

Alternativa		Sistema de riego	Dotación	Ahorro de Agua frente a césped con difusores	Costes de implantación	Costes de mantenimiento a 10 años	Costes de agua en 10 años	Costes TOTALES en 10 años
Variantes			L/Año m2	L/Año m2	€/m2	€/m2	€/m2	€/m2
<b>Caso Clásico</b>	Césped Classic	Difusor	842	0	11,93	75,56	20,2	<b>107,69</b>
<b>Setos</b>	Aligustre	Goteo	601	240	40,48	24,96	14,43	<b>79,86</b>
	<b>Aligustre</b>	<b>Goteo enterrado</b>	<b>570</b>	<b>270</b>	<b>44,38</b>	<b>28,86</b>	<b>13,67</b>	<b>86,92</b>
	<b>Leilandi</b>	<b>Goteo enterrado</b>	<b>570</b>	<b>272</b>	<b>40,65</b>	<b>30,46</b>	<b>13,67</b>	<b>84,78</b>

Tabla 12 Análisis de tipos de setos

Diferencia económica entre el caso clásico y la alternativa elegida	Costes Totales en 10 años
Caso Clásico	107.69 €/m <sup>2</sup>
Aligustre y Leilandi con goteo enterrado	85.85 €/m <sup>2</sup>
<b>Diferencia</b>	<b>+21.84 €/m<sup>2</sup></b>

Tabla 13 Diferencia económica en entre el caso clásico y la alternativa de setos elegida

- Tapizante: se ha decidido instalar tapizante Cotoneaster ya que, como se puede observar en la Tabla 14, presenta un ahorro de 541 litros por año y m<sup>2</sup> y un ahorro en los costes totales frente al caso clásico de 65.46 € por m<sup>2</sup> a 10 años vista.

Alternativa		Sistema de riego	Dotación	Ahorro de Agua frente a césped con difusores	Costes de implantación	Costes de mantenimiento a 10 años	Costes de agua en 10 años	Costes TOTALES en 10 años
Variantes			L/Año m2	L/Año m2	€/m2	€/m2	€/m2	€/m2
<b>Caso Clásico</b>	Césped Classic	Difusor	842	0	11,93	75,56	20,2	<b>107,69</b>
<b>Tapizante</b>	Tomillo	Difusor	481	361	13,3	20,79	11,54	<b>45,64</b>
	Vinca	Difusor	541	301	16,59	16,57	12,99	<b>46,15</b>
	Vinca	Goteo	451	391	11,88	11,86	10,82	<b>34,56</b>
	<b>Cotoneaster</b>	<b>Difusor</b>	<b>301</b>	<b>541</b>	<b>13,5</b>	<b>21,51</b>	<b>7,21</b>	<b>42,23</b>
	Cotoneaster	Goteo	251	591	8,78	16,8	6,01	<b>31,59</b>
	Hipérico	Difusor	361	481	13,7	20,83	8,66	43,19

Diferencia económica entre el caso clásico y la alternativa elegida		Costes Totales en 10 años
Caso Clásico		107.69 €/m <sup>2</sup>
Cotoneaster con Difusor		42.23 €/m <sup>2</sup>
<b>Diferencia</b>		<b>+65.46 €/m<sup>2</sup></b>

Tabla 14 Análisis de tipos de tapizante y diferencia económica en entre el caso clásico y la alternativa de tapizante elegida

- Flores: la hora de plantar flores, no existe gran diferencia entre los Tagetes y las Petunias, por lo que se ha decidido plantar la misma cantidad de ambas especies. El ahorro de agua frente al caso clásico supone el mismo en las dos especies, 180 litros por año y m<sup>2</sup>, y el gasto medio en los costes totales frente al caso clásico de **205.53 €** por m<sup>2</sup> a 10 años vista.

Alternativa	Sistema de riego	Dotación	Ahorro de Agua frente a césped con difusores	Costes de implantación	Costes de mantenimiento a 10 años	Costes de agua en 10 años	Costes TOTALES en 10 años	
Variantes		L/Año m2	L/Año m2	€/m2	€/m2	€/m2	€/m2	
<b>Caso Clásico</b>	Césped Classic	Difusor	842	0	11,93	75,56	20,2	107,69
<b>Flores</b>	<b>Petunias</b>	<b>Difusor</b>	<b>661</b>	<b>180</b>	<b>32,91</b>	<b>257,56</b>	<b>15,87</b>	<b>306,34</b>
	Petunias	Goteo	551	291	28,19	252,84	13,23	294,26
	<b>Tagete</b>	<b>Difusor</b>	<b>661</b>	<b>180</b>	<b>34,16</b>	<b>270,06</b>	<b>15,87</b>	<b>320,09</b>

Tabla 15 Análisis de tipos de flores

Diferencia económica entre el caso clásico y la alternativa elegida	Costes Totales en 10 años
Caso Clásico	107.69 €/m <sup>2</sup>
Petunias con Difusor	306.34 €/ m <sup>2</sup>
Tagete con Difusor	320.09 €/ m <sup>2</sup>
<b>Diferencia</b>	<b>-205.53 €/ m<sup>2</sup></b>

Tabla 16 Diferencia económica en entre el caso clásico y la alternativa de flores elegida

### 4.3 Resumen en la reducción en el consumo de agua para el riego

En esta sección se resumirá el ahorro que supone plantar las distintas especies seleccionadas en el apartado anterior.

Variante	Reparto del área	Área	Ahorro de Agua frente a césped con difusores	Ahorro de agua	Ahorro en los costes totales en 10 años por m <sup>2</sup>	Ahorro en los costes totales en 10 años
	%	m <sup>2</sup>	L/Año m <sup>2</sup>	L/Año	€/m <sup>2</sup>	€
<b>Césped Sahara</b>	40%	8020	225	1.804.500	6,98	55.980
<b>Arbustos Fotínea</b>	20%	4010	462	1.852.620	63,73	255.557
<b>Setos Aligustre /Leilandi</b>	20%	4010	270	1.082.700	21,84	87.578
<b>Tapizante Cotoneaster</b>	15%	3007,5	541	1.627.058	65,46	196.871
<b>Flores Petunias</b>	5%	1002,5	180	180.450	-205,525	-206.039
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>	<b>20.050</b>	<b>1.678</b>	<b>6.547.328</b>		<b>389.947</b>

Tabla 17 Resumen en la reducción en el consumo de agua para el riego de cada elemento

	Caso Clásico	Caso Propuesto
Área Zona	20.050 m <sup>2</sup>	20.050 m <sup>2</sup>
Dotación	842 L / año m <sup>2</sup>	515 L / año m <sup>2</sup>
<b>Consumo Total de agua para el riego</b>	16.882.100 L / año	10.334.773 L / año
<b>Volumen de ahorro de agua</b>	-	6.547.327 L
<b>% de ahorro de agua</b>	-	<b>38.8 %</b>
<b>Coste en 10 años</b>	2.159.185 €	1.769.238 €
<b>% de ahorro en los costes</b>		<b>18 %</b>

Tabla 18 Resumen en la reducción en el consumo de agua para el riego total

Con los resultados obtenidos se puede observar que si se realiza una plantación con las especies adecuadas para el clima del emplazamiento, el ahorro del consumo de agua es en este caso de casi un 40%, los costes se reducen casi un 20% y además el jardín quedará más colorido y con una mayor diversificación de especies.

Se puede apreciar que el ahorro de agua es, en porcentaje, el doble que el ahorro económico. Esto se debe principalmente a que se han elegido las especies priorizando el consumo del agua antes que el ahorro en los costes. Además, una gran parte de la diferencia es que el coste que supone plantar flores es mucho mayor que el que supondría plantar césped. Si se decidiese disminuir la cantidad de flores que se desea instalar en el jardín, se podrían disminuir más los costes.

Cabe mencionar que estas conclusiones se han obtenido con las proporciones de las especies que se han creído convenientes. Si éstas cambiasen, cambiarían los resultados obtenidos, pero la forma de cuantificarlo sería la misma.

## **5. Evaluación de posibles opciones de suministro de agua**

Se van a comentar y discutir las opciones de suministro del agua de la ciudad tecnológica.

### **5.1 Suministro de las fuentes principales**

El agua que llega a la capital procede de 14 embalses y más de ochenta captaciones subterráneas. La presa más importante es “El Altazar” con una capacidad de 425 hectómetros cúbicos y con una cabida para almacenar prácticamente la mitad de las reservas hidráulicas de la región (MDO, 2014).

La demanda extrema de estos suministros conlleva a reducción de los niveles de las presas, demanda cada vez mayor de una población en crecimiento, efectos en el cambio climático, efecto de sequía en el ecosistema, las emisiones de carbón debidas a la producción de agua durante las sequías y el aumento del coste que supone el abastecimiento de agua a la población.



Todos estos problemas llevan a buscar otras alternativas de abastecimiento más sostenibles. Una solución más eficiente es la de abastecerse con los recursos que están a mano, en la misma localización.

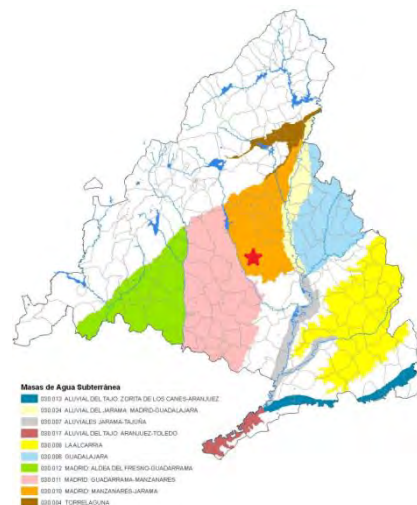
Se requeriría de un gran cambio en la infraestructura del agua para proporcionar opciones sostenibles a toda la población de la Comunidad de Madrid, por lo que se espera que la ciudad tecnológica sirva como ejemplo.

## 5.2 Agua subterránea

La masa de agua que se encuentra bajo la superficie del antiguo Estadio Vallehermoso recibe el nombre de “Madrid: Manzanares-Jarama” (Directiva Marco, no date) El acuífero es el Acuífero Terciario Detrítico de Madrid.

Hoy en día existe gran controversia respecto a si es sostenible explotar o no el agua subterránea, y en caso afirmativo, en qué porcentaje (San Diego, 2015). El Canal de Isabel II tiene una capacidad de bombeo apta para suministrar 120 hm<sup>3</sup> (Bautista, 2014).

Ya que el coste de las instalaciones necesarias para poder bombear el agua del subsuelo es muy elevado y que existe gran controversia de la sostenibilidad de hacerlo, esta opción no se tratará en este proyecto. Además, con la demanda del caudal necesario para abastecer la ciudad tecnológica no tendría sentido instalar las bombas para sacar agua subterránea.



★ Barrio de Chamberí

Figura 15 Acuíferos debajo de la Comunidad de Madrid; Fuente: (Bautista, 2014)

### 5.3 Agua desalinizada

Debido a la situación geográfica de la Comunidad de Madrid, esta opción resulta inviable a la hora de tenerla presente como posible suministro del parque tecnológico.

### 5.4 Aguas pluviales

En la Comunidad de Madrid llueve una media de 63 días al año con una precipitación total de 436mm (Sevillano, 2019). Estos datos son bastante bajos si se comparan con San Sebastián, que con 1738mm al año es la capital de provincia donde más llueve de España.

La captación de agua de lluvia consiste en 6 componentes principales, dependiendo de la calidad del agua que se quiera alcanzar (UACDC, 2010) . Los componentes son: captación, transporte, filtración, almacenamiento, distribución y purificación. La cantidad de agua recolectada depende del tamaño de captación, la composición, porosidad y pendiente de la superficie y precipitación anual. Independientemente del material de captación, se puede esperar unas pérdidas del 10% al 70% debido a filtraciones, evaporaciones e ineficiencias en el sistema de captación. Además, la primera descarga de agua tras un periodo de sequía no se puede almacenar, ya que estará contaminada por polvo, tierra, pesticidas, polución y excrementos de pájaros.



Figura 16 Fuente UACDC, 2010

### 5.4.1 Aplicaciones

Hay que destacar que el agua pluvial no se considera apta para el consumo del ser humano. A pesar de ello existen varias aplicaciones en las que se emplea el agua de lluvia. Las más habituales son (ESPAÑA, 2016).

- Inodoros
- Limpieza de suelos
- Lavadora
- Riego

### 5.4.2 Instalación

En la instalación de aprovechamiento de agua de lluvia (España, 2015) ha de garantizarse que ésta no sea confundida con la del agua potable. Por este motivo existen sistemas de doble seguridad para que no se mezclen ambas aguas. Las bajantes convergirán en un punto antes de ser conducidas al depósito de almacenaje. Ha de existir un sistema de decantación y filtración para garantizar la calidad del agua y el tamaño máximo de la malla de filtrado será de 150 micras. Además, el depósito se alimentará de forma independiente desde la red municipal, sin que haya opción de que se junten las aguas.

Se ha de instalar también un rebosadero como sistema de desborde, que se conectará al sistema de evacuación de pluviales de la red.

Como dicta el documento GUÍA PARA EL DESARROLLO DE NORMATIVA LOCAL EN LA LUCHA CONTRA EL CAMBIO CLIMÁTICO (España, 2015):

*“Todo depósito deberá contar con los siguientes elementos:*

- 1. Un rebosadero con salida libre a la red de saneamiento y con un diámetro doble que la tubería de entrada.*
- 2. Un equipo de bombeo que proporcione la presión y el caudal necesarios para los usos previstos.*
- 3. Un recubrimiento de fábrica que garantice la protección mecánica del depósito y su estabilidad.*
- 4. Las válvulas de aislamiento necesarias.*
- 5. Un sistema de vaciado de fondo que permita la purga periódica de los sedimentos depositados.*
- 6. Un acceso para su limpieza.*
- 7. Un sistema de ventilación”*

### 5.4.3 Captación de aguas de lluvia

La cantidad de agua que se capta se calcula usando una ecuación sencilla. Dicha ecuación es la siguiente:

$$\text{Precipitación anual [mm]} \times \text{Superficie de captación [m}^2\text{]} \times \text{coeficiente de captación [\%]} - \text{Cantidad de agua desviada [L]} = \text{Litros captados al año [L]}$$

- Precipitación anual: en la Comunidad de Madrid tiene una precipitación de 436mm al año
- Superficie de captación: la superficie apta para captar agua serán los tejados de los edificios de la ciudad tecnológica: 4800 m<sup>2</sup>
- Coeficiente de captación: existe un coeficiente de captación de agua según la composición del tejado y su inclinación:

Composición	Coeficiente
Tejado duro inclinado*	0,8
Tejado plano sin gravilla	0,8
Tejado plano con gravilla	0,6
Tejado verde intensivo	0,3
Tejado verde extensivo	0,5
Superficie empedrada	0,5
Revestimiento asfáltico	0,8
* desviaciones en función de la capacidad de absorción y la rugosidad	

Tabla 19 Coeficientes de captación de agua de los tejados, Fuente: (España, 2015)

Se ha escogido el tejado plano sin gravilla, de coeficiente 0.8, ya que siendo plano, la instalación de paneles solares o depósitos de agua será más sencilla que construyendo el techo con inclinación.

- Cantidad de agua desviada: el volumen de agua que se desvía con el fin de evitar que esté contaminada se basa en un factor de polución. Existen dos valores: polución mínima y polución considerable.

Pollution factor for the Roof
<p><b>Minimal Pollution – divert 0.5L per m2</b> Open field, no trees, no bird droppings, clean environment</p> <p><b>Substantial Pollution – divert 2L per m2</b> Leaves and debris, bird droppings, various animal matter, e.g. dead insects, skinks etc.</p>
Diversion factor for a First Flush Water Diverter
<p>m2 Roof Area X Pollution Factor = Litres to be diverted.</p> <p><b>Example for a minimal polluted roof of 100m2</b> 100 X 0.5 = 50 Litres to be diverted.</p> <p><b>Example for a heavily polluted roof of 100m2</b> 100 X 2 = 200 Litres to be diverted.</p>

Figura 17 Coeficientes de polución; Fuente: (Irrigation Australia, 2019)

Se ha escogido el valor de polución considerable, ya que la zona se trata de una ciudad con una alta población.

$$\begin{aligned} \text{Superficie de captación [m}^2\text{]} \times \text{factor de polución} \\ = \text{Cantidad de agua desviada [L]} \end{aligned}$$

$$4.800 \text{ m}^2 \times 2 = 9600 \text{ L}$$

Finalmente la cantidad de agua que se capta será la siguiente:

$$436\text{mm} \times 4.800\text{m}^2 \times 0.8 - 9600 \text{ L} = 1.664.640 \text{ L al año}$$

#### 5.4.4 Dimensionado de las instalaciones de aprovechamiento de agua de lluvia

Para el dimensionamiento de los depósitos encargados de almacenar el agua de lluvia es necesario comparar la demanda con la oferta (ESPAÑA, 2016).

- Oferta = 1.664.640 L al año (solamente contando el agua necesaria para el riego)
- Demanda = 10.334.773 L al año

Al ser la demanda mucho mayor al agua que se puede recolectar de lluvia, será la oferta el factor decisivo a la hora de dimensionar el depósito:

$$V_{\text{depósito}} = \frac{\text{Oferta}}{365 \text{ días} * F_D * P}$$

Siendo:

- $F_D$  el factor de dimensionamiento, un valor entre el 15% y el 20%, que se toma ya que el volumen útil del tanque disminuye debido a los sedimentos que se crean en el fondo del mismo.
- $P$  el periodo de retorno, que es el periodo máximo entre dos episodios de lluvia considerables, que suelen darse entre 30 y 40 días. Se escogerán 35 días como término medio.

$$V_{depósito} = 1.664.640 / 365 \text{ días} * 1.2 * 35 = 191.548 \text{ L}$$

Consultando distintos proveedores se han decidido instalar cuatro depósitos de 50.000 L de capacidad cada uno. Las dimensiones son: 2.500 mm de diámetro y 10.600 mm de longitud (ecoagua, 2018). El precio neto unitario de cada depósito es de 11.659 €, sin tener en cuenta preinstalación, instalación, transporte ni impuestos. El presupuesto se adjunta en el Anexo Parte I, Presupuesto e Instalación Depósito Aguas Pluviales.

Debido a las grandes dimensiones de los depósitos, su instalación se realizará bajo tierra. Además, el agua estará protegida de la luz ultravioleta y del calor.

Como nota final a este apartado, mencionar que será necesario instalar bombas de impulsión para la succión del agua.

### Componentes de la instalación para la recuperación de aguas pluviales

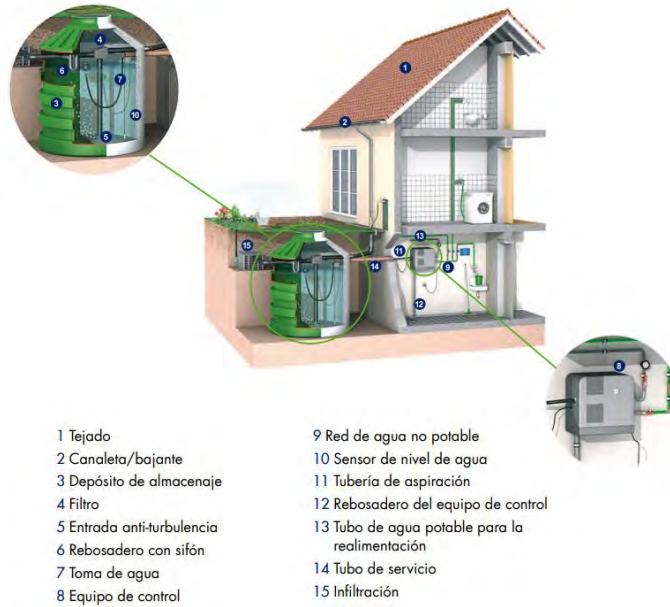


Figura 18 Componentes de la instalación para la recuperación de aguas pluviales, Fuente: (ESPAÑA, 2016)

## 6. Reutilización de aguas residuales

Las aguas residuales (*Aguas residuales - EcuRed*, no date) son materiales derivados de residuos domésticos. Dependiendo de su origen, las aguas residuales se clasifican en:

- Domésticas: son residuos humanos que llegan a la red de alcantarillado por medio de descargas hidráulicas. Se usan con fines higiénicos en baños, cocinas, lavanderías, etc.  
Dentro de la clasificación de aguas residuales domésticas, se diferenciará también entre aguas negras y aguas grises (Boss Tech, no date):
  - Aguas grises: son las aguas que se generan en actividades domésticas tales como limpiar el baño, la lavadora, el baño de personas o el lavado de platos.
  - Aguas negras: las aguas negras son las aguas que contienen materia fecal. Circulan por el sistema de alcantarillado y han de verterse en un tanque séptico.
- Industriales: son líquidos que se generan en los procesos industriales.
- Pluviales: los aguas de lluvia. Suelen arrastrar arena, tierra, hojas entre otros residuos.
- Infiltración y caudal adicionales: son aguas que penetran en el alcantarillado por los empalmes de las tuberías, paredes defectuosas de las mismas, tuberías de limpieza e inspección.

### Reutilización de aguas grises y/o negras

La reutilización de aguas residuales puede tener una implicación positiva en la huella de carbono, consumo de agua y reducción de costes. El coste de reutilizar agua residual, tras tratarla, bombearla y almacenarla, es de \$0.06-\$1.00/m<sup>3</sup>(Gerrity *et al.*, no date) Si se compara con los \$2.29/m<sup>3</sup> que cuesta desalinizar el agua, puede resultar hasta 38 veces más económico.

Los beneficios de reutilizar aguas residuales son muy numerosos: reducción de la descarga de la misma en los ríos y océanos, reducción de la intensidad de flujo en los sistemas de transporte de agua, reducción de la huella de carbono respecto a desalinizar el agua salada y recarga de aguas subterráneas (EMRC, 2011). Las aguas grises y negras no dependen de la lluvia, por lo que resulta muy útil poder reutilizarlas en periodos de sequía.



A pesar de lo mencionado anteriormente, existe un mayor impedimento a la hora de reutilizar aguas negras o grises, y es la aceptación social (*Reutilización, la gran asignatura pendiente a nivel mundial | iAgua, no date*). De todas formas, España es un ejemplo a la hora de generar nuevos recursos de agua no convencionales, ya que utiliza la producción de agua por desalación como complemento a la reutilización. En total se reúsan casi 822.000 m<sup>3</sup> al día, lo que supone prácticamente el 11% de sus aguas. El agua reutilizada se emplea fundamentalmente en fines agrícolas en la cuenca mediterránea.

Existen dos grupos de usos comunes de agua reciclada para reutilización municipal. Los grupos se diferencian en la calidad exigida del agua.

- Primer grupo: no se exige alta calidad del agua ya que el riesgo para la salud es bajo. El agua reutilizada se suele emplear en el riego de parques, limpieza de calles, lavado de vehículos, lavado de inodoros, riego de campos de golf, recarga de acuífero y hasta fabricación de nieve.
- Segundo grupo: la exigencia en la calidad del agua sí que es elevada ya que existe riesgo para la salud del ciudadano. Se suele emplear en agua potable y en recargar acuíferos destinados a abastecer agua potable.

En este proyecto de sostenibilidad se estudiará la posibilidad de emplear agua reutilizada no para consumo de los empleados de la ciudad tecnológica, si no para el riego y el lavado de inodoros principalmente.

## **6.1 Tratamiento de aguas residuales**

### **6.1.1 Tratamiento tradicional de aguas residuales**

El Canal de Isabel II es la empresa pública encargada del tratamiento de las aguas residuales en la Comunidad de Madrid. La compañía cuenta con 157 estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) distribuidas por toda la comunidad (*El ciclo integral del agua Saneamiento, no date*). Dichas estaciones tienen como objetivos:

- Eliminar los desperdicios, elementos gruesos, grasas, aceites y arenas flotantes.

- Eliminar los materiales decantables, los orgánicos e inorgánicos.
- Eliminar la materia orgánica biodegradable que está disuelta en el agua.

No todas las estaciones cuentan con todos los procesos, si no que depende del tamaño, del número de habitantes que se les asigna, el aspecto económico, el caudal variante de los ríos según la estación del año, origen del agua o vertidos industriales.

Existen dos líneas en las EDAR, la línea de agua y la línea de fango. La primera se basa en el agua residual y la segunda en el fango generado en los distintos procesos de depuración. A continuación se mencionarán los distintos procesos de cada línea y las características de los mismos.

A) Línea del agua:

- Pretratamiento: se eliminan los elementos de gran volumen que llegan desde los colectores de aguas residuales.
- Tratamiento primario: se reducen los sólidos en suspensión y una cierta parte de la demanda bioquímica de oxígeno.
- Tratamiento secundario: se realiza un proceso biológico aerobio para reducir la materia orgánica. Además, se realiza una decantación secundaria.
- Tratamiento terciario: con el fin de poder usar el agua residual para el riego o el lavado de inodoros, es necesario realizar este tratamiento terciario que consiste en un tratamiento mayor.

B) Línea de fangos: tratar el agua conlleva supone que se produzca fango, por lo que hay que tratarlo también. Existen distintos tipos de fangos dependiendo del proceso biológico con el que se trate el agua: fangos primarios, sólidos sedimentados en la decantación primaria y fangos en exceso o biológicos. Los procesos principales son:

- Acondicionamiento
- Deshidratación
- Espesamiento
- Estabilización

### **6.1.2 Estación depuradora de agua residual de la zona**

La estación depuradora que suministra agua reutilizable al barrio de Chamberí es la de la Cuenca del río Manzanares. Dicha cuenca alberga 16 plantas de depuración, siendo la de Navarrosillos la más representativa con un diseño para más de 113.000 habitantes (II, 2012)

## **6.2 Tratamiento de aguas residuales in situ/descentralizados**

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales descentralizados ofrecen numerosos beneficios frente a la conexión con el suministro local. Dichos beneficios son: una reducción en la huella de carbono, diseño de la instalación específica según sus dimensiones, clima y consumo de agua.

Históricamente, este tipo de sistemas tan solo se instalaban en localizaciones remotas y de difícil acceso. Generalmente se promocionaba un sistema centralizado.

De todas formas, el avance en la tecnología ha supuesto la posibilidad de tratar el agua residual en el mismo emplazamiento en el cual se consume.

## **6.3 Opciones de tratamiento**

Lo primero de todo, es necesario separar los efluentes de las aguas residuales del emplazamiento en las aguas grises y negras. Las características de ambas aguas son muy distintas, de ahí que sea imprescindible dividir los efluentes en el origen.

El tratamiento de aguas residuales incluye sistemas físicos, biológicos, químicos e híbridos para remover patógenos, grasas y otras sustancias. Lo primero a la hora de decidir los tratamientos que se van a emplear en el emplazamiento, es decidir cuál va a ser el uso que se le va a dar tras tratarla. El agua reutilizada será empleada para los inodoros y el riego de la vegetación. Se ha decidido no emplearla para el consumo humano debido a lo establecido en el Real Decreto 1620/2007 sobre la calidad mínima necesaria y origen de la misma. Además, el volumen de agua necesario para satisfacer las necesidades de consumo de los empleados es mucho menor que el que se empleará para los inodoros y el regado de las plantas. No tendría ningún sentido, económicamente hablando, desembolsar el coste necesario para tratar el agua hasta tal punto que sea apta para consumo humano, con el pequeño caudal que se consumiría.

Todas la opciones de tratamiento se han sacado del documento (Landcom, 2006).

Los tratamientos propuestos dependerán del tipo de agua: gris o negra. Además, el dimensionamiento se hará en función de los volúmenes de agua diarios que se van a tratar. Los valores de dichas necesidades se van a sacar de la Tabla 5 Consumo según aplicación de la Solución Propuesta” y son:

	Volumen (L/día)
<b>Aguas Grises</b>	33.600+3.600=37.200
<b>Aguas Negras</b>	33.600
<b>Total</b>	<b>70.800</b>

Tabla 20 Necesidad de tratamiento de aguas grises y negras

### 6.3.1 Aguas grises

Las aguas grises se dividen en dos tipologías diferentes: las débiles y las fuertes.

- Débiles: las aguas vertidas en la ducha y la pica del baño
- Fuertes: correspondientes al agua usada en la cocina y por los electrodomésticos que usan agua como elemento básico en el lavado.

Además de la clasificación anterior, las características de las aguas grises se deben a la calidad del abastecimiento del agua, la tipología de la red y las actividades propia del edificio.

Es necesario tratar las aguas grises para poder reutilizarlas en los inodoros, lavadoras y riego. Se han seleccionado dos opciones de tratamiento de aguas grises de las posibles para compararlas (Holt and James, 2006). La tabla con todas las opciones para tratar agua residual de forma descentralizada de descentralizadas se encuentran en el Anexo Parte II, Opciones de tratamiento de aguas grises y negras. Se han seleccionado estas dos opciones debido a que las dimensiones necesarias para el tratamiento son compatibles con el emplazamiento y no es necesario ningún tratamiento más de los mencionados para usar el agua en los inodoros y para regar.

## Opciones de tratamiento de aguas grises:

- ❖ “Packaged Environmental Solutions”: esta opción es una combinación de distintos procesos de tratamiento. Actúa como una única planta de tratamiento de aguas residuales. El agua fluye por un primer asentamiento, una zona aeróbica y finalmente un asentamiento de humus y un almacenamiento de fango. El almacén de fango incluye micro-filtración y una desinfección térmica.

Este tipo de plantas se pueden dimensionar para tratar hasta 100kL de agua al día. Los costes de instalación ascienden a uno 80.000 € y los costes operacionales a 6.000 € al año. Se necesitan unas 50 horas de mantenimiento. El sistema energético es muy eficiente ya que con una bomba de 0.75kW se puede suministrar el sistema. Por último, la huella equivalente de carbono es de 0.6 m<sup>2</sup>/kL, lo que supone unos 20 m<sup>2</sup> de huella de carbono.

Lo negativo es que este sistema no se puede mantener bajo tierra, por lo que puede no resulta del todo apropiado para un parque tecnológico en medio de la Comunidad de Madrid.

- ❖ “RootZone- Greywater Vertical Treatment Unit”: esta propuesta usa procesos físicos y biológicos para tratar las aguas grises. La unidad contiene un filtro poroso de forma irregular para mejorar el área de superficie y aumentar la eficiencia del tratamiento biológico. El tratamiento secundario es un filtro físico con una etapa final de desinfección UV. El lecho es abierto, por lo que el aspecto estético no es el deseado.

Este tipo de plantas se pueden dimensionar para tratar hasta 360kL de agua al día. Los costes de instalación ascienden a uno 40.000 € y los costes operacionales a 2.000 € al año. Se necesita realizar el mantenimiento cuatro veces al año. El consumo energético es prácticamente nulo. Por último, la huella equivalente de carbono es de 40 m<sup>2</sup>.

### 6.3.2 Aguas negras

Las aguas negras tienen tres componentes principales: orina, materia fecal y papel. Además, la recuperación de energía se debe principalmente a las características de las aguas negras.

Por otra parte, tratar las aguas negras de forma descentralizada no se suele hacer en urbes de alta densidad como lo es el barrio de Chamberí. Esto se debe al alto coste que supone este tipo de instalaciones. Además, la legislación correspondiente a tratar aguas negras es muy estricta, ya que los riesgos para la salud son elevados. De todas formas, la tecnología en este sector ha evolucionado mucho y se están desarrollando nuevos procesos.

Las tres opciones que se van a describir a continuación incluyen una bioreactor con membrana, “sewer mining” – un sistema que conecta la instalación centralizada con un humedal subterráneo (Holt and James, 2006).

Opciones de tratamiento de aguas negras:

- ❖ “Rootzone – All wastewater Horizontal Surface Wetland”: este proceso trata tanto aguas grises como negras. Usa procesos biológicos, filtros físicos y desinfección por rayos UV. Los tratamientos posteriores son los mismos que se especificaron en el párrafo de “RootZone- Greywater Vertical Treatment Unit” más arriba. Esta solución permite combinar el tratamiento de ambas aguas, por lo que reducen los costes. El conducto alimentaría directamente a dos tanques sépticos bajo la superficie, alineados con la membrana que mejora la capacidad de absorción de metales pesados.

Existen varios contras en esta opción, y son que la exposición del agua al aire es la misma que el “RootZone- Greywater Vertical Treatment Unit” y además la calidad del agua no es suficientemente buena como para usarla en los retretes y para regar. Necesitaría otra filtración para poder realizarse dichas actividades.

La cantidad de agua que trataría este sistema sería la suma de las dos: 70.800 L/día. Los costes fijos ascenderían a unos 90.000€, un valor bastante elevado, pero se compensa con los costes variables mínimos. Además, los costes de energía y de los productos son despreciables a su vez. Para concluir, la huella de carbono equivalente ascendería a unos 560m<sup>2</sup>.

- ❖ “COPA ReAqua MBR”: este procedimiento se basa en una membrana biológica seguido de una desinfección por rayos UV. Se puede realizar el tratamiento en el subsuelo o en la superficie.

La planta consta de las siguientes etapas (ver

Figura 19 y

Figura 20)

- Un tanque para asegurar que haya el flujo correcto por el sistema
- Un reactor anóxico
- Un tanque primario que elimina los sólidos
- Una zona de bioreactor de membrana
- Un tanque de retención permeable

El agua que se obtiene al salir del proceso es apta para el riego y el uso en los inodoros.

Una planta con estas características es capaz de tratar hasta 300 kL de agua al día. Lo interesante es que además es capaz de tratar aguas grises, siendo el volumen total que puede depurar algo menor, unos 200 kL al día.

Los costes de la planta más pequeña capaz de tratar 15 kL ascienden a unos 100.000 €. De ahí se incrementa hasta 0.65 millones de € para su máxima capacidad de 300kL/día. Por lo tanto, interpolando entre dichos valores, para el parque científico y tecnológico se estima un coste fijo de unos 200.000 €. Por otra parte, los costes de operación y mantenimiento ascenderían a unos 5.000 € al año.

La vida de este tipo de instalaciones es de unos 25 años y la huella de carbono equivalente que supondría es de unos 80m<sup>2</sup>.

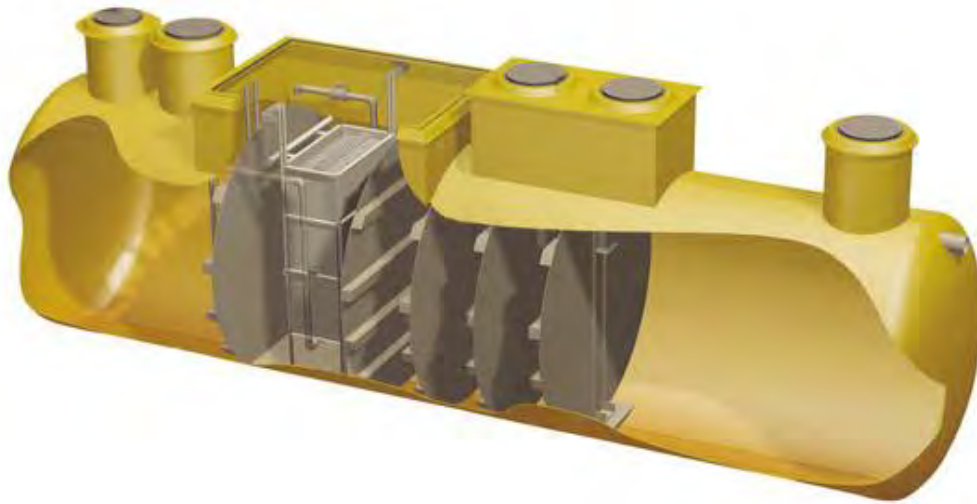


Figura 19 Tratamiento de aguas negras COPA ReAqua MBR



Figura 20 Ejemplo de dispositivo de tratamiento de aguas negras COPA ReAqua MBR

- ❖ “NuSource Water – Sewer Mining”: esta tecnología es un proceso de reutilización de membrana de agua para desagüe de minería, el cual usa una membrana como filtrado. Las aguas residuales se bombean por un filtro, separando así los sólidos. El segundo tratamiento es de microfiltración y el terciario se ósmosis inversa. Los sólidos se llevan al desagüe tradicional.



Este sistema ya se ha instalado en algún edificio, llegándose a reducir el uso de agua potable en casi un 80%. Es adecuado para cualquier proyecto con un desagüe en las cercanías, como por ejemplo centros comerciales, escuelas, hoteles, plantas de procesamiento y campos de golf.

La clara desventaja de instalar este tipo de tecnologías es el aspecto económico. Para drenar 34 kL de agua al día se necesitaría una inversión inicial de 0.4 millones de €, además de unos 20.000 € al año en costes de mantenimiento.

A su favor está la baja huella de carbono que supondría, unos 10m<sup>2</sup>.

Comentar finalmente que este sistema solamente trata aguas negras. No es capaz de tratar aguas grises.

## **6.4 Comparación de opciones de tratamiento**

Se han mencionado numerosas alternativas para el tratamiento de aguas residuales en el apartado anterior. Se elegirá la opción más apropiada para el parque tecnológico. Para facilitar dicha tarea se ha creado una tabla que compara cada tecnología en función de sus procesos. Como cada solución ofrece una capacidad variada para tratar aguas grises, negras o ambas, se ha realizado un planteamiento cuantitativo mínimo/máximo MCDA (Multi-criteria Direct Approach).

Tecnología	Tratamiento de Aguas Grises	Tratamiento de Aguas Negras	Necesidades Energéticas (kW)	Costes Fijos (€)	Costes de mantenimiento al año (€)	Huella de carbono (m <sup>2</sup> )	Visibilidad (bajo tierra)	Riesgo de hedor
Indicador Positivo/Negativo	Positivo	Positivo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Positivo	Positivo
Packaged Environmental Solutions	1	0	0,75	80.000	6.000	20	0	0
RootZone- Greywater Vertical Treatment Unit	1	0	0,2	40.000	2.000	40	1	0
Rootzone – All wastewater Horizontal Surface Wetland	1	1	1	90.000	-	560	1	0
<b>COPA ReAqua MBR</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>250</b>	<b>200.000</b>	<b>5.000</b>	<b>80</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
NuSource Water – Sewer Mining	0	1	3.5	400.000	20.000	10	2	1

Tabla 21 Comparación de cada tecnología en función de sus procesos de tratamiento de aguas

## 6.5 Propuesta opción de tratamiento de aguas residuales

Analizando las propuestas en la tabla anterior, se ha decidido implementar como solución para el tratamiento de agua residual la de “**COPA ReAqua MBR**”. Este sistema tiene las mejores características, a pesar de la necesidad de una gran inversión inicial (200.000€). Es capaz de tratar ambas aguas, las grises y las negras, se puede instalar en el subsuelo y no presenta peligro de ser oloroso. Además, este tipo de sistemas ha sido instalado con éxito en otras ciudades del mundo (Brisbane, Australia), sirviendo ésta como referencia.

## 7. Conclusiones: Propuesta de una solución sostenible final del agua

### 7.1 Ahorro de agua

Finalmente se va a comparar la solución propuesta conjunta, teniendo en cuenta el la propuesta de ahorro de agua en el consumo del edificio y del riego.

<b>CONSUMO AGUA EDIFICIO</b>		
	<b>Caso Clásico</b>	<b>Caso Propuesto</b>
<b>Consumo (L)</b>	50.360.000	18.820.000
<b>% de ahorro de agua</b>	-	62.7 %
<b>CONSUMO AGUA RIEGO</b>		
	<b>Caso Clásico</b>	<b>Caso Propuesto</b>
<b>Área Zona</b>	20.050 m <sup>2</sup>	20.050 m <sup>2</sup>
<b>Dotación</b>	842 L / año m <sup>2</sup>	515 L / año m <sup>2</sup>
<b>Consumo Total de agua para el riego (L)</b>	16.882.100	10.334.773
<b>% de ahorro de agua</b>		38.8 %
<b>TOTAL</b>		
	<b>Caso Clásico</b>	<b>Caso Propuesto</b>
<b>Consumo total de agua (L)</b>	67.242.100	29.154.773
<b>% de ahorro total de agua</b>	-	<b>57%</b>

Tabla 22 Resumen del consumo de agua

Como se puede observar en la

Tabla 22 Resumen del consumo de agua, con el Caso Propuesto se ahorran unos 31.5 millones de litros en el consumo de agua del edificio y otros 6.5 millones en el consumo de riego. Esto suma un ahorro de unos 38 millones de litros si se implanta la solución propuesta en vez del Caso Clásico, lo que supone un ahorro del 57% en el consumo de agua.

## 7.1 Estudio económico

El coste que supone instalar el Caso Clásico es de 107.69 € por metro cuadrado de superficie de césped en 10 años, que multiplicándolo por los 20.050 metros cuadrados de superficie asciende a 2.159.185 €. Por lo tanto, cada año el coste del Caso Clásico supondrá 215.919 €, suponiendo que el coste en cada año es el mismo, ya que los costes iniciales de materiales e instalación se reparten en la vida útil del proyecto.

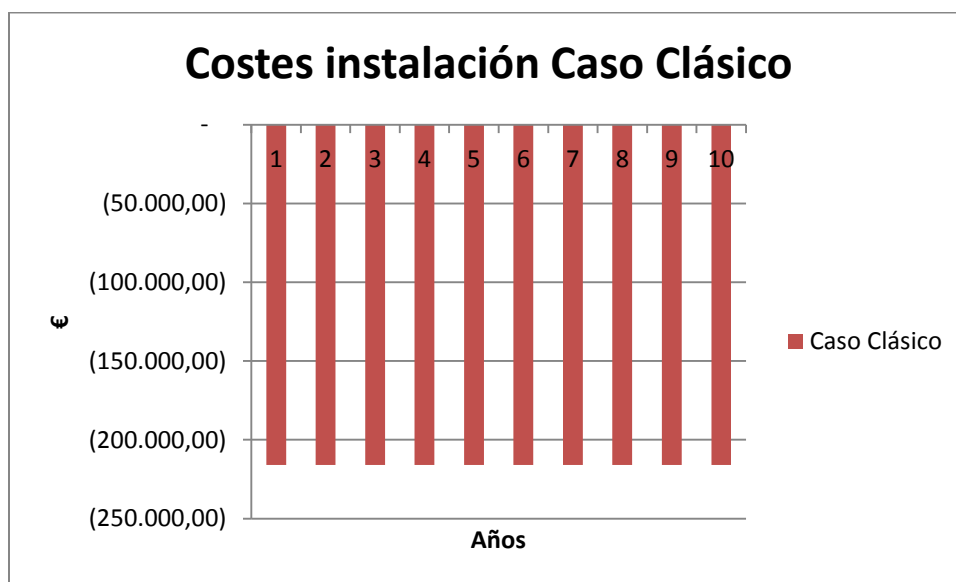


Figura 21 Costes instalación Caso Clásico

Por otra parte, el coste que supone instalar la vegetación de la Solución Propuesta asciende a 1.773.528 € a 10 años de vida del proyecto. Se toma la misma hipótesis que para el caso Clásico, y es que los costes se distribuyen homogéneamente durante el tiempo. A esto hay que añadir los casi 250.000 € que supone instalar los depósitos de agua de lluvia y la depuradora de aguas grises y negras. Bien es cierto que con dichas instalaciones, se va a ahorrar más de 19 millones de litros de agua al año, lo que supone un ahorro de casi de 27.000 € al año, ya que el precio de cada metro cúbico de agua es de 1.38€ (Zona Retiro, 2019). Además, hay que tener en cuenta los casi 40.000 € de ahorro que supone instalar las plantas variadas en vez de todo césped clásico. Los costes anuales de instalar la Solución Propuesta se pueden ver en la Figura 22 Costes instalación Solución Propuesta.

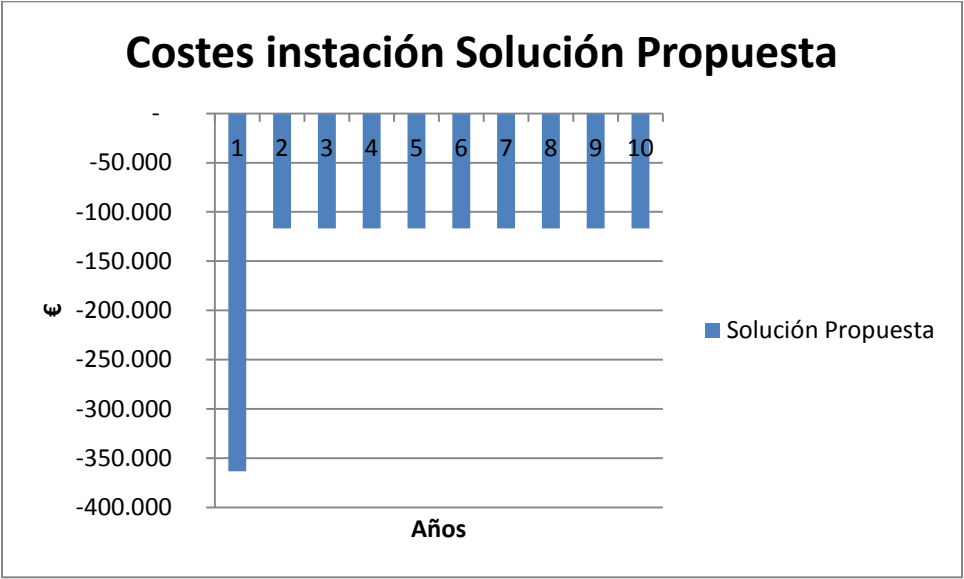


Figura 22 Costes instalación Solución Propuesta

El coste que supone implantar el Caso Propuesto se puede observar con más detalle en la Tabla 23, con una vida útil del proyecto de diez años.

	Volumen (L/año)	Uso	Costes		Ahorro		
			Fijos (€)	Mantenimiento (€/año)	Agua (L/año)	Precio 1m <sup>3</sup> agua	Ahorro (€/año)
<b>Instalación de plantas variadas de la Solución Propuesta</b>			177.353				38.995
<b>Suministro de agua:</b>							
<b>Agua de lluvia en depósito</b>	1.664.640	Riego	4 x 11.659 € = 46.636 €	-	1.664.640	1,38	2.297
<b>Aguas grises y negras</b>	17.700.000	Grises y Negras	200.000	5.000	17.700.000	1,38	24.426

Tabla 23 Estudio económico del agua

- El ahorro que supone instalar el jardín con de la solución propuesta, los 38.995 € al año, viene de la
  - Tabla 17 Resumen en la reducción en el consumo de agua para el riego de cada elemento.
  - El coste de cada depósito es de 11.659€, que multiplicándolo por cuatro asciende a 46.636€. Dicho presupuesto se ha obtenido de la empresa *ecoiagua*, que se adjunta en el Anexo Parte I, Presupuesto e Instalación Depósito Aguas Pluviales.
  - El ahorro de 1.66 millones de litros de agua al año se calculó en el punto Dimensionado de las instalaciones de aprovechamiento de agua de lluvia. Dicho volumen de agua supone el 16% de la demanda de agua de riego del caso propuesto.
  - El precio medio del agua por metro cúbico es de 1.38 € (Zona Retiro, 2019).
  - El cálculo de los costes y el ahorro que supone instalar el tratamiento de aguas grises y negras se encuentra en el apartado de Comparación de opciones de tratamiento.
- El volumen de aguas grises y negras que se trata, asciende al 94% del agua necesaria para la solución propuesta.

Caso Cásico vs Solución Propuesta:

Como se puede observar en la Figura 23 Caso Clásico vs Solución Propuesta, la opción más económica es la de instalar lo establecido en la Solución Propuesta. Exactamente es 746.000 € más económico.

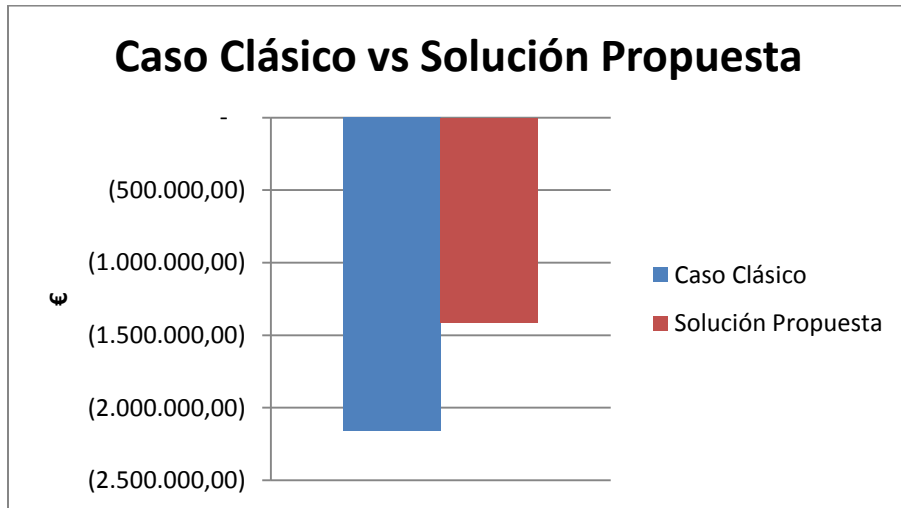


Figura 23 Caso Clásico vs Solución Propuesta

Finalmente, suponiendo una vida útil del proyecto de diez años, la diferencia en la evolución del coste se puede observar en la Figura 24. Como se puede observar, la inversión inicial es más elevada que en el caso clásico, por lo que al principio sale más económico instalar el Caso Clásico. Sin embargo, al poco tiempo, dicha inversión económica se va recuperando. En el año 3 ya sale más rentable haber instalado la solución propuesta. Finalmente el ahorro de instalar la Solución Propuesta frente al Caso Clásico es de 760.000 €.

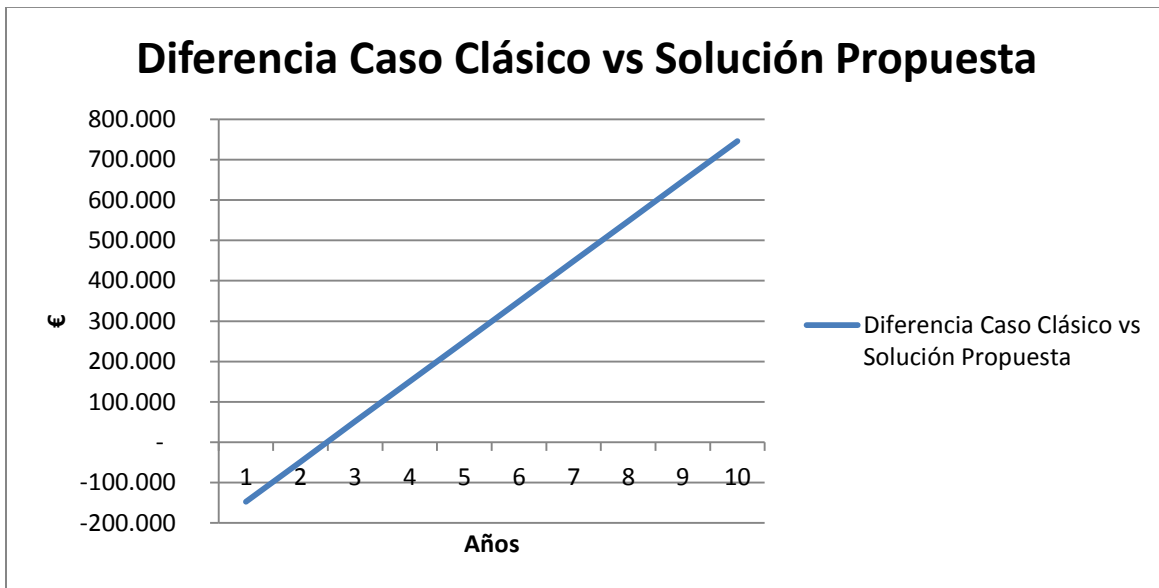


Figura 24 Diferencia Caso Clásico vs Solución Propuesta

## 8. Referencias

¿Cuánta agua gastamos en la ducha? | ClickGasoil (no date). Available at: <https://www.clickgasoil.com/blog/cuanta-agua-gastamos-en-la-ducha> (Accessed: 29 March 2019).

¿Cuánto tiempo pasas bajo la ducha? - Ethic : Ethic (no date). Available at: <https://ethic.es/2014/03/cuanto-tiempo-dedicas-a-ducharte/> (Accessed: 29 March 2019).

Aguas residuales - EcuRed (no date). Available at: [https://www.ecured.cu/Aguas\\_residuales](https://www.ecured.cu/Aguas_residuales) (Accessed: 25 March 2019).

Ambiental, S. A. (2017) “Debemos consumir 100 litros de agua al día por persona, pero consumimos hasta 250 litros” - SPDA Actualidad Ambiental : SPDA Actualidad Ambiental. Available at: <http://www.actualidadambiental.pe/?p=42982> (Accessed: 29 March 2019).

Bautista, R. D. (2014) LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS Y EL ABASTECIMIENTO DE MADRID. Available at: <http://aguas.igme.es/igme/publica/pdfart1/ricardo.pdf> (Accessed: 27 June 2019).

BOE (1997) Título: Guía técnica para la evaluación. Available at: <http://publicacionesoficiales.boe.es> (Accessed: 29 March 2019).

Boss Tech (no date) Diferencia y tratamiento de aguas grises y negras - Bosstech. Available at: <https://bosstech.pe/blog/diferencia-y-tratamiento-de-aguas-grises-y-negras/> (Accessed: 25 March 2019).

Caryosa (no date) Urinarios sin agua Falcon | Urinarios ecológicos sin agua. Available at: <https://www.caryosa.com/higiene-medio-ambiente/urinarios-sin-agua> (Accessed: 29 March 2019).

Cuánta agua se consume en la ducha por minuto | Fundación Aquae (no date). Available at: <https://www.fundacionaquae.org/blog/infografias/cuanta-agua-consume-la-ducha-minuto/> (Accessed: 29 March 2019).

Días laborables calculadora en España (no date). Available at: <http://www.dias-laborables.es/> (Accessed: 29 March 2019).

Directiva Marco, L. (no date) MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA DE LA COMUNIDAD DE MADRID. Available at: <http://www.madrid.org/cs/Satellite?blobcol=urldata&blobheader=application%2Fpdf&blobheadername1=Content-Disposition&blobheadervalue1=filename%3DMasas+de+agua+subterranea.pdf&blobkey=id&blobtable=MungoBlobs&blobwhere=1352920631493&ssbinary=true> (Accessed: 27 June 2019).



ecoagua (2018) 'Ecoagua'. Available at: <http://www.ecoagua.com/es/depositos-pluviales.htm> (Accessed: 5 June 2019).

*El ciclo integral del agua Saneamiento* (no date). Available at: <https://www.canaldeisabelsegunda.es/documents/20143/85299/saneamiento.pdf/73d1aa1e-87de-1e33-7c96-e21e4079aa09> (Accessed: 26 March 2019).

EMRC (2011) *Reuse of Greywater in Western Australia*. Available at: [http://www.public.health.wa.gov.au/3/667/2/greywater\\_.pm](http://www.public.health.wa.gov.au/3/667/2/greywater_.pm) (Accessed: 25 March 2019).

ESPAÑA, A. (2016) 'Guía Técnica de aprovechamiento de aguas pluviales en edificios'.

España, G. (2015) *GUÍA PARA EL DESARROLLO DE NORMATIVA LOCAL EN LA LUCHA CONTRA EL CAMBIO CLIMÁTICO*. Available at: <http://www.caib.es/sacmicrofront/archivopub.do?ctrl=MCRST297ZI75918&id=75918> (Accessed: 27 June 2019).

Estadística, I. N. de (2014) *Proyección de la Población de España 2014–2064*. Available at: <https://www.ine.es/prensa/np870.pdf> (Accessed: 29 March 2019).

Geographic, N. (no date) *Determinación de la dotacion de agua.pdf*. Available at: <https://es.scribd.com/document/278247689/Determinacion-de-la-dotacion-de-agua-pdf> (Accessed: 29 March 2019).

Gerrity, D. et al. (no date) *Potable Reuse Treatment Trains throughout the World*. Available at: [http://www.trusselltech.com/uploads/media\\_items/potable-reuse-treatment-trains-throughout-the-world.original.pdf](http://www.trusselltech.com/uploads/media_items/potable-reuse-treatment-trains-throughout-the-world.original.pdf) (Accessed: 25 March 2019).

Herederó Rodríguez, R. et al. (2010) *Eficiencia en el uso del agua en jardinería en la Comunidad de Madrid*. Available at: <http://www.madrid.org/bvirtual/BVCM010685.pdf> (Accessed: 29 March 2019).

Holt and James (2006) *Wastewater reuse in the urban environment : selection of technologies / [Peter Holt, Emma James] - Version details - Trove*. Available at: <https://trove.nla.gov.au/work/6339858?q&versionId=7319421> (Accessed: 27 June 2019).

II, C. I. (2012) *El ciclo integral del agua Saneamiento*. Available at: <https://www.canaldeisabelsegunda.es/documents/20143/85299/saneamiento.pdf/73d1aa1e-87de-1e33-7c96-e21e4079aa09> (Accessed: 27 June 2019).

Irrigation Australia (2019) *rainwaterharvesting.org.au*. Available at: <https://rainwaterharvesting.org.au/> (Accessed: 27 June 2019).

Landcom (2006) 'Wastewater reuse in the Urban Environment: selection of technologies', (February).

Madrid, A. de (2006) *Ordenanzas municipales Ordenanza de Gestión y Uso*

*Eficiente del Agua en la Ciudad de Madrid*. Available at: <https://www.madrid.es/UnidadWeb/UGNormativas/Normativa/2006/Ficheros/ANM200650.pdf> (Accessed: 29 March 2019).

*Mapa del consumo de agua por habitante en España - Geografía Infinita* (no date). Available at: <https://www.geografiainfinita.com/2017/11/este-es-el-mapa-interactivo-del-consumo-de-agua-en-espana/> (Accessed: 29 March 2019).

Martin, J., Conserve, J. H. and Clearinghouse, F. W. (2008) *BMP 5: WATER USE BY URINALS*. Available at: [https://sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/MARTIN and HEANEY 2008 Water Use by Urinals.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/MARTIN%20and%20HEANEY%202008%20Water%20Use%20by%20Urinals.pdf) (Accessed: 29 March 2019).

MDO (2014) *El largo viaje del agua hasta Madrid | Madridiario*. Available at: <https://www.madridiario.es/noticia/417114/medio-ambiente/el-largo-viaje-del-agua-hasta-madrid.html> (Accessed: 27 June 2019).

of Melbourne, C. (no date) *Household Water Use Calculator*. Available at: <https://www.melbourne.vic.gov.au/SiteCollectionDocuments/water-use-household-calculator.pdf> (Accessed: 29 March 2019).

*Reutilización, la gran asignatura pendiente a nivel mundial | iAgua* (no date). Available at: <https://www.iagua.es/blogs/carlos-cosin/reutilizacion-gran-asignatura-pendiente-nivel-mundial> (Accessed: 26 March 2019).

Rubén Carbonero (2015) *Datos de uso: disponible el Barómetro de la Bicicleta de España 2015 – mejor en bici*. Available at: <http://mejoren bici.es/2015/10/27/datos-de-uso-disponible-el-barometro-de-la-bicicleta-de-espana-2015/> (Accessed: 29 March 2019).

San Diego, C. (2015) *rendimiento sustentable de agua subterránea, rendimiento seguro, recarga de agua subterránea, utilización de agua subterránea*, Víctor Miguel Ponce. Available at: [http://rendimiento.sdsu.edu/agua\\_subterranea\\_rendimiento\\_sostenible.html#analysis](http://rendimiento.sdsu.edu/agua_subterranea_rendimiento_sostenible.html#analysis) (Accessed: 27 June 2019).

Sevillano, J. (2019) *Precipitaciones anuales en ciudades españolas y otros datos climáticos*. Available at: <https://javiersevillano.es/PrecipitacionMediaAnual.htm#provincia> (Accessed: 27 June 2019).

UACDC (2010) *Environmental planning typically enjoys success in natural settings*. Available at: <http://uacdc.uark.edu> (Accessed: 27 June 2019).

Zona Retiro (2019) *El precio del agua se mantiene en Madrid en 2019 | Zona Retiro* -. Available at: <http://zonaretiro.com/ciudadanos/precio-agua-canal-isabel-ii-madrid-2019/> (Accessed: 3 July 2019).





# Parte IV

## Energía



**COMILLAS**  
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

**ICAI**



## Índice de Contenido

1. Alcance	57
2. Criterios de evaluación	57
3. Contexto histórico y situación actual	57
3.1. Papel de España	58
4. Sostenibilidad en el sector eléctrico	60
5. Indicadores de valoración energética	62
6. Mini-Grids/Micro Redes	64
6.1. Clasificación de las redes	64
6.2. Ventajas e inconvenientes de las micro redes	65
6.3. Tipos de generación renovable factibles para las mini redes	66
6.4. Diseño de una mini red	67
6.5. Almacenamiento de energía	67
7. Programa HOMER	68
8. Simulaciones	80
8.1. Simulaciones con carga eléctrica	80
8.1.1. Caso Clásico	81
8.1.2. Casos con un tanto por ciento de energías renovables	81
8.1.3. Análisis de resultados carga eléctrica	82
8.2. Simulaciones con carga térmica	88
8.2.1. Simulación con caldera biomasa de pellet	89
8.2.2. Análisis de resultados carga térmica	91
9. Conclusiones eléctricas	93
10. Referencias	95

## Índice de Figuras

Figura 1 EMISIONES GEI POR SECTORES EN ESPAÑA, 2010-2016.	60
Figura 2 Los 4 pilares de la Sostenibilidad. Fuente: (Thwinking, 2014)	61
Figura 3 Evaluación del Trilema en España. Fuente (World Energy Council, 2019. 62	
Figura 4 Certificados LEED. Fuente (Council, 2009)	63
Figura 5 Pérdidas generación-consumo; Fuente (Bilbao, 2019)	65
Figura 6 Coordenadas del Estadio Vallehermoso en Madrid. Fuente: Programa HOMER	68
Figura 7 Información relacionada del proyecto Programa HOMER	68
Figura 8 Irradiación GHI y DNI; Fuente: Programa HOMER	69
Figura 9 Irradiación GHI del Estadio Vallehermoso; Fuente: Programa HOMER	69
Figura 10 Cargas de HOMER; Fuente: Programa HOMER	70
Figura 11 Clasificación Mapa Mundial Koeppen-Geiger; Fuente (Francisco Martin, 2015)	71
Figura 12 Clasificación Koeppen-Geiger de España 2017; Fuente (Beck et al., 2018)	71
Figura 13 Media (kWh/día, kW), valor de pico (kW) y factor de carga; Fuente: Programa HOMER	72
Figura 14 Perfil de consumo diario; Fuente: Programa HOMER	72
Figura 15 Perfil por meses; Fuente: Programa HOMER	73
Figura 16 Consumo diario por horas de cada mes; Fuente: Programa HOMER	73
Figura 17 Perfil anual; Fuente: Programa HOMER	73
Figura 18 Media (kWh/día, kW), valor de pico (kW) y factor de carga; Fuente: Programa HOMER	74
Figura 19 Perfil diario; Fuente: Programa HOMER	74
Figura 20 Perfil mensual; Fuente: Programa HOMER	75
Figura 21 Consumo diario por horas de cada mes; Fuente: Programa HOMER	75
Figura 22 Perfil anual; Fuente: Programa HOMER	75
Figura 23 Componentes existentes en HOMER Pro; Fuente: Programa HOMER	76
Figura 24 Horas punta, valle y supervalle en HOMER; Fuente: Programa HOMER	77



Figura 25 Boceto del caso clásico; Fuente: Programa HOMER	81
Figura 26 Boceto del caso con % renovables; Fuente: Programa HOMER	81
Figura 27 Coste capital, operación y neto	83
Figura 28 Porcentaje de energía renovable en cada caso	85
Figura 29 Emisiones de CO2 en cada caso	85
Figura 30 Contribución energética de cada elemento	86
Figura 31 Energía generada por cada elemento	86
Figura 32 Soluciones propuestas por HOMER; Fuente: Programa HOMER	87
Figura 33 Boceto del caso clásico; Fuente: Programa HOMER	88
Figura 34 Cargas térmicas por meses; Fuente: Programa HOMER	88
Figura 35 Caldera Biomasa HC; Fuente (Teknik, 2018)	89
Figura 36 Evolución de costes	91
Figura 37 Caldera de biomasa Clase HC; Fuente: (Teknik, 2018)	92

## Índice de Tablas

Tabla 1 Puntos Certificación LEED según % de energía renovable. Fuente (Council, 2009)	64
Tabla 2 Periodos de discriminación horaria en España; Fuente (Tarifas 3.0 A: Potencia Contratada, Precios por Periodos y Condiciones, no date)	76
Tabla 3 Ventajas y desventajas del Pellet; Fuente: (TiendaBiomasa, 2016)	78
Tabla 4 Resultados carga eléctrica	82
Tabla 5 Resultados costes carga eléctrica	83
Tabla 6 Paneles solares	84
Tabla 7 Resultados carga térmica	90
Tabla 8 Comparación Caso 3 y 2	93
Tabla 9 Comparación Caso 3 y 4	93



## **1. Alcance**

Según el Departamento de Medioambiente y Energía (AU Government, 2015), los edificios son los causantes de emitir el 23% de los gases de efecto invernadero. Por ello, es de vital importancia reducir las emisiones debidas a producción energética.

Por otro lado, la Comunidad de Madrid llegó a consumir 26 TWh en el año 2017, manteniendo dicho número más o menos constante desde el año 2010 (IE Madrid, 2015). Reducir el consumo energético tiene varias ventajas, la económica y la asociada a la reducción de los efectos secundarios que derivan la generación eléctrica, como es la reducción en la emisión de gases de efecto invernadero y frenar del cambio climático.

## **2. Criterios de evaluación**

El objetivo es reducir el consumo eléctrico, pero sobre todo abastecer el parque científico con energías renovables en la máxima medida posible.

Los objetivos serán:

- Reducir el consumo eléctrico
- Promover el uso de energías renovables
- Reducir los gases de efecto invernadero
- Monitorizar el consumo y los sistemas de energía

## **3. Contexto histórico y situación actual**

Naciones unidas define el cambio climático como “el mayor desafío de nuestros tiempos” (ONU, 2018). Abarca desde cambios en las pautas meteorológicas que amenazan el cultivo de alimentos, hasta el aumento del nivel del mar. Tan solo en

el siglo XX. La temperatura media ha aumentado 0.6°C y el nivel del mar ha crecido de 10 a 12 centímetros (Económico Social, no date).

La forma de abordar el problema requiere de una respuesta global a nivel mundial. Dicha respuesta se ha llevado a cabo con tres instrumentos jurídicos:

- La Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) (1992)
- El Protocolo de Kioto (1997)
- El Acuerdo de París (2016)

Con respecto al último, el de la capital francesa, los elementos esenciales son:

- Limitar el aumento de la temperatura por debajo de los 2°C, tratando de no rebasar 1.5°C.
- Alcanzar el límite global de GEI (Gases de Efecto Invernadero) mediante equilibrio entre emisiones antropogénicas y absorciones en sumideros en la segunda mitad de siglo.
- Los países desarrollados deberán liderar los objetivos de reducción y los países en desarrollo continuarán esforzándose en su mitigación.
- Se establece un Mecanismo Internacional de Varsovia sobre Pérdidas y Daños, para ayudar a países vulnerables a afrontar los efectos adversos del cambio climático.

Fuente: *Acuerdo de París, Naciones Unidas (FCCC/CP/2015/L.9, 12 de diciembre de 2015).*

### **3.1. Papel de España**

A pesar de ser uno de los países europeos más vulnerables a futuras alteraciones climáticas, España no está cumpliendo, por ahora, con los requerimientos del acuerdo de París.

- En el año 2017, las emisiones de CO<sub>2</sub> aumentaron un 7.4%. Somos el cuarto país europeo que más incrementó las emisiones, tras Malta, Estonia y Bulgaria. (Eu, 2017). Este aumento se debe principalmente a que en ese mismo año, la generación de electricidad por fuentes renovables bajó un

7.5 % (Española, no date). El descenso se debe a la bajada de aportación hidráulica debido a que dicho año fue un año con abundantes sequías que.

- España es líder europeo en importación de petróleo, ya por tercer año consecutivo, importando casi 69 millones de litros. (*Estadísticas | CORES*, no date).
- Con respecto a los GEI en el transporte, las emisiones aumentaron un 3.4% y que la venta de vehículos eléctricos, a pesar de estar en constante crecimiento, constituyó menos del 1% del sector (*AEDIVE*, 2018).
- La parte correspondiente a los edificios, muy relevante en este proyecto de fin de máster, las emisiones de GEI han aumentado un 4.7% respecto al año 2015 (El Salto, no date). Estos valores se han ido mejorando debido a retirada del famoso “impuesto al sol” el 5 de Octubre de 2018 (Xataka Web, 2018).

El autodenominado “impuesto al sol” se estipuló en un Real Decreto en el año 2015 y establece un pago del consumidor que utiliza placas fotovoltaicas para generar su propia energía (*¿Qué es el impuesto al sol por autoconsumo eléctrico?*, no date). Dicho impuesto se aplica sobre dos condiciones:

1. Cargo por potencia si dicha instalación es superior a 100kW o en el caso de tener instaladas baterías de acumulación para guardar la energía que se ha generado y no se ha llegado a consumir.
2. Cargo por la energía producida y auto consumida.

Además, existía la obligación del usuario en caso de no consumir toda la energía que él mismo generaba, de volcar el excedente a la red, sin recibir compensación alguna.

En Octubre de 2018 se propuso poner fin a este impuesto y dicha supresión se hará efectiva en 2021. El usuario tendrá derecho a ser un auto consumidor y en caso de producir más energía de la que necesita, podrá venderla a la red eléctrica (Javier Pastor, 2018).

El programa, con el que se van a simular distintos modelos de viabilidad energética, permite introducir la posibilidad de vender a la red en momentos en los que la auto generación del usuario sea mayor a la demanda. Verter energía a la red resulta beneficioso, ya que la red eléctrica le paga al usuario por ceder dicha energía.

En la

Figura 25 se puede observar la evolución desde el año 2010 hasta el 2015 de las emisiones brutas de CO<sub>2</sub> de cada sector en España.

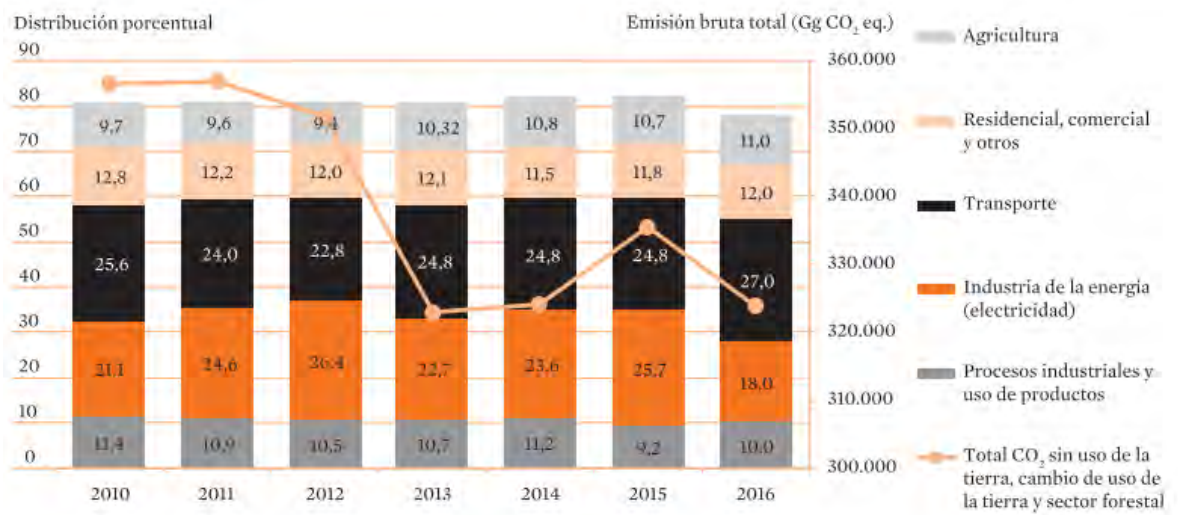


Figura 25 EMISIONES GEI POR SECTORES EN ESPAÑA, 2010-2016.

Fuente: Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, Oficina Española de Cambio Climático

#### 4. Sostenibilidad en el sector eléctrico

La definición de sostenibilidad satisfacer la necesidad del ser humano sin comprometer la habilidad de futuras generaciones de satisfacer las suyas. Para un desarrollo sostenible, hay que tener en cuenta la sinergia entre el medioambiente, la economía, la ecología y la social.

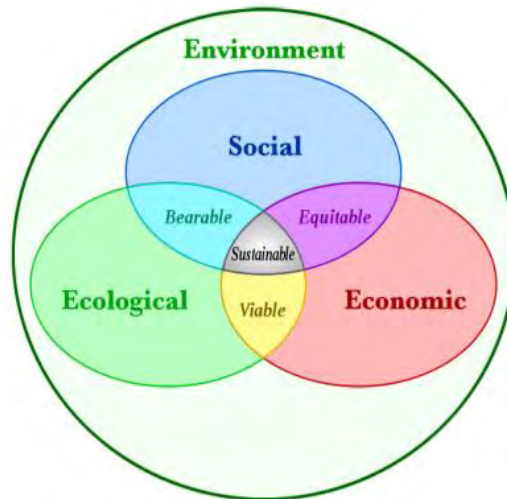


Figura 26 Los 4 pilares de la Sostenibilidad. Fuente: (Thwinking, 2014)

En lo que respecta a la sostenibilidad en la energía, se podría usar una variante de la

Figura 26. El denominado “trilema energético” representa un balance entre la seguridad energética, el acceso a la energía y la sostenibilidad del medioambiente (World Energy Council, 2019).

- Seguridad energética: la gestión eficiente del suministro energía primaria para uso doméstico y usos externos. La fiabilidad de la red eléctrica y la habilidad de las empresas suministradoras de abastecer las necesidades actuales y futuras.
- Equidad energética: accesibilidad al suministro eléctrico de toda la población.
- Sostenibilidad del medioambiente: englobar la eficiencia de la oferta y la demanda y desarrollar el suministro eléctrico de fuentes renovables.

### Trilema Energético en España

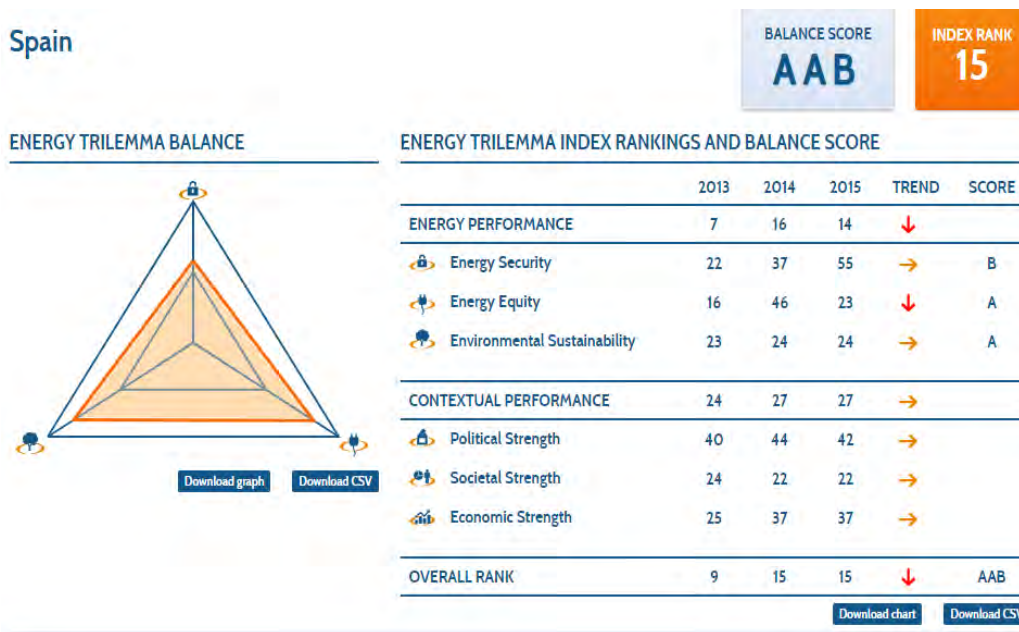


Figura 27 Evaluación del Trilema en España. Fuente (World Energy Council, 2019).

Como se puede observar en la

Figura 27, España se posicionó en el puesto 15 del ranking mundial con unas evaluaciones excelentes en Equidad y Sostenibilidad, pero algo peor en Seguridad. Lamentablemente, la tendencia ha sido decreciente con respecto al año 2013. El simulador Web solo llega a dar valores hasta el año 2015.

## 5. Indicadores de valoración energética

El indicador de valoración energética LEED (Leadership in Energy & Environmental Design) es un sistema de certificación de edificios sostenibles. Es el indicador con el que se van a evaluar las distantes opciones de diseño del parque científico y tecnológico.

Existen cuatro certificados distintos: el certificado normal, plata, oro y platino. La certificación se consigue en base a la siguiente escala de puntos (Council, 2009):



- Certificado normal: 40 – 49 puntos
- Plata: 50 – 59 puntos
- Oro: 60 – 79 puntos
- Platino: 80 puntos o más



Figura 28 Certificados LEED. Fuente (Council, 2009)

A la hora de certificar un edificio se valoran aspectos como la eficiencia energética, consumo de agua, tratamientos de residuos, etc. En particular para eficiencia energética, los puntos se otorgan en función de la cantidad de energía consumida que sea generada con energías renovables. A mayor porcentaje, más puntos se obtienen. El reparto de puntos es el siguiente:

% Energía Renovable	Puntos
12%	1
14%	2
16%	3
18%	4
20%	5
22%	6
24%	7
26%	8
28%	9
30%	10
32%	11
34%	12
36%	13
38%	14
40%	15
42%	16
44%	17
46%	18
48%	19

## 6. Mini-Grids/Micro Redes

Una micro red es un sistema de generación eléctrica que suministra a un pequeño consumidor y que favorece el uso de fuentes de energía renovables, con el objetivo de ahorrar energía, aumentar la fiabilidad y reducir costes (Ducoy, 2017). Una micro red compromete los siguientes factores:

- Generadores: plantas de energía que producen energía eléctrica a un cierto voltaje y frecuencia.
- Almacenamiento: baterías que almacenan la energía que se produce y no se llega a consumir.
- Consumidor: consumidores de la energía eléctrica
- Distribución: líneas de transporte que transmiten la energía eléctrica.

Históricamente, las mini redes se han instalado en localizaciones remotas con consumos en su mayoría residenciales o comerciales y sin cargas industriales. Por lo general funcionaban con generadores diésel o grupos electrógenos y un bajo voltaje. En la actualidad, la tendencia es cambiante y ya se instalan micro redes de más potencia y para más usuarios.

### 6.1. Clasificación de las redes

Las micro redes eléctricas se clasifican según su generación:

- Micro redes: hogares aislados
- Mini redes: generación de 100 a 1.000 kWh/día. Por ejemplo una isla pequeña.
- Redes pequeñas: generación de 1.000 a 30.000 kWh/día. Por ejemplo: pueblo rural grande o una isla mediana.
- Redes medianas: generación de 30.000 a 100.000 kWh/día
- Redes grandes: generación de más de 100.000 kWh/día

## 6.2. Ventajas e inconvenientes de las micro redes

Los principales beneficios de usar micro redes son:

- Mayor calidad y ahorro económico.
- Menor dependencia de la red de distribución, ya que pueden funcionar conectados a la red o de forma aislada.
- Menos pérdidas en las líneas de transporte debido a la cercanía entre la generación y el consumo.
- Se reducen las emisiones de GEI y se potencian las energías renovables.

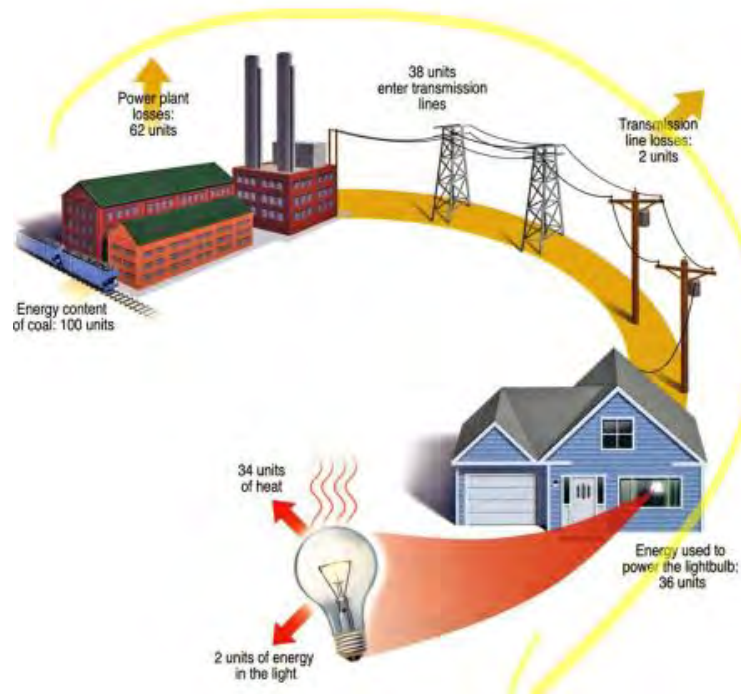


Figura 29 Pérdidas generación-consumo; Fuente (Bilbao, 2019)

En la Figura 29 se puede observar la gran cantidad de pérdidas que hay desde la generación hasta el consumo. En este ejemplo se crean 100 unidades de energía con carbón. De esas 100, en la propia planta se pierden 62, pasando por lo tanto tan sólo 38 unidades a la líneas de transmisión. En las líneas se pierden otras 2 unidades, llegando al hogar 36. De esas 36, solamente 2 se usan para encender la bombilla, mientras las 34 restantes se pierden en forma de calor.

A parte de las ventajas mencionadas anteriormente para el usuario que instala una micro red, el consumidor general también sale beneficiado. Un aumento en el uso de éstas supone una reducción del precio en los picos de demanda. Otro beneficiado más es la red pública, ya que en caso de fallo de la misma, las micro redes sirven de apoyo en el suministro global.

Por otra parte, la principal desventaja de instalar micro redes es su alto coste inicial. Más adelante se realizará un estudio económico de su implantación.

### **6.3. Tipos de generación renovable factibles para las mini redes**

En este apartado se evaluarán solamente las posibles fuentes de generación renovables factibles. No se va a desarrollar la de generación eólica al ser inviable. El parque científico y tecnológico en Vallehermoso se encuentra situado en pleno Madrid rodeado de edificios. Para que un molino eólico opere en plenas condiciones no puede tener elementos que obstruyan el flujo de aire. Tampoco se va a desarrollar la energía hidráulica.

#### Energía fotovoltaica

La energía fotovoltaica es la generación de electricidad que se produce transformando la radiación solar en corriente. Dicha radiación solar se capta en paneles fotovoltaicos donde los electrones de un dispositivo semiconductor, denominado celda, se excitan y generan una diferencia de potencial. Dicha diferencia de potencial crea la corriente eléctrica. Si se conectan en serie los semiconductores se obtienen mayores diferencias de potenciales y de ahí, mayores corrientes.

El material del dispositivo semiconductor puede ser silicio monocristalino, policristalino o amorfo, o bien otros materiales semiconductores de capa fina. La eficiencia de la placa fotovoltaica depende del material, siendo las de silicio monocristalino las de mayor eficiencia, con un 18-20%, y las de silicio amorfo las menos eficientes con tan solo un 8% (Iberdrola, 2016).

Las placas fotovoltaicas solo generan electricidad en corriente continua, por lo que es necesario instalar un inversor para transformarla en corriente alterna.

#### **6.4. Diseño de una mini red**

La energía solar es la energía renovable más aceptada en el diseño de una mini red, debido a su fácil instalación, mantenimiento, bajas emisiones y posibilidad de escalabilidad, adaptándose a las necesidades del consumidor. España es un país con una enorme radiación solar, por lo que esta tecnología se considera como una opción interesante en el diseño de la mini red.

La inversión inicial en estas instalaciones suele ser muy elevado. Sin una subvención por parte del Estado, un español paga un promedio de 1.2€ por vatio instalado (SotySolar, 2016). Dicho coste puede disminuir si se consigue una subvención, hasta los 0.8€ por vatio instalado, una reducción del 35%,.

#### **6.5. Almacenamiento de energía**

Es necesario instalar baterías que almacenen la energía sobrante, captada por los paneles fotovoltaicos. Las baterías son una parte integral del diseño de una mini red. Su vida útil es de 7 a 10 años y tras la misma, se ha de tener en consideración su posterior reciclaje.

Las baterías de ácido de plomo son las más comunes en el diseño de una mini red. Su coste oscila entre \$350-500 por kWh, bastante menos que si se compara con los \$1000-1500 por kWh que cuestan las baterías de litio ionizado. De todas maneras, estas últimas tienen una eficiencia mayor y una vida útil más larga, por lo que se usarán éstas para el parque tecnológico.

## 7. Programa HOMER

El diseño de la mini red del parque científico y tecnológico de Vallehermoso se realizará con un programa de simulación llamado HOMER Pro. Este programa optimiza el diseño de la mini red en todos los sectores: desde una aldea, los servicios públicos de una isla, hasta campus y bases militares. Originalmente se desarrolló en el “National Renewable Energy Laboratory” de EEUU. HOMER (Hybrid Optimization Model for Multiple Energy Resources) une herramientas poderosas en un producto de software, de tal modo que la ingeniería y la economía trabajan codo con codo (HOMER Pro, no date).

HOMER realiza las simulaciones optimizando siempre el aspecto económico, pero el usuario tiene el poder de establecer restricciones, con el fin de imponer los límites que él desee.

Los pasos a realizar en la simulación del son los siguientes:

- I. Introducir las coordenadas: las coordenadas del estadio Vallehermoso son:

Estadio Vallehermoso, 28003 Madrid, Spain ( 40°26.4'N , 3°42.5'W )

Figura 30 Coordenadas del Estadio Vallehermoso en Madrid. Fuente: Programa HOMER

- II. Introducir la información relacionada del proyecto:
  1. Tasa de descuento: 0.75% (Mecometer, 2019)
  2. Tasa de Inflación: 1.15% (InflationDataEu, 2019)
  3. Annual capacity shortage: 0%
  4. Vida del proyecto (años): 10 años

Nota: la vida del proyecto se ha acotado a 10 años, ya que debido a ser un sector en constante evolución, no tiene sentido alargarlo más. Una vida de proyecto de 20 años se quedaría obsoleta y no sería eficiente.

Discount rate (%):	0.75	{..}
Inflation rate (%):	1.52	{..}
Annual capacity shortage (%):	0.00	{..}
Project lifetime (years):	10.00	{..}

Figura 31 Información relacionada del proyecto Programa HOMER

### III. Recursos

HOMER tiene la posibilidad de usar varios recursos a la hora de hacer las simulaciones. Las posibilidades son: irradiación solar, aire, temperatura, combustibles e hidrokínética. En este proyecto solo se va a tener en cuenta la irradiación solar. Dentro de este recurso, el programa da la opción de introducir dos irradiaciones distintas, la GHI y la DNI.



Figura 32 Irradiación GHI y DNI; Fuente: Programa HOMER

- DNI (Direct Normal Irradiance): es la cantidad de irradiación recibida por cantidad de área por una placa colocada perpendicular a la incidencia de los rayos (First Green, 2012).
- GHI (Global Horizontal Irradiance): es la cantidad total recibida por radiación de onda corta. Esta irradiación es de particular interés en las placas solares, ya que incluye la irradiación directa y difusa. Por esta razón, la irradiación GHI es la que se tendrá en cuenta en las simulaciones (First Green, 2012).

En la siguiente figura se pueden observar la cantidad diaria de radiación GHI en kWh/m<sup>2</sup>/ día al mes y el índice de claridad.

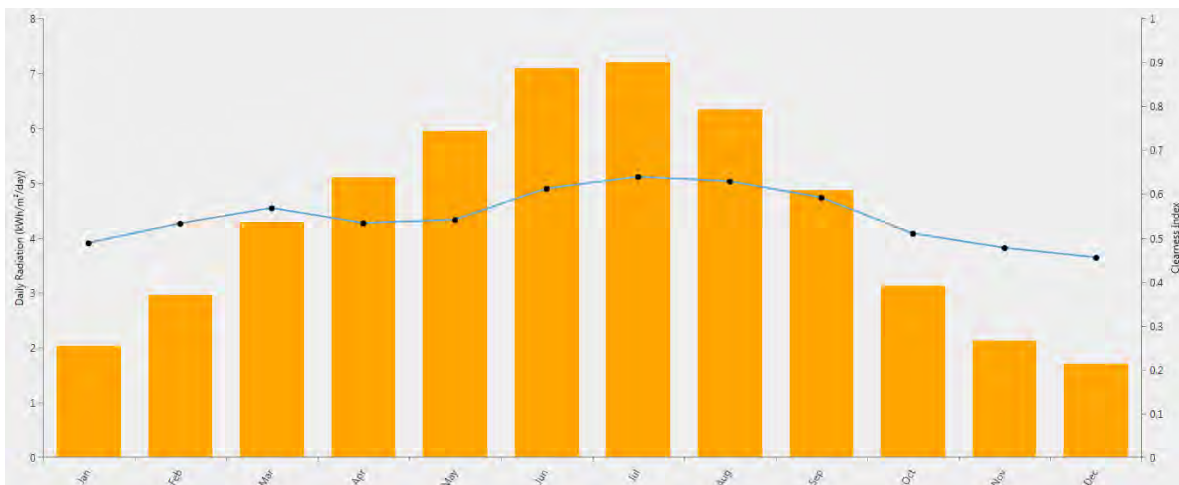


Figura 33 Irradiación GHI del Estadio Vallehermoso; Fuente: Programa HOMER

#### IV. Cargas

HOMER permite introducir varias cargas: eléctricas, térmicas y de hidrógeno. En este proyecto solamente se estudiarán las dos primeras.

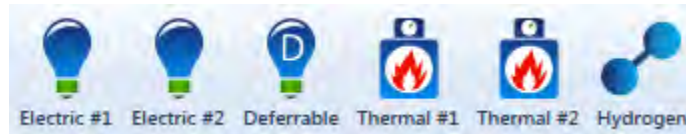


Figura 34 Cargas de HOMER; Fuente: Programa HOMER

##### A) Carga eléctrica

Existen tres opciones a la hora de configurar la carga eléctrica del edificio.

- a. Crear una carga artificial a partir de un perfil
- b. Importar la serie de datos de consumo real del edificio
- c. Cargar los valores de la base de datos proporcionada por HOMER Pro. Estos valores solo los tiene el programa de localizaciones en los Estados Unidos, pero en caso de modelar un proyecto fuera de ese país, la localización se ajusta con una americana con un clima similar. El ajuste se realiza con el sistema de clasificación Koeppen-Geiger.



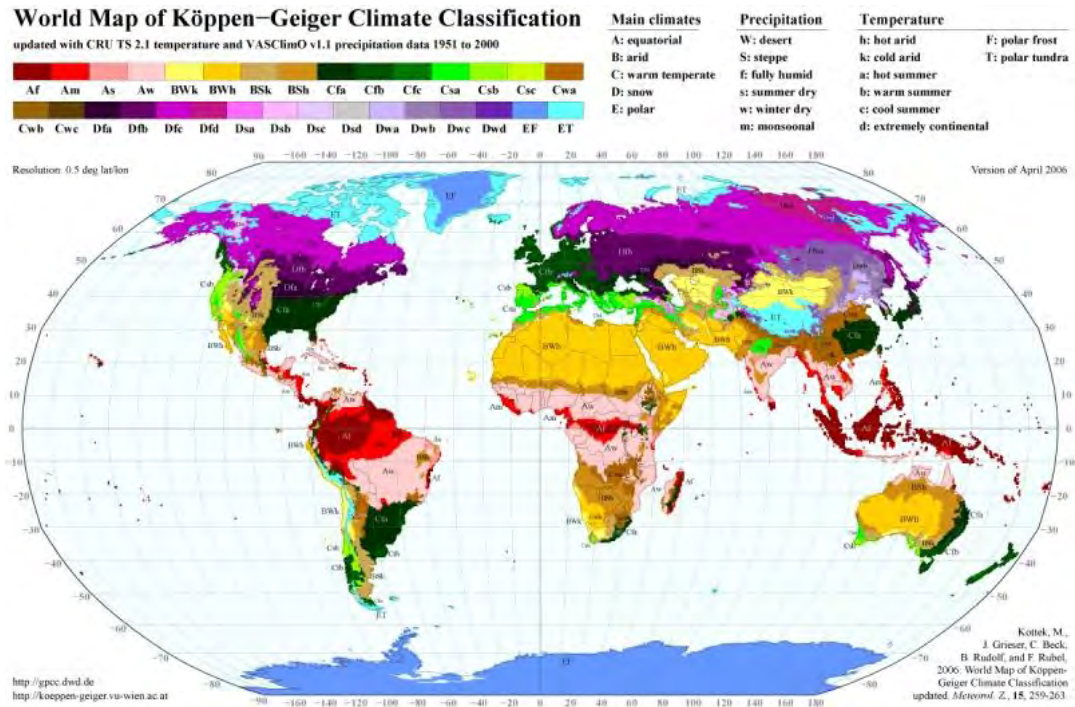


Figura 35 Clasificación Mapa Mundial Koeppen-Geiger; Fuente (Francisco Martin, 2015)

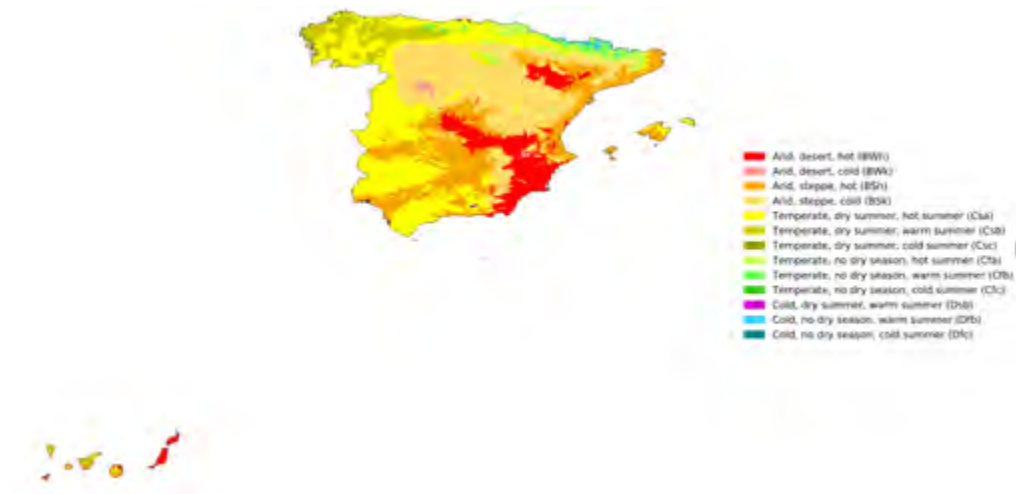


Figura 36 Clasificación Koeppen-Geiger de España 2017; Fuente (Beck *et al.*, 2018)

Se ha escogido ésta última opción (c) ya que es la más precisa de las opciones disponibles. Como se puede observar de la figura 9, Madrid se clasificaría como: **Arid,Steppe, hot (Bsh).**

Además, es necesario elegir el tipo de oficina en el modelo. Entre las opciones disponibles, la opción que más se asemeja al diseño del parque científico es la oficina grande, de 12 plantas y casi 500.000 pies<sup>2</sup> (Energy AU, no date).

Finalmente, el perfil de la carga eléctrica queda de la siguiente forma:

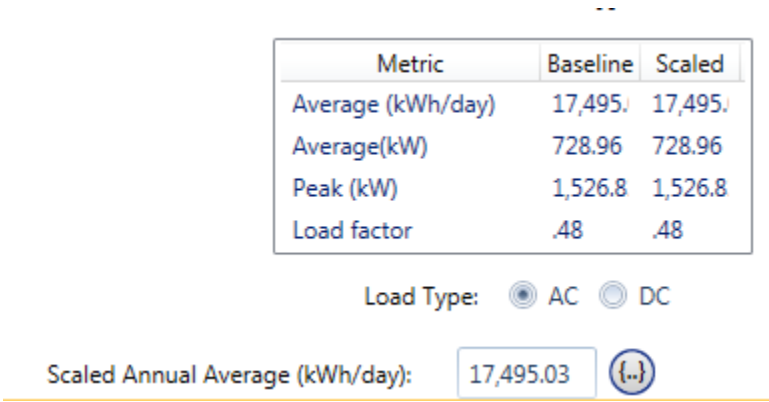


Figura 37 Media (kWh/día, kW), valor de pico (kW) y factor de carga; Fuente: Programa HOMER

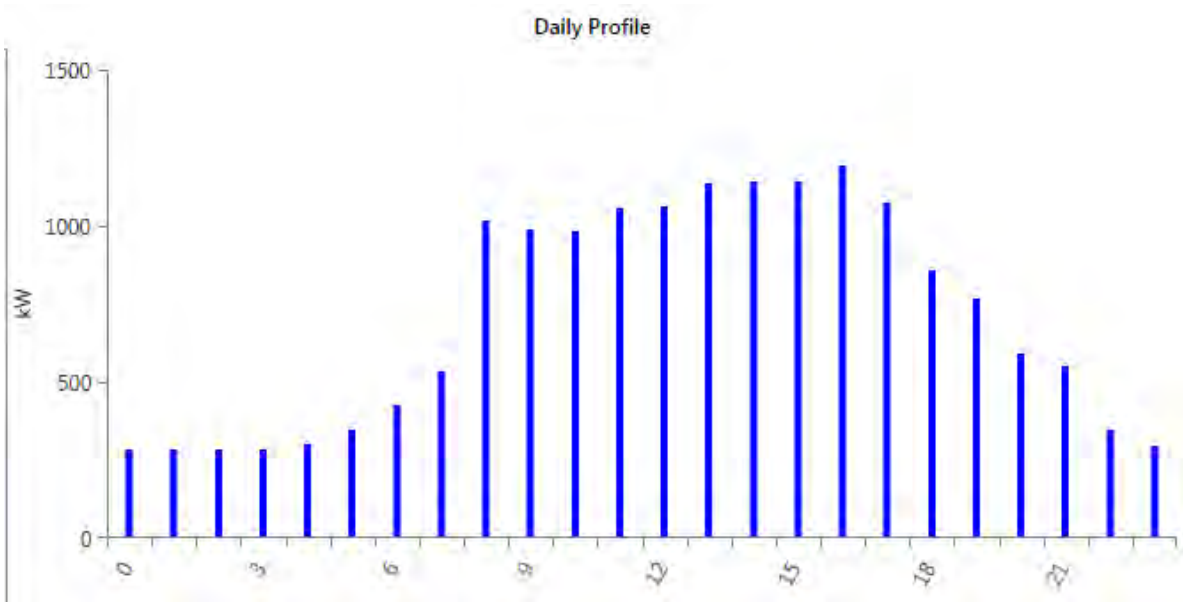


Figura 38 Perfil de consumo diario; Fuente: Programa HOMER

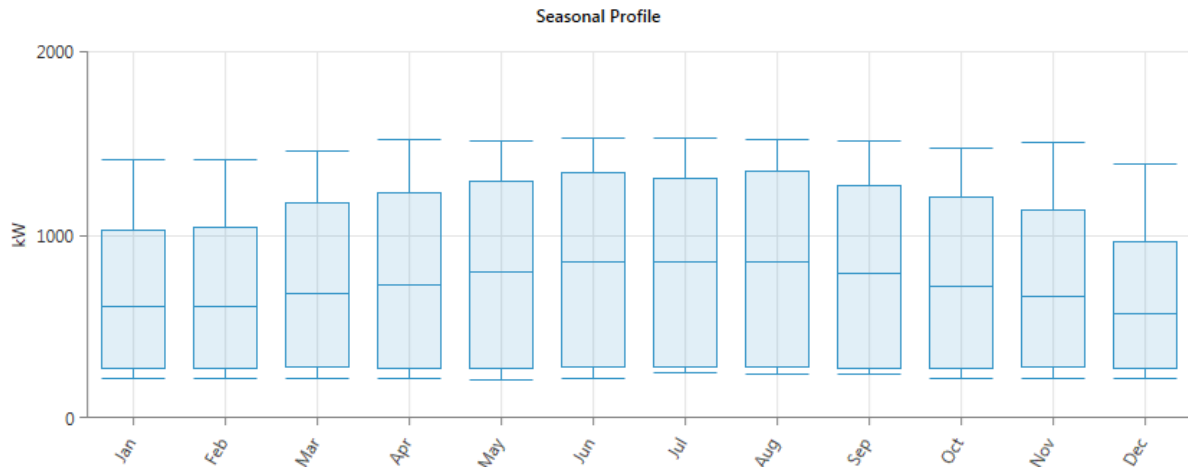


Figura 39 Perfil por meses; Fuente: Programa HOMER

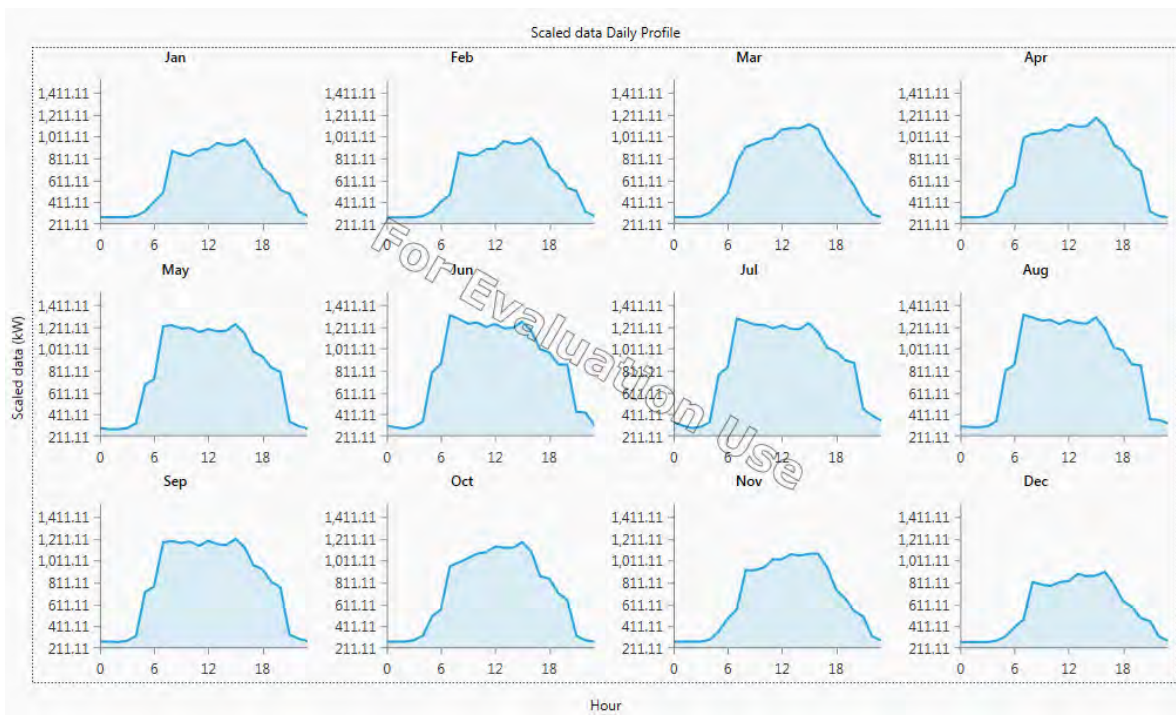


Figura 40 Consumo diario por horas de cada mes; Fuente: Programa HOMER

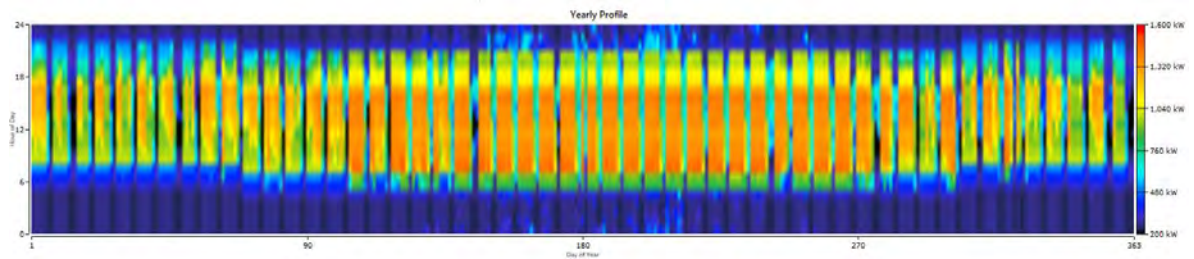


Figura 41 Perfil anual; Fuente: Programa HOMER

## B) Carga Térmica

La carga térmica se establece de la misma forma que la carga eléctrica.

Metric	Baseline	Scaled
Average (kWh/day)	901.62	901.62
Average(kW)	37.57	37.57
Peak (kW)	2,283.0	2,283.0
Load factor	.02	.02

Scaled Annual Average (kWh/day):

Figura 42 Media (kWh/día, kW), valor de pico (kW) y factor de carga; Fuente: Programa HOMER

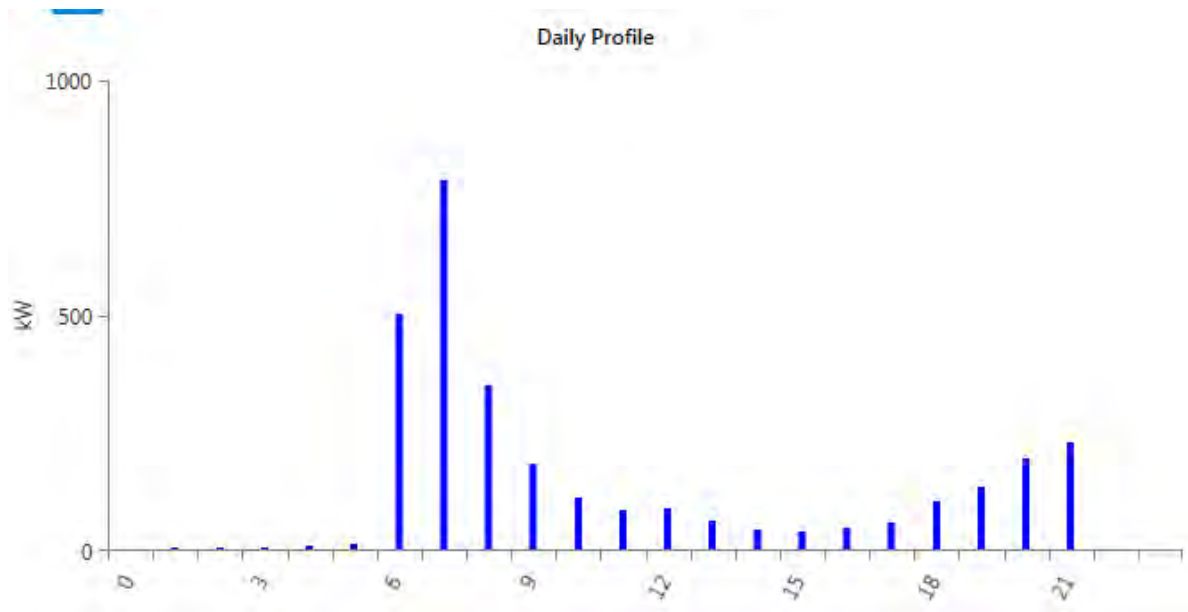


Figura 43 Perfil diario; Fuente: Programa HOMER

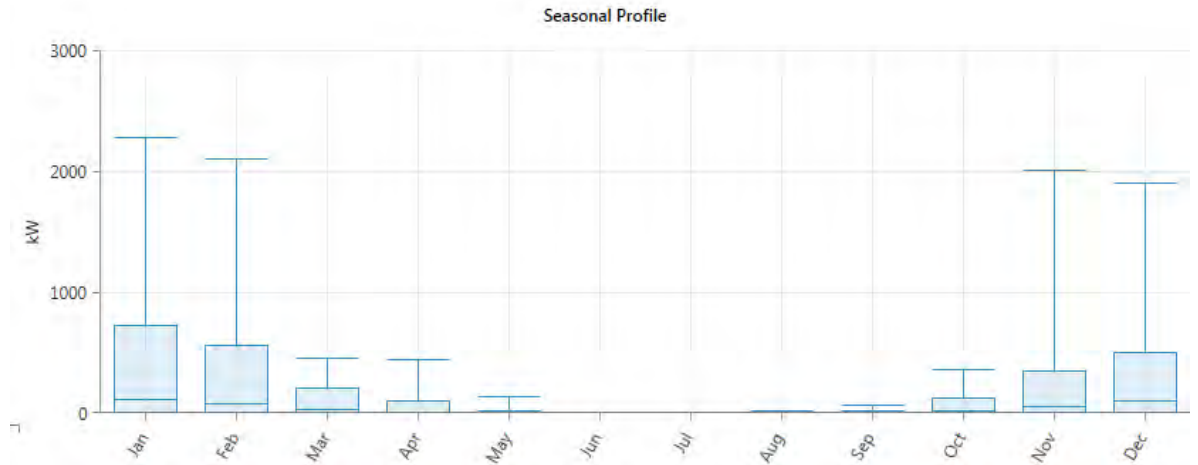


Figura 44 Perfil mensual; Fuente: Programa HOMER

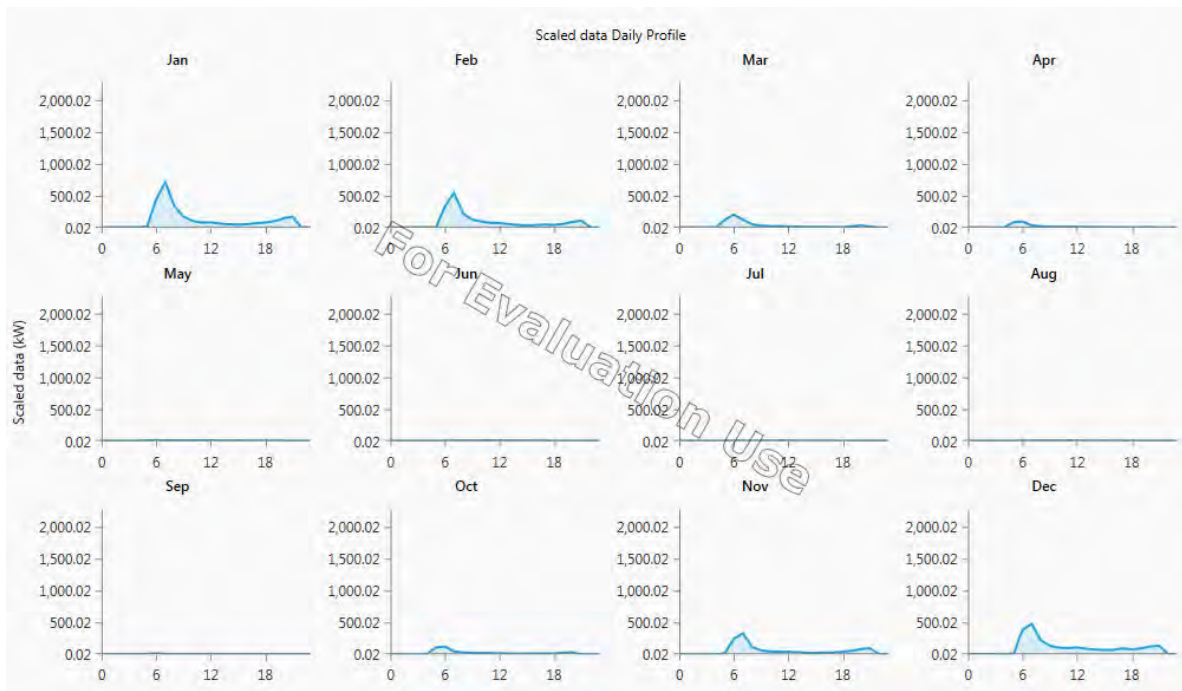


Figura 45 Consumo diario por horas de cada mes; Fuente: Programa HOMER

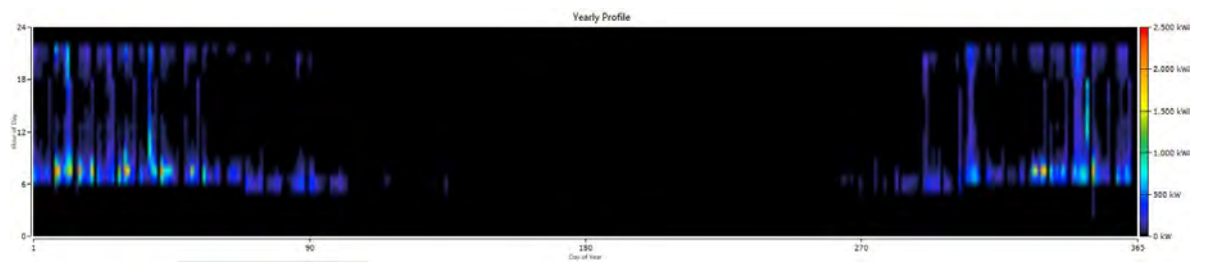


Figura 46 Perfil anual; Fuente: Programa HOMER



## V. Componentes

HOMER Pro permite añadir diferentes componentes a la hora de modelar como se va a generar la energía para abastecer el edificio. Los componentes existentes son:

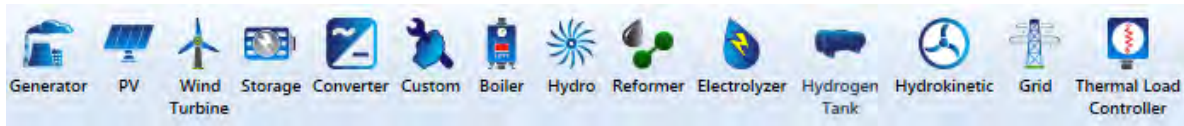


Figura 47 Componentes existentes en HOMER Pro; Fuente: Programa HOMER

Solamente se van a evaluar y describir los componentes que se van a utilizar en el proyecto.

### A) Red / Grid



Un parámetro fundamental que hay que definir en la red es las diferentes tarifas de la electricidad según las horas del día. No cuesta lo mismo 1kWh de a las 4 de la mañana que a las 10 de la mañana.

En España la tarifa eléctrica se divide en 3 periodos: punta, valle y supervalle. La división es la siguiente (*Tarifas 3.0 A: Potencia Contratada, Precios por Periodos y Condiciones, no date*):

Periodo	Horario	Precio € (Iberdrola)
<b>Punta</b>	13:00 – 23:00	0.1616
<b>Valle</b>	7:00 – 13:00 ; 23:00 – 1:00	0.0839
<b>Supervalle</b>	1:00 – 7:00	0.0563

Tabla 25 Periodos de discriminación horaria en España; Fuente (*Tarifas 3.0 A: Potencia Contratada, Precios por Periodos y Condiciones, no date*)

Y de la siguiente forma queda reflejado en el programa.

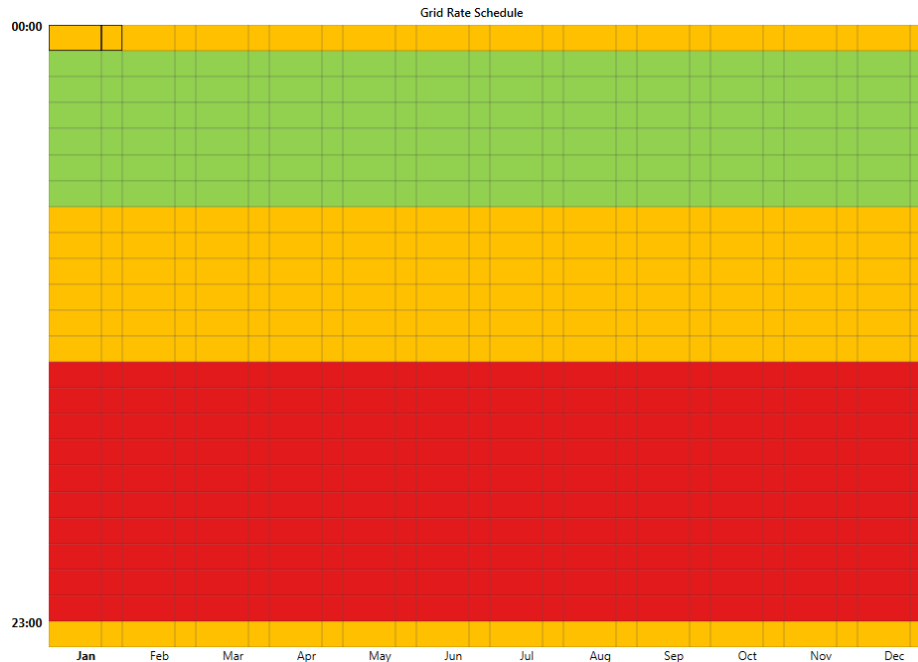


Figura 48 Horas punta, valle y supervalle en HOMER; Fuente: Programa HOMER

## B) Caldera



A la hora de elegir la caldera hay que establecer ciertos parámetros de diseño:

- Elección del combustible: HOMER permite seleccionar entre los siguientes combustibles: diésel, gas natural, biodiesel, etanol, gasolina, propano y metano. Se ha elegido el gas natural, ya que es el combustible disponible con menos emisiones de dióxido de carbón 0.18523 kgCO<sub>2</sub> por kWh (SuperHomes, 2017).
- Eficiencia (%): 93% (CalorYFrio, 2019)
- Precio del gas natural (€/m<sup>3</sup>): 0.68 €/m<sup>3</sup> (PrecioGas, 2019)

El programa no permite instalar biomasa, por lo que se harán los cálculos de forma separada y se adjuntarán al final. Como combustible de biomasa se evaluarán solamente los materiales de la biomasa residual. En ese grupo se encuentra la cascara de almendra, el hueso de aceituna, astillas, pellet, etc.

Se ha elegido usar Pellet por sus ventajas (TiendaBiomasa, 2016):

Ventajas	Desventajas
Combustible económico	Se recomienda que se use como combustible solo en calderas/estufas específicas para Pellets.
Usa serrín procedente de desperdicios de carpinterías	Es más caro que la madera, pero su poder calorífico es mayor.
Automatización de las calderas	Se tiene que almacenar en un lugar seco, ya que en caso de tener contacto con el agua, se convertiría de vuelta en serrín.
Gran densidad y formato granulado, por lo que su transporte es sencillo y ocupan poco volumen	
El CO <sub>2</sub> que emite es neutro	
No produce olores ni casi humo	
Solo necesita una salida de gases, no una chimenea alta	
Es un material no-perecedero	

Tabla 26 Ventajas y desventajas del Pellet; Fuente: (TiendaBiomasa, 2016)

### Caldera de biomasa alimentada por pellets

Las calderas de biomasa alimentadas por pellets suelen tener rendimientos altos, superiores al 90%. El poder calorífico del pellet es de 4.100kcal por kilogramo. Las calderas para el hogar rondan potencias entre 10 y 35 kW (calorYFrio, 2017). En este caso se van a instalar calderas de gama industrial de la empresa “Bioman” (Grupo BioMan, no date), donde las potencias que ofrecen son desde los 40 hasta los 115kW.



### C) Placas fotovoltaicas

El diseño de las placas solares se basa en los siguientes parámetros:

- Capacidad: 1kW
- Coste adquisición: 2.500 € (SotySolar, no date)
- Coste de sustitución: 2.500 € (SotySolar, no date)
- Coste de operación y mantenimiento: 10 €/año (Habitissimo, 2019)
- Vida útil: 10 años (Habitissimo, 2019)





#### D) Conversor

El conversor es necesario para transformar la corriente continua que se genera en los paneles solares a corriente alterna.

- Capacidad: 3kW
- Coste adquisición: 900 € (HomerPro, 2019)
- Coste de sustitución: 900 € (HomerPro, 2019)
- Coste de operación y mantenimiento: 0 €/año (HomerPro, 2019)
- Vida útil: 10 años (HomerPro, 2019)



#### E) Almacenamiento

Se han elegido las baterías de ion de litio como elementos de almacenamiento frente a las de plomo-ácido. Las ventajas de las de litio frente a las de plomo son (321 Baterías, 2018):

- ✓ Menor tamaño y peso
- ✓ Menor pérdida de energía en fase de reposo
- ✓ Menor pérdida de rendimiento en frío
- ✓ No contienen líquidos corrosivos, por lo que se evitan problemas de supuración.

El único inconveniente es el precio, que es entre un 25% y un 50% más.

Las propiedades de la batería de ion de litio son las proporcionadas por HOMER Pro:

- Capacidad nominal: 1kWh
- Eficiencia: 90%
- Coste adquisición: 550 €
- Coste de sustitución: 550 €
- Coste de operación y mantenimiento: 10 €/año
- Vida útil: 10 años
- Voltaje: 6V

## 8. Simulaciones

Se va a separar las simulaciones en dos grandes grupos: simulaciones con cargas eléctricas y simulaciones con cargas térmicas. Esto se ha decidido hacer, ya que el programa no contempla la posibilidad de instalar Pellets para generar energía térmica, por lo que se tendrá que calcular el coste y el porcentaje de energía renovable que supone usar la biomasa de forma manual. Esta decisión se ha tomado para que los cálculos queden lo más sencillo posible. Finalmente solo hace falta superponer los costes para obtener el coste total.

### 8.1. Simulaciones con carga eléctrica

En este apartado se van a simular distintos casos teniendo en cuenta el porcentaje de energía renovable que se desea alcanzar en cada uno de ellos. Se tendrá en cuenta también otros factores como:

- NPC (Net Present Cost), coste anual neto, que es la suma de los costes a lo largo del periodo de vida del proyecto.
- Coste de capital y coste de operación
- LCOE (Levelized Cost of Energy), coste de la energía.
- Emisiones de CO<sub>2</sub> al año
- Contribución de cada componente a la generación total
- Energía generada de cada componente

Se van a generar un total de cuatro casos:

- i. Caso 1: Caso Clásico; 0% Renovable
- ii. Caso 2; 12% Renovable
- iii. Caso 3; 27% Renovable
- iv. Caso 4; 42% Renovable

En los casos que tienen un porcentaje de generación con energía renovable, se obtendrán respectivamente 1, 8 y 19 puntos para el certificado LEED.

### 8.1.1. Caso Clásico

El caso clásico que se va a diseñar es conectándose directamente y únicamente a la red eléctrica, sin ningún tipo de autoconsumo. Es la opción más común para abastecer las necesidades de un edificio en una ciudad.

En informe detallado del clásico se encuentra en el Anexo A.

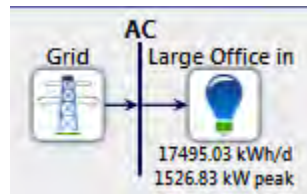


Figura 49 Boceto del caso clásico; Fuente: Programa HOMER

### 8.1.2. Casos con un tanto por ciento de energías renovables

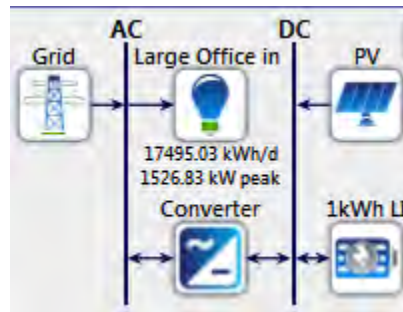


Figura 50 Boceto del caso con % renovables; Fuente: Programa HOMER

Se han generado las simulaciones de los tres casos propuestos, cada uno con distintos porcentajes de energía renovables. Los documentos con los informes detallados se encuentran en el Anexo A.

### 8.1.3. Análisis de resultados carga eléctrica

Opción	Coste Operación (m€)	Coste Capital (m€)	NPC (m€)	LCOE (€/kWh)	Energía Renovable (%)	Emisiones CO2 (t/año)	Contribución (%)			RED	PV	
							Red	PV	Bat	Energía comprada (MWh/año)	Energía generada (kWh/año)	Horas funcionamiento /año
<b>Caso Clásico</b>	7,82	0	<b>7,82</b>	0,117	0	4.036	100	0	0	6.39	0	0
<b>Caso 2</b>	6,88	1,53	<b>8,41</b>	0,126	12,6	3.554	87,4	12,6	0	5.62	809.959	4.386
<b>Caso 3</b>	5,66	3,49	<b>9,15</b>	0,135	27,2	2.983	72,8	27,2	0	4.72	1.860.558	4.386
<b>Caso 4</b>	4,23	5,83	<b>10,1</b>	0,141	42,9	2.469	57,1	42,9	0	3.91	3.090.466	4.386

Tabla 27 Resultados carga eléctrica

### 8.1.3.1. Costes

Opción	Coste Operación (m€)	Coste Capital (m€)	NPC (m€)
Caso Clásico	7,82	0	7,82
Caso 2	6,88	1,53	8,41
Caso 3	5,66	3,49	9,15
Caso 4	4,23	5,83	10,1

Tabla 28 Resultados costes carga eléctrica

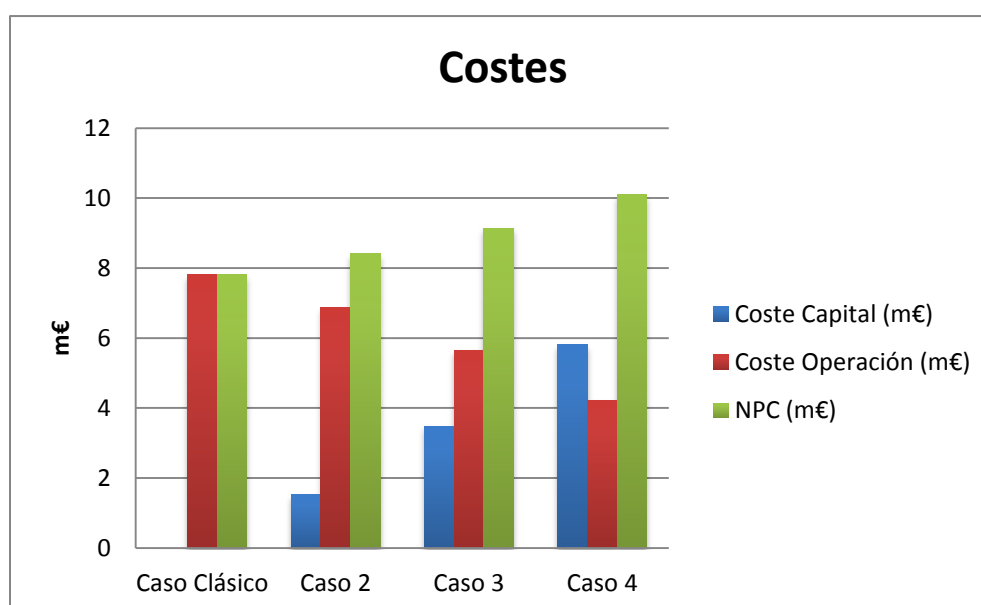


Figura 51 Coste capital, operación y neto

El análisis de los costes resulta muy interesante. Como se puede observar, el NPC, valor actual neto, va creciendo a medida que el porcentaje de energía renovable que se produce es mayor. Esto se debe a que el coste de capital que supone adquirir los paneles solares es muy elevado. De todas formas, al adquirir los paneles solares, la energía fotovoltaica que se genera es más barata, por lo que los costes de operación van disminuyendo. Se han simulado más casos imponiendo un porcentaje de generación renovable mayor, pero el coste capital se disparaba y llegaba un momento en el que el programa no daba una solución, ya que el porcentaje era demasiado alto.

### 8.1.3.2. Paneles fotovoltaicos

La simulación de los casos se realizó con las placas establecidas en el punto 7.V.C. Las características eran las siguientes:

- Capacidad: 1kW
- Coste adquisición: 2.500 € (SotySolar, no date)
- Coste de sustitución: 2.500 € (SotySolar, no date)
- Coste de operación y mantenimiento: 10 €/año (Habitissimo, 2019)
- Vida útil: 10 años (Habitissimo, 2019)

Opción	Energía Renovable (%)	Número de placas	Coste por placa (€)	Coste Capital Placas (m€)
<b>Caso Clásico</b>	0	0	2.500	0
<b>Caso 2</b>	12,6	552	2.500	1,38
<b>Caso 3</b>	27,2	1268	2.500	3,17
<b>Caso 4</b>	42,9	2106	2.500	5,27

Tabla 29 Paneles solares

### 8.1.3.3. Porcentaje de renovables y emisiones de CO<sub>2</sub>

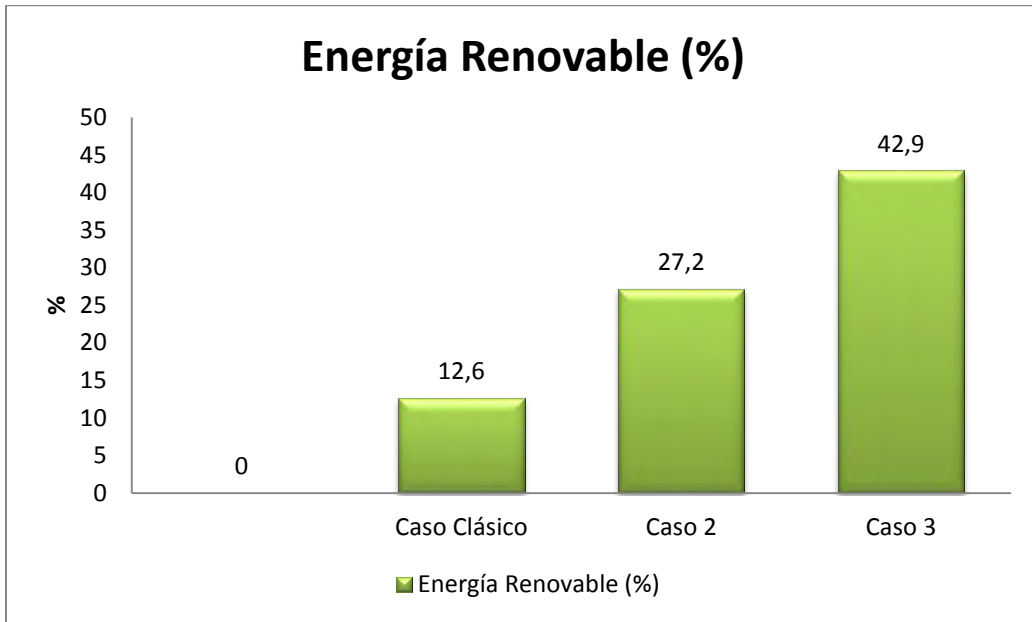


Figura 52 Porcentaje de energía renovable en cada caso

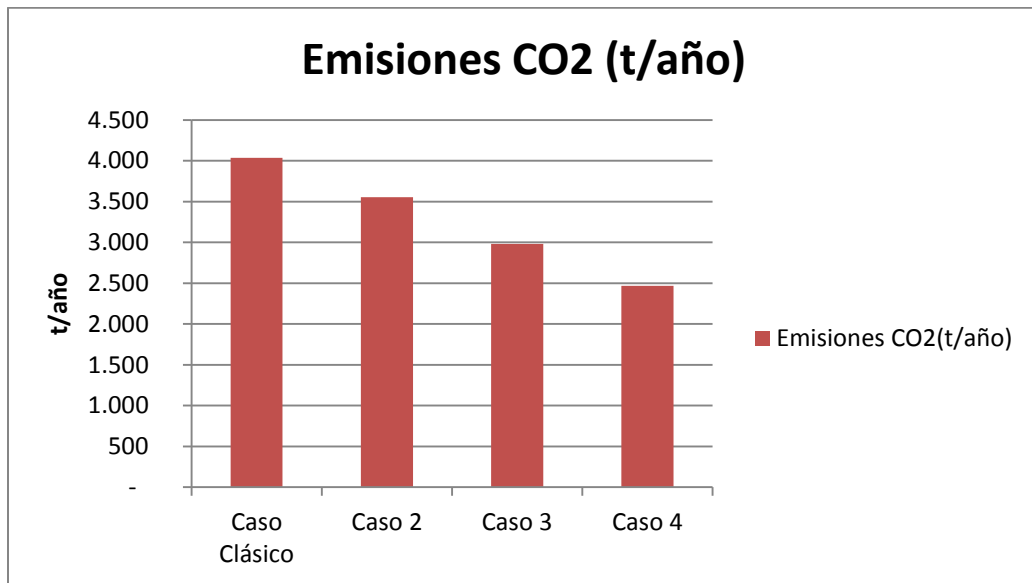


Figura 53 Emisiones de CO2 en cada caso

Como se puede observar en las Figura 51 y Figura 52 que hay arriba, a medida que aumenta el porcentaje de generación de energía renovable, disminuyen como es lógico las toneladas de emisiones de CO<sub>2</sub>.

#### 8.1.3.4. Contribución de cada elemento

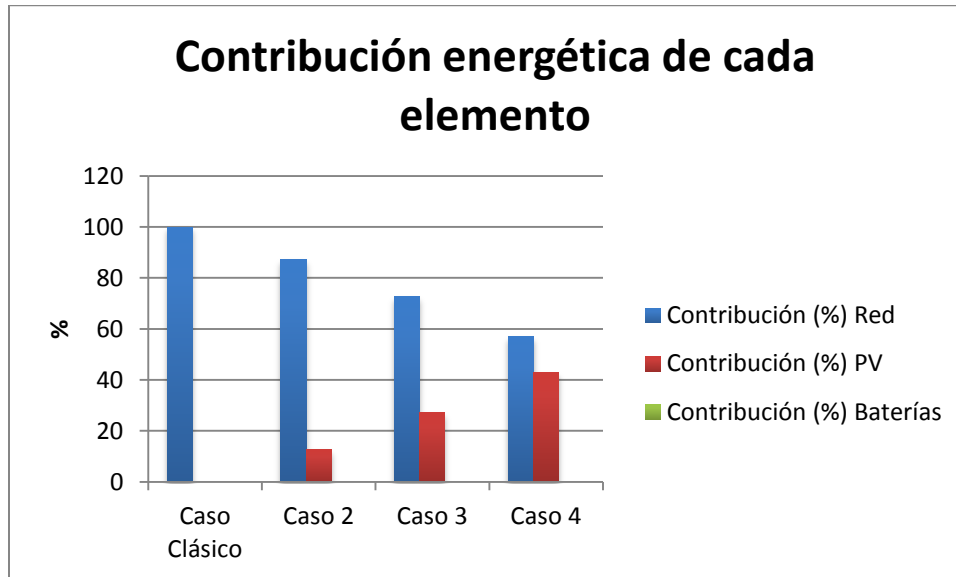


Figura 54 Contribución energética de cada elemento

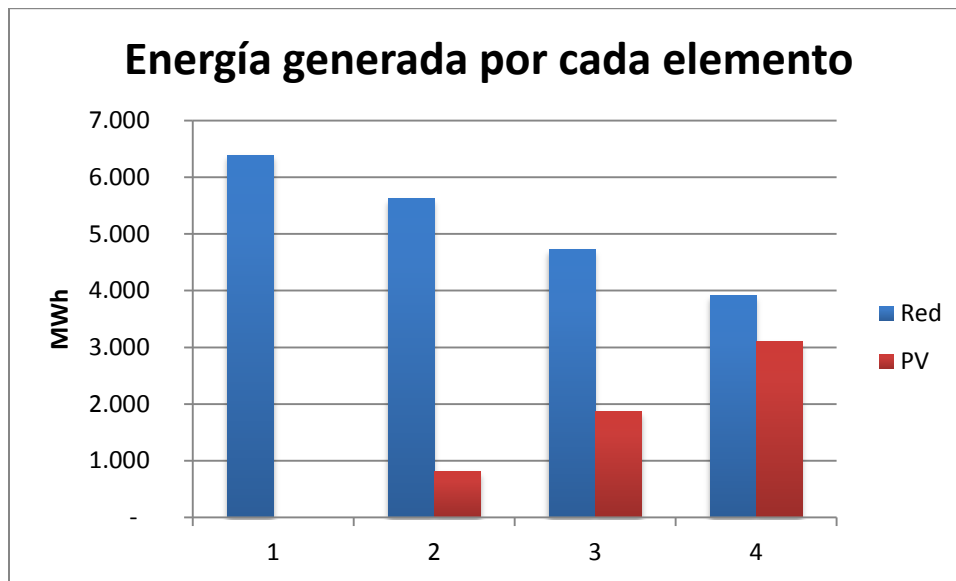


Figura 55 Energía generada por cada elemento

Como se puede observar en las Figura 54 y Figura 55, la energía que se capta de la red va dando paso a la que generan los paneles fotovoltaicos. Lo que llama la



atención es que el porcentaje de contribución de las baterías es nulo en todos los casos.

Al ejecutar el programa HOMER, éste genera varias soluciones para cada caso. En todos los casos (2,3 y 4) con posibilidad de instalar las baterías, al generarse las soluciones posibles, los resultados eran más favorables, económicamente hablando. Por lo tanto, no interesa instalar las baterías. Esto se debe a que el coste que supone adquirirlas no se compensa con lo que luego se ahorraría al usarlas. Además, la solución en la que se instalan las baterías, el porcentaje de energía renovable es menor que en la solución sin baterías. Esto se debe a que el programa debe de realizar las simulaciones recargando las baterías directamente de la red, por lo que no considera esas cargas como energías renovables.

En la siguiente imagen se pueden observar los comentarios realizados en el párrafo anterior.

Architecture						Cost				
PV (kW)	1kWh	Grid (kW)	Converter (kW)	Dispatch	NPC (€)	COE (€)	Operating cost (€/yr)	Initial capital (€)	O&M (€/yr)	Ren Frac (%)
2,106		1,000,000	1,892	CC	€10.1M	€0.141	€406,000	€5.83M	€406,000	42.9
2,073	79	1,000,000	1,875	CC	€10.1M	€0.142	€412,055	€5.79M	€412,055	42.4

Figura 56 Soluciones propuestas por HOMER; Fuente: Programa HOMER

## 8.2. Simulaciones con carga térmica

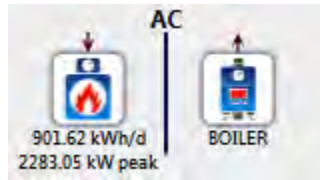


Figura 57 Boceto del caso clásico; Fuente: Programa HOMER

Las simulaciones que se van a realizar con cargas térmicas son algo distintas que las de carga eléctrica. Se va a generar la simulación con el Caso Clásico, y de ahí se va a instalar una caldera de biomasa de pellets.

Como se pudo observar en las Figura 44 y Figura 45, el pico de consumo se da en el mes de enero y es de 2.230 kW. Es lógico que no se vaya a dimensionar la caldera para dicho valor de pico. Se ha decidido instalar una caldera que pueda proporcionar la media máxima del mes más frío (Enero). El valor es de 732 kW como se puede observar en la siguiente figura.

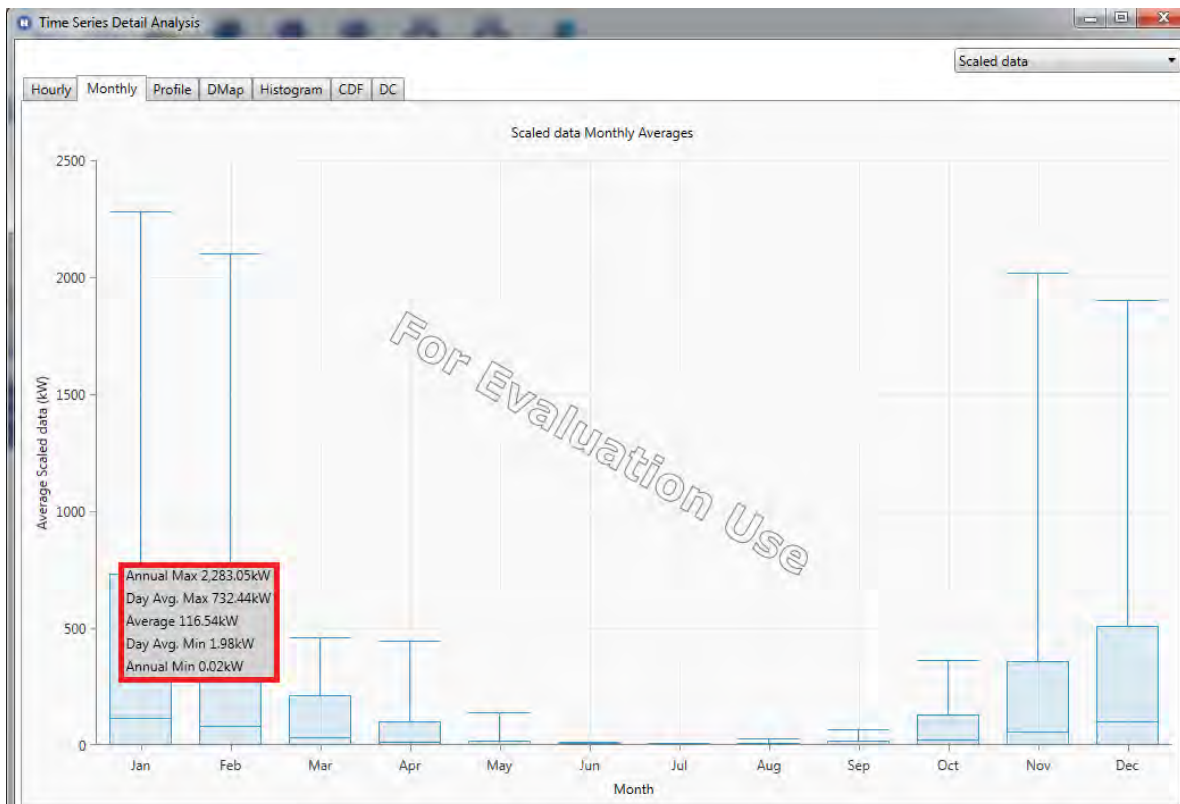


Figura 58 Cargas térmicas por meses; Fuente: Programa HOMER

La caldera que se va a instalar es del Grupo Ferroli (Ferroli, 2017). El modelo escogido es el: PREXTHERM RSW N GN-GP S-M 820 con una potencia útil de 820 kW. El coste de dicha caldera es de unos **20.000 €** (CALEFACCIÓN *ENERGÍAS RENOVABLES:-ENERGÍA SOLAR TÉRMICA-AEROTERMIA*, no date).

### 8.2.1. Simulación con caldera biomasa de pellet

Se ha decidido instalar la cantidad de calderas de biomasa necesarias, que proporcionen el 100% de la energía térmica. Esta decisión de diseño se ha tomado, ya que es complicado combinar el gas natural con la biomasa, al necesitar calderas distintas. El proveedor elegido es el grupo Domusa Teknik que ofrecen calderas de biomasa alimentadas por pellets. Las calderas elegidas son (Teknik, 2018):

- Nombre: Caldera BioClass HC 66/66
- Potencia útil: 132,2 kW
- Capacidad de combustible: 180 kg de Pellet
- Precio: 16.983 €

Al querer suministrar los 732 kW que son necesarios en la media máxima del mes de Enero, será necesario instalar 6 calderas, dos en cada edificio.



Figura 59 Caldera Biomasa HC; Fuente (Teknik, 2018)

A la hora de calcular el volumen necesario de pellets para combatir la carga térmica anual de 329.092 kWh al año, solo es necesario realizar un cálculo con la proporcionalidad de los poderes caloríficos de cada elemento (BioMasa, 2018).

- Poder calorífico del gas natural: 9 kWh/m<sup>3</sup>
- Poder calorífico del pellet: 5 kW/kg

Por lo tanto:

- 1m<sup>3</sup> de gas natural = 1.8 kg de pellet

De todas formas, aunque el pellet tenga un poder calorífico menor que el gas natural, su precio también es menor (BioMasa, 2018):

- 1m<sup>3</sup> de gas natural = 0.68 € vs 1 kg de pellet= 0.25€

Por lo tanto, si necesitaba 35.834 m<sup>3</sup> de gas natural al año para combatir la carga térmica, con la proporcionalidad, serían necesarios 64.501 kg de pellet al año.

Opción	Coste Capital (€)	Coste Recursos al año (€)	NPC (€)	Emisiones CO2(t/año)	Potencia útil caldera (kW)	Total Production (kWh/año)	Volumen consumido/año (m3)	Coste G.N €/m3	Coste Pellet €/kg
Caso Clásico	20.000	24.367	263.671	69	820	329.092	35.834	0,68	-
Caso Biomasa	6 x 16.983 = 101.898	16.125	263.151	Neutra*	6 x 132 = 792	329.092	64.501	-	0,25

Tabla 30 Resultados carga térmica

\*Las emisiones de CO<sub>2</sub> son neutras ya que in situ no generan emisiones, pero se ha de tener en cuenta que sí se generan emisiones en el ciclo de vida del pellet, transporte, envasado, recogida, etc.

## 8.2.2. Análisis de resultados carga térmica

### 8.2.2.1. Costes

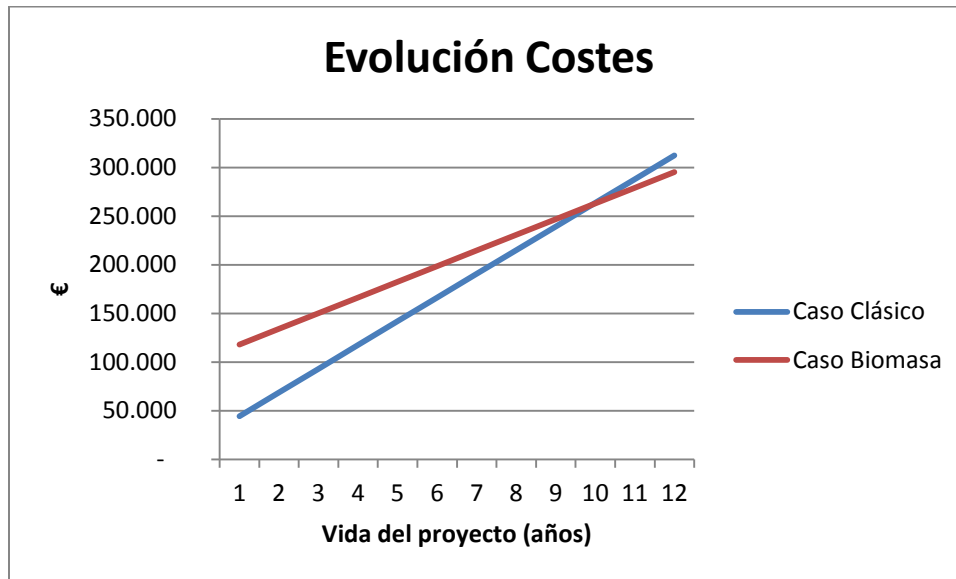


Figura 60 Evolución de costes

Como se puede observar en la

Figura 60, el coste inicial del caso de la instalación con caldera de biomasa es mayor, pero se van acercando ambos costes a medida que avanza la vida del proyecto, hasta llegar a ser más caro la instalación con gas natural que con pellets. Esto se debe a que a pesar de tener el pellet menos poder calorífico que el gas natural, su precio es menor, y finalmente su coste variable también.



#### ESPECIFICACIONES

MÓDELO	POTENCIA ÚTIL kW	DEPÓSITO DE RESERVA INCLUIDO	CAPACIDAD DE COMBUSTIBLE kg. PELLET	VOLUMEN DE AGUA EN CALDERA l	CLASE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA	CÓDIGO	PRECIO €
BIOCLASS HC 25/66	91,4	SI	180	213	A+	TBIC000097	13.464
BIOCLASS HC 43/66	108,8	SI	180	244		TBIC000098	13.949
BIOCLASS HC 66/66	132,2	SI	180	260		TBIC000099	16.983

OPCIONES	CÓDIGO	PRECIO €
Control remoto WiFi MyDOMO	CEL0000474	190
Sonda acumulador ACS	CEL0000400	14
Depósito de inercia BT DUO		ver pág. 56
Depósito de inercia BT		ver pág. 54
Kit anticóndensados 66 (válvula anticóndensados + bomba de alta eficiencia)	TNTBIC0035	273
Control de cascada MC	TNTBIC0075	306

Figura 61 Caldera de biomasa Clase HC; Fuente: (Teknik, 2018)

## 9. Conclusiones eléctricas

Incorporar energía renovable en una mini red para satisfacer las necesidades de demanda puede ser muy costoso. De todas formas, cada simulación del modelo tiene sus ventajas y desventajas. Se ha considerado la mejor opción con el mejor análisis de coste y beneficio en términos económicos y del medio ambiente.

La solución de la propuesta eléctrica es la siguiente:

- De las opciones de las simulaciones de carga eléctrica, se ha decidido optar por la opción “Caso 3”, con un 27.2% de penetración fotovoltaica y un valor actual neto de 9.15 m€ para la vida del proyecto de 10 años. Se ha tomado esta simulación como solución porque es la que mejor hace balance del aspecto económico y sostenible. A continuación se comparará dicho caso, el 3, con el 2 y 4.

Comparación Caso 3 y 2: El valor actual neto es un 9%, tiene más del doble de penetración de energía renovable y las emisiones se reducen en un 16%.

Opción	NPC (m€)	Energía Renovable (%)	Emisiones CO <sub>2</sub> (t/año)
Caso 2	8,41	12,6	3.554
Caso 3	9,15	27,2	2.983
Variación	9%	116%	-16%

Tabla 31 Comparación Caso 3 y 2

Comparación Caso 3 y 4: el valor actual neto del caso 4 es un 10% mayor al 3, la contribución de energía renovable es menos del doble y las emisiones se reducen un 17%.

Opción	NPC (m€)	Energía Renovable (%)	Emisiones CO <sub>2</sub> (t/año)
Caso 3	9,15	27,2	2.983
Caso 4	10,1	42,9	2.469
Variación	10%	58%	-17%

Tabla 32 Comparación Caso 3 y 4

Mencionar finalmente que la potencia fotovoltaica a instalar en el Caso 3 es de 1.268 kW, frente a los 552 kW y 2.106 kW de los casos 2 y 4 respectivamente. Es cierto que instalar 1.268 placas solares de 1kW cada una resulta un número elevado, pero a un tamaño promedio de 2 metros cuadrados por placa (Aparicio Sáez-Bravo, 2018) y con 1.600 metros cuadrados en cada azotea es viable. Una distribución posible sería un tercio, 422, de placas en cada azotea, lo que supone una utilización del 53% del espacio para la instalaciones de paneles solares.

- La propuesta para combatir la carga térmica es la de instalar las 6 calderas de biomasa de potencia de 132 kW cada una alimentadas con pellet. Como se mencionó en el apartado anterior, el coste inicial es mayor en la utilización de calderas de biomasa que de gas natural, ya que la potencia que generan las calderas de gas natural es mucho mayor que las de biomasa, por lo que es necesario instalar más de las últimas para combatir la carga térmica. Sin embargo, los costes se van asemejando al paso del tiempo, ya que el coste variable de usar pellet en vez de gas natural es menor, hasta llegar incluso a ser más barato usar biomasa a partir del décimo año de vida del proyecto.

Mencionar que no se han cuantificado las emisiones de CO<sub>2</sub>. Si se hubiese asignado un coste por cada kg de CO<sub>2</sub> emitido a la atmósfera, el coste de usar gas natural sería mayor aun.

Valor actual neto de la instalación en los 10 años de vida del producto:

**9.4 millones de €.**



## 10. Referencias

- ¿Qué es el impuesto al sol por autoconsumo eléctrico? (no date). Available at: <https://comparadorluz.com/faq/impuesto-sol#impuesto-sol> (Accessed: 11 June 2019).
- 321 Baterías (2018) *Baterías Litio VS Plomo-ácido*. Available at: [http://bateriasindustrialesytraccion.es/es/Blogbaterias/5\\_Baterías-Litio-VS-Plomo-ácido.html](http://bateriasindustrialesytraccion.es/es/Blogbaterias/5_Baterías-Litio-VS-Plomo-ácido.html) (Accessed: 18 June 2019).
- AEDIVE (2018). Available at: <http://aedive.es/> (Accessed: 10 June 2019).
- Aparicio Sáez-Bravo, A. (2018) ‘Ingeniería de detalle de una plata solar fotovoltaica de 4MW’. Available at: <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/handle/11531/18224> (Accessed: 25 June 2019).
- AU Government (2015) *Tracking Australia’s greenhouse gas emissions | Department of the Environment and Energy*. Available at: <https://www.environment.gov.au/climate-change/climate-science-data/greenhouse-gas-measurement/tracking-emissions> (Accessed: 6 June 2019).
- Beck, H. E. *et al.* (2018) ‘Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution’, *Scientific Data*, 5, p. 180214. doi: 10.1038/sdata.2018.214.
- Bilbao (2019) *CVEN9898 Fundamentals of Sustainable Infrastructure Energy for sustainable infrastructure*. Available at: <http://www2.pv.unsw.edu.au/videos/Jose-Bilbao-> (Accessed: 12 June 2019).
- BioMasa (2018) *Gas natural vs pellet – Biomasa Ciudad Real*. Available at: <https://biomasaciudadreal.wordpress.com/2014/09/11/gas-natural-vs-pellet/> (Accessed: 25 June 2019).
- CALEFACCIÓN ENERGÍAS RENOVABLES:-ENERGÍA SOLAR TÉRMICA-AEROTERMIA (no date). Available at: [www.ferroli.es](http://www.ferroli.es) (Accessed: 24 June 2019).
- calorYFrio (2017) *Calderas de biomasa y pellets. Las ventajas de la calefacción más ecológica*. Available at: <https://www.caloryfrio.com/calefaccion/calderas/calderas-de-biomasa-ventajas-y-funcionamiento.html> (Accessed: 20 June 2019).
- CalorYFrio (2019) *Rendimiento medio estacional de las calderas de condensación*. Available at: <https://www.caloryfrio.com/calefaccion/calderas/rendimiento-medio-estacional-de-las-calderas-de-condensacion.html> (Accessed: 18 June 2019).
- Council, U. S. G. B. (2009) *LEED 2009 para Nueva Construcción y Grandes Remodelaciones Versión 3.0 Para Consulta y Uso Público Aprobado por los Miembros del USGBC Noviembre 2008*. Available at: [http://www.spaingbc.org/files/LEED 2009 NC Nov 2008 ESP.pdf](http://www.spaingbc.org/files/LEED%202009%20NC%20Nov%202008%20ESP.pdf) (Accessed: 18 June 2019).
- Ducoy, J. R. (2017) 3. ¿Qué es una microrred?.pdf. Available at: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/5145/fichero/3.+¿Qué+es+una+microrred.pdf>

(Accessed: 12 June 2019).

Económico Social, C. (no date) *EL SECTOR ELÉCTRICO EN ESPAÑA INFORME EL SECTOR ELÉCTRICO EN ESPAÑA*. Available at: [www.ces.es](http://www.ces.es) (Accessed: 10 June 2019).

Energy AU (no date) *Commercial Reference Buildings | Department of Energy, 2016*. Available at: <https://www.energy.gov/eere/buildings/commercial-reference-buildings> (Accessed: 13 June 2019).

Española, R. E. (no date) *Estadísticas del Sistema Eléctrico | Red Eléctrica de España*. Available at: <https://www.ree.es/es/estadisticas-del-sistema-electrico/3015/all?page=1> (Accessed: 10 June 2019).

*Estadísticas | CORES* (no date). Available at: <https://www.cores.es/es/estadisticas> (Accessed: 10 June 2019).

Eu (2017) *Estimated CO<sub>2</sub> emissions from energy use Share of EU total CO<sub>2</sub> emissions in 2017*. Available at: <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/2995521/8869789/8-04052018-BP-EN.pdf/e7891594-5ee1-4cb0-a530-c4a631efec19> (Accessed: 10 June 2019).

Ferrolí, G. (2017) ‘Calderas PREXTHERM Gas Natural’.

First Green (2012) *Differentiate between the DNI, DHI and GHI?* |. Available at: <https://firstgreenconsulting.wordpress.com/2012/04/26/differentiate-between-the-dni-dhi-and-ghi/> (Accessed: 20 June 2019).

Francisco Martín (2015) *Mapa mundial actualizado de la clasificación climática de Köppen-Geiger*. Available at: <https://www.tiempo.com/ram/4585/mapa-mundial-de-la-clasificacin-del-clima-de-kppen-geiger-actualizado/> (Accessed: 26 June 2019).

Grupo BioMan (no date) *Caldera de Pellets - Gama Industrial (40kW a 115Kw)*. Available at: <http://grupobiosan.com/calderas-de-biomasa/calderas-de-pellets/calderas-de-pellets-gama-industrial.html> (Accessed: 20 June 2019).

Habitissimo (2019) *Precio hacer Mantenimiento Placas Solares ONLINE - Habitissimo*. Available at: [https://www.habitissimo.es/presupuestos/hacer-mantenimiento-placas-solares?gexperiment=par-778&utm\\_expid=78183681-155.-1syRjyRLa9Ci3vVFb8Yg.1&utm\\_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F#1](https://www.habitissimo.es/presupuestos/hacer-mantenimiento-placas-solares?gexperiment=par-778&utm_expid=78183681-155.-1syRjyRLa9Ci3vVFb8Yg.1&utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F#1) (Accessed: 18 June 2019).

HOMER Pro (no date) *HOMER Pro - Microgrid Software for Designing Optimized Hybrid Microgrids*. Available at: <https://www.homerenergy.com/products/pro/index.html> (Accessed: 12 June 2019).

Iberdrola (2016) *¿Sabes qué es la energía fotovoltaica? - Iberdrola*. Available at: <https://www.iberdrola.com/medio-ambiente/que-es-energia-fotovoltaica> (Accessed: 12 June 2019).

IE Madrid (2015) *Anuario Estadístico de la Comunidad de Madrid. Industria y energía*. Available at: <http://www.madrid.org/iestadis/fijas/estructu/general/anuario/ianucap12.htm>

(Accessed: 6 June 2019).

InflationDataEu (2019) *Inflacion de España en 2019 – inflacion IPC España 2019*. Available at: <https://es.inflation.eu/tasas-de-inflacion/espana/inflacion-historica/ipc-inflacion-espana-2019.aspx> (Accessed: 13 June 2019).

Javier Pastor (2018) *El impuesto al sol caducará en 2021: se abren las puertas del autoconsumo en España y Europa*. Available at: <https://www.xataka.com/energia/impuesto-al-sol-caducara-2021-se-abren-puertas-autoabastecimiento-espana-europa> (Accessed: 11 June 2019).

Mecometer (2019) *Central bank discount rate - Spain*. Available at: <http://mecometer.com/whats/spain/central-bank-discount-rate/> (Accessed: 13 June 2019).

ONU (2018) *Cambio climático | Naciones Unidas*. Available at: <https://www.un.org/es/sections/issues-depth/climate-change/index.html> (Accessed: 10 June 2019).

PrecioGas (2019) *Tarifas de Gas Natural 2019: Precio y Comparativa de Compañías*. Available at: <https://precioagas.com/tarifas> (Accessed: 18 June 2019).

El Salto (no date) *Medio ambiente | ¿Cómo va España en la lucha contra el cambio climático? - El Salto - Edición General*. Available at: <https://www.elsaltodiario.com/medioambiente/como-va-espana-en-la-lucha-contra-el-cambio-climatico> (Accessed: 10 June 2019).

SotySolar (no date a) ‘¿Cuánto cuesta instalar placas solares?’, <https://sotysolar.es/placas-solares/instalacion/precio>. Available at: <https://sotysolar.es/placas-solares/instalacion/precio> (Accessed: 12 June 2019).

SotySolar (no date b) ‘¿Cuánto cuesta instalar placas solares?’, <https://sotysolar.es/placas-solares/instalacion/precio>. Available at: <https://sotysolar.es/placas-solares/instalacion/precio> (Accessed: 18 June 2019).

SuperHomes (2017) *What type of green boiler would best fit my needs?* Available at: <http://www.superhomes.org.uk/resources/green-boiler/> (Accessed: 18 June 2019).

*Tarifas 3.0 A: Potencia Contratada, Precios por Periodos y Condiciones* (no date) 2019. Available at: <https://comparadorluz.com/tarifas/acceso/30> (Accessed: 13 June 2019).

Teknik, D. (2018) *LA TECNOLOGÍA MÁS AVANZADA A UN PRECIO RAZONABLE TARIFA 2018*. Available at: <https://www.almagrup.com/new/files/pdfs/tarifas-proveedores/2018 - DOMUSA Tarifa 2018.pdf> (Accessed: 24 June 2019).

Thwinking (2014) *The Three Pillars of Sustainability*. Available at: <http://www.thwink.org/sustain/glossary/ThreePillarsOfSustainability.htm> (Accessed: 26 June 2019).

TiendaBiomasa (2016) *Qué son los pellets - Tienda Biomasa*. Available at: <https://tiendabiomasa.com/pellet> (Accessed: 20 June 2019).

World Energy Council (2019) *Energy Trilemma Index*. Available at: <https://www.worldenergy.org/data/trilemma-index/country/australia/> (Accessed: 11 June 2019).

Xataka Web (no date) *Así queda la regulación del autoconsumo en España tras la eliminación del "impuesto al sol"*, Oct 2018. Available at: <https://www.xataka.com/energia/asi-queda-autoconsumo-espana-eliminacion-impuesto-al-sol> (Accessed: 10 June 2019).





# Parte V

## Conclusiones



**COMILLAS**  
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

**ICAI**





## Índice de Contenido

1. Alcance .....	99
2. Conclusiones Agua .....	99
2.1 Consumo de agua .....	99
2.2 Estudio económico .....	100
3. Conclusiones Energía .....	102
4. Conclusiones Solución Conjunta .....	104
4.1 Conclusiones de sostenibilidad .....	104
4.2 Conclusiones de los presupuestos económicos .....	105
5. Referencias .....	106

## Índice de Figuras

Figura 1 Comparación Caso Clásico y Solución Propuesta .....	100
Figura 2 Comparación coste total Caso Clásico y Solución Propuesta .....	100
Figura 3 Diferencia Caso Clásico vs Solución Propuesta .....	101
Figura 4 Resumen Consumo de Agua .....	104
Figura 5 Resumen de Emisiones de CO2 .....	105
Figura 6 Presupuestos Económicos .....	106

## Índice de Tablas

Tabla 1 Resumen del consumo del agua .....	99
Tabla 2 Estudio económico del agua .....	100
Tabla 3 Comparación Caso 3 y 2 .....	102
Tabla 4 Comparación Caso 3 y 4 .....	102
Tabla 5 Resumen presupuesto económico .....	105



## 1. Alcance

En este apartado se van a volver a exponer las conclusiones más importantes de cada parte de este trabajo de Fin de Máster y se realizará una conclusión general conjunta.

## 2. Conclusiones Agua

### 2.1 Consumo de agua

<b>CONSUMO AGUA EDIFICIO</b>		
	<b>Caso Clásico</b>	<b>Caso Propuesto</b>
Consumo (L)	50.360.000	18.820.000
% de ahorro de agua	-	62.7 %
<b>CONSUMO AGUA RIEGO</b>		
	<b>Caso Clásico</b>	<b>Caso Propuesto</b>
Área Zona	20.050 m <sup>2</sup>	20.050 m <sup>2</sup>
Dotación	842 L / año m <sup>2</sup>	515 L / año m <sup>2</sup>
Consumo Total de agua para el riego (L)	16.882.100	10.334.773
% de ahorro de agua		38.8 %
<b>TOTAL</b>		
	<b>Caso Clásico</b>	<b>Caso Propuesto</b>
Consumo total de agua (millones L)	67,2	29,2
% de ahorro total de agua	-	<b>57%</b>

Tabla 33 Resumen del consumo del agua

Como se puede observar en la Tabla 1, con el Caso Propuesto se ahorran unos 31.5 millones de litros en el consumo de agua del edificio y otros 6.5 millones en el consumo de riego. Esto suma un ahorro de unos 38 millones de litros si se implanta la solución propuesta en vez del Caso Clásico, lo que supone un ahorro del 57% en el consumo de agua.

## 2.2 Estudio económico

	Volumen (L/año)	Uso	Costes		Ahorro		
			Fijos (€)	Mantenimiento (€/año)	Agua (L/año)	Precio 1m <sup>3</sup> agua	Ahorro (€/año)
<b>Instalación de plantas variadas de la Solución Propuesta</b>			177.353				38.995
<b>Suministro de agua:</b>							
<b>Agua de lluvia en depósito</b>	1.664.640	Riego	4 x 11.659 € = 46.636 €	-	1.664.640	1,38	2.297
<b>Aguas grises y negras</b>	17.700.000	Grises y Negras	200.000	5.000	17.700.000	1,38	24.426

Tabla 34 Estudio económico del agua

En la Tabla 2 se puede observar el resumen del estudio económico del agua.

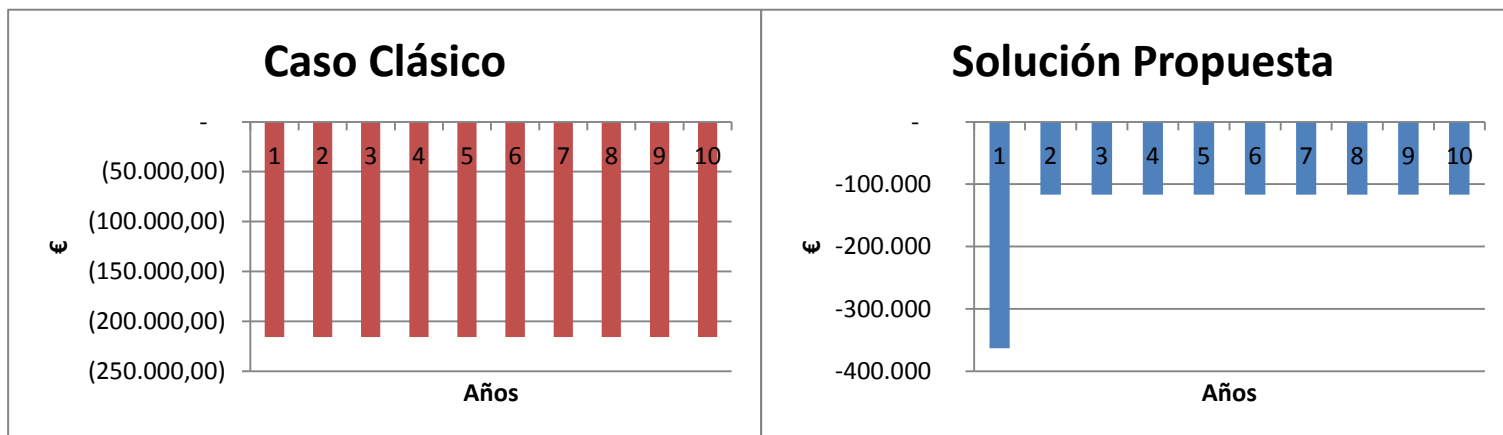


Figura 62 Comparación Caso Clásico y Solución Propuesta

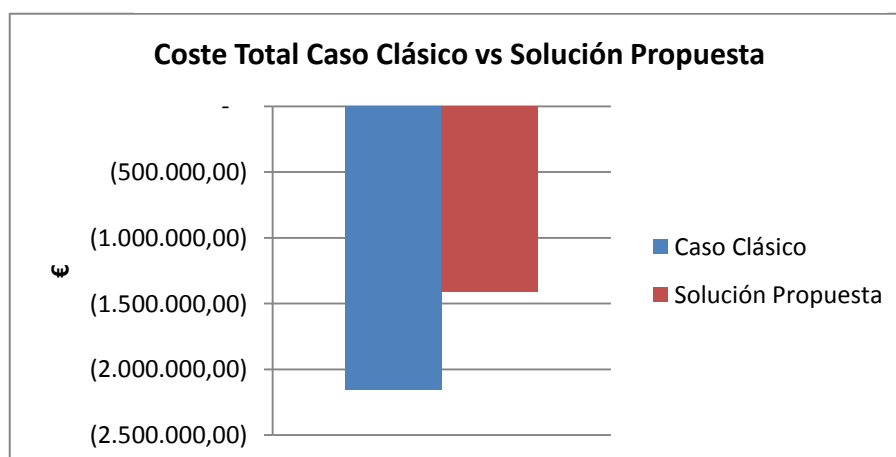


Figura 63 Comparación coste total Caso Clásico y Solución Propuesta

La Figura 1 representa los costes totales anuales que supone instalar cada una de los casos, mientras que la Figura 2 representa el coste total de cada situación.

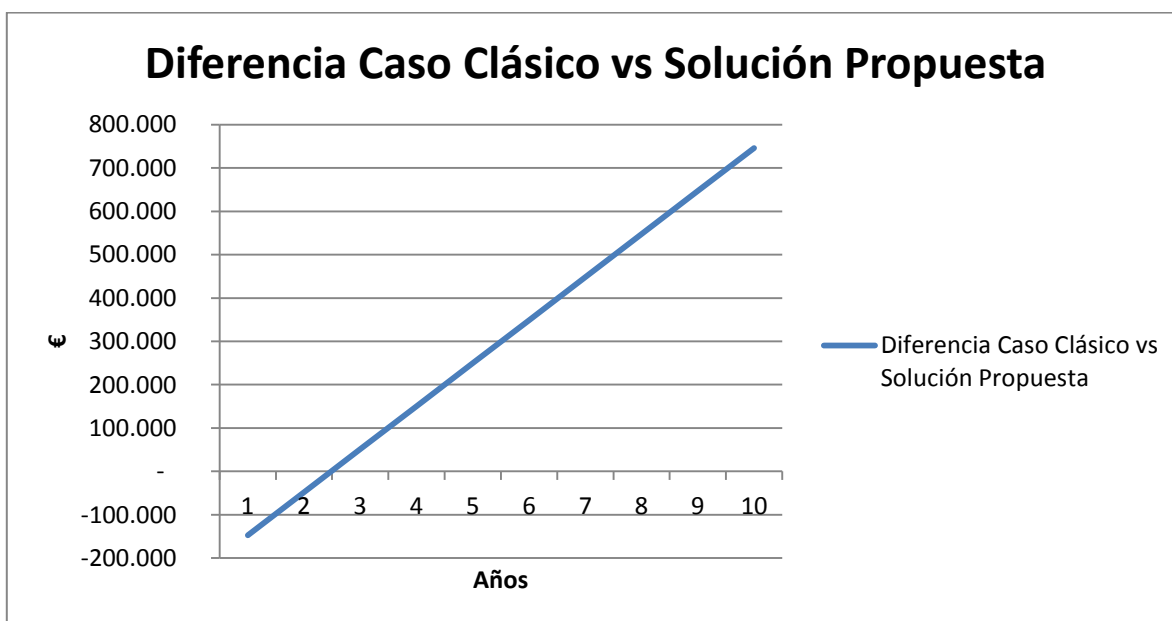


Figura 64 Diferencia Caso Clásico vs Solución Propuesta

En la Figura 3 se puede observar la diferencia en la evolución del coste. La inversión inicial es más elevada que en el caso clásico, por lo que al principio sale más económico instalar el Caso Clásico. Sin embargo, al poco tiempo, dicha inversión económica se va recuperando. En el año 3 ya sale más rentable haber instalado la solución propuesta. Finalmente el ahorro de instalar la Solución Propuesta frente al Caso Clásico es de 760.000 €.

### 3. Conclusiones Energía

Incorporar energía renovable en una mini red para satisfacer las necesidades de demanda puede ser muy costoso. De todas formas, cada simulación del modelo tiene sus ventajas y desventajas. Se ha considerado la mejor opción con el mejor análisis de coste y beneficio en términos económicos y del medio ambiente.

La solución de la propuesta eléctrica es la siguiente:

- De las opciones de las simulaciones de carga eléctrica, se ha decidido optar por la opción “Caso 3”, con un 27.2% de penetración fotovoltaica y un valor actual neto de 9.15 m€ para la vida del proyecto de 10 años. Se ha tomado esta simulación como solución porque es la que mejor hace balance del aspecto económico y sostenible. A continuación se comparará dicho caso, el 3, con el 2 y 4.

Comparación Caso 3 y 2: El valor actual neto es un 9%, tiene más del doble de penetración de energía renovable y las emisiones se reducen en un 16%.

Opción	NPC (m€)	Energía Renovable (%)	Emisiones CO <sub>2</sub> (t/año)
Caso 2	8,41	12,6	3.554
Caso 3	9,15	27,2	2.983
Variación	9%	116%	-16%

Tabla 35 Comparación Caso 3 y 2

Comparación Caso 3 y 4: el valor actual neto del caso 4 es un 10% mayor al 3, la contribución de energía renovable es menos del doble y las emisiones se reducen un 17%.

Opción	NPC (m€)	Energía Renovable (%)	Emisiones CO <sub>2</sub> (t/año)
Caso 3	9,15	27,2	2.983
Caso 4	10,1	42,9	2.469
Variación	10%	58%	-17%

Tabla 36 Comparación Caso 3 y 4

Mencionar finalmente que la potencia fotovoltaica a instalar en el Caso 3 es de 1.268 kW, frente a los 552 kW y 2.106 kW de los casos 2 y 4 respectivamente. Es cierto que instalar 1.268 placas solares de 1kW cada una resulta un número elevado, pero a un tamaño promedio de 2 metros cuadrados por placa (Aparicio Sáez-Bravo, 2018) y con 1.600 metros cuadrados en cada azotea es viable. Una distribución posible sería un tercio, 422, de placas en cada azotea, lo que supone una utilización del 53% del espacio para la instalaciones de paneles solares.

- La propuesta para combatir la carga térmica es la de instalar las 6 calderas de biomasa de potencia de 132 kW cada una alimentadas con pellet. Como se mencionó en el apartado anterior, el coste inicial es mayor en la utilización de calderas de biomasa que de gas natural, ya que la potencia que generan las calderas de gas natural es mucho mayor que las de biomasa, por lo que es necesario instalar más de las últimas para combatir la carga térmica. Sin embargo, los costes se van asemejando al paso del tiempo, ya que el coste variable de usar pellet en vez de gas natural es menor, hasta llegar incluso a ser más barato usar biomasa a partir del décimo año de vida del proyecto.

Mencionar que no se han cuantificado las emisiones de CO<sub>2</sub>. Si se hubiese asignado un coste por cada kg de CO<sub>2</sub> emitido a la atmósfera, el coste de usar gas natural sería mayor aun.

Valor actual neto de la instalación en los 10 años de vida del producto:

**9.4 millones de €.**

## 4. Conclusiones Solución Conjunta

### 4.1 Conclusiones de sostenibilidad

La opción más sostenible es la de incorporar la Solución Propuesta como instalación en el parque científico y sostenible. Se ahorran 38 millones de litros de agua al año, un 57% menos que con el Caso Clásico. Además, el 27.2% de la energía necesaria para abastecer el parque científico se obtiene de energías renovables y de forma autosuficiente, lo que supone un 16% menos de emisiones de CO<sub>2</sub>. Finalmente, el total de la carga térmica se suministra de forma ecológica con las calderas térmicas de pellets, evitando verter las 69 toneladas de CO<sub>2</sub> a la atmósfera que se producirían si se venciese la carga térmica con calderas dotadas de gas natural. En total, las emisiones disminuyen en un 27% en la Solución Propuesta frente al Caso Clásico.

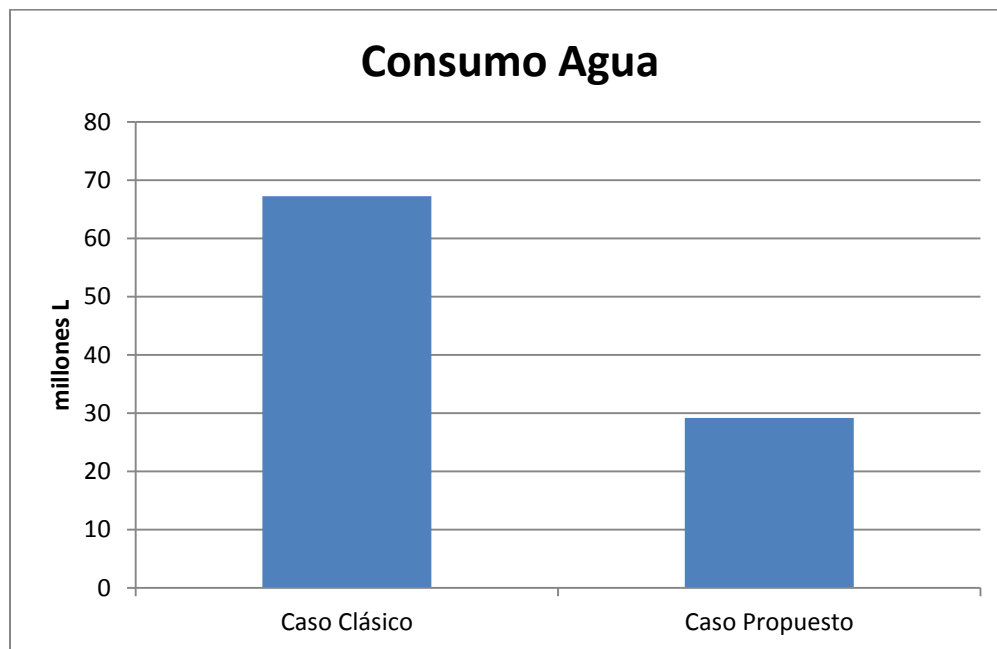


Figura 65 Resumen Consumo de Agua



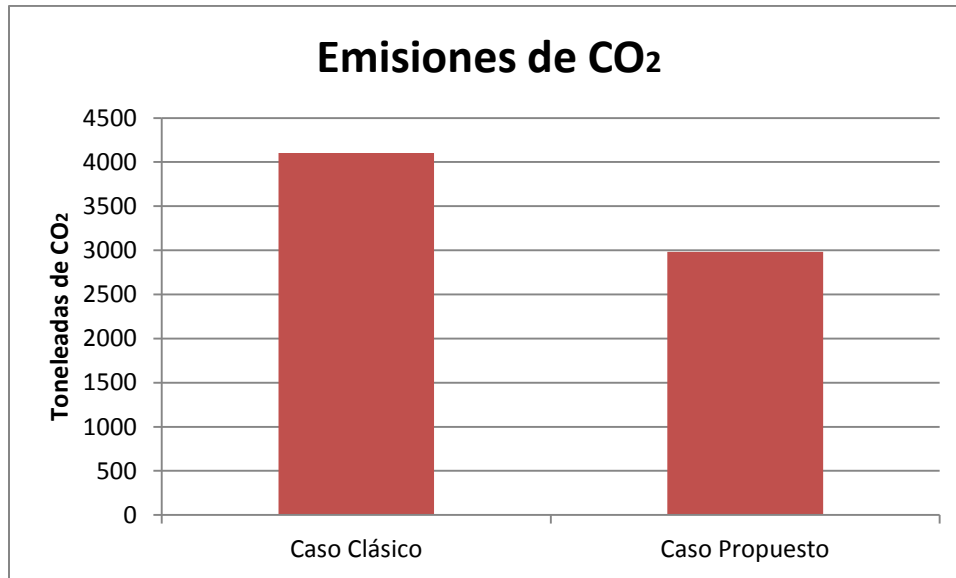


Figura 66 Resumen de Emisiones de CO2

## 4.2 Conclusiones de los presupuestos económicos

El resumen del presupuesto económico se encuentra en la Tabla 37 y se puede ver de forma gráfica en la Figura 67.

	Caso Clásico	Solución Propuesta
<b>Agua</b>	2,16	1,41
<b>Energía</b>	8,08	9,41
<b>Total</b>	<b>10,24</b>	<b>10,82</b>

Tabla 37 Resumen presupuesto económico

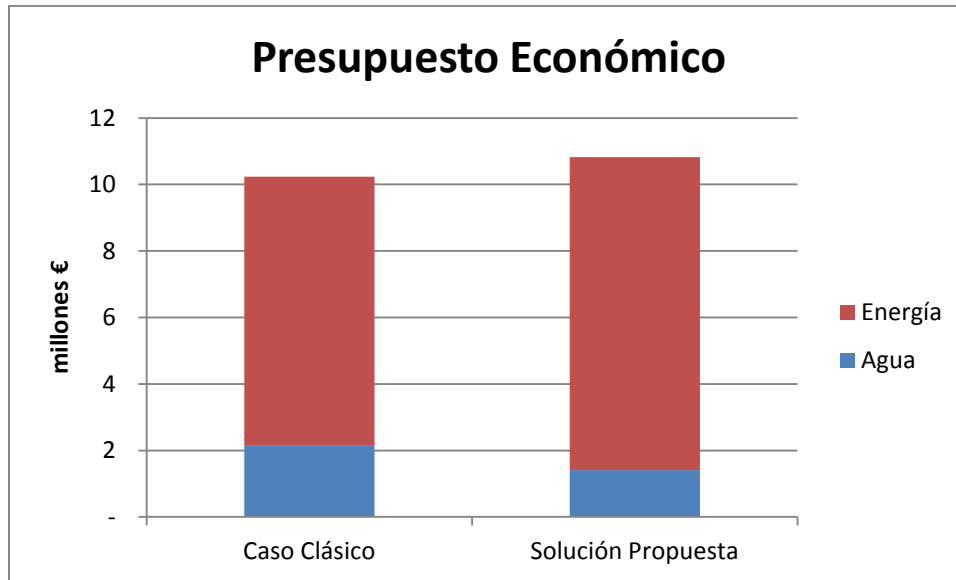


Figura 67 Presupuestos Económicos

Como se puede observar, instalar la Solución Propuesta resulta más costoso, casi 0.6 millones de €, que el Caso Clásico. Esto se debe a que el coste del pilar de la energía es mucho mayor en la solución propuesta en este proyecto, a pesar de que realizar la instalación salga más económico en dicho caso. Reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> instalando paneles fotovoltaicos es muy costoso, pero a cambio resulta beneficioso para el medio ambiente.

## 5. Referencias

Aparicio Sáez-Bravo, A. (2018) 'Ingeniería de detalle de una planta solar fotovoltaica de 4MW'. Available at: <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/handle/11531/18224> (Accessed: 24 June 2019).

# DOCUMENTO II

## ANEJOS



**COMILLAS**  
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

**ICAI**



# Parte I

## Presupuesto e Instalación

### Depósito Aguas Pluviales



**COMILLAS**  
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

**ICAI**



**A la atención de:**

Sr. Alvaro Veuthey

alvaroveuthey@gmail.com

Ref.: 057/0619

28-junio-2019

# ecoaigua

## Depósito de aguas pluviales

- Depósito de aguas pluviales 50 m<sup>3</sup> marca ecoaigua® para enterrar fabricado en Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio.

### Componentes del sistema:

Filtro de gran capacidad

2 Bocas de registro superior Ø 400 roscadas

2 Tubos de PVC Ø 110 mm. (entrada y salida)<sup>1</sup>

VOLUMEN litros	DIÁMETRO mm.	LONGITUD mm.	PRECIO NETO UNITARIO
50.000	2.500	10.600	11.659 €

Altura boca de registre: 150 mm.

### No incluye:

- Preinstalación e instalación
- Transporte
- Impuestos

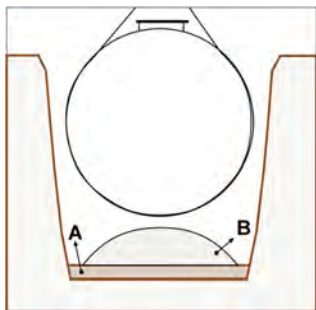


<sup>1</sup> Tubos entrada, para diámetros superiores a 110 consultar.

# ecoagua

## INSTRUCCIONES DE INSTALACIÓN

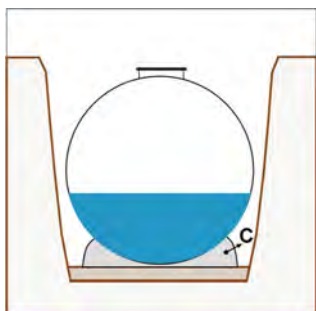
### Depósitos y depuradoras horizontales enterrados/as



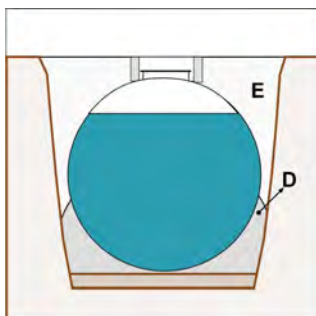
1.- Excavar un foso cuyas medidas superen en más de 40 cm las dimensiones del depósito (tanto en longitud como en anchura). Cuidar que el fondo de la excavación quede correctamente nivelado y sin escalones.

2.- Construir una losa de hormigón armado de 20 cm de grosor (A), prestando especial atención en asegurar que la superficie de la losa quede perfectamente nivelada, libre de piedras, escalones o cantos vivos.

3.- Mediante los medios de elevación adecuados, situar el depósito directamente sobre el planché. Llenar el depósito con agua hasta una altura de 500 mm (para evitar que pueda flotar en el hormigón) y a continuación verter hormigón pobre (B), en estado muy líquido, a lo largo de los laterales del depósito.



El hormigón líquido deberá formar una cuna que llegue hasta hasta un tercio de la altura del depósito (C) o hasta la mitad si se trata de cisternas de Ø 3500 mm o superior. Esta cuna de hormigón permite que el peso del depósito y de su contenido se reparta homogéneamente en toda la superficie de la losa de hormigón armado. No es en absoluto aconsejable el uso de arenas o gravas para formar la cuna de apoyo, puesto que estos materiales son arrastrados por la acción del agua, dejando el depósito sin su base de apoyo.



4.- Rellenar el resto de la excavación con arena fina lavada, libre de gravas, piedras, cascotes o cantos vivos (D). No utilizar máquinas compactadoras o vibratoras para el asentamiento del material de relleno.

**Las aguas subterráneas pueden actuar sobre el depósito enterrado, haciendo que flote cuando este se encuentra vacío. Por este motivo, cuando se detecta la presencia de nivel freático deberá rellenarse la totalidad de la excavación con hormigón pobre líquido (en lugar de arena). El relleno de hormigón se realizará en varias etapas: en primer lugar introducir 30-40 cm de agua en el interior de la cuba y a continuación verter con cuidado alrededor del tanque una capa de 30-40 cm de hormigón. Repetir la operación hasta cubrir completamente el depósito, siempre asegurando que el nivel exterior de hormigón no supere al nivel interior de agua, evitando así que el depósito pueda flotar.**

5.- Dejar previstas arquetas de inspección en las bocas de acceso.

6- El nivel de tierra de relleno por encima del depósito no sobrepasará los 0,4 m de altura.

7.- Cuando pueda registrarse paso de vehículos por la superficie del depósito, deberá rellenarse la excavación con hormigón pobre en masa. Si el paso de tráfico rodado es frecuente o su peso considerable, deberá también construirse una losa de hormigón armado de un grosor mínimo de 20-25 cm, cuyas dimensiones sobrepasen en 90 cm (45 cm en cada extremo) las dimensiones de la excavación, tanto a lo largo como a lo ancho (descansando sobre terreno firme). Si las dimensiones de agujero lo requieren, colocar vigas de apoyo para refuerzo del planché (apoyando sus extremos sobre terreno firme).

Si el terreno es blando y existe riesgo que el planché pueda moverse o ladearse, deberán construirse cuatro pilares verticales que descansen sobre el planché inferior.



# ecoagua

El fabricante declina cualquier responsabilidad sobre los desperfectos que puedan ocasionarse debido al incumplimiento de las instrucciones de instalación descritas anteriormente.



## Parte II

# Opciones de tratamiento de aguas negras o grises



**COMILLAS**  
UNIVERSIDAD PONTIFICIA









**ICAI**






## 4 Summary of water treatment technologies










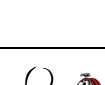
This chapter provides a summary of water treatment technologies. The technologies are broadly described to reflect the type of technology as identified in Figures 7 and 8.

**Table 7. Summary of water reuse technologies and their key elements (the figures quoted are those supplied by the manufacturer or distributor of each technology)**

Water treatment technology	Typical scale <sup>7</sup>	Treatment technology	Other information	Water quality suitable for <sup>8</sup> :	Footprint (m <sup>2</sup> )	Capital expenditure (\$'000)	Operating costs (per year)
Nubian (see page 53)	0.5 – 1.1 kL/d (2-6 EP)	Biological filtration followed by membrane filtration	Greywater treatment		3	5 + installation	Low
Perpetual Water (see page 56)	0.5 – 0.7 kL/d (2-6 EP)	Physical – sedimentation followed by adsorption	Modular greywater system		1.5	6.5 + installation	\$365
Clearwater Aquacell (see page 47)	0.5 – 100 kL/d (2- 500 EP)	Membrane bioreactor	Modular system catering to wide range of scales.		1.2 – 124	13 (single house) 100 (500 EP)	\$500 (6 EP) \$5500 (500EP) \$10,000 (1000EP)
Biolytix (see page 42)	0.5 – 10 kL/d (2-50 EP)	Natural - Humus filter situated at each household	Decentralised treatment	Subsurface irrigation	2.4 – 16	13 per house	\$400
Biolytix (+UF) (see page 42)	12 – 100 kL/d (60-500 EP)	Natural - Humus filter coupled with a modular ultrafiltration unit	Combines decentralised treatment with reuse opportunities		35 – 500	30 for 50 EP	\$1,200
Novasys – BIOSYS (see page 44)	1 - 150 kL/d (5-1000 EP)	Biological – fixed film bioreactor	Additional treatment required for water to be used for non-potable water	Restricted irrigation.	2	-	-
Rootzone (vertical filter – greywater wetland) (see page 41)	0.5 – 360 kL/d (2 - 1800 EP)	Subsurface wetland with a vertical recirculating filter	Land intensive treatment process	Disinfection required 	2 - 800	5 (single house) 40 (100EP)	\$2,000 (100 EP)
Rootzone (horizontal wetland) (see page 45)	0.5 – 360 kL/d (2-1800 EP)	Subsurface flow wetland followed by a vertical filter	UV disinfection is required to reduce pathogen	Disinfection required 	4 – 1600	1000 (2000EP)	
WaterPac (see page 43)	2 – 10 kL/d (20-100 EP)	Biological system – primary settling followed by recirculating media filtration	Suitable for smaller communities and cluster developments with land available	Restricted irrigation	20 – 200	10 (10-20 EP) 60 (40 EP) 120 (100 EP)	\$500 - \$2,500
KEWT (see page 46)	7.5 – 1300 kL/d (30 -6500 EP)	Primary separation in septic tank, filtered and then evapotranspiration	Additional treatment required for water to be used for non-potable water. Suitable for developments with land available for irrigation.	Restricted or subsurface irrigation	200	30 – 50 (50EP)	-
Innoflow (see page 61)	10 – 100 kL/d (50 - 500 EP)	Onsite primary & biological treatment with centralised effluent treatment (recirculating textile filter)	Small diameter sewer minimises exfiltration protecting the environment. Water reuse can be achieved by including further disinfection.	Disinfection required 	160 + onsite intercept	500 (100EP) includes reticulation	\$400 + periodic maintenance
Packaged Environmental	12.5 – 100 kL/d (50 - 400 EP)	Biological treatment followed by membrane filtration			60	350	\$25,000 (400EP)

<sup>7</sup> EP is defined as “equivalent person” as 200 L/p/d. Typical operating range describes indicative operating ranges

<sup>8</sup> Key:  suitable for toilet flushing;  suitable for outdoor uses;  suitable for cold washing machine tap

Water treatment technology	Typical scale <sup>7</sup>	Treatment technology	Other information	Water quality suitable for <sup>8</sup> :	Footprint (m <sup>2</sup> )	Capital expenditure (\$'000)	Operating costs (per year)
Solutions (ISWETS) (see page 54)							
Water Fresh (see page 39)	43 - 1000 kL/d (300 - 3000 EP)	Disinfection by a high velocity sonic disintegrator, then Struvite crystalliser coupled with filtration	Higher quality water can be attained with ultrafiltration or reverse osmosis	Restricted or subsurface irrigation	32	-	-
COPA – ReAqua MBR (see page 55)	15 – 300 kL/d (80 – 1500 EP)	Membrane bioreactor	Disinfection required.		50 – 180	150 – 1,000	\$5,800 (80 EP) - \$21,000 (1500 EP)
Aquatec-Maxcon – Kubota (see page 51)	100 – 300 kL/d (500 – 1500 EP)	Membrane bioreactor	Kubota membrane. Disinfection required.		20 - 70	380 – 452	\$15,000 - \$23,000 (100 kL/d) \$35,000 - \$45,000 (300 kL/d)
Port Marine (see page 48)	40 – 1600 kL/d (200-8000 EP)	Membrane bioreactor	UV disinfection is required for non-potable urban uses.		Small	590	\$66,125 for 30 kL/d
Ludowici – Zenon (see page 49)	5 – 1000 kL/d (50-4000 EP)	Membrane bioreactor	Disinfection required.		56-150	50 – 1400	\$30,000 (50 kL/d) \$100,000 (200kL/d)
Veolia (see page 50)	100 – 500 kL/d (500 – 2500 EP)	Membrane bioreactor	Disinfection required.		200	540 - 1400	\$0.55/kL \$20,000 (100 kL/d) \$100,000 (500 kL/d)
Memcor – Memjet Xpress (see page 52)	100 – 400 kL/d (500-2000 EP)	Membrane bioreactor	Disinfection required		50 - 100	500 (100 kL/d) 800 (400 kL/d)	\$55,000 (100 kL/d) \$82,000 (400 kL/d)
NuSource Water (see page 60)	50 – 2000 kL/d (200-8000 EP)	Membrane filtration	This sewer mining process can respond quickly to changing water demands, hence little onsite storage is required to cater for seasonal demand, for example irrigation.		30	650 (50 kL/d) 1100 (200 kL/d)	\$37,000 (50 kL/d) \$84,000 (200 kL/d)
COPA (ReAqua HBNR) (see page 40)	6.2 – 7000 kL/d (30 – 35000 EP)	Biological process – intermittently decanted extended aeration	Disinfection required.			200 (30 EP) – 1000 (2000 EP)	\$5,000 (30 EP) - \$25,000 (2000 EP)
Memcor CMF, AXIM (see page 59)	40 – >3000 kL/d (200->15000 EP)	Membrane filtration	Tertiary treatment processes designed to upgrade secondary effluent. Additional front end treatment processes required. Systems greater than 3000kL/d are custom designed.		7 - 13	AXIM 250 (40 kL/d) 350 (500 kL/d) AXIA 450 (500 kL/d) 2600 (3000 kL/d)	AXIM \$8,000 (40 kL/d) \$27,400 (500 kL/d) AXIA \$22,000 (500 kL/d) \$55,000 (3000 kL/d)
COPA – ReAqua CAS (see page 57)	500 – 5000 kL/d (2000-25000 EP)	Fine solids separator (FSS) followed by biological process. Further disinfection is required.	The FFS is an excellent solid-liquid separator for processes such as sewer mining.		14 for 4500 EP	600	\$77,000 (500 kL/d) \$150,000 (1000 kL/d)
Baleen (see page 58)	9000 – 38000 kL/d (45000-200000 EP)	Filtration	Additional treatment required to attain non-potable urban water uses	Further treatment required	3.5 – 9	24	\$0.65/100kL

Localised residential development  
e.g. multi-unit dwellings

Large scale residential development

## 4.1 Chemical

### 4.1.1 WaterFresh – Struvite Crystalliser

**Process description:** Disinfection with a High Velocity Sonic Disintegrator and Chemical treatment (with MgO), filtration (zeolite).

Screened sewage is dosed with  $\text{ClO}_2$  in a mixing tank and introduced to a Cell Detention Unit (CDU) where it is disinfected with a High Velocity Sonic Disintegrator. It is then dosed with Magnesium, nutrients are removed by the production of Struvite ( $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) which forms in the crystallizer. Oil and grease is also absorbed by the MgO. Zeolite replacement filters remove the Struvite crystals and remaining MgO. Low pressure in the zeolite filter absorbs any remaining ammonia. Ultrafiltration or RO can be used depending on water reuse application. The saturated zeolite filter medium can be used as a soil improver / slow release fertiliser.

Expected performance would meet class A standards, with  $\text{BOD}_5 < 5\text{mg/L}$ ,  $\text{SS} < 5\text{ mg/L}$ ,  $\text{E.Coli} < 1/500\text{mL}$  and  $\log_5$  virus reduction. Phosphorus reduction to  $0.2\text{mg/L}$  and Nitrogen to  $4\text{mg/L}$ .

**Operating range:** 300 – 3000 EP, (43 kL/d - 1000 kL/d)

**Indicative costs:** Capital costs and operational costs are not available.  
Operational costs are 'low'.

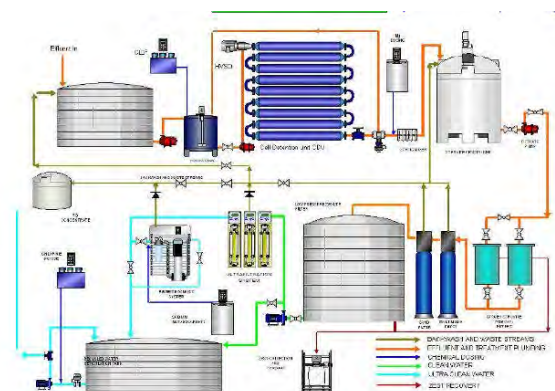
**Maintenance Requirements:** Contractors check plants periodically to ensure the performance of the plant, top up chemicals and remove byproducts. Regular monitoring requirements can be carried out on site by an appropriately trained individual.

**Examples include:** EPA Licensed, Council Approved (Miriam Vale Shire), WaterFresh plant at 1770 and Agnes Waters communities. A 180 litre per minute (260kL/d) plant has been built at 'Sunrise' at 1770, Queensland, Australia.

**Footprint:** low,  $\sim 0.1\text{m}^2/\text{EP}$ .  
 $32\text{m}^2$  for typical 300+ EP system.

**Power consumption:**  
No information provided.

For more information see:  
[www.waterfresh.com.au](http://www.waterfresh.com.au)



Generic P&ID of an MST system using septic tank effluent

## 4.2 Biological

### 4.2.1 COPA Water – ReAqua HBNR

**Process Description:** Biological Nutrient Removal (BNR) process followed by physical multi media filtration and disinfection. BNR is an intermittent activated sludge treatment system with aeration, settling and decant in the same reactor. This is followed by multi-media filtration, UV disinfection, sodium hypochlorite dosing for residual chlorine and sludge storage and thickening.

The expected performance would meet class A standards, with  $BOD_5 < 10 \text{ mg/L}$ ,  $SS < 10 \text{ mg/L}$ , turbidity  $< 2 \text{ NTU}$ . Nitrogen reduced to about  $10 \text{ mg/L}$ , chemical phosphorus removal if required to  $< 1 \text{ mg/L}$ . Pathogen removal with UV treatment is required to achieve the desired treatment.

**Operating range:** Plants can be designed for flows 6.2 – 7,000 kL/d (30 – 35,000 EP)

For EP range 30 - 400, a single tank BNR process is generally used. For 400 – 35,000 EP a hybrid BNR plant would consist of two tanks for enhanced treatment with an Aerobic-Anoxic Tank and an Intermittent Aeration Tank.

**Indicative Capital costs:** Capital costs range from approximately \$200,000 (30 to 100 EP) to \$1,000,000 (2000 EP) depending on site specifics and automation requirements.

**Indicative Operation & Maintenance costs:** Operational Costs are estimated at \$5,000 for a 30 EP plant, and \$25,000 for a 2000 EP plant. These costs include operational costs (electricity, etc.) and operator costs (labour) with typical maintenance requirements of one visit (2-4hrs) per week.

**Energy consumption:** Typically 10 to 12 c/kL (12c per kWh).

**Footprint:** The 6.2 kL/d plant approximately  $50\text{m}^2$  and the 400 kL/d plant approximately  $300\text{m}^2$ .

**Life Cycle:** 25 Years

**Examples include:**

- underground plant at Twelve Apostles Visitor Centre (VIC) for 150EP,
- Rosewood STP 600kL/d (QLD),
- Burrum Heads STP 325 kL/d (QLD) and
- Dunsborough STP 2000 kL/d (WA).

For more information about the ReAqua HBNR: [www.copawater.com.au](http://www.copawater.com.au)



#### 4.2.2 RootZone – Greywater Vertical Treatment Unit

**Process Description:** RootZone's vertical filter treats greywater through biological processes (biofilm on media surface) and physical process (filter media) followed by UV disinfection. The unit contains a filter media which is porous, irregularly shaped for enhanced surface area and increased biological treatment efficiency. The raw feed is pumped in 200L cycles to the vertical filter bed which is an open round tank planted with reeds to keep the surface of the media open and prevent clogging or ponding.

Expected performance can meet class A standards, with BOD<sub>5</sub> < 10 mg/L, NTU < 2. Nitrogen reduced to about 50%, phosphorus removal around 75%. Pathogen removal with UV treatment to E Coli<1.

**Operating range:** Plants can be designed for flows 0.5 - 360 kL/d (2 – 1800 EP).

**Indicative costs:** Capital costs are approximately \$5,000 for a household system and \$40,000 (100 EP). Operational costs are estimated at \$2,000 for a 100 EP plant (excluding remote data capture and monitoring costs). The significant operational costs are operation of the UV disinfection unit and irrigation pumps, maintenance visits and effluent quality monitoring.

**Maintenance Requirements:** Typical maintenance visits 4 times per year, these involve checking the UV unit, monitoring equipment, alarms and chlorine dosing.

**Energy consumption:** Very low; small pumps (5minutes/day when required) and UV system (lamps 20-40W for household, 150-200 W for unit block)

**Footprint:** 2m<sup>2</sup> (household), 8m<sup>2</sup> (30 EP system), 800m<sup>2</sup> (1800 EP system)

**Examples Include:** Treatment plants;

- 800m<sup>2</sup> vertical filter in 17 Mile Rocks (QLD) follows a subsurface wetland as the third stage in treatment for 360 kL/d sewer mining application,
- 8m<sup>2</sup> vertical filter for 12 units in Brunswick (VIC): 32 EP, 1500 kL/d application.
- Numerous domestic applications 1-4m<sup>2</sup> filter beds in Wingecarribee (NSW)

For more information see: <http://www.rootzone.com.au/index.html>



#### 4.2.3 Biolytix with ultrafiltration

**Process description:** The Biolytix system is a biological fixed growth treatment system, using a living humus media. Physical separation processes (entrapment and filtering) occur in the soil media. Further treatment can be achieved with an add on ultrafiltration membrane process train integrated with the Biolytix filter.

"Biolytix" humus filters are suitable for decentralised wastewater treatment, typically supplying water for subsurface irrigation. They provide passive aerobic treatment using a robust organic soil ecosystem (humus) which uses the waste material and filters the water.

Expected performance with BOD<sub>5</sub> ~5 mg/L, SS ~5 mg/L from the Biolytix system and BOD<sub>5</sub> ~2 mg/L, SS ~0.55 mg/L after ultrafiltration. Nitrogen reduced to 30-50mg/L (or 5mg/L if required), 20% of the phosphorus load in the influent would be removed by the Biolytix filter. Further phosphorus removal is possible. Pathogen removal with ultrafiltration to achieve the desired treatment, chlorination prior to the membrane is possible.

**Operating range:** The Biolytix Filter modules are designed to treat 1.6, 3.3, 6.6 and 10 kL/d domestic sewage. For larger flows networks of Biolytix modules can be linked. The ultrafiltration module is designed to treat 12 kL/d, but can be designed for 3 - 100kL/d.

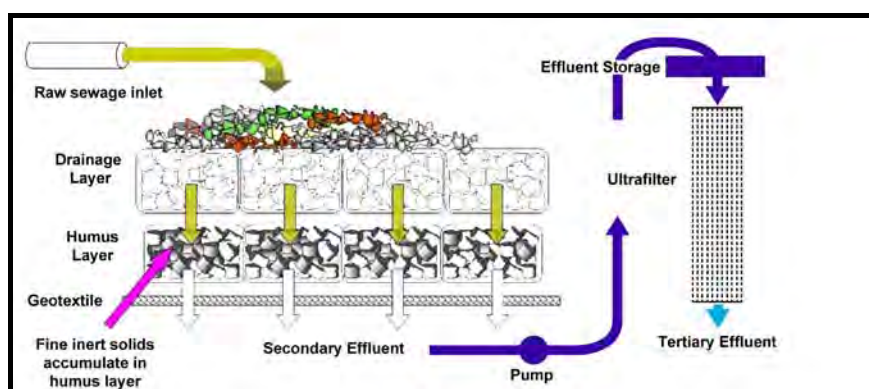
**Indicative costs:** Capital costs for the Biolytix Filter with ultrafiltration range from approximately \$13,000 (household) to \$30,000 (10kL/d, ~50 EP) excluding online monitoring requirements. Operational Costs are estimated at \$500/yr (household) to \$2,200 (10kL/d plant). Larger systems are available upon request.

**Maintenance Requirements:** Standard maintenance visits each year (provided by Biolytix), humus removal approximately every 4 years, sediment removal every 10 years, replacement of parts for pump every 6 - 20 years and ultrafiltration membrane replacement every 6 years approximately.

**Energy consumption:** Very low energy requiring only 0.25 kWh/kL (varies slightly subject to treatment plant configuration and loading rate).

**Footprint:** 2.4/5m<sup>2</sup> (household), 16/20m<sup>2</sup> (10 kL/d system) for standard system/filter with ultrafiltration respectively.

**Examples:** Many households, eco-resorts, hotels and five star lodges in New Zealand, Australia and South Africa. On Macleay Island (QLD), treatment for 20 houses supply irrigation for the nearby golf course. Two cluster plants linked with some smaller plants treat over 240kL/d plant in South Africa. For more information see: <http://www.biolytix.com/index.html>



#### 4.2.4 Waterpac – NatureFlow Systems

**Process description:** The NatureFlow system is a biological treatment system. Primary chambers are used to settle out solids, like a conventional septic tank. The effluent is further treated in a media filter and UV disinfection with self cleaning UV lamp ('spinning turbine cleaner').

The media filtration is either a sand media filtration or a media filtration – dependent on the site application.

The treated effluent is disposed by land irrigation typically via subsurface irrigation or through restricted access irrigation.

**Operating range:** Plants can be designed for flows from 2 to 10 kL/d (10 – 100 EP)

**Indicative costs:** Capital costs range from approximately \$10,000 (10-20 EP), \$60,000 (40 EP) to \$120,000+ (100 EP) depending on site specifics and automation requirements. Operational Costs are estimated at \$500 for a domestic application, and \$2,500 for a 100 EP plant.

**Maintenance Requirements:** Standard maintenance service 4 times per year, replacement of UV lamps 1/yr, sludge removal 1/5-7yrs, replacement of pump 1/2-3yrs.

The NatureFlow is yet to attain accreditation in NSW.

**Energy consumption:** low; gravity discharge systems ~ 0.4 kWh/kL, pumped irrigation dispersal systems ~0.6-0.7 kWh/kL. The system uses only small pumps and UV lamps. This consumption corresponds to approximately \$15/EP/year.

**Footprint:** 2m<sup>2</sup>/EP (200m<sup>2</sup> for 100 EP). The systems are suited to residential cluster developments and smaller communities.

#### **Examples include**

- Roslyn Lodge 100EP, (QLD)
- Peppers Hidden Vale Resort 100 EP (25 kL/d), (QLD) and
- Karawatha Church 40 EP (QLD).

For more information see: <http://www.waterpacaustralia.com/>

#### 4.2.5 Novasys – BIOSYS

**Process description:** Biological treatment in a compact bioreactor containing small polymer foam cube media 'Variopor', followed by optional membrane filtration (the membrane filtration is required to meet Class A).

Wastewater is screened, the fine solids are separated before being fed to the BIOSYS compact bioreactor. The bioreactor contains carrier material for biological treatment. An optional membrane system can be installed and is required to meet Class A. Disinfection is required for Class A with either UV or chlorination.

Expected performance of the bioreactor is for Class B effluent, and with UV or chlorine disinfection effluent would meet Class A standards.

From the bioreactor  $BOD_5 < 10 \text{ mg/L}$ , total N  $< 10 \text{ mg/L}$ .

Pathogen removal to meet requirements can be achieved with UV or Chlorination.

**Operating range:** Plants can be designed for flows up to 1 - 150 kL/d (5 – 1000 EP)

**Indicative costs:** Costs are available from the manufacturer.

**Maintenance Requirements:** A 100 EP module produces 50L of sludge/week. Typical maintenance requirement is 1 hour per week. The carrier media has a 6 year warranty, the pumps and blowers have a 2 year warranty.

**Energy consumption:** pumps, blowers and UV lamp.

**Footprint:** very small  $0.02 \text{ m}^2/\text{EP}$  (1.6 x 1.3m for 100 EP) – excluding fill tanks and blowers.

**Examples include:** plants using the 'Variopor' carrier media;

- Dusseldorf STP 80,000 EP (Germany)
- Aachen STP 87,000 EP (Germany)
- Freising STP 110,000 EP (Germany)

For more information see:

<http://www.novasys.com.au/efftreat.htm>

<http://www.butec-umwelt.de/index-E.html>

#### 4.2.6 RootZone – All wastewater Horizontal Subsurface Wetland

**Process Description:** The Rootzone Subsurface Flow Wetland treats all wastewater (black and greywater) in a biological process (subsurface flow wetland) and physical process (filter media), which is followed by UV disinfection. Further treatment is provided by the 'Vertical Rootzone Filter' (which is the same as the unit used for greywater treatment, 2.2.2).

The Horizontal Filter is an adapted subsurface flow constructed wetland. The media has a much greater specific surface area and adsorption capacity for phosphates and heavy metals, as well as a high hydraulic capacity. Raw feed enters a two chamber septic tank followed by the 'Horizontal Rootzone Filter', then a 'Vertical Rootzone Filter' containing a filter media (porous, irregularly shaped for enhanced surface area and increased biological treatment efficiency), planted with reeds which keep the surface of the media open and prevent clogging or ponding.

Performance reports  $BOD_5 < 10 \text{ mg/L}$ ,  $NTU < 2$ . Phosphorus and nitrogen reduced by about 75%. Pathogen removal with UV treatment to E Coli $<1$ .

**Operating range:** Plants can be designed for flows 0.5 - 360 kL/d (2 – 1800 EP). The area requirement is based on BOD load per person per day, rather than a volume of water.

**Indicative costs:** Capital cost is approximately \$1,000,000 (2000 EP). Operational costs are minimal, with low labour requirements, no chemical costs, minimal power (predominantly the third pipe reuse pump requirement) and minimal sludge production – septic tank desludge approximately every four years.

**Maintenance Requirements:** Typical maintenance requirement is 8hr/yr (4 trips/yr). The maintenance visits involve checking UV unit, monitoring equipment, alarms, chlorine dosing if fitted. Maintenance is minimal (two people could maintain 50 systems of 2000EP). No chemical costs, low power costs (only a pressure pump for third pipe/irrigation). Desludging the septic tank would be required approximately every 4 years.

**Energy consumption:** Very low; small pumps (5 minutes/day when required), UV lamps, third pipe recycling pump requirements.

**Footprint:** 2m<sup>2</sup>/EP

**Examples include:**

- 2500m<sup>2</sup> full system for unrestricted public open space irrigation at 17 Mile Rocks
- Numerous domestic applications in Wingecarribee (NSW)

For more information see:



<http://www.rootzone.com.au/index.html>



#### 4.2.7 KEWT – GBG Project Management

**Process description:** The Effluent and Wastewater Treatment (KEWT) process consists of septic tank, zeolite filter followed by evapotranspiration beds. Each 'concrete pot or bed' contains a transpiration bed with suitable vegetation (rhizofiltration). The pots ensure no interaction with ground water and make treated water available for reuse.

Expected performance would require additional treatment to meet Class A standards, with BOD<sub>5</sub> <20mg/L, SS <30 mg/L. With additional disinfection, Class A standards could be met.

The technology is suitable for areas where land is available. Examples include golf courses, rural developments, remote or outer suburban communities with sufficient land area for underground treatment and disposal (irrigation or reuse).

**Operating range:** Typically 30EP, with plants designed for 30-6500 EP, (flows 7.5-1300 kL/d)

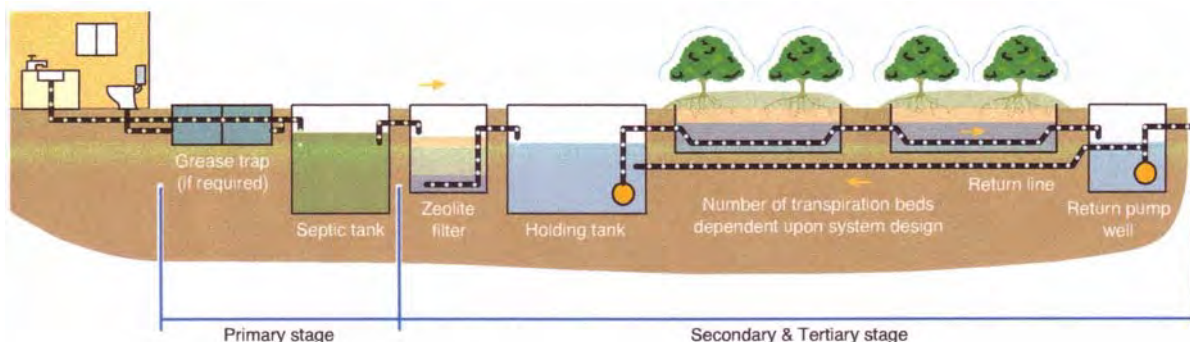
**Indicative costs:** Ranging from ~\$600 to \$2,000/EP depending on the type of installation (e.g. sewer mining, domestic or commercial) and site constraints.

**Maintenance Requirements:** A 20 year maintenance plan with associated costs is provided for each project. The key tasks include solids removal after 5 years, Zeolite removal after 8 years, pruning twice a year, Soil & Plant replacement after 10/15/20 years and General Pump Servicing. These tasks would be done by the Local Authority, responsible under the EPA licence for management of the system.

**Energy consumption:** The power requirements for the technology are minimal with energy use is solely for pumps and UV disinfection.

**Footprint:** 2-4 m<sup>2</sup>/EP. For example a 50EP requires ~ 200m<sup>2</sup>: 80m<sup>2</sup> for tanks and treatment pots, 100+m<sup>2</sup> for irrigation area.

**Examples** include trials at seven sites throughout Queensland, including industrial sites, camping grounds, amenities blocks and domestic dwellings. In particular Comet River Hotel, Burpengary Child care centre, Greenbank State School, Gem Air Caravan Park as well as the 7 test sites throughout Central Qld.



For more information see: [www.gbgprojects.com](http://www.gbgprojects.com)

## 4.3 Hybrid systems

### 4.3.1 Clearwater Aquacell

**Process description:** The Aquacell is designed to cater for single household to larger scale applications including multi-unit dwellings. The modular system is a membrane bioreactor – a combination of physical and biological processes for grey water treatment ('Aquacell G-series'). Water is collected in a storage tank, then aerobic digested treatment before ultrafiltration. Nutrient reduction is achieved with a biological membrane; contaminant removal through physical removal and microbial induced aerobic degradation. The water can be reused for toilet flushing, car washing, irrigation. Systems are also available for sewer mining applications ('Aquacell S-series' for all wastewater).

Expected performance would meet Class A standards; with BOD <5mg/L, SS <1mg/L, TN <5-15mg/L if required, Turbidity <1 NTU, 4-6 log pathogen removal and 99.9999% removal viruses.

**Operating range:** from 0.5 – 100 kL/d (2-500 EP) for residential and 200kL/d (1000EP) for commercial.

**Indicative costs:** Capital costs of \$500 per person for Commercial (1000EP = \$0.5million). \$200 per person for Residential application (500EP = \$100k). For a household system the cost is \$8.8k plus installation costs. Plant life expectancy of more than 30 years is expected.

Operational costs \$10 per person for Commercial (that is \$10k for 1000EP) and \$11 per person for Residential applications (that is \$5.5k for 500EP).

**Maintenance Requirements:** Maintenance is covered by an Essential Service Contract. This service contract includes a monthly service visit, emergency call out, phone support etc.

**Energy consumption:** Estimated power consumption ~ 0.8 kWh/kL.

**Footprint:** small, 1.2 - 124 m<sup>2</sup> including storage (0.15 m<sup>2</sup>/EP, 0.6 m<sup>2</sup>/kL).

**Examples include:** Domestic applications in NSW and larger scale applications currently being commissioned in Victoria.

For more information see: <http://www.clearwatertechnology.com.au/cwaquacell.htm>

#### 4.3.2 TCI Port Marine – ROCHEM Bio-Filt

**Process description:** The "ROCHEM Bio-Filt" is a biological (suspended) and physical (membrane) process, using a patented membrane bioreactor, with ultrafiltration. The biological decomposition of waste is achieved through microbial growth in mixed liquor, physical removal of contaminants and microbial induced aerobic degradation. The membranes are not immersed in mixed liquor. UV disinfection is included for pathogen reduction.

Expected performance would meet Class A standards; with BOD <10-15mg/L, pH 6-8, TSS <15-20 mg/L, TC < 1000MPN/100mL, FC 0. Note typical application performance BOD <30mg/L and TSS < 40mg/L.

**Operating range:** modules of 40 kL/d.

**Indicative costs:** Capital costs \$590k.

Operational costs \$66,125/yr for 30kL/d treatment (including \$850 in chemical costs and transportation, \$51,191 for electricity, \$ 4224 in operational and maintenance costs, \$5400 in replacement costs, \$500 in traveling costs and \$4000 in sludge handling).

**Maintenance Requirements:** Every few months the membranes must be treated with cleaning agents at defined intervals.

**Energy consumption:** High energy consumption. Estimated energy consumption 47 kWh/kL, with operational electricity costs per annum of \$51,191 for 30kL/d operation. (assumes \$0.1/kWh).

**Footprint:** small, 13 m<sup>2</sup> (0.08 m<sup>2</sup>/EP, 0.3 m<sup>2</sup>/kL). The small footprint enables equipment to be located in an underground carpark.

**Examples include:** Russian technology, particularly used in marine applications (ocean liners). Suitable for high-rise developments, both residential and commercial.

For more information see: English page on the Russian manufacturer site:

<http://www.rochem.ru/en.php>



#### 4.3.3 Ludowici Zenon

**Process description:** Ludowici Environmental is the distributor in Australia for the 'Zenon' membrane bioreactor between 5 and 1000 kL/d. It is a hybrid process involving both biological (suspended) and physical (membrane) treatment. Biological treatment occurs in aerobic and anoxic zones; chemical removal of phosphorus can be added if required. Contaminant removal through physical removal and microbial induced aerobic degradation.

Expected performance would meet Class A standards; with BOD <10 mg/L, TSS <10 mg/L, TN < 12mg/L.

**Operating range:** 5 - 1000 kL/d (typically 50- 4,000 EP)

**Indicative costs:** Capital costs vary with site specifics and requirements, typically \$1000/EP. Capital costs for recent projects range from \$50,000 to \$1.4 million. Operational costs vary and details are unavailable.

**Maintenance Requirements:** The mechanical items (pumps, mixers, blowers) require periodic maintenance, membranes are maintained through automated cleaning. Membranes would need to be replaced every 7 - 10 years, at a cost of \$30,000 for a 50kL/d plant and \$75,000 - \$100,000 for a 200 kL/d plant. The average plant has a life of 35-40 years.

**Energy consumption:** Estimated power consumption and electricity operational costs are not available. Pumps are required for flow balancing, and recycle streams and mixing for biological treatment, and additional energy requirements for blowers.

**Footprint:** small, 56 m<sup>2</sup> – 150m<sup>2</sup> including storage requirements for plants treating 50-200 kL/d. (~0.2 m<sup>2</sup>/EP, 0.7-1 m<sup>2</sup>/kL).

**Examples include:** Sewage Treatment Plants for resorts (Couran Cove, Iririki Island, Double Island), Schools (Beechmont, Bodalla, Sheldon), Mining applications (Burton Coal, Coppabella Mine, and Milmerran Power Station), as well as for McWilliams winery, Hexham Bowling Club and Kurrajong golf club.

NB – not all of these applications are for Zenon membrane bioreactors.



For contact email details see: [www.ludoenviron.com](http://www.ludoenviron.com)

#### 4.3.4 Veolia

**Process description:** The 'Biosep' immersed membrane bioreactor is a biological (suspended) and physical (membrane) process. Membranes are placed in direct contact with the biomass during biological treatment (Mixed Liquor). The raw water requires screening (1-2mm) before it enters the membrane bioreactor. There is no need for clarifiers and sand filtration and UV disinfection. Biological decomposition of waste occurs through microbial growth in mixed liquor, and contaminant removal through physical removal and microbial induced aerobic degradation.

Expected performance would meet Class A standards; with BOD < 5mg/L, Suspended solids are undetectable, TN 10-15mg/L, TP 0.5 - 2 mg/L. UV disinfection provides TC > 6 log removal, same for fecal coliforms and Enterococcus.

**Operating range:** 100-1500 kL/d (500 - 7500 EP)

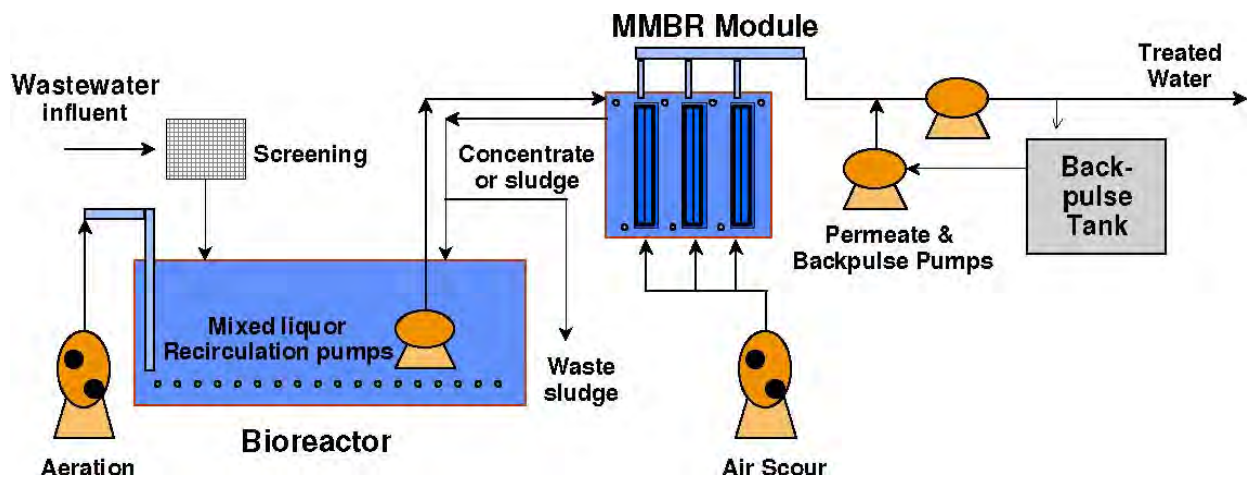
**Indicative costs:** Capital costs \$540,000 to \$1.83M. Operational costs \$0.55/kL, that is approximately \$20,000 - \$100,000/yr for plants treating 100-500 kL/d. The average life of the structures is greater than 10 years. Membranes are warranted for about 2 years.

**Maintenance Requirements:** The system would require 1-2hr/d operational support, and four days labour each year for general maintenance.

**Energy consumption:** 1.2 – 1.5 kWh/kL for water produced (includes biological system and the Biosep system).

**Footprint:** small, 200 m<sup>2</sup> for 500kL/d Biosep process with chlorine dosing (0.4 m<sup>2</sup>/kL).

**Examples include:** Veolia Water/Generale des Eaux operate ~15 wastewater treatment plants using membrane bioreactors – predominantly in France. Veolia Water System as and Anjou Recherche R&D have been involved in the design and construction of more than 30 MBR plants since 1991. There are 22 Biosep plants operating worldwide.



Process schematic of Veolia's membrane bioreactor

For more information see: [www.veoliawater.com.au](http://www.veoliawater.com.au)

#### 4.3.5 Aquatec-Maxcon: Kutoba

**Process description:** The Kubota Submerged Membrane Bioreactor (MBR) uses a flat sheet submerged membrane unit. Typical installations include a balance/storage tank, fine screen, grit removal, anoxic tank, if required alum is added for phosphorus precipitation, aeration and MBR. This is followed by UV disinfection and/or sodium hypochlorite dosing to provide chlorine residual.

Expected performance would meet Class A standards; with BOD 10 mg/L (typically 10 – 20mg/L), Suspended solids <2 mg/L, Turbidity <2 NTU, TN 15mg/L, Ammonia 0.5 – 2mg/L, TP 1 – 5mg/L. UV disinfection is included to provide an additional barrier to pathogens.

**Operating range:** Package plants are available from 30-300 kL/d (EP 150+), typical plant size 100-300 kL/day (500-1500 EP). Above 300kL/d plants can be custom designed and built.

**Indicative costs:** Capital costs range from \$380,000 to \$452,000 (excluding GST) for plants treating 100-300 kL/day, with plant life expectancy of 20 years.

Operational costs for a 100kL/d plant are \$15,000/yr in the first 4 years, \$23,000 after the first four years; for a 200kL/d plant \$25,000/yr then \$35,000 after the first four years; and for a 300kL/d plant \$35,000/yr then \$45,000 after the first four years. These costs include the whole of plant maintenance inclusive of pumps and electrical maintenance, labour (10 hours per week), and alkalinity dosing of approximately \$8000 per year. After 4 years the costs of mechanical/electrical equipment replacement requirements increase due to general wear and tear. These costs do not include sludge and screenings disposal and membrane module replacement (typically replaced after 10 to 12 years of operation).

**Maintenance Requirements:** The system requires *in situ* membrane cleaning every 6 months and normal maintenance of typically 10 hours per week. Membranes are expected to have a lifetime of 10 to 12 years with a 0.5% membrane replacement.

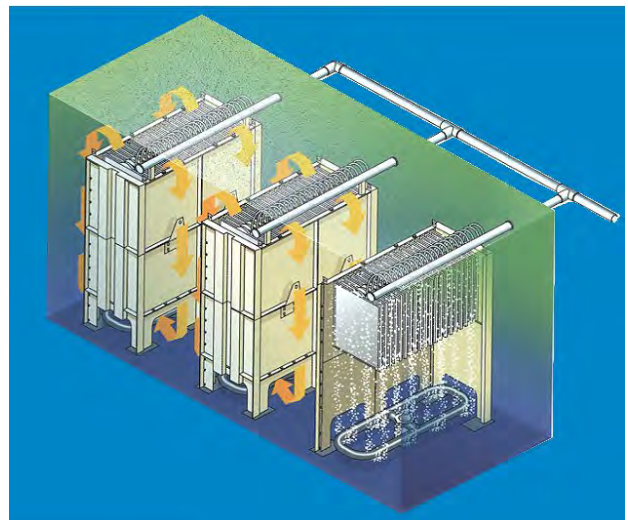
**Energy consumption:** Estimated energy consumption is 1.25 kWh/kL, including inlet pumping station, anoxic recycle, mixers, odour control and UV disinfection. Pumps are required for flow balancing, and recycle streams and mixing for biological treatment.

**Footprint:** small, 20 - 70 m<sup>2</sup> for 100 - 300kL/d plants (0.2m<sup>2</sup>/kL), excluding area for balance tank storage requirements.

**Examples include:** Tirau, Turangi and Te Aroha in New Zealand (2005). A 2000 EP plant at Picnic Bay, Magnetic Island, and a 20 000 EP plant at Victor Harbour, SA.

For more information see:

<http://www.aquatecmaxcon.com.au/>



#### 4.3.6 Memcor MBR, Memjet Xpress

**Process description:** The package membrane bioreactor is a biological treatment with integrated membrane filtration. Aerobic and anoxic treatment uses an activated sludge plus coagulant addition for P removal.

Expected performance would meet class A standards; BOD < 5mg/L, SS <2 mg/L, 0.2 NTU, E.coli <1 org/100mL, total coliforms <10 org/100mL and up to 3 log reduction of viruses. Phosphorus reduction to <1mg/L.

**Operating range:** from 100 – 400 kL/d (typically 500 – 2,000 EP)

**Indicative costs:** Capital costs range from \$500,000 for 100 kL/d plant to \$800,000 for 400 kL/d system. The plant life expectancy is 20 years.

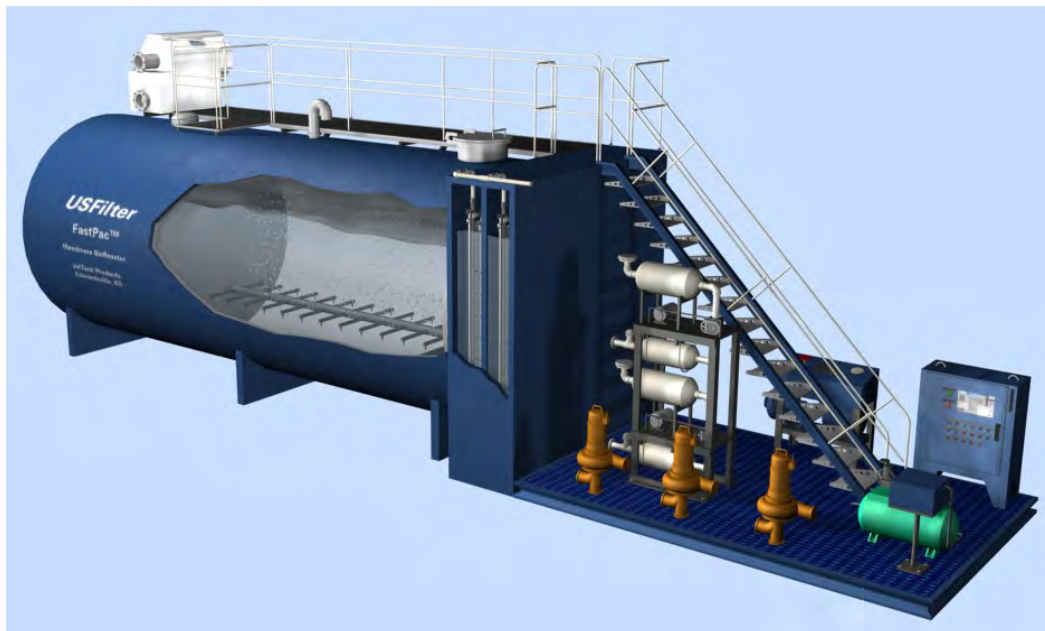
Operational costs include power, chemicals, membrane replacement and maintenance. The power costs are between \$0.21/kL - \$0.80/kL for MBR Xpress (100 – 400 kL/d). The total operational cost is between \$500/MLD and \$1500/MLD, (\$150 - \$225/day, \$55,000 – \$82,000/year).

**Maintenance Requirements:** The maintenance costs are included in the operational cost. The membranes are guaranteed for 3 years and are expected to have a life of 5 years.

**Energy consumption:** Estimated power costs range from \$0.21/kL - \$0.80/kL for MBR Xpress (100 – 400 kL/d). The average power requirements range from 15 – 30 kW, correlating to 1.8 – 3.6 kWh/kL.

**Footprint:** small, ~ 50 - 100 m<sup>2</sup> for MBR Xpress (100 – 400 kL/d), 0.25-0.5m<sup>2</sup>/kL.

**Examples include:** Numerous locations world wide including North Head STP (Sydney) providing water for process cleaning operations., Bao Steel China, Cebu Philippines, Southern Cross and Urban Workshop Buildings, Melbourne.



For more information see:

[http://www.usfilter.com/water/Business+Centers/Memcor\\_Products/Memcor\\_Products/axim\\_cmf\\_L\\_product.htm](http://www.usfilter.com/water/Business+Centers/Memcor_Products/Memcor_Products/axim_cmf_L_product.htm)

#### 4.3.7 Nubian

**Process description:** The Nubian Domestic Greywater Treatment System (DGTS) is a hybrid treatment system involving biological and physical treatment processes. The system comprises a balance tank, treatment column, and treated water storage tank. Screens remove lint and coarse material before it flows into the balance tank. The water is pumped to the treatment column where it flows down through a vertical treatment column with a non-static bed of proprietary media. Pathogen removal is achieved with UV disinfection.

Treated water quality meets Class A standards. Further treatment is available with the addition of optional membrane filtration.

**Operating range:** The modular nature of the system allows it to treat water from a single and multi dwelling residences. Operating flowrate for one module is 100 – 1200 L/day with the capacity to treat a maximum flow of 2000 L/day. Addition of each module provides a further 1200 L/day capacity (approximately 2-6 EP).

**Indicative costs:** Capital costs are approximately \$6,000 plus site specific installation and reuse requirements. Monthly monitoring and maintenance cost are \$45 which includes annual replace of the treatment cartridge, automatic water quality monitoring and bi-annual inspections.

**Maintenance Requirements:** Domestic applications require biannual maintenance (as per NSW Health Guidelines for remotely monitored systems). Industrial and commercial applications would require more frequent maintenance. Telemetry is used for immediate response to system failure.

**Energy consumption:** The treatment system is modular in design. Addition of further components for higher flow ranges (eg multi dwelling applications) reduces power consumption per kL (4.55 kWhr/kL for single dwelling applications).

**Footprint:** Single module household systems 2305 mm (width) X 450 mm (depth). Storage tanks can be situated above or below ground to minimise overall footprint of the facility. The treatment cabinet is 1005 mm (width) X 450 mm (depth). The treatment facility can be specially designed for multi dwelling applications requiring < 0.4 m<sup>2</sup>/kL.

**Examples include:** The system is currently under accreditation (6 month process beginning September 2005) with the NSW Health Department for single and multi dwellings.

For more information see: <http://www.nubian.com.au/>



#### 4.3.8 Packaged Environmental Solutions (ISWETS)

**Process description:** The ISWETS (Integrated Sensitive Waters Effluent Treatment System) is a combination of treatment processes, presented by Packaged Environmental Solutions (PES) for producing Class A water. The biological treatment is with the Kelair-Blivet™ stand-alone packaged STP (sewage treatment plant) comprising primary settlement, aerobic zone, final settlement (humus tank) and sludge storage. This is followed by microfiltration, and thermal disinfection with an energy efficient 'Fluid Disinfection System' (FDS).

Expected performance: BOD<sub>5</sub> <10 mg/L, SS <15 mg/L, 5 NTU. Nitrogen reduced to 10-12mg/L, phosphorus removal to <1mg/L. Pathogen removal with ultrafiltration to achieve the desired treatment, chlorination prior to the membrane is possible.

**Operating range:** Plants can be designed for flows 12.5 – 100 kL/d (50 – 400 EP)

**Indicative costs:** Capital costs are approximately \$350,000 for 400 EP plant.

Operational Costs are estimated at \$25,000/yr for 400 EP plant.

**Maintenance Requirements:** The system would require maintenance equivalent to 54 hours each year: 30 minutes weekly, 1hour each month, 3 hours quarterly and 4 hrs annually.

**Energy consumption:** Low power usage for Blivet STP (roughly \$1 per day with max 0.75kW Pump and motor; ~0.1 – 0.7 kWh/kL). Small, quiet compressor for the microfiltration unit. FDS can run on gas or electricity or waste heat: only 2% heat loss so extremely efficient.

**Footprint:** 60m<sup>2</sup>, (0.6m<sup>2</sup>/kL, 0.15m<sup>2</sup>/EP).

This includes 3 x 22kL tanks ~7m<sup>2</sup> (sewage surge, aerated zone, anoxic), Kelair Blivet 11-25m<sup>2</sup>, 10kL recycle tank and microfiltration, FDS, low dosage residual Chlorine dosing and irrigation storage tank.

**Examples include:** Aanuka Island Resort, Fiji will be using the Fluid Disinfection System for one of their resorts.

For more information see: [www.pescorporation.com](http://www.pescorporation.com)

#### 4.3.9 COPA Water – ReAqua MBR

**Process Description:** Biological membrane process followed by UV disinfection. The Clereflo MBR range is available as a below ground or above ground membrane bioreactor process that incorporates the Kubota flat sheet membranes into compartmentalised tanks.

The plant consists of a number of stages:

- A balance tank to ensure equalised flow and load is passed into the next stages
- An Anoxic reactor
- A baffled primary settlement tank or a primary screen for the removal of gross solids
- A membrane bioreactor zone
- A permeate holding tank

The performance would meet class A standards, with BOD<sub>5</sub> < 10 mg/L, SS < 5 mg/L, turbidity < 2 NTU.

**Operating range:** Standard plants sizes cater for flows from 15 to 300 kL/d (75 – 1500 EP) and customized plant for flows in excess of 300 kL/d.

**Indicative Capital costs:** Capital costs range from approximately \$150,000 for the smallest plant increasing to approximately \$1.0m for the 300 kL/d plant depending on site specifics and automation requirements.

**Indicative Operation & Maintenance costs:** Costs are estimated at \$5,800 for an 80 EP plant, and \$21,000 for a 1500 EP plant. These costs include includes operational costs (electricity etc.) and operator costs (Labour) with typical maintenance requirements of one visit per week (2hrs) with an additional scheduled maintenance requirement of 4 full day visits per annum.

**Energy consumption:** Typically 14 to 16 c/kL (12c per kWh).

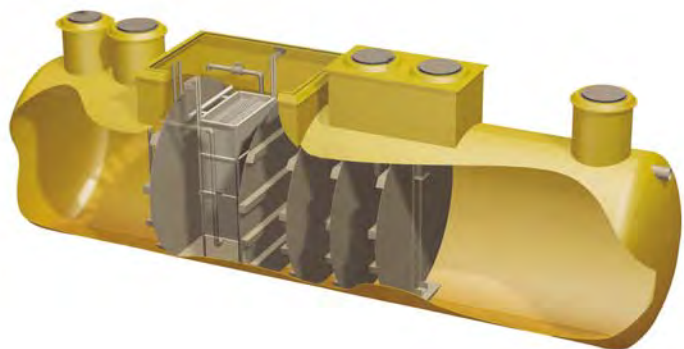
**Footprint:** The 15 kL/d plant is approximately 50m<sup>2</sup> and the 300 kL/d plant is approximately 180m<sup>2</sup>.

**Life Cycle:** 25 Years

**Examples include:**

- 60+ MBR installation in the UK and Europe
- New Farm Park Sewer mining, Brisbane Water (Qld)

For more information about the ReAqua MBR: [www.copawater.com.au](http://www.copawater.com.au)







Parte III

Simulaciones HOMER Pro  
Carga Eléctrica



**COMILLAS**  
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

**ICAI**



# Caso Clásico



**COMILLAS**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA**

**ICAI**



## System Simulation Report

---



**File:** Solo Red.homer

**Author:** Alvaro Veuthey

**Location:** Av. de Filipinas, s/n, 28003 Madrid, Spain (40°26.6'N, 3°42.4'W)

**Total Net Present Cost:** \$7,818,984.00

**Levelized Cost of Energy (\$/kWh):** \$0.117

**Notes:**

## Table of Contents

---

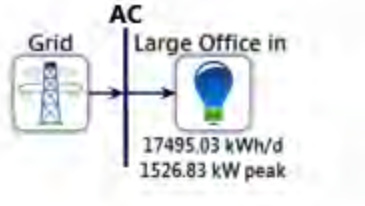
System Architecture	3
Cost Summary	4
Cash Flow	5
Electrical Summary	6
Grid: Grid	7

System Evaluation Use

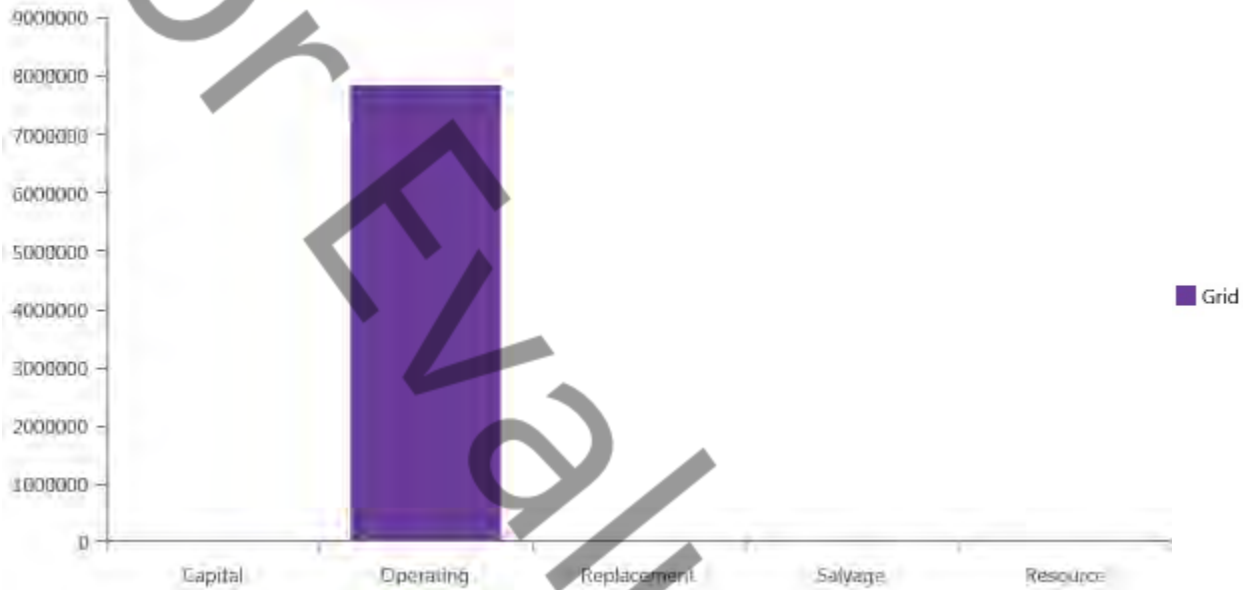
## System Architecture

Component	Name	Size	Unit
Grid	Grid	1,000,000	kW
Dispatch strategy	HOMER Cycle Charging		

### Schematic



## Cost Summary



### Net Present Costs

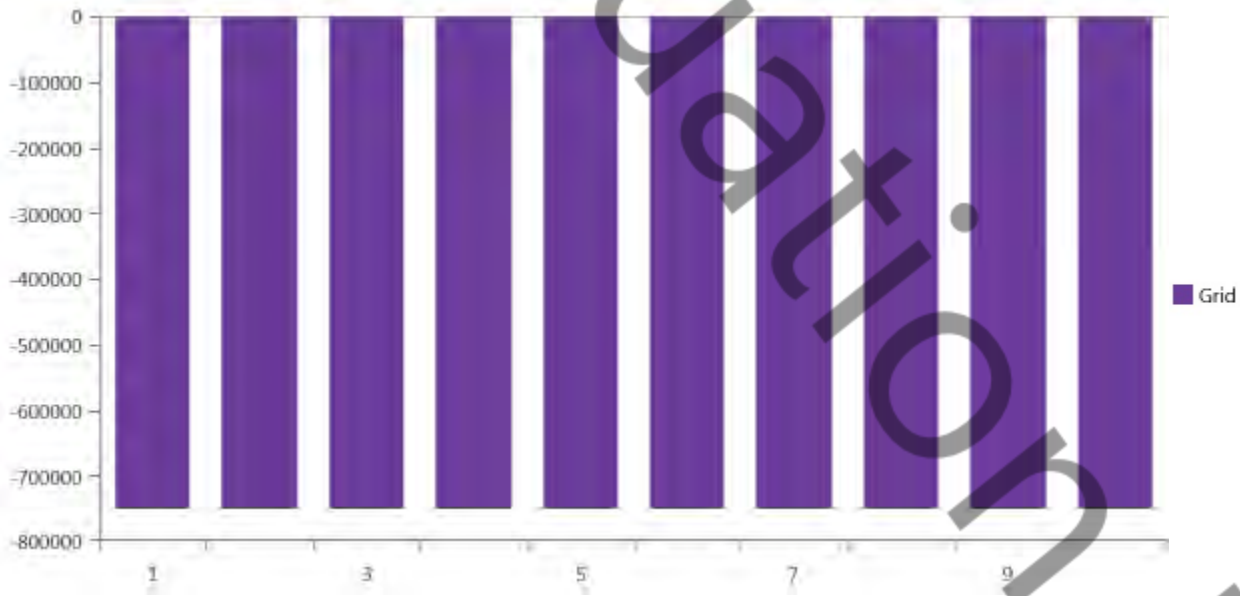
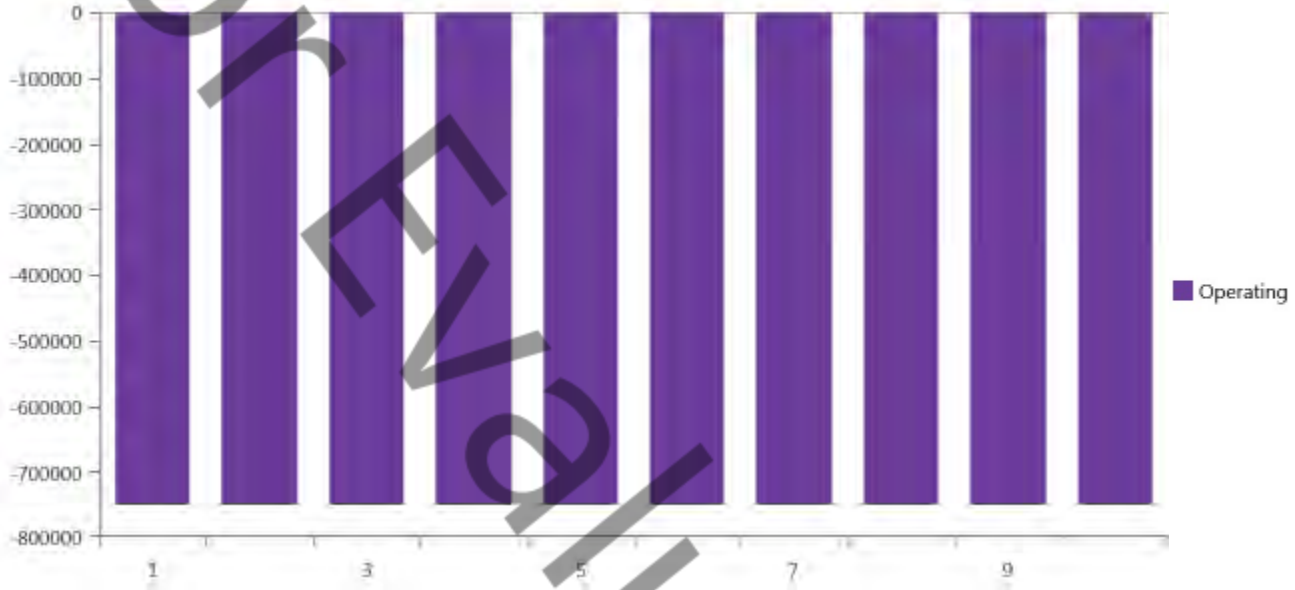
Name	Capital	Operating	Replacement	Salvage	Resource	Total
Grid	\$0.00	\$7.82M	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$7.82M
System	\$0.00	\$7.82M	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$7.82M

### Annualized Costs

Name	Capital	Operating	Replacement	Salvage	Resource	Total
Grid	\$0.00	\$749,653	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$749,653
System	\$0.00	\$749,653	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$749,653



## Cash Flow



## Electrical Summary

---

### Excess and Unmet

Quantity	Value	Units
Excess Electricity	0	kWh/yr
Unmet Electric Load	0	kWh/yr
Capacity Shortage	0	kWh/yr

### Production Summary

Component	Production (kWh/yr)	Percent
Grid Purchases	6,385,686	100
Total	6,385,686	100

### Consumption Summary

Component	Consumption (kWh/yr)	Percent
AC Primary Load	6,385,686	100
DC Primary Load	0	0
Deferrable Load	0	0
Total	6,385,686	100

**Grid: Grid**

**Grid rate: Demand 1**

Month	Energy Purchased (kWh)	Energy Sold (kWh)	Net Energy Purchased (kWh)	Peak Demand (kW)	Energy Charge	Demand Charge
January	0	0	0	1,409	\$0.00	\$0.00
February	0	0	0	1,415	\$0.00	\$0.00
March	0	0	0	1,456	\$0.00	\$0.00
April	0	0	0	1,518	\$0.00	\$0.00
May	0	0	0	1,518	\$0.00	\$0.00
June	0	0	0	1,527	\$0.00	\$0.00
July	0	0	0	1,526	\$0.00	\$0.00
August	0	0	0	1,524	\$0.00	\$0.00
September	0	0	0	1,514	\$0.00	\$0.00
October	0	0	0	1,478	\$0.00	\$0.00
November	0	0	0	1,507	\$0.00	\$0.00
December	0	0	0	1,391	\$0.00	\$0.00
Annual	0	0	0	1,527	\$0.00	\$0.00

**Grid rate: SuperValle**

Month	Energy Purchased (kWh)	Energy Sold (kWh)	Net Energy Purchased (kWh)	Peak Demand (kW)	Energy Charge	Demand Charge
January	57,333	0	57,333	0	\$0.00	\$0.00
February	51,492	0	51,492	0	\$0.00	\$0.00
March	63,090	0	63,090	0	\$0.00	\$0.00
April	66,840	0	66,840	0	\$0.00	\$0.00
May	79,964	0	79,964	0	\$0.00	\$0.00
June	86,478	0	86,478	0	\$0.00	\$0.00
July	88,145	0	88,145	0	\$0.00	\$0.00
August	90,394	0	90,394	0	\$0.00	\$0.00
September	79,587	0	79,587	0	\$0.00	\$0.00
October	69,072	0	69,072	0	\$0.00	\$0.00
November	58,782	0	58,782	0	\$0.00	\$0.00
December	56,301	0	56,301	0	\$0.00	\$0.00
Annual	847,479	0	847,479	0	\$47,713	\$0.00

**Grid rate: Valle**

Month	Energy Purchased (kWh)	Energy Sold (kWh)	Net Energy Purchased (kWh)	Peak Demand (kW)	Energy Charge	Demand Charge
January	167,112	0	167,112	0	\$0.00	\$0.00
February	150,226	0	150,226	0	\$0.00	\$0.00
March	193,265	0	193,265	0	\$0.00	\$0.00
April	205,770	0	205,770	0	\$0.00	\$0.00
May	239,979	0	239,979	0	\$0.00	\$0.00
June	244,077	0	244,077	0	\$0.00	\$0.00
July	251,159	0	251,159	0	\$0.00	\$0.00
August	256,553	0	256,553	0	\$0.00	\$0.00
September	228,445	0	228,445	0	\$0.00	\$0.00
October	212,050	0	212,050	0	\$0.00	\$0.00
November	179,048	0	179,048	0	\$0.00	\$0.00
December	156,669	0	156,669	0	\$0.00	\$0.00
Annual	2,484,352	0	2,484,352	0	\$208,437	\$0.00

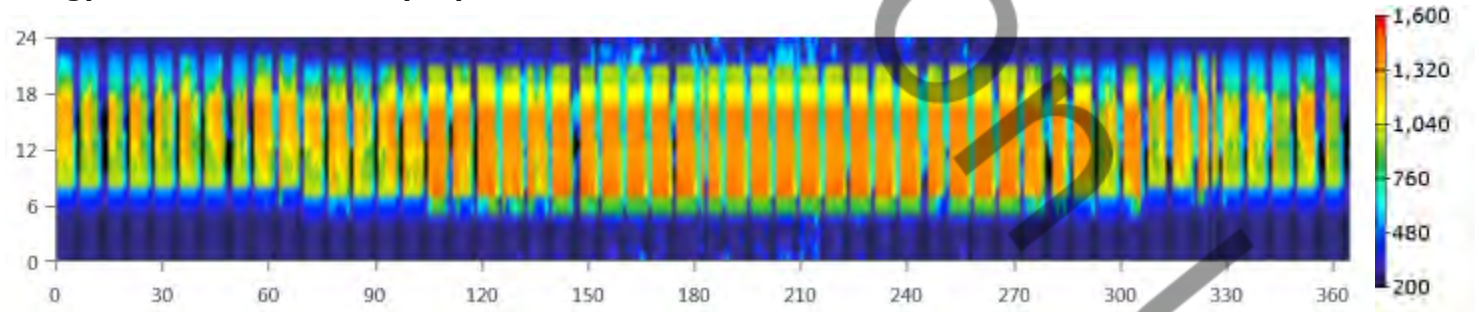
Grid rate: Pico

Month	Energy Purchased (kWh)	Energy Sold (kWh)	Net Energy Purchased (kWh)	Peak Demand (kW)	Energy Charge	Demand Charge
January	229,390	0	229,390	0	\$0.00	\$0.00
February	211,119	0	211,119	0	\$0.00	\$0.00
March	248,006	0	248,006	0	\$0.00	\$0.00
April	250,735	0	250,735	0	\$0.00	\$0.00
May	276,674	0	276,674	0	\$0.00	\$0.00
June	281,866	0	281,866	0	\$0.00	\$0.00
July	292,180	0	292,180	0	\$0.00	\$0.00
August	292,447	0	292,447	0	\$0.00	\$0.00
September	263,433	0	263,433	0	\$0.00	\$0.00
October	255,109	0	255,109	0	\$0.00	\$0.00
November	240,663	0	240,663	0	\$0.00	\$0.00
December	212,233	0	212,233	0	\$0.00	\$0.00
Annual	3,053,856	0	3,053,856	0	\$493,503	\$0.00

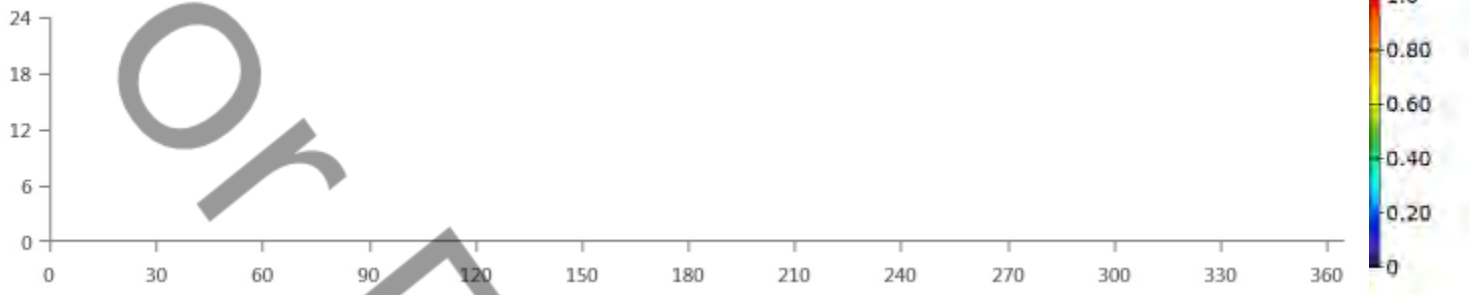
Grid rate: All

Month	Energy Purchased (kWh)	Energy Sold (kWh)	Net Energy Purchased (kWh)	Peak Demand (kW)	Energy Charge	Demand Charge
January	453,835	0	453,835	1,409	\$0.00	\$0.00
February	412,838	0	412,838	1,415	\$0.00	\$0.00
March	504,360	0	504,360	1,456	\$0.00	\$0.00
April	523,345	0	523,345	1,518	\$0.00	\$0.00
May	596,618	0	596,618	1,518	\$0.00	\$0.00
June	612,421	0	612,421	1,527	\$0.00	\$0.00
July	631,484	0	631,484	1,526	\$0.00	\$0.00
August	639,395	0	639,395	1,524	\$0.00	\$0.00
September	571,465	0	571,465	1,514	\$0.00	\$0.00
October	536,230	0	536,230	1,478	\$0.00	\$0.00
November	478,492	0	478,492	1,507	\$0.00	\$0.00
December	425,203	0	425,203	1,391	\$0.00	\$0.00
Annual	6,385,686	0	6,385,686	1,527	\$749,653	\$0.00

Energy Purchased From Grid (kW)



**Energy Sold To Grid (kW)**



For Evaluation Use



# Caso 2

## 12% Renovable



**COMILLAS**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA**

**ICAI**





## System Simulation Report

---



**File:** Prueba 1.homer

**Author:** Alvaro Veuthey

**Location:** Estadio Vallehermoso, 28003 Madrid, Spain (40°26.4'N, 3°42.5'W)

**Total Net Present Cost:** €8,411,091.00

**Levelized Cost of Energy (€/kWh):** €0.126

**Notes:**

## Table of Contents

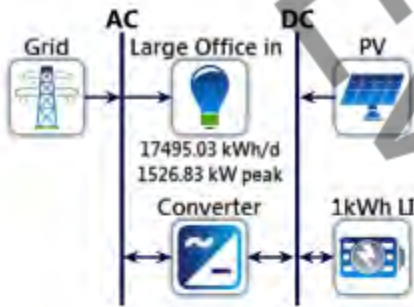
---

System Architecture	3
Cost Summary	4
Cash Flow	5
Electrical Summary	6
PV: Generic flat plate PV	7
Converter: System Converter	8
Grid: Grid Uno	9
Compare Economics	12

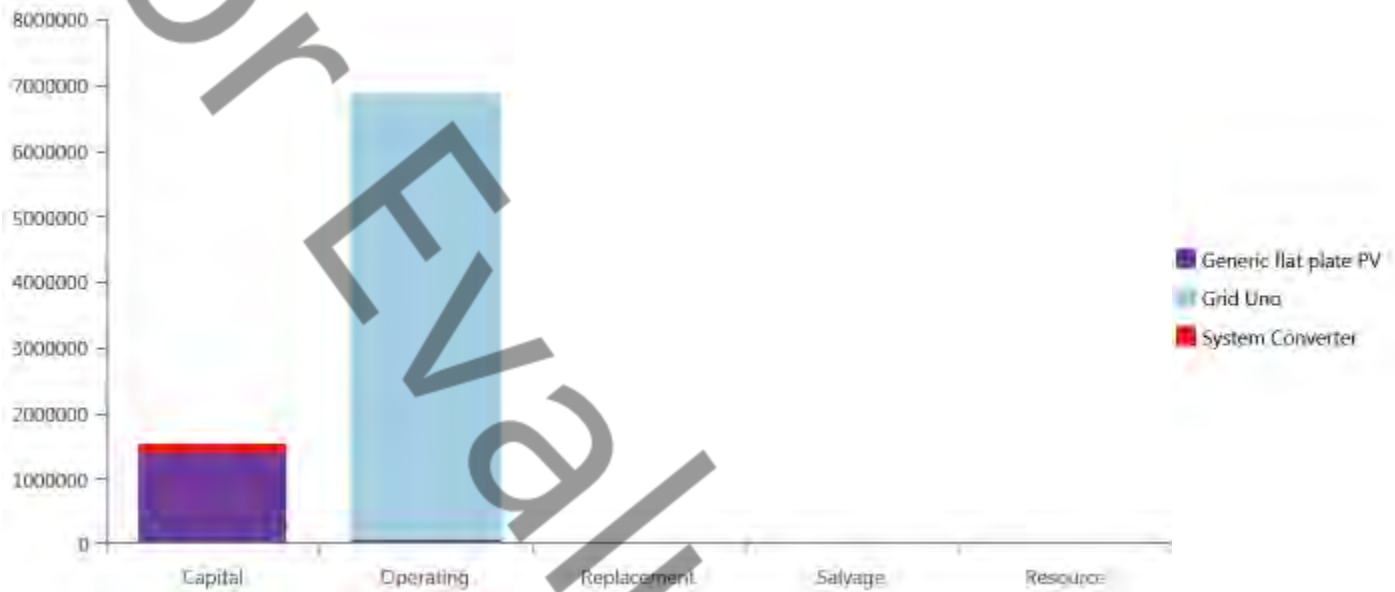
## System Architecture

Component	Name	Size	Unit
PV	Generic flat plate PV	552	kW
System converter	System Converter	506	kW
Grid	Grid Uno	1,000,000	kW
Dispatch strategy	HOMER Cycle Charging		

## Schematic



## Cost Summary



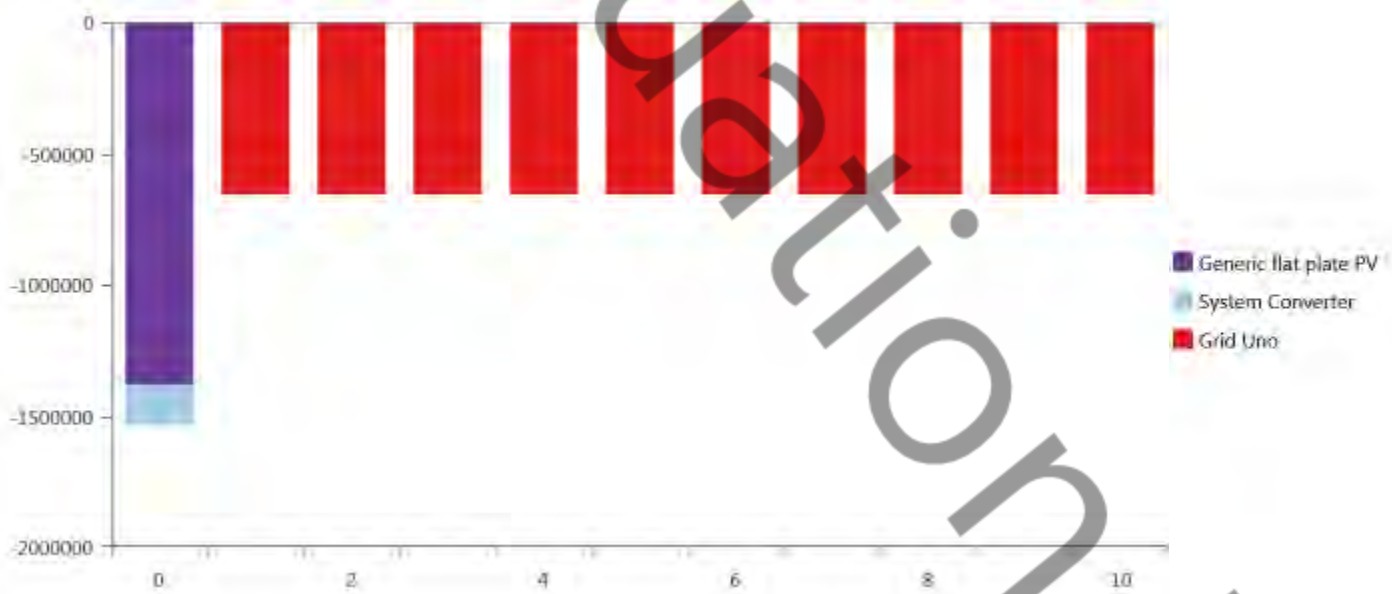
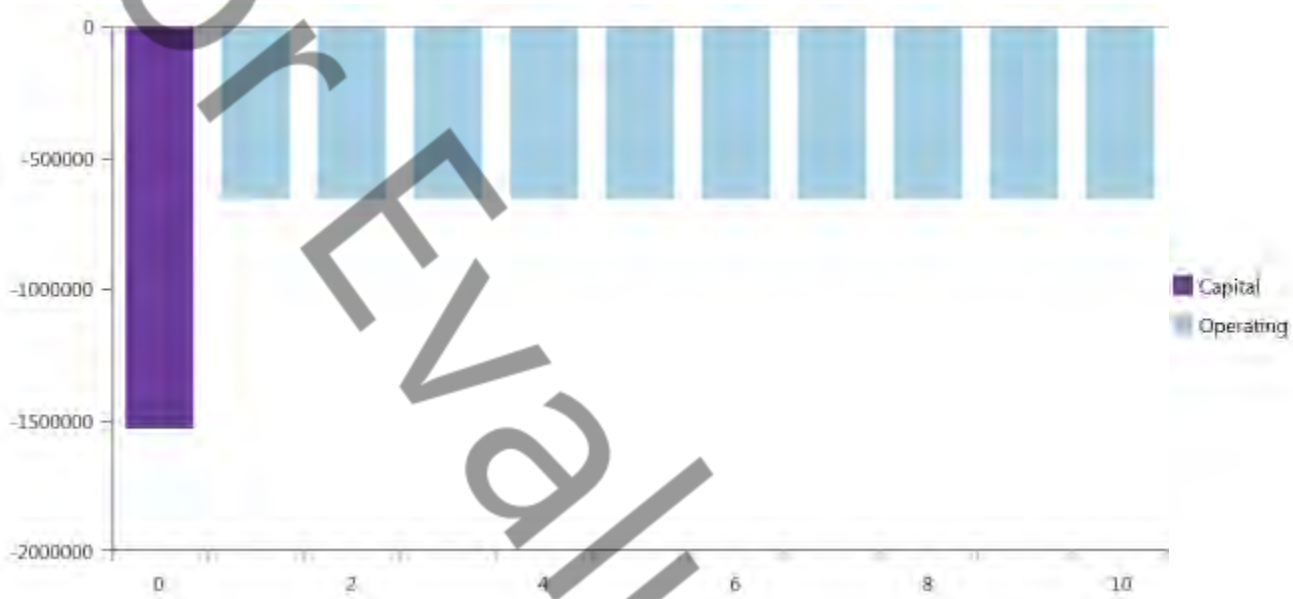
### Net Present Costs

Name	Capital	Operating	Replacement	Salvage	Resource	Total
<b>Generic flat plate PV</b>	€1.38M	€57,560	€0.00	€0.00	€0.00	€1.44M
<b>Grid Uno</b>	€0.00	€6.82M	€0.00	€0.00	€0.00	€6.82M
<b>System Converter</b>	€151,674	€0.00	€0.00	€0.00	€0.00	€151,674
<b>System</b>	€1.53M	€6.88M	€0.00	€0.00	€0.00	€8.41M

### Annualized Costs

Name	Capital	Operating	Replacement	Salvage	Resource	Total
<b>Generic flat plate PV</b>	€132,261	€5,518	€0.00	€0.00	€0.00	€137,779
<b>Grid Uno</b>	€0.00	€654,057	€0.00	€0.00	€0.00	€654,057
<b>System Converter</b>	€14,541	€0.00	€0.00	€0.00	€0.00	€14,541
<b>System</b>	€146,802	€659,576	€0.00	€0.00	€0.00	€806,378

**Cash Flow**



## Electrical Summary

---

### Excess and Unmet

Quantity	Value	Units
Excess Electricity	197	kWh/yr
Unmet Electric Load	0	kWh/yr
Capacity Shortage	0	kWh/yr

### Production Summary

Component	Production (kWh/yr)	Percent
Generic flat plate PV	809,959	12.6
Grid Purchases	5,623,781	87.4
<b>Total</b>	<b>6,433,741</b>	<b>100</b>

### Consumption Summary

Component	Consumption (kWh/yr)	Percent
AC Primary Load	6,385,686	99.9
DC Primary Load	0	0
Deferrable Load	0	0
Grid Sales	7,370	0.115
<b>Total</b>	<b>6,393,056</b>	<b>100</b>

## PV: Generic flat plate PV

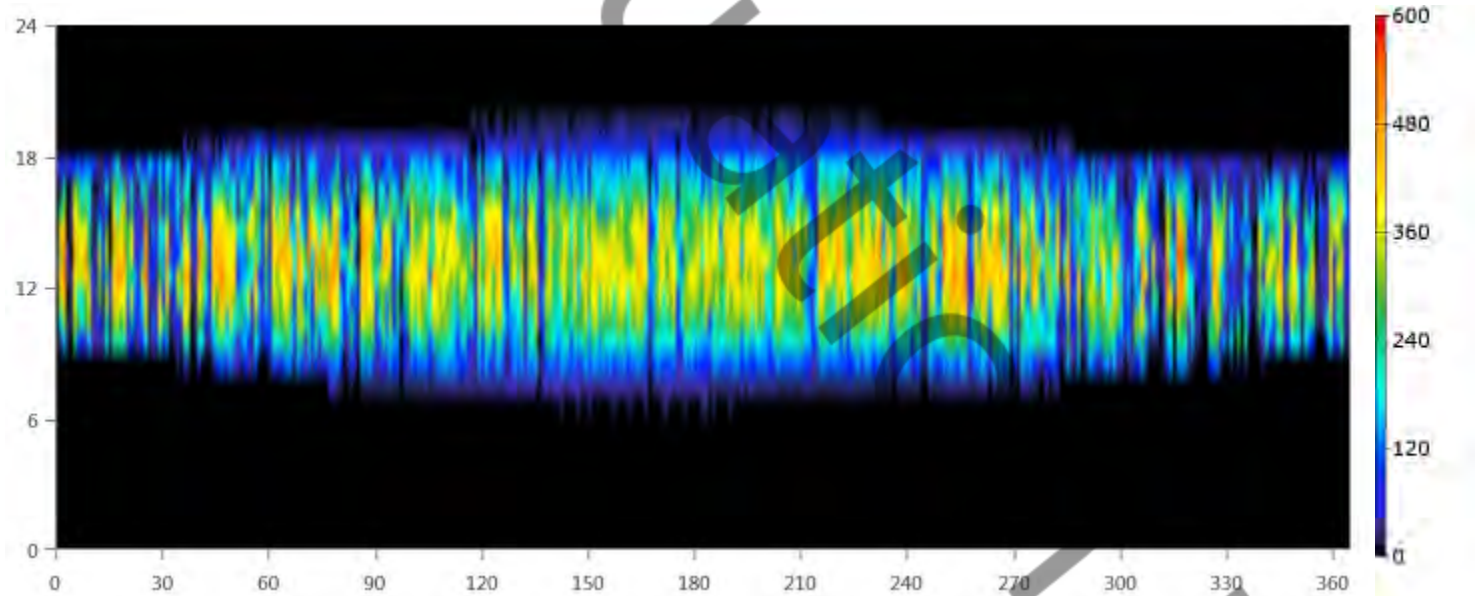
### Generic flat plate PV Electrical Summary

Quantity	Value	Units
Minimum Output	0	kW
Maximum Output	569	kW
PV Penetration	12.7	%
Hours of Operation	4,386	hrs/yr
Levelized Cost	0.170	€/kWh

### Generic flat plate PV Statistics

Quantity	Value	Units
Rated Capacity	552	kW
Mean Output	92.5	kW
Mean Output	2,219	kWh/d
Capacity Factor	16.8	%
Total Production	809,959	kWh/yr

### Generic flat plate PV Output (kW)



## Converter: System Converter

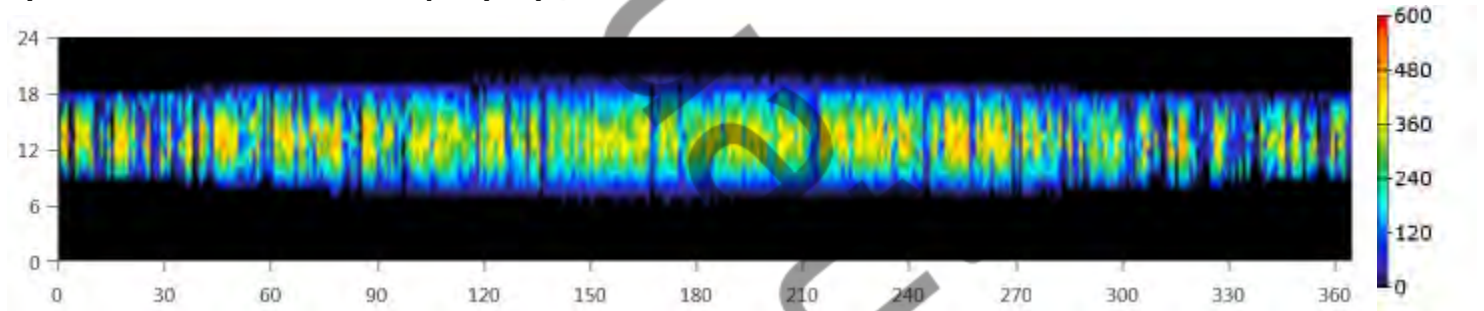
### System Converter Electrical Summary

Quantity	Value	Units
Hours of Operation	4,386	hrs/yr
Energy Out	769,275	kWh/yr
Energy In	809,763	kWh/yr
Losses	40,488	kWh/yr

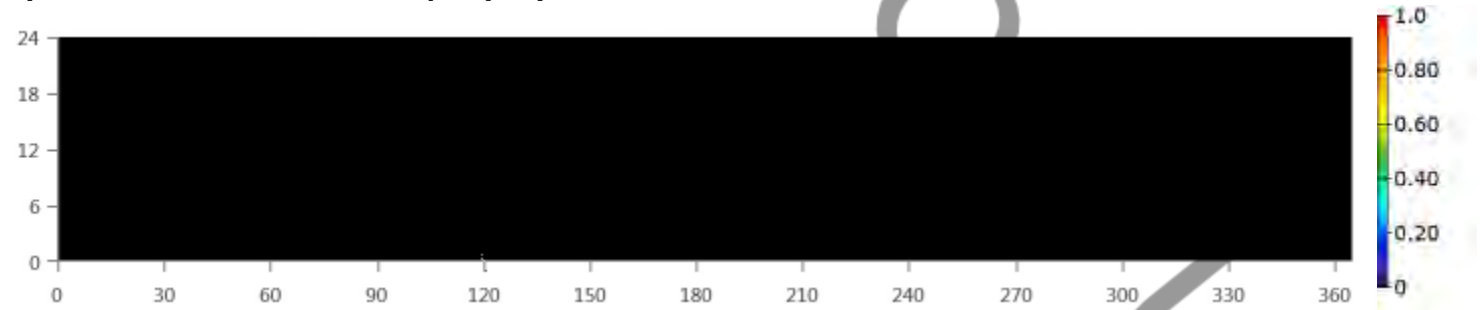
### System Converter Statistics

Quantity	Value	Units
Capacity	506	kW
Mean Output	87.8	kW
Minimum Output	0	kW
Maximum Output	506	kW
Capacity Factor	17.4	%

### System Converter Inverter Output (kW)



### System Converter Rectifier Output (kW)





## Grid: Grid Uno

### Grid rate: Demand 1

Month	Energy Purchased (kWh)	Energy Sold (kWh)	Net Energy Purchased (kWh)	Peak Demand (kW)	Energy Charge	Demand Charge
January	0	0	0	1,379	€0.00	€0.00
February	0	0	0	1,350	€0.00	€0.00
March	0	0	0	1,354	€0.00	€0.00
April	0	0	0	1,500	€0.00	€0.00
May	0	0	0	1,481	€0.00	€0.00
June	0	0	0	1,492	€0.00	€0.00
July	0	0	0	1,503	€0.00	€0.00
August	0	0	0	1,492	€0.00	€0.00
September	0	0	0	1,495	€0.00	€0.00
October	0	0	0	1,458	€0.00	€0.00
November	0	0	0	1,507	€0.00	€0.00
December	0	0	0	1,375	€0.00	€0.00
Annual	0	0	0	1,507	€0.00	€0.00

### Grid rate: SuperValle

Month	Energy Purchased (kWh)	Energy Sold (kWh)	Net Energy Purchased (kWh)	Peak Demand (kW)	Energy Charge	Demand Charge
January	57,333	0	57,333	0	€0.00	€0.00
February	51,492	0	51,492	0	€0.00	€0.00
March	63,090	0	63,090	0	€0.00	€0.00
April	66,818	0	66,818	0	€0.00	€0.00
May	79,718	0	79,718	0	€0.00	€0.00
June	86,149	0	86,149	0	€0.00	€0.00
July	87,894	0	87,894	0	€0.00	€0.00
August	90,345	0	90,345	0	€0.00	€0.00
September	79,587	0	79,587	0	€0.00	€0.00
October	69,072	0	69,072	0	€0.00	€0.00
November	58,782	0	58,782	0	€0.00	€0.00
December	56,301	0	56,301	0	€0.00	€0.00
Annual	846,579	0	846,579	0	€47,628	€0.00

### Grid rate: Valle

Month	Energy Purchased (kWh)	Energy Sold (kWh)	Net Energy Purchased (kWh)	Peak Demand (kW)	Energy Charge	Demand Charge
January	144,866	429	144,438	0	€0.00	€0.00
February	126,829	1,360	125,469	0	€0.00	€0.00
March	159,791	477	159,314	0	€0.00	€0.00
April	173,807	512	173,295	0	€0.00	€0.00
May	206,044	370	205,674	0	€0.00	€0.00
June	207,101	184	206,918	0	€0.00	€0.00
July	211,858	0	211,858	0	€0.00	€0.00
August	218,733	0	218,733	0	€0.00	€0.00
September	192,551	0	192,551	0	€0.00	€0.00
October	183,998	195	183,803	0	€0.00	€0.00
November	156,998	120	156,878	0	€0.00	€0.00
December	137,437	421	137,016	0	€0.00	€0.00
Annual	2,120,015	4,068	2,115,947	0	€177,562	€0.00

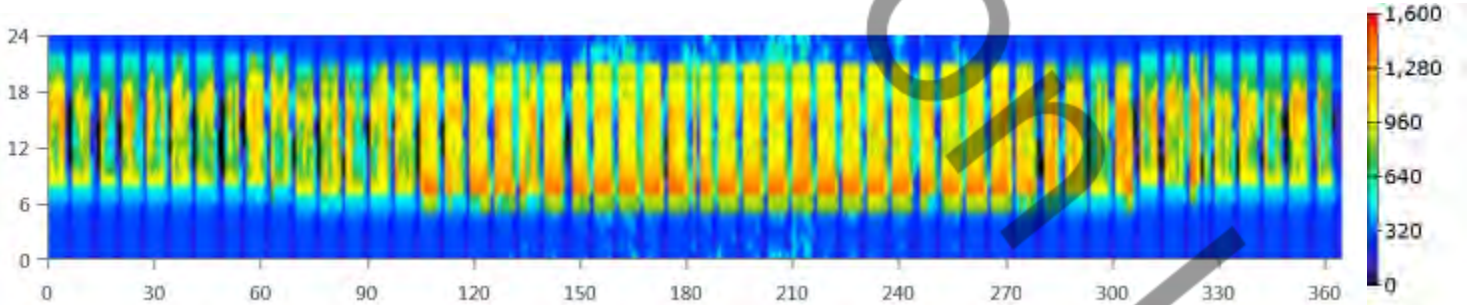
Grid rate: Pico

Month	Energy Purchased (kWh)	Energy Sold (kWh)	Net Energy Purchased (kWh)	Peak Demand (kW)	Energy Charge	Demand Charge
January	204,295	680	203,615	0	€0.00	€0.00
February	183,149	1,007	182,142	0	€0.00	€0.00
March	210,682	264	210,417	0	€0.00	€0.00
April	216,618	426	216,191	0	€0.00	€0.00
May	239,916	284	239,631	0	€0.00	€0.00
June	241,775	0	241,775	0	€0.00	€0.00
July	247,979	0	247,979	0	€0.00	€0.00
August	248,332	0	248,332	0	€0.00	€0.00
September	226,666	0	226,666	0	€0.00	€0.00
October	228,127	0	228,127	0	€0.00	€0.00
November	218,082	270	217,812	0	€0.00	€0.00
December	191,567	369	191,198	0	€0.00	€0.00
Annual	2,657,187	3,302	2,653,886	0	€428,868	€0.00

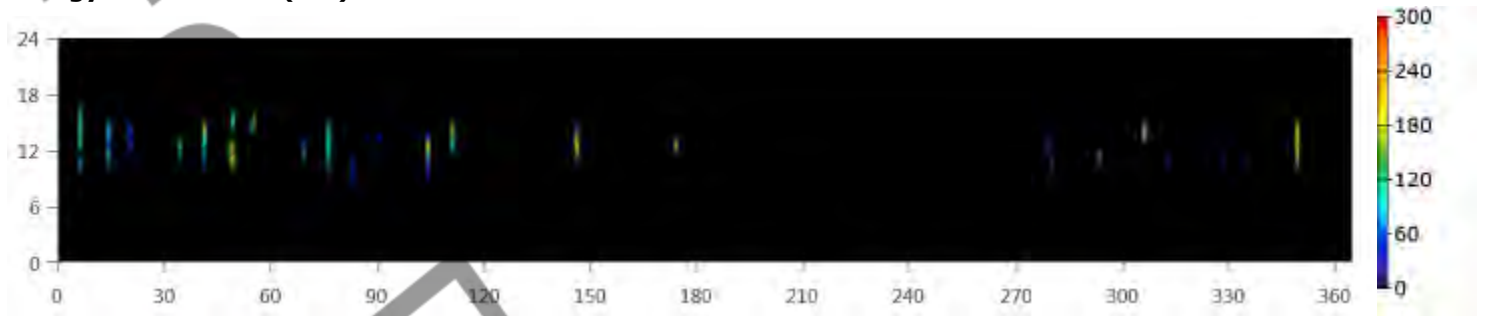
Grid rate: All

Month	Energy Purchased (kWh)	Energy Sold (kWh)	Net Energy Purchased (kWh)	Peak Demand (kW)	Energy Charge	Demand Charge
January	406,494	1,109	405,386	1,379	€0.00	€0.00
February	361,470	2,368	359,103	1,350	€0.00	€0.00
March	433,563	742	432,821	1,354	€0.00	€0.00
April	457,243	939	456,305	1,500	€0.00	€0.00
May	525,678	654	525,023	1,481	€0.00	€0.00
June	535,025	184	534,842	1,492	€0.00	€0.00
July	547,731	0	547,731	1,503	€0.00	€0.00
August	557,410	0	557,410	1,492	€0.00	€0.00
September	498,804	0	498,804	1,495	€0.00	€0.00
October	481,197	195	481,002	1,458	€0.00	€0.00
November	433,862	390	433,471	1,507	€0.00	€0.00
December	385,304	789	384,515	1,375	€0.00	€0.00
Annual	5,623,781	7,370	5,616,412	1,507	€654,057	€0.00

Energy Purchased From Grid (kW)



Energy Sold To Grid (kW)



## Compare Economics

---

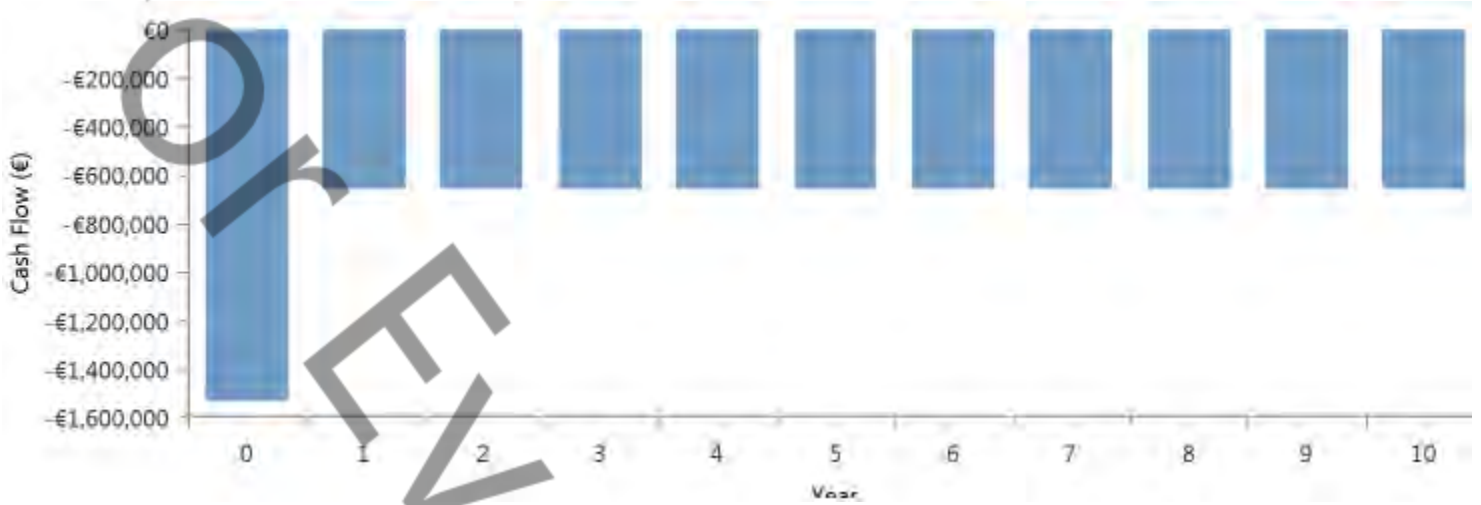
IRR (%): **N/A**

Discounted payback (yr): **N/A**

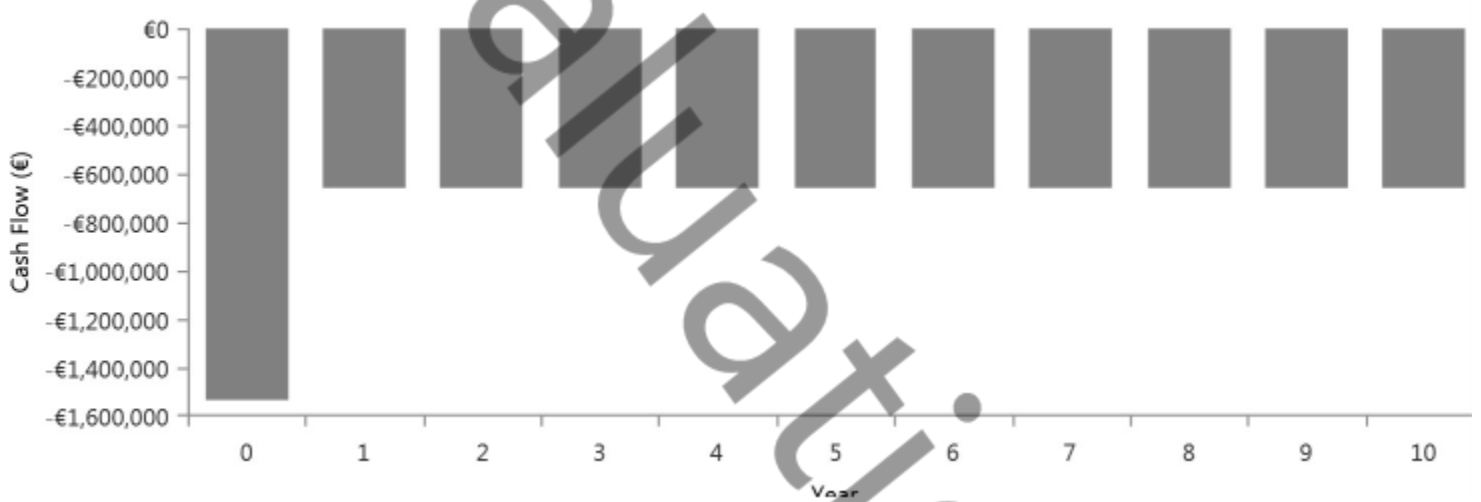
Simple payback (yr): **N/A**

	Base Case	Current System
Net Present Cost	€8.41M	€8.41M
CAPEX	€1.53M	€1.53M
OPEX	€659,576	€659,576
LCOE (per kWh)	€0.126	€0.126
CO2 Emitted (kg/yr)	3,554,230	3,554,230
Fuel Consumption (L/yr)	0	0

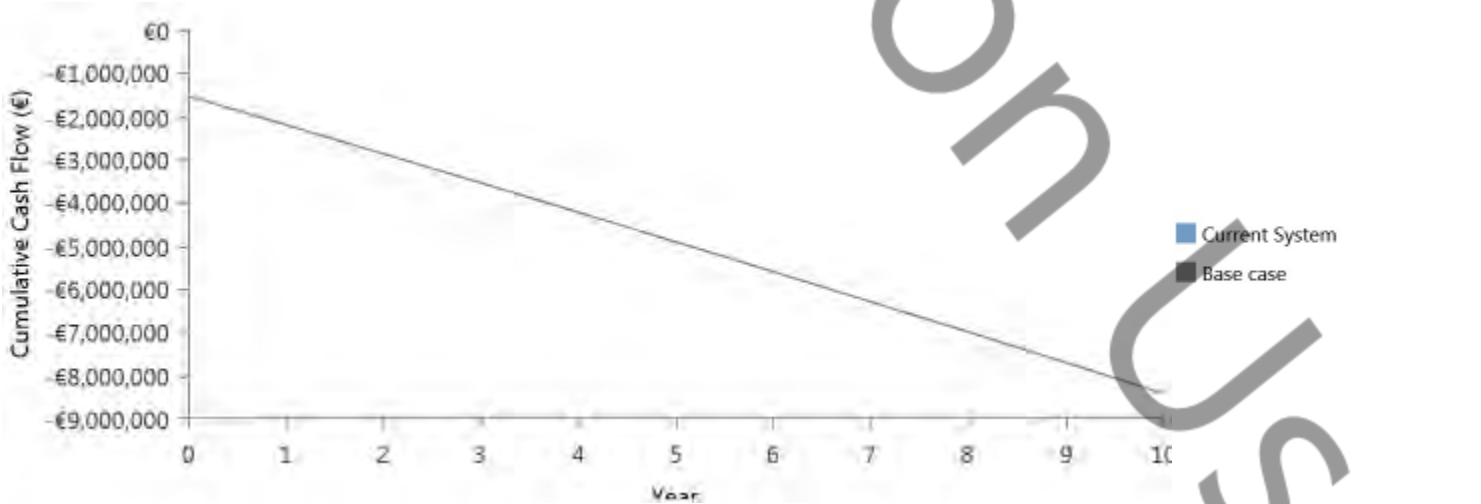
**Current Annual Nominal Cash Flows**



**Base Case Annual Nominal Cash Flows**



**Cumulative Discounted Cash Flows**





# Caso 3

## 27% Renovable



**COMILLAS**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA**

**ICAI**





## System Simulation Report

---



**File:** Prueba 1.homer

**Author:** Alvaro Veuthey

**Location:** Estadio Vallehermoso, 28003 Madrid, Spain (40°26.4'N, 3°42.5'W)

**Total Net Present Cost:** €9,153,523.00

**Levelized Cost of Energy (€/kWh):** €0.135

**Notes:**

## Table of Contents

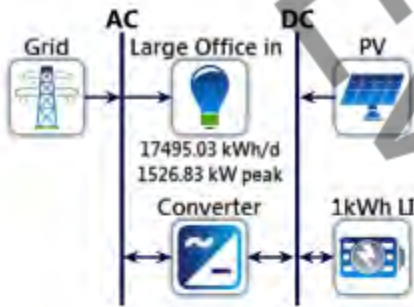
---

System Architecture	3
Cost Summary	4
Cash Flow	5
Electrical Summary	6
PV: Generic flat plate PV	7
Converter: System Converter	8
Grid: Grid Uno	9
Compare Economics	12

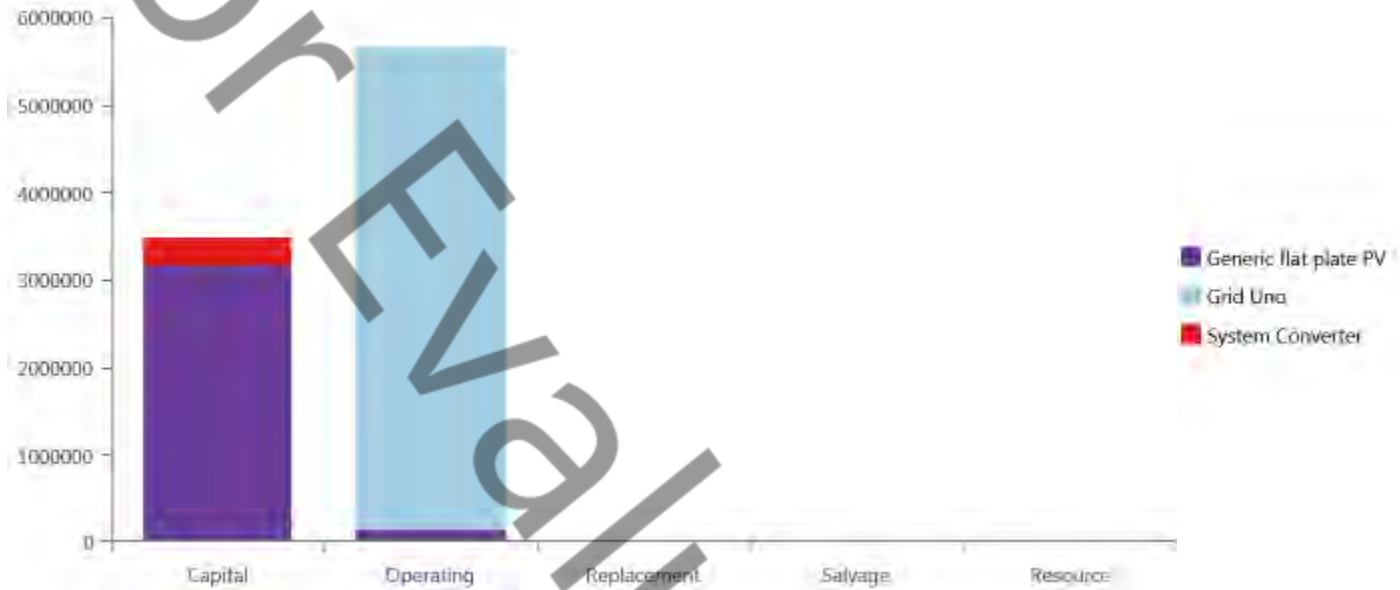
## System Architecture

Component	Name	Size	Unit
PV	Generic flat plate PV	1,268	kW
System converter	System Converter	1,065	kW
Grid	Grid Uno	1,000,000	kW
Dispatch strategy	HOMER Cycle Charging		

## Schematic



## Cost Summary



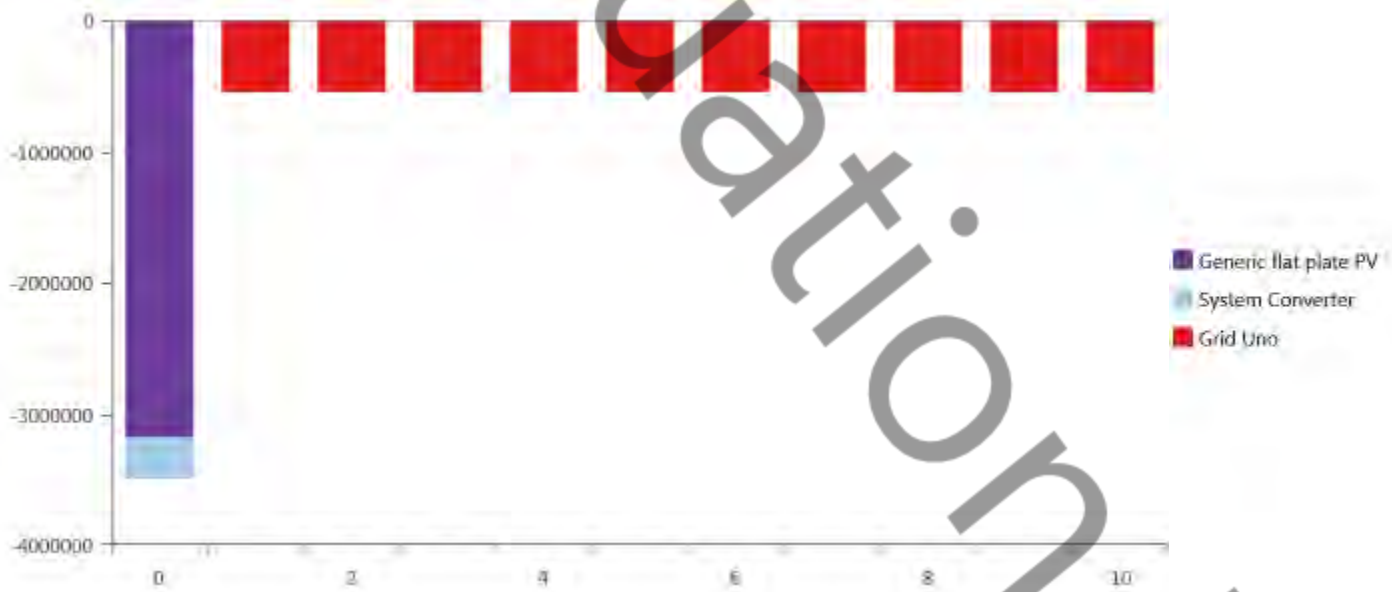
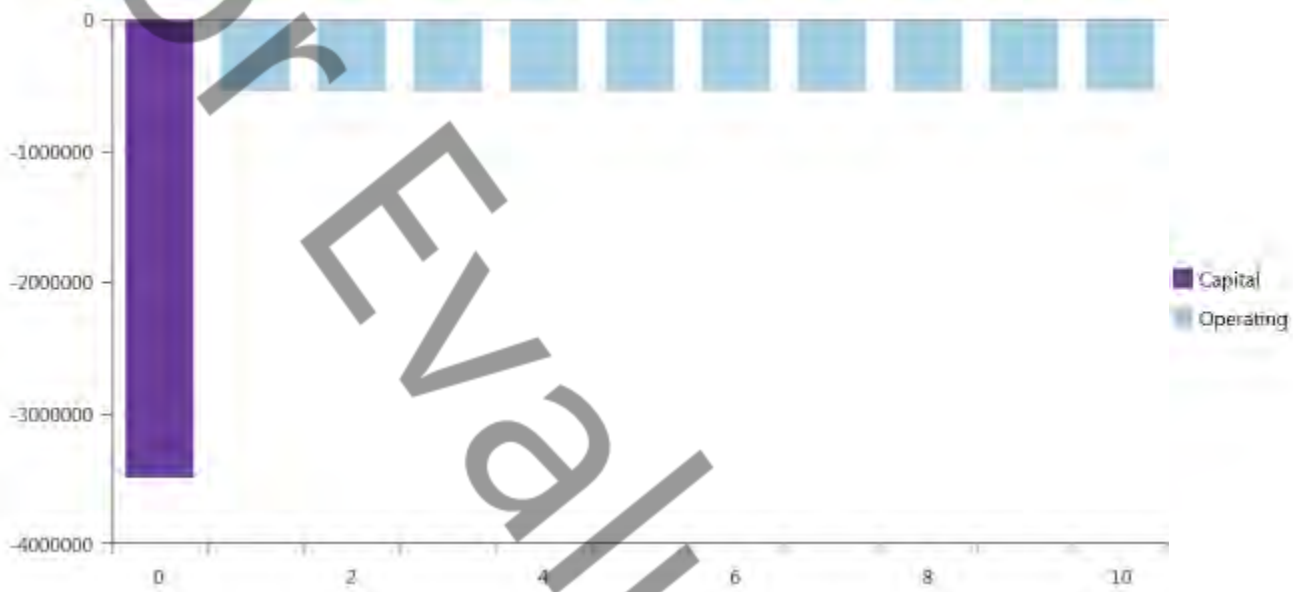
### Net Present Costs

Name	Capital	Operating	Replacement	Salvage	Resource	Total
Generic flat plate PV	€3.17M	€132,221	€0.00	€0.00	€0.00	€3.30M
Grid Uno	€0.00	€5.53M	€0.00	€0.00	€0.00	€5.53M
System Converter	€319,620	€0.00	€0.00	€0.00	€0.00	€319,620
<b>System</b>	<b>€3.49M</b>	<b>€5.66M</b>	<b>€0.00</b>	<b>€0.00</b>	<b>€0.00</b>	<b>€9.15M</b>

### Annualized Costs

Name	Capital	Operating	Replacement	Salvage	Resource	Total
Generic flat plate PV	€303,817	€12,676	€0.00	€0.00	€0.00	€316,493
Grid Uno	€0.00	€530,420	€0.00	€0.00	€0.00	€530,420
System Converter	€30,642	€0.00	€0.00	€0.00	€0.00	€30,642
<b>System</b>	<b>€334,459</b>	<b>€543,096</b>	<b>€0.00</b>	<b>€0.00</b>	<b>€0.00</b>	<b>€877,555</b>

**Cash Flow**



## Electrical Summary

---

### Excess and Unmet

Quantity	Value	Units
Excess Electricity	3,381	kWh/yr
Unmet Electric Load	0	kWh/yr
Capacity Shortage	0	kWh/yr

### Production Summary

Component	Production (kWh/yr)	Percent
Generic flat plate PV	1,860,558	28.3
Grid Purchases	4,719,223	71.7
<b>Total</b>	<b>6,579,781</b>	<b>100</b>

### Consumption Summary

Component	Consumption (kWh/yr)	Percent
AC Primary Load	6,385,686	98.5
DC Primary Load	0	0
Deferrable Load	0	0
Grid Sales	97,855	1.51
<b>Total</b>	<b>6,483,541</b>	<b>100</b>

## PV: Generic flat plate PV

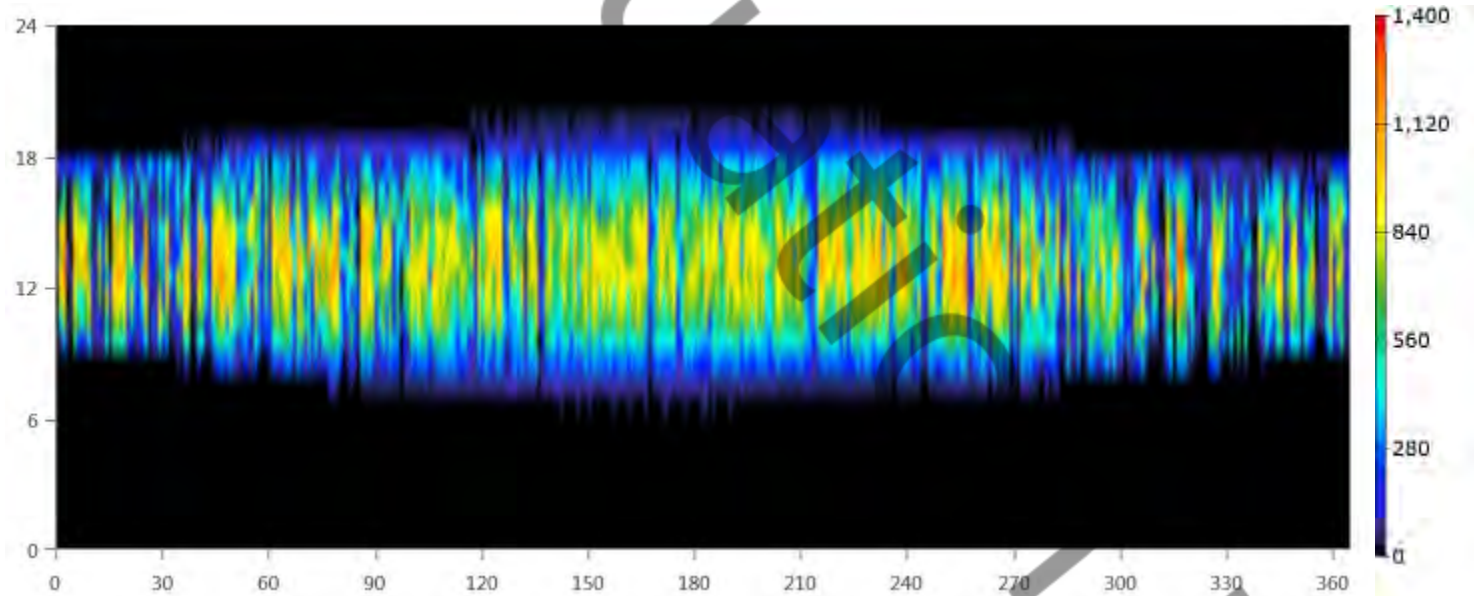
### Generic flat plate PV Electrical Summary

Quantity	Value	Units
Minimum Output	0	kW
Maximum Output	1,306	kW
PV Penetration	29.1	%
Hours of Operation	4,386	hrs/yr
Levelized Cost	0.170	€/kWh

### Generic flat plate PV Statistics

Quantity	Value	Units
Rated Capacity	1,268	kW
Mean Output	212	kW
Mean Output	5,097	kWh/d
Capacity Factor	16.8	%
Total Production	1,860,558	kWh/yr

### Generic flat plate PV Output (kW)



## Converter: System Converter

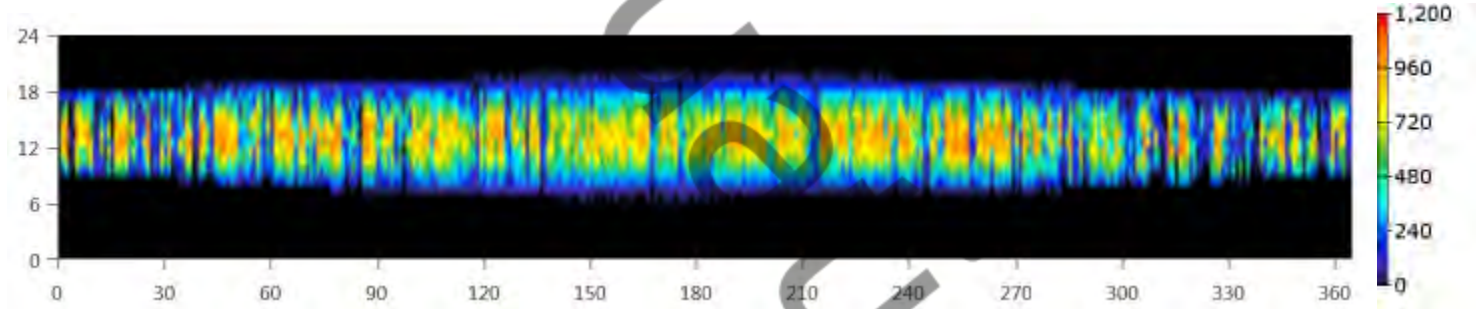
### System Converter Electrical Summary

Quantity	Value	Units
Hours of Operation	4,386	hrs/yr
Energy Out	1,764,318	kWh/yr
Energy In	1,857,177	kWh/yr
Losses	92,859	kWh/yr

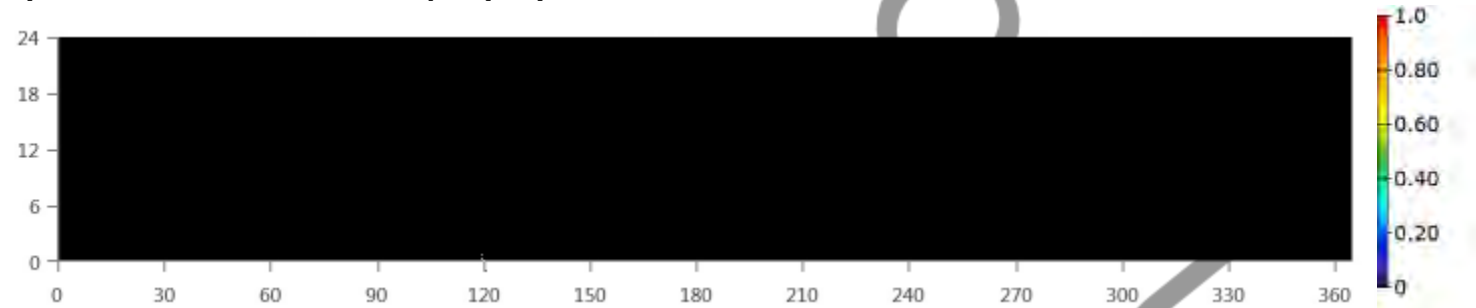
### System Converter Statistics

Quantity	Value	Units
Capacity	1,065	kW
Mean Output	201	kW
Minimum Output	0	kW
Maximum Output	1,065	kW
Capacity Factor	18.9	%

### System Converter Inverter Output (kW)



### System Converter Rectifier Output (kW)





## Grid: Grid Uno

### Grid rate: Demand 1

Month	Energy Purchased (kWh)	Energy Sold (kWh)	Net Energy Purchased (kWh)	Peak Demand (kW)	Energy Charge	Demand Charge
January	0	0	0	1,354	€0.00	€0.00
February	0	0	0	1,293	€0.00	€0.00
March	0	0	0	1,296	€0.00	€0.00
April	0	0	0	1,475	€0.00	€0.00
May	0	0	0	1,441	€0.00	€0.00
June	0	0	0	1,446	€0.00	€0.00
July	0	0	0	1,473	€0.00	€0.00
August	0	0	0	1,452	€0.00	€0.00
September	0	0	0	1,480	€0.00	€0.00
October	0	0	0	1,436	€0.00	€0.00
November	0	0	0	1,507	€0.00	€0.00
December	0	0	0	1,362	€0.00	€0.00
Annual	0	0	0	1,507	€0.00	€0.00

### Grid rate: SuperValle

Month	Energy Purchased (kWh)	Energy Sold (kWh)	Net Energy Purchased (kWh)	Peak Demand (kW)	Energy Charge	Demand Charge
January	57,333	0	57,333	0	€0.00	€0.00
February	51,492	0	51,492	0	€0.00	€0.00
March	63,090	0	63,090	0	€0.00	€0.00
April	66,790	0	66,790	0	€0.00	€0.00
May	79,398	0	79,398	0	€0.00	€0.00
June	85,721	0	85,721	0	€0.00	€0.00
July	87,568	0	87,568	0	€0.00	€0.00
August	90,280	0	90,280	0	€0.00	€0.00
September	79,587	0	79,587	0	€0.00	€0.00
October	69,072	0	69,072	0	€0.00	€0.00
November	58,782	0	58,782	0	€0.00	€0.00
December	56,301	0	56,301	0	€0.00	€0.00
Annual	845,413	0	845,413	0	€47,562	€0.00

### Grid rate: Valle

Month	Energy Purchased (kWh)	Energy Sold (kWh)	Net Energy Purchased (kWh)	Peak Demand (kW)	Energy Charge	Demand Charge
January	120,588	5,352	115,236	0	€0.00	€0.00
February	101,042	7,562	93,480	0	€0.00	€0.00
March	120,688	5,290	115,398	0	€0.00	€0.00
April	134,450	3,278	131,172	0	€0.00	€0.00
May	164,459	3,282	161,178	0	€0.00	€0.00
June	161,164	2,445	158,718	0	€0.00	€0.00
July	162,319	1,438	160,880	0	€0.00	€0.00
August	171,460	1,741	169,719	0	€0.00	€0.00
September	148,596	2,322	146,274	0	€0.00	€0.00
October	150,779	3,591	147,188	0	€0.00	€0.00
November	134,184	5,793	128,390	0	€0.00	€0.00
December	116,291	4,766	111,525	0	€0.00	€0.00
Annual	1,686,020	46,861	1,639,158	0	€137,552	€0.00

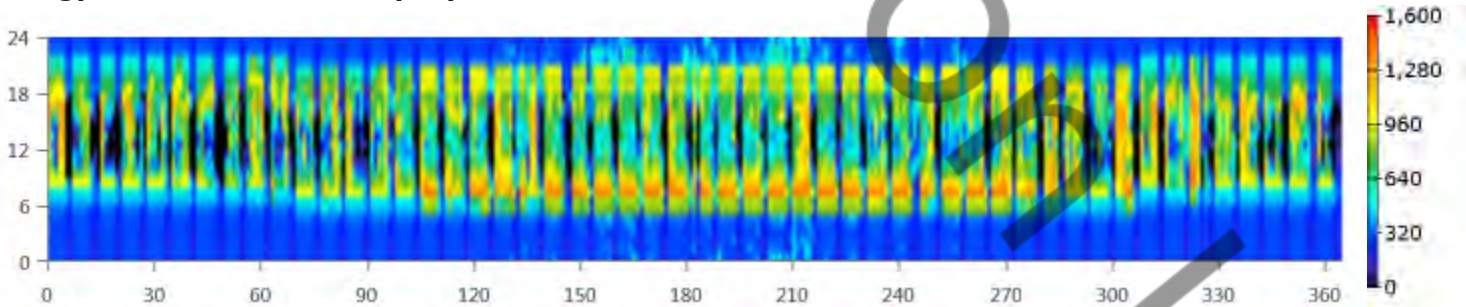
Grid rate: Pico

Month	Energy Purchased (kWh)	Energy Sold (kWh)	Net Energy Purchased (kWh)	Peak Demand (kW)	Energy Charge	Demand Charge
January	177,949	7,518	170,431	0	€0.00	€0.00
February	153,413	8,750	144,663	0	€0.00	€0.00
March	166,868	4,751	162,116	0	€0.00	€0.00
April	175,506	4,122	171,385	0	€0.00	€0.00
May	195,536	3,929	191,607	0	€0.00	€0.00
June	191,508	1,734	189,774	0	€0.00	€0.00
July	192,988	2,341	190,647	0	€0.00	€0.00
August	194,318	2,950	191,368	0	€0.00	€0.00
September	183,004	3,812	179,191	0	€0.00	€0.00
October	195,419	2,215	193,204	0	€0.00	€0.00
November	192,780	4,282	188,498	0	€0.00	€0.00
December	168,502	4,589	163,913	0	€0.00	€0.00
Annual	2,187,790	50,994	2,136,797	0	€345,306	€0.00

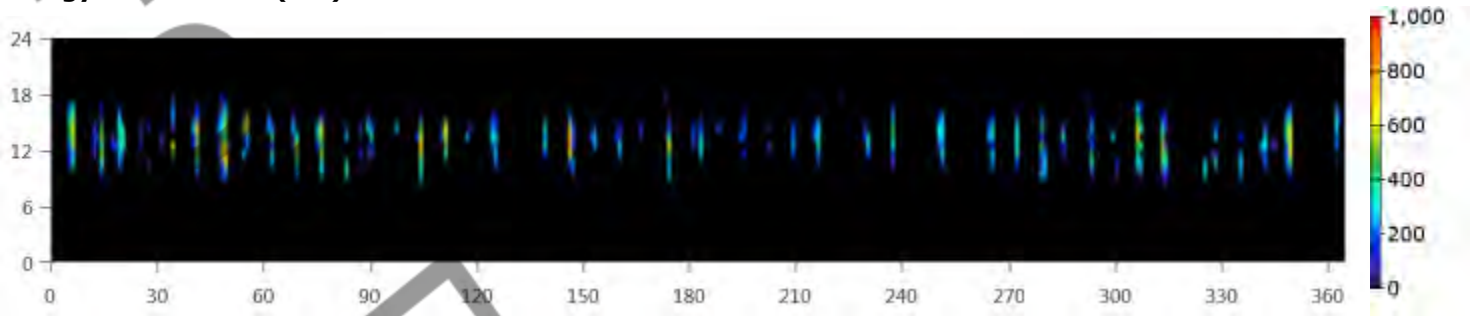
Grid rate: All

Month	Energy Purchased (kWh)	Energy Sold (kWh)	Net Energy Purchased (kWh)	Peak Demand (kW)	Energy Charge	Demand Charge
January	355,871	12,870	343,000	1,354	€0.00	€0.00
February	305,948	16,312	289,636	1,293	€0.00	€0.00
March	350,646	10,042	340,604	1,296	€0.00	€0.00
April	376,746	7,400	369,346	1,475	€0.00	€0.00
May	439,394	7,210	432,183	1,441	€0.00	€0.00
June	438,392	4,179	434,213	1,446	€0.00	€0.00
July	442,874	3,780	439,094	1,473	€0.00	€0.00
August	456,058	4,691	451,367	1,452	€0.00	€0.00
September	411,187	6,134	405,053	1,480	€0.00	€0.00
October	415,269	5,806	409,463	1,436	€0.00	€0.00
November	385,746	10,076	375,670	1,507	€0.00	€0.00
December	341,093	9,355	331,739	1,362	€0.00	€0.00
Annual	4,719,223	97,855	4,621,368	1,507	€530,420	€0.00

Energy Purchased From Grid (kW)



**Energy Sold To Grid (kW)**



Evaluation Use

## Compare Economics

---

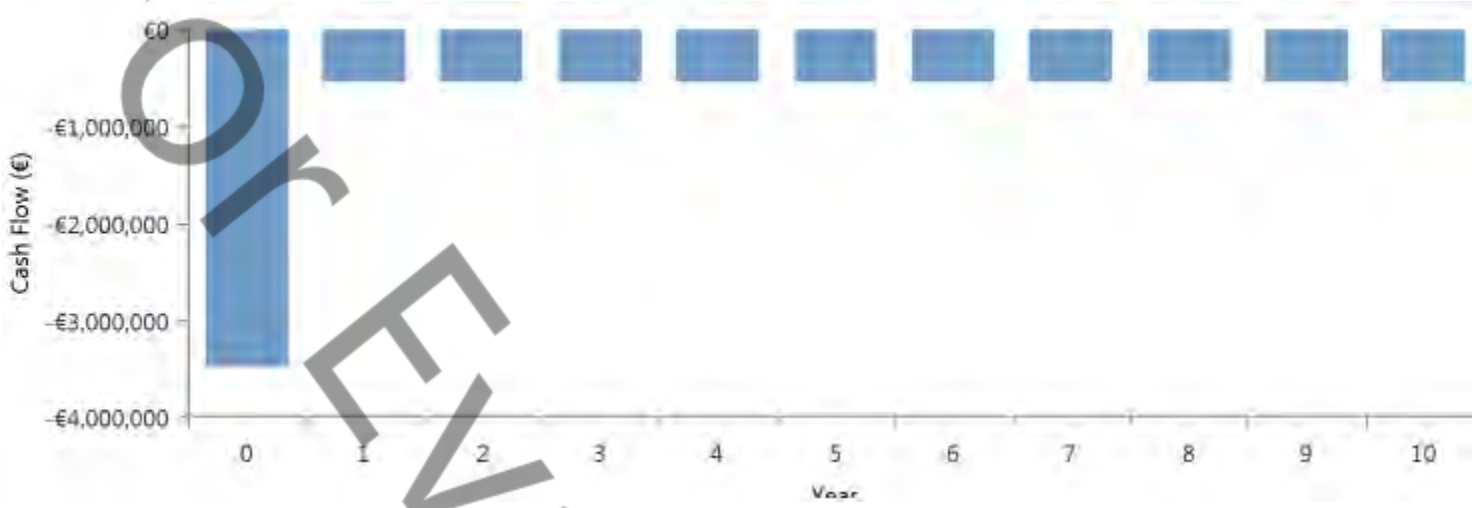
IRR (%): **N/A**

Discounted payback (yr): **N/A**

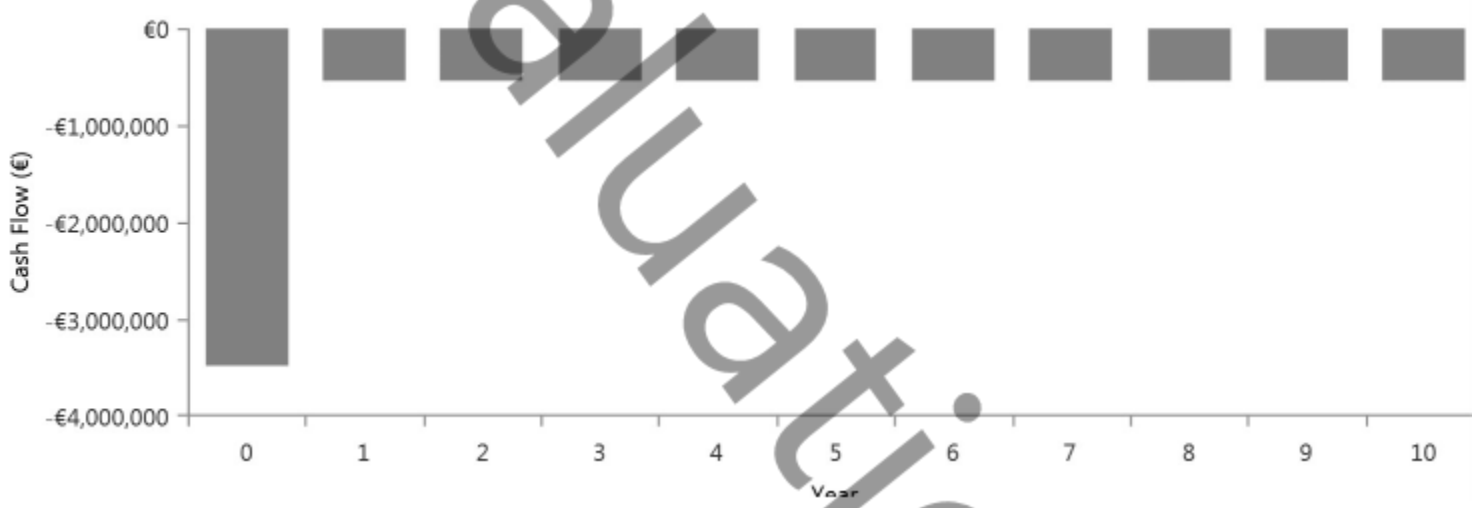
Simple payback (yr): **N/A**

	Base Case	Current System
Net Present Cost	€9.15M	€9.15M
CAPEX	€3.49M	€3.49M
OPEX	€543,096	€543,096
LCOE (per kWh)	€0.135	€0.135
CO2 Emitted (kg/yr)	2,982,549	2,982,549
Fuel Consumption (L/yr)	0	0

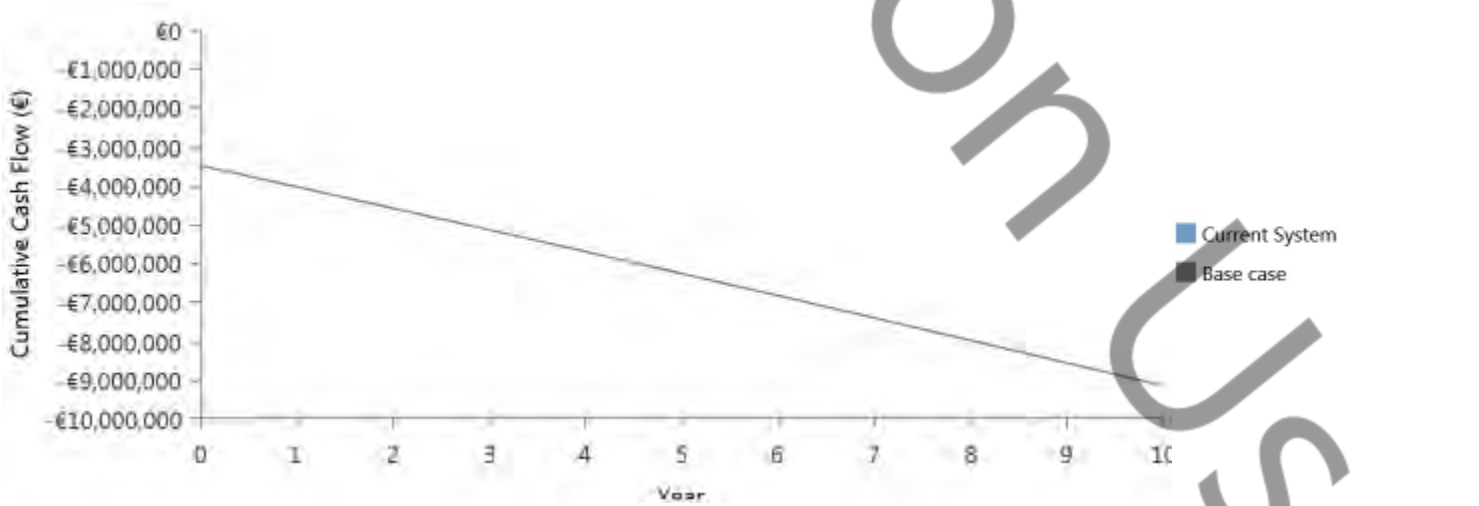
## Current Annual Nominal Cash Flows



## Base Case Annual Nominal Cash Flows



## Cumulative Discounted Cash Flows





# Caso 4

## 48% Renovable



**COMILLAS**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA**

**ICAI**





## System Simulation Report

---



**File:** Prueba 1.homer

**Author:** Alvaro Veuthey

**Location:** Estadio Vallehermoso, 28003 Madrid, Spain (40°26.4'N, 3°42.5'W)

**Total Net Present Cost:** €10,066,370.00

**Levelized Cost of Energy (€/kWh):** €0.141

**Notes:**

## Table of Contents

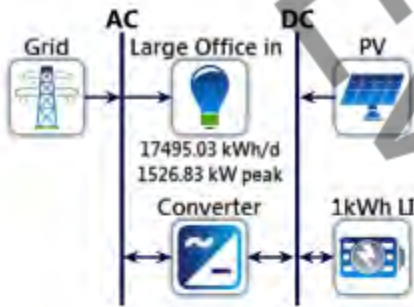
---

System Architecture	3
Cost Summary	4
Cash Flow	5
Electrical Summary	6
PV: Generic flat plate PV	7
Converter: System Converter	8
Grid: Grid Uno	9
Compare Economics	12

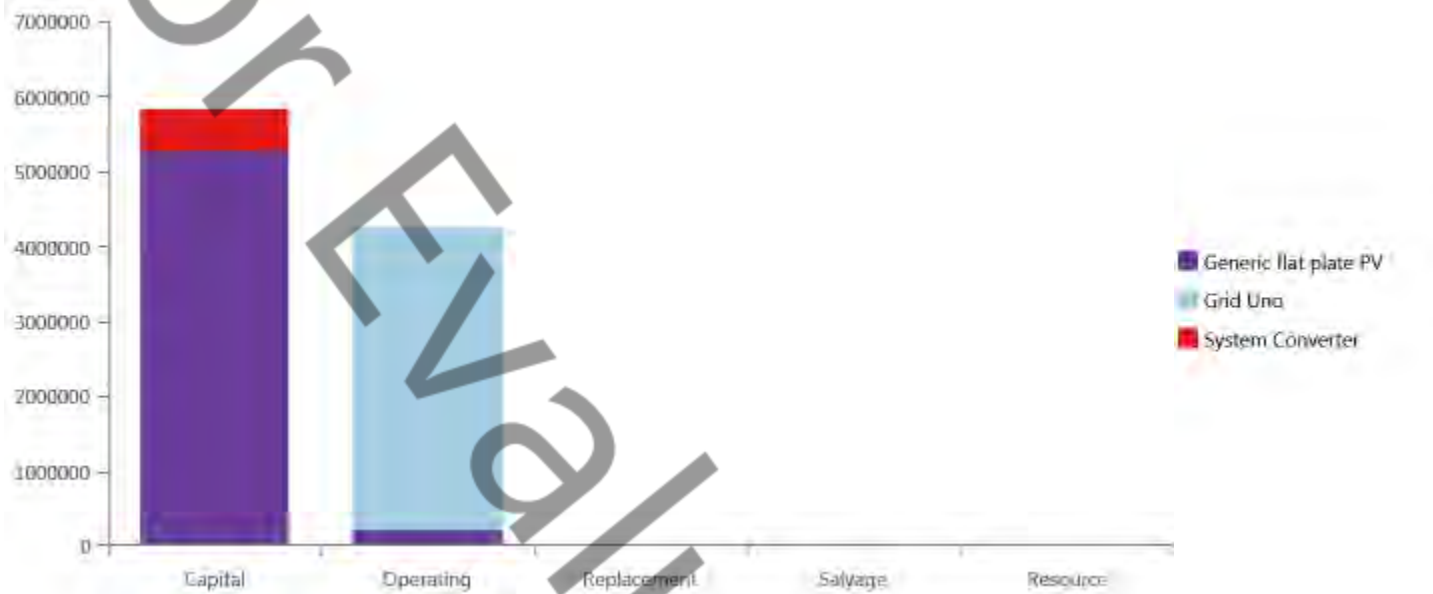
## System Architecture

Component	Name	Size	Unit
PV	Generic flat plate PV	2,106	kW
System converter	System Converter	1,892	kW
Grid	Grid Uno	1,000,000	kW
Dispatch strategy	HOMER Cycle Charging		

### Schematic



## Cost Summary



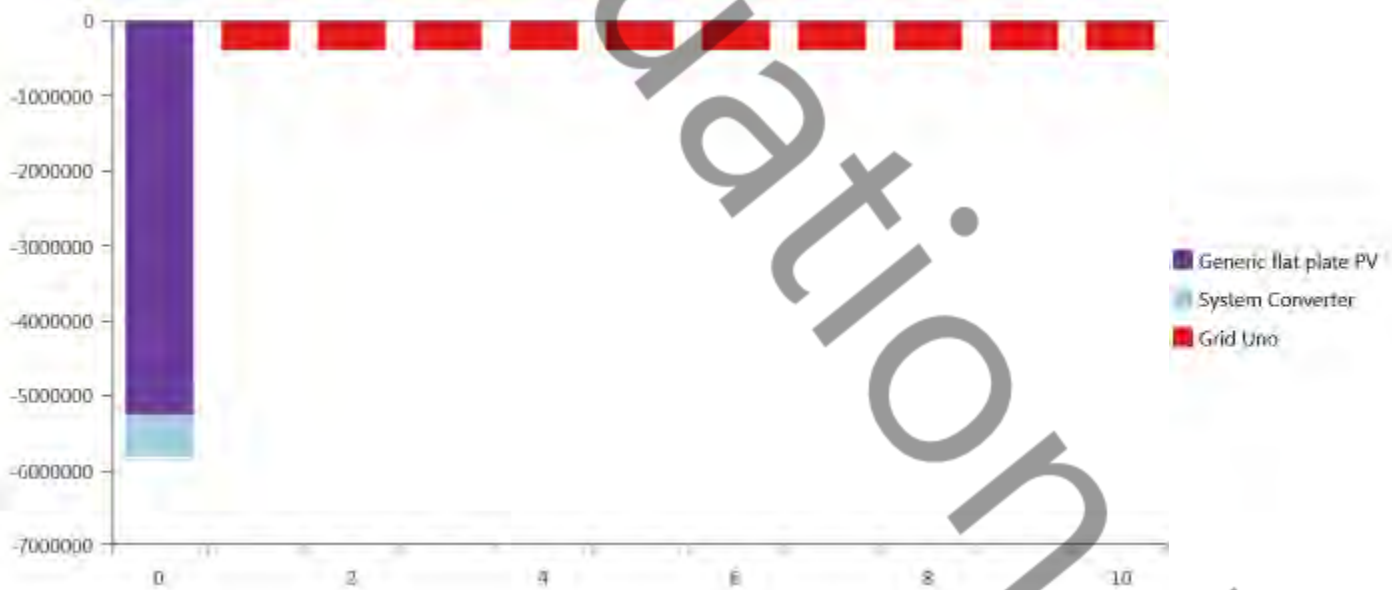
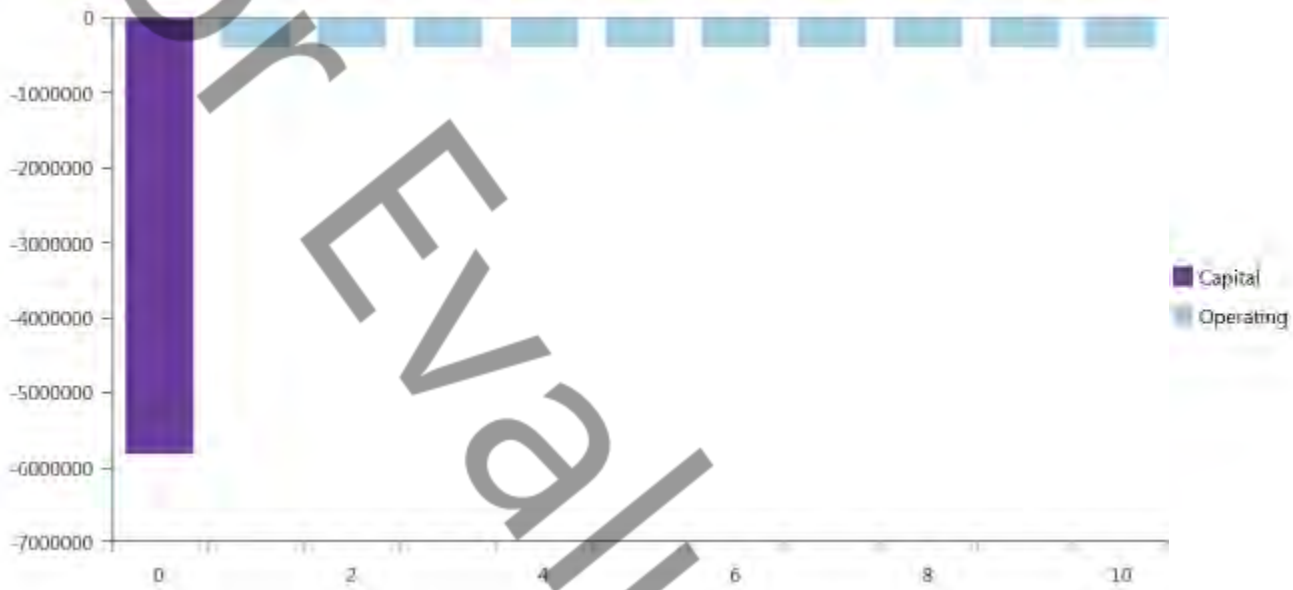
### Net Present Costs

Name	Capital	Operating	Replacement	Salvage	Resource	Total
<b>Generic flat plate PV</b>	€5.26M	€219,624	€0.00	€0.00	€0.00	€5.48M
<b>Grid Uno</b>	€0.00	€4.02M	€0.00	€0.00	€0.00	€4.02M
<b>System Converter</b>	€567,610	€0.00	€0.00	€0.00	€0.00	€567,610
<b>System</b>	€5.83M	€4.23M	€0.00	€0.00	€0.00	€10.1M

### Annualized Costs

Name	Capital	Operating	Replacement	Salvage	Resource	Total
<b>Generic flat plate PV</b>	€504,653	€21,056	€0.00	€0.00	€0.00	€525,709
<b>Grid Uno</b>	€0.00	€384,945	€0.00	€0.00	€0.00	€384,945
<b>System Converter</b>	€54,417	€0.00	€0.00	€0.00	€0.00	€54,417
<b>System</b>	€559,070	€406,000	€0.00	€0.00	€0.00	€965,071

**Cash Flow**



## Electrical Summary

---

### Excess and Unmet

Quantity	Value	Units
Excess Electricity	1,233	kWh/yr
Unmet Electric Load	0	kWh/yr
Capacity Shortage	0	kWh/yr

### Production Summary

Component	Production (kWh/yr)	Percent
Generic flat plate PV	3,090,466	44.2
Grid Purchases	3,906,759	55.8
<b>Total</b>	<b>6,997,225</b>	<b>100</b>

### Consumption Summary

Component	Consumption (kWh/yr)	Percent
AC Primary Load	6,385,686	93.3
DC Primary Load	0	0
Deferrable Load	0	0
Grid Sales	455,844	6.66
<b>Total</b>	<b>6,841,530</b>	<b>100</b>

## PV: Generic flat plate PV

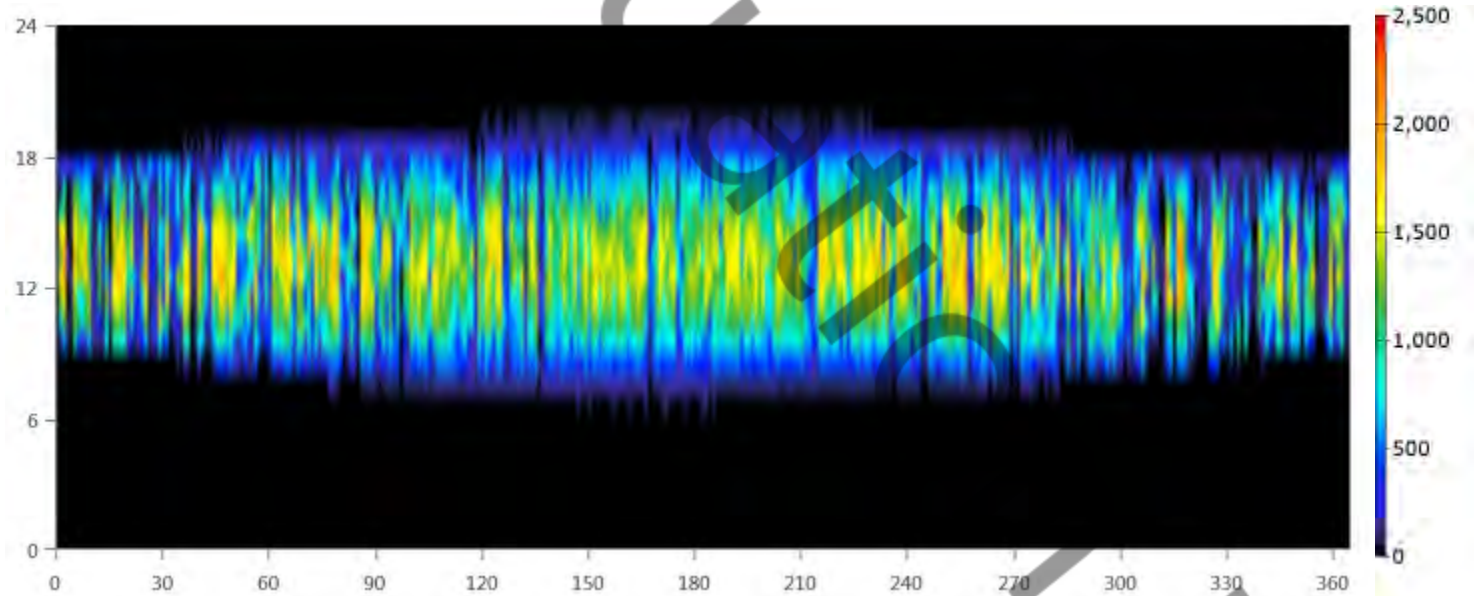
### Generic flat plate PV Electrical Summary

Quantity	Value	Units
Minimum Output	0	kW
Maximum Output	2,170	kW
PV Penetration	48.4	%
Hours of Operation	4,386	hrs/yr
Levelized Cost	0.170	€/kWh

### Generic flat plate PV Statistics

Quantity	Value	Units
Rated Capacity	2,106	kW
Mean Output	353	kW
Mean Output	8,467	kWh/d
Capacity Factor	16.8	%
Total Production	3,090,466	kWh/yr

### Generic flat plate PV Output (kW)



## Converter: System Converter

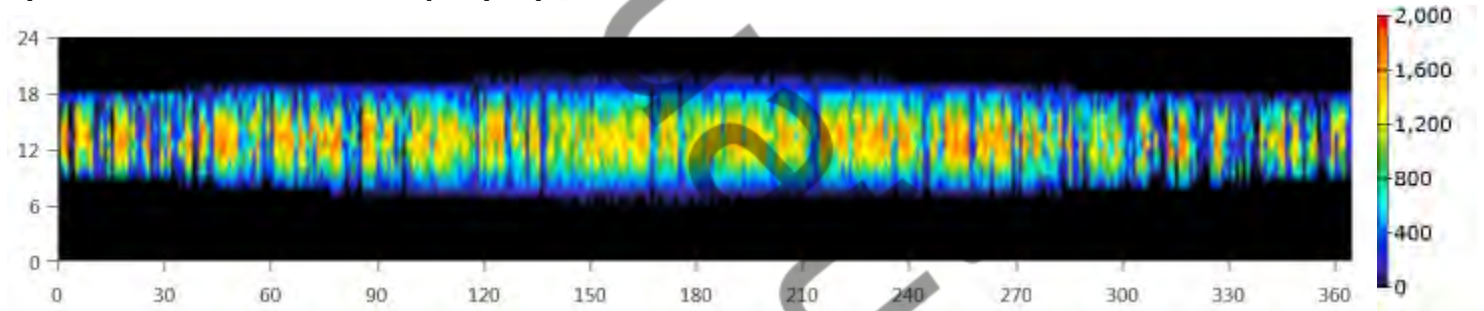
### System Converter Electrical Summary

Quantity	Value	Units
Hours of Operation	4,386	hrs/yr
Energy Out	2,934,771	kWh/yr
Energy In	3,089,233	kWh/yr
Losses	154,462	kWh/yr

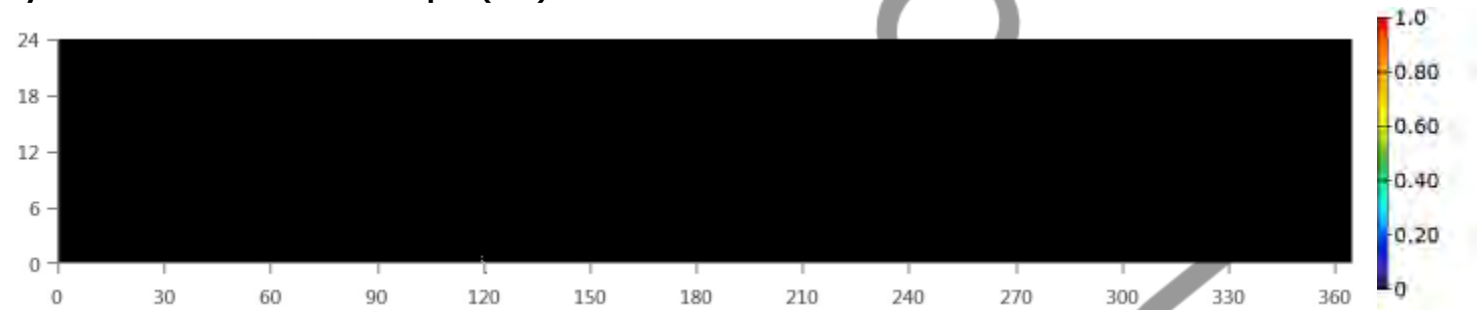
### System Converter Statistics

Quantity	Value	Units
Capacity	1,892	kW
Mean Output	335	kW
Minimum Output	0	kW
Maximum Output	1,892	kW
Capacity Factor	17.7	%

### System Converter Inverter Output (kW)



### System Converter Rectifier Output (kW)





## Grid: Grid Uno

### Grid rate: Demand 1

Month	Energy Purchased (kWh)	Energy Sold (kWh)	Net Energy Purchased (kWh)	Peak Demand (kW)	Energy Charge	Demand Charge
January	0	0	0	1,327	€0.00	€0.00
February	0	0	0	1,226	€0.00	€0.00
March	0	0	0	1,272	€0.00	€0.00
April	0	0	0	1,447	€0.00	€0.00
May	0	0	0	1,395	€0.00	€0.00
June	0	0	0	1,404	€0.00	€0.00
July	0	0	0	1,438	€0.00	€0.00
August	0	0	0	1,418	€0.00	€0.00
September	0	0	0	1,461	€0.00	€0.00
October	0	0	0	1,411	€0.00	€0.00
November	0	0	0	1,507	€0.00	€0.00
December	0	0	0	1,347	€0.00	€0.00
Annual	0	0	0	1,507	€0.00	€0.00

### Grid rate: SuperValle

Month	Energy Purchased (kWh)	Energy Sold (kWh)	Net Energy Purchased (kWh)	Peak Demand (kW)	Energy Charge	Demand Charge
January	57,333	0	57,333	0	€0.00	€0.00
February	51,492	0	51,492	0	€0.00	€0.00
March	63,090	0	63,090	0	€0.00	€0.00
April	66,757	0	66,757	0	€0.00	€0.00
May	79,023	0	79,023	0	€0.00	€0.00
June	85,220	0	85,220	0	€0.00	€0.00
July	87,186	0	87,186	0	€0.00	€0.00
August	90,204	0	90,204	0	€0.00	€0.00
September	79,587	0	79,587	0	€0.00	€0.00
October	69,072	0	69,072	0	€0.00	€0.00
November	58,782	0	58,782	0	€0.00	€0.00
December	56,301	0	56,301	0	€0.00	€0.00
Annual	844,047	0	844,047	0	€47,485	€0.00

### Grid rate: Valle

Month	Energy Purchased (kWh)	Energy Sold (kWh)	Net Energy Purchased (kWh)	Peak Demand (kW)	Energy Charge	Demand Charge
January	104,732	24,093	80,639	0	€0.00	€0.00
February	82,599	26,836	55,763	0	€0.00	€0.00
March	91,311	27,587	63,724	0	€0.00	€0.00
April	94,189	12,330	81,859	0	€0.00	€0.00
May	124,069	14,982	109,087	0	€0.00	€0.00
June	115,151	12,858	102,293	0	€0.00	€0.00
July	115,080	13,878	101,202	0	€0.00	€0.00
August	126,607	14,358	112,249	0	€0.00	€0.00
September	109,394	17,832	91,562	0	€0.00	€0.00
October	121,521	17,249	104,271	0	€0.00	€0.00
November	114,951	20,421	94,530	0	€0.00	€0.00
December	100,967	19,284	81,683	0	€0.00	€0.00
Annual	1,300,571	221,709	1,078,862	0	€90,534	€0.00

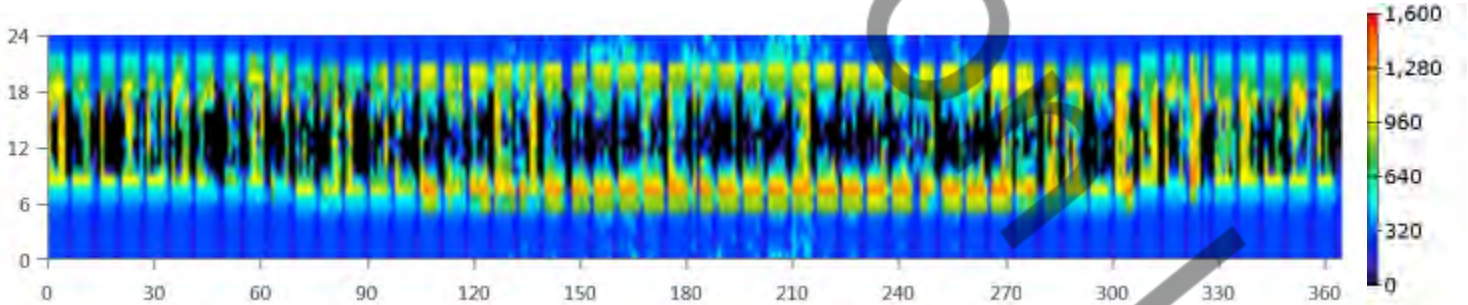
Grid rate: Pico

Month	Energy Purchased (kWh)	Energy Sold (kWh)	Net Energy Purchased (kWh)	Peak Demand (kW)	Energy Charge	Demand Charge
January	157,502	26,422	131,080	0	€0.00	€0.00
February	128,218	27,666	100,552	0	€0.00	€0.00
March	132,519	27,861	104,658	0	€0.00	€0.00
April	134,207	15,276	118,931	0	€0.00	€0.00
May	152,330	16,996	135,333	0	€0.00	€0.00
June	144,166	15,269	128,897	0	€0.00	€0.00
July	140,647	17,119	123,528	0	€0.00	€0.00
August	144,808	20,678	124,130	0	€0.00	€0.00
September	142,594	19,412	123,182	0	€0.00	€0.00
October	165,084	12,925	152,159	0	€0.00	€0.00
November	170,443	16,859	153,584	0	€0.00	€0.00
December	149,625	17,654	131,971	0	€0.00	€0.00
Annual	1,762,141	234,136	1,528,006	0	€246,926	€0.00

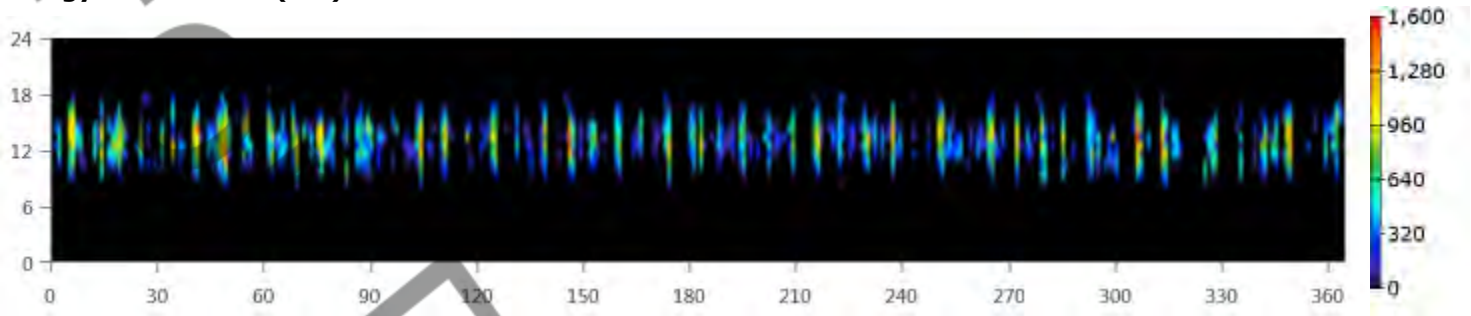
Grid rate: All

Month	Energy Purchased (kWh)	Energy Sold (kWh)	Net Energy Purchased (kWh)	Peak Demand (kW)	Energy Charge	Demand Charge
January	319,567	50,515	269,052	1,327	€0.00	€0.00
February	262,310	54,502	207,808	1,226	€0.00	€0.00
March	286,919	55,448	231,472	1,272	€0.00	€0.00
April	295,152	27,606	267,546	1,447	€0.00	€0.00
May	355,422	31,979	323,444	1,395	€0.00	€0.00
June	344,536	28,127	316,410	1,404	€0.00	€0.00
July	342,913	30,996	311,916	1,438	€0.00	€0.00
August	361,619	35,036	326,583	1,418	€0.00	€0.00
September	331,575	37,244	294,331	1,461	€0.00	€0.00
October	355,677	30,174	325,503	1,411	€0.00	€0.00
November	344,176	37,280	306,896	1,507	€0.00	€0.00
December	306,893	36,938	269,955	1,347	€0.00	€0.00
Annual	3,906,759	455,844	3,450,915	1,507	€384,945	€0.00

Energy Purchased From Grid (kW)



Energy Sold To Grid (kW)



Evaluation Use

## Compare Economics

---

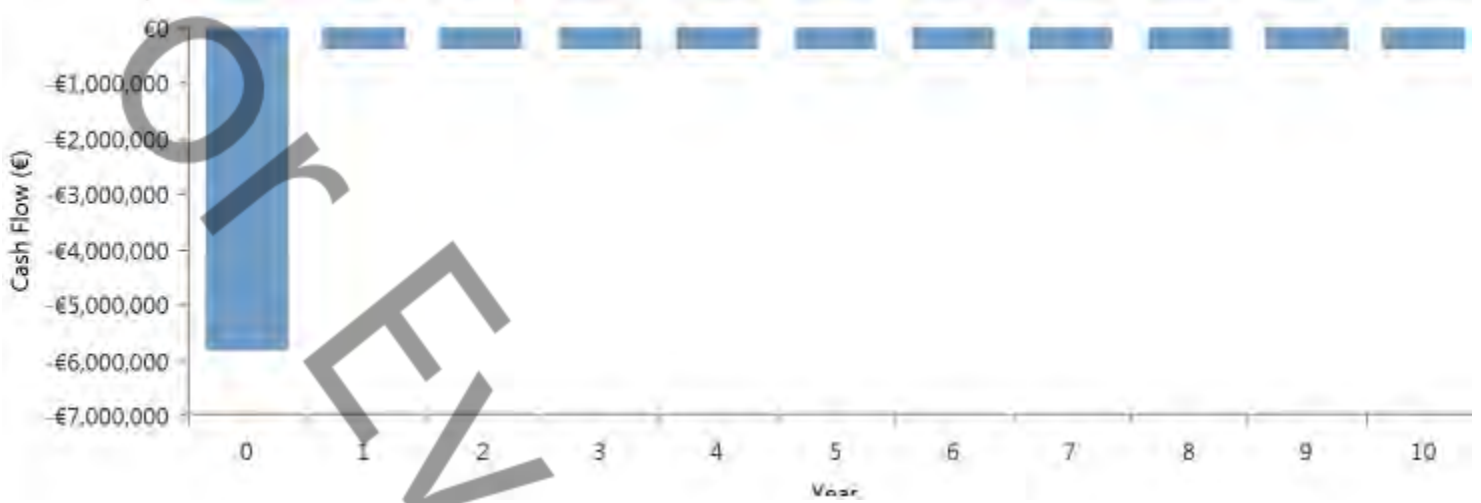
IRR (%): **6.90**

Discounted payback (yr): **6.85**

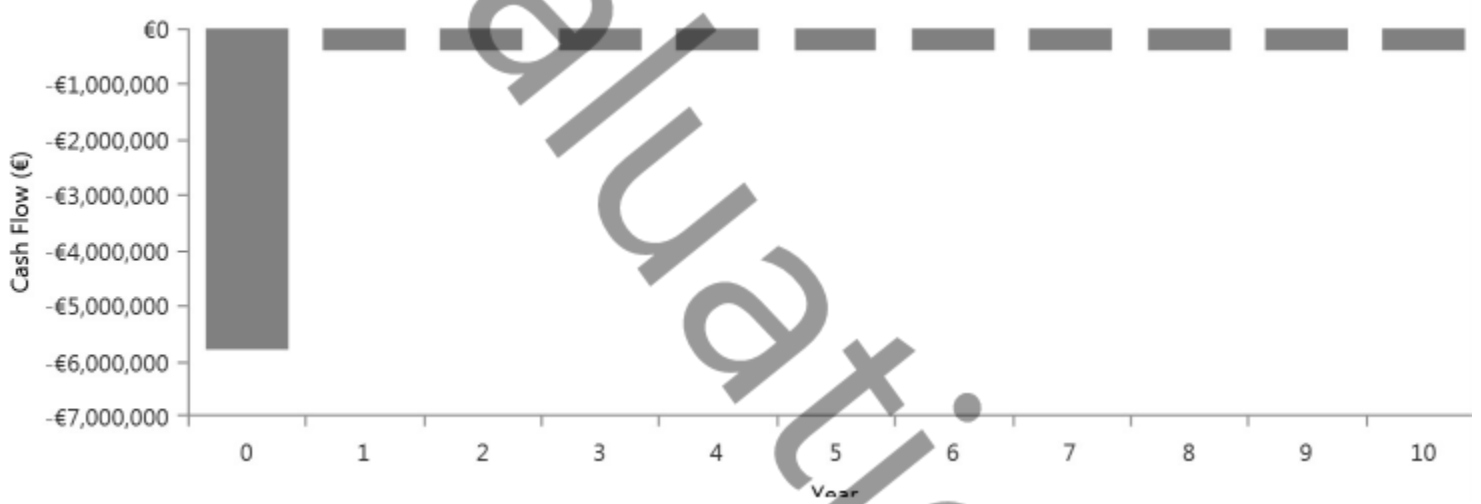
Simple payback (yr): **7.06**

	Base Case	Current System
Net Present Cost	€10.1M	€10.1M
CAPEX	€5.79M	€5.83M
OPEX	€412,055	€406,000
LCOE (per kWh)	€0.142	€0.141
CO2 Emitted (kg/yr)	2,484,286	2,469,072
Fuel Consumption (L/yr)	0	0

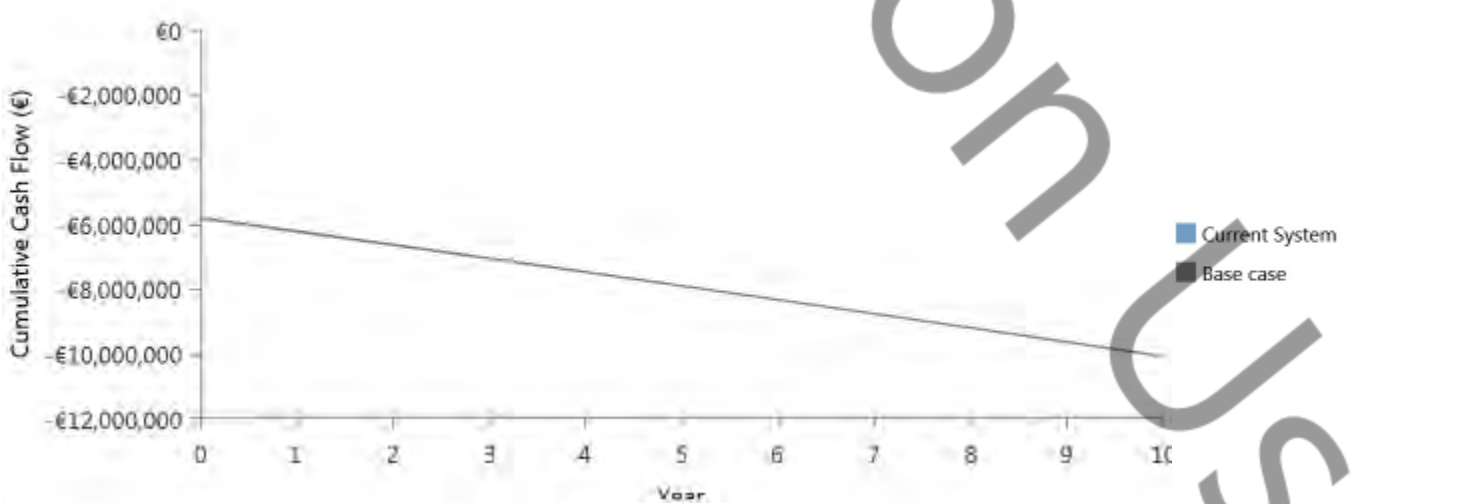
**Current Annual Nominal Cash Flows**



**Base Case Annual Nominal Cash Flows**



**Cumulative Discounted Cash Flows**





Parte IV

Simulaciones HOMER Pro

Carga Térmica



**COMILLAS**  
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

**ICAI**





## System Simulation Report

---



**File:** Solo Red.homer

**Author:** Alvaro Veuthey

**Location:** Av. de Filipinas, s/n, 28003 Madrid, Spain (40°26.6'N, 3°42.4'W)

**Total Net Present Cost:** \$8,073,138.00

**Levelized Cost of Energy (\$/kWh):** \$0.117

**Notes:**

## Table of Contents

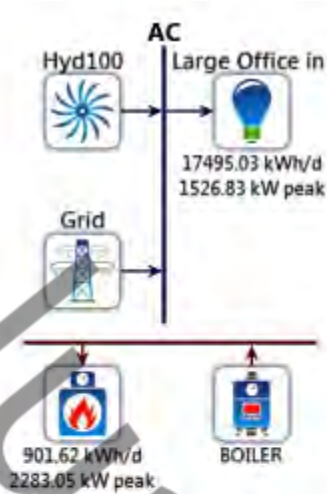
---

System Architecture	3
Cost Summary	4
Cash Flow	5
Electrical Summary	6
Boiler: Generic Boiler	7
Grid: Grid	8
Fuel Summary	11

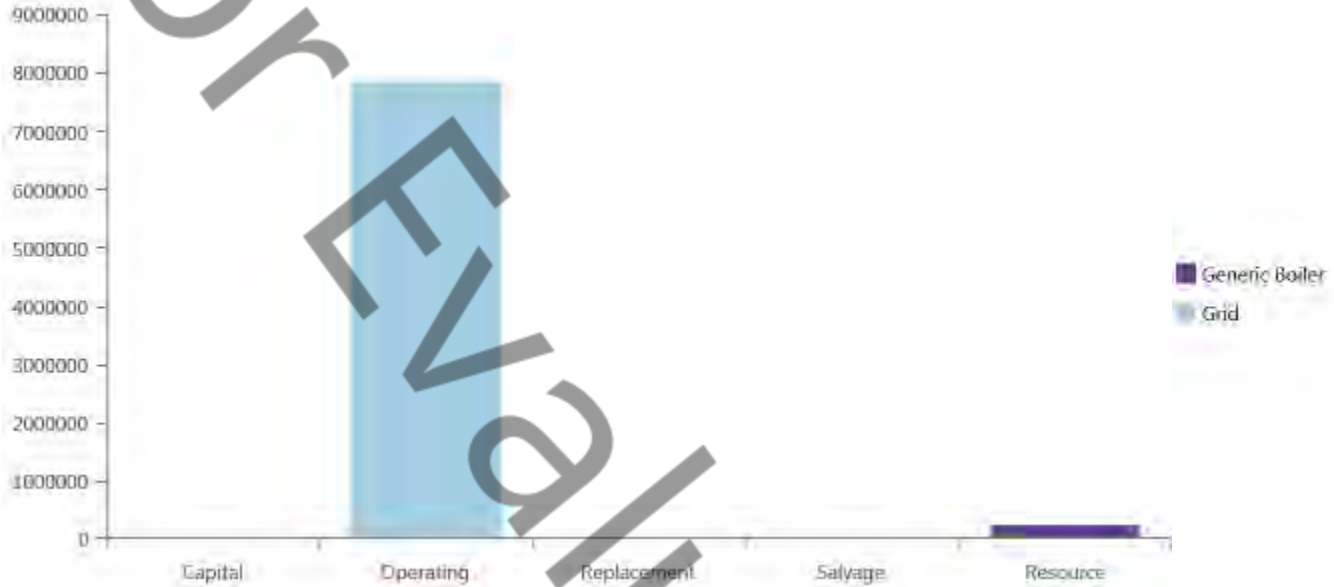
## System Architecture

Component	Name	Size	Unit
Boiler	Generic Boiler	1.00	quantity
Grid	Grid	1,000,000	kW
Dispatch strategy	HOMER Cycle Charging		

## Schematic



## Cost Summary



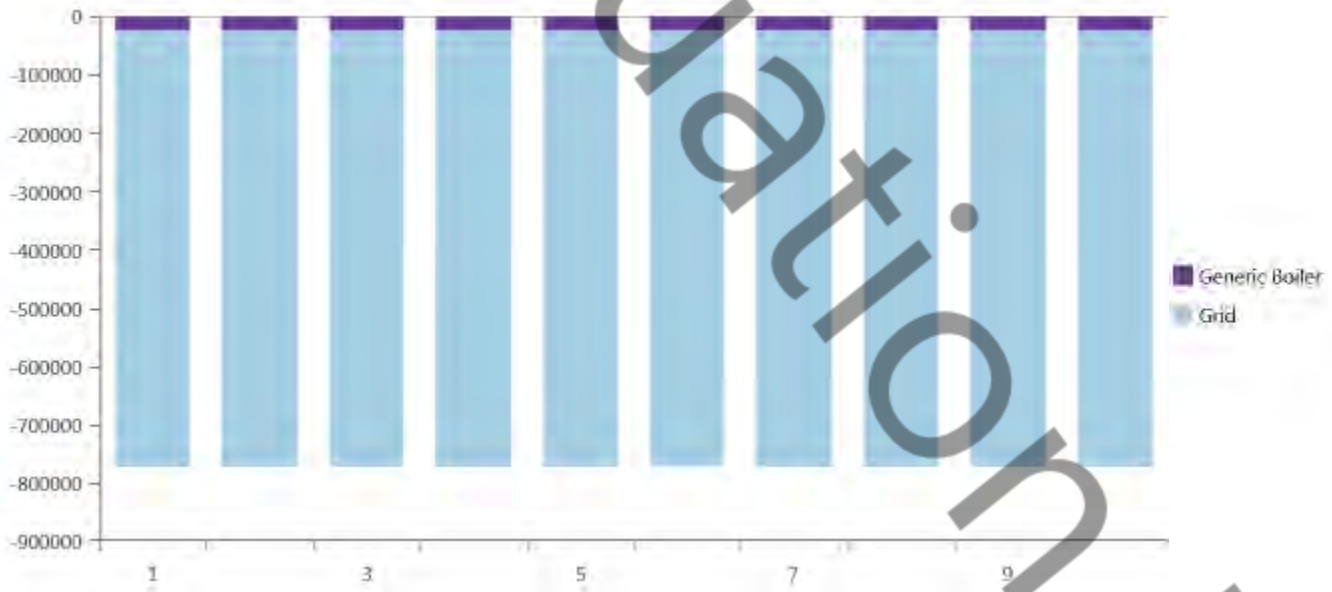
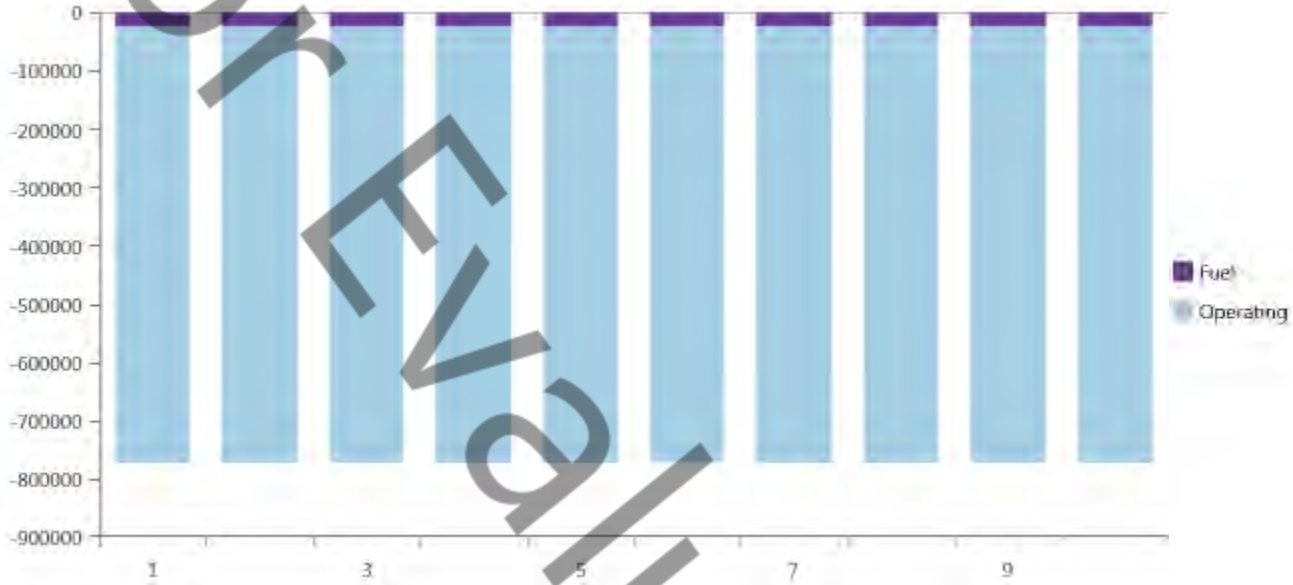
### Net Present Costs

Name	Capital	Operating	Replacement	Salvage	Resource	Total
Generic Boiler	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$254,154	\$254,154
Grid	\$0.00	\$7.82M	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$7.82M
<b>System</b>	\$0.00	\$7.82M	\$0.00	\$0.00	\$254,154	\$8.07M

### Annualized Costs

Name	Capital	Operating	Replacement	Salvage	Resource	Total
Generic Boiler	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$24,367	\$24,367
Grid	\$0.00	\$749,653	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$749,653
<b>System</b>	\$0.00	\$749,653	\$0.00	\$0.00	\$24,367	\$774,020

### Cash Flow



## Electrical Summary

---

### Excess and Unmet

Quantity	Value	Units
Excess Electricity	0	kWh/yr
Unmet Electric Load	0	kWh/yr
Capacity Shortage	0	kWh/yr

### Production Summary

Component	Production (kWh/yr)	Percent
Grid Purchases	6,385,686	100
Total	6,385,686	100

### Consumption Summary

Component	Consumption (kWh/yr)	Percent
AC Primary Load	6,385,686	100
DC Primary Load	0	0
Deferrable Load	0	0
Total	6,385,686	100

## Boiler: Generic Boiler

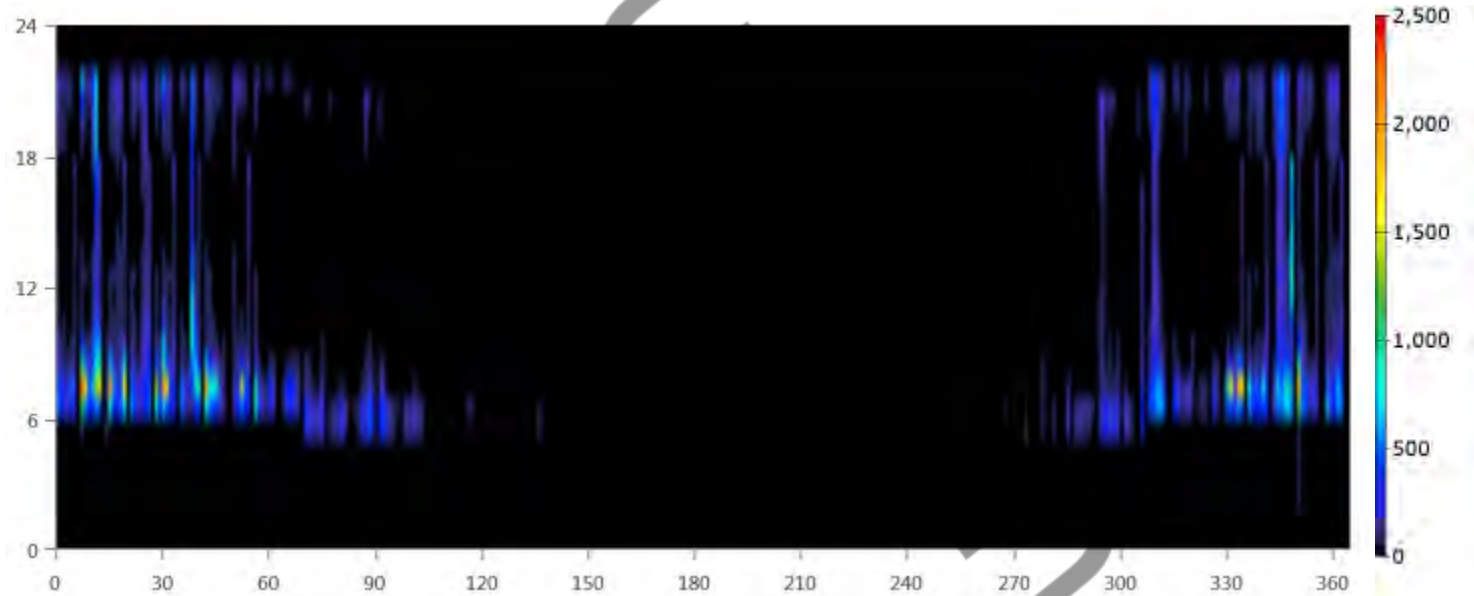
### Generic Boiler Consumption

Quantity	Value	Units
Fuel consumption	35,834	m3/yr
Specific fuel consumption	0.109	m3/kWh
Fuel energy input	353,863	kWh/yr
Mean efficiency	93.0	%

### Generic Boiler Production

Quantity	Value	Units
Hours of operation	8,760	h/yr
Total production	329,092	kWh/yr
Mean output	37.6	kW
Min. output	0.0200	kW
Max. output	2,283	kW

### Generic Boiler Heat Output (kW)



**Grid: Grid**

**Grid rate: Demand 1**

Month	Energy Purchased (kWh)	Energy Sold (kWh)	Net Energy Purchased (kWh)	Peak Demand (kW)	Energy Charge	Demand Charge
January	0	0	0	1,409	\$0.00	\$0.00
February	0	0	0	1,415	\$0.00	\$0.00
March	0	0	0	1,456	\$0.00	\$0.00
April	0	0	0	1,518	\$0.00	\$0.00
May	0	0	0	1,518	\$0.00	\$0.00
June	0	0	0	1,527	\$0.00	\$0.00
July	0	0	0	1,526	\$0.00	\$0.00
August	0	0	0	1,524	\$0.00	\$0.00
September	0	0	0	1,514	\$0.00	\$0.00
October	0	0	0	1,478	\$0.00	\$0.00
November	0	0	0	1,507	\$0.00	\$0.00
December	0	0	0	1,391	\$0.00	\$0.00
Annual	0	0	0	1,527	\$0.00	\$0.00

**Grid rate: SuperValle**

Month	Energy Purchased (kWh)	Energy Sold (kWh)	Net Energy Purchased (kWh)	Peak Demand (kW)	Energy Charge	Demand Charge
January	57,333	0	57,333	0	\$0.00	\$0.00
February	51,492	0	51,492	0	\$0.00	\$0.00
March	63,090	0	63,090	0	\$0.00	\$0.00
April	66,840	0	66,840	0	\$0.00	\$0.00
May	79,964	0	79,964	0	\$0.00	\$0.00
June	86,478	0	86,478	0	\$0.00	\$0.00
July	88,145	0	88,145	0	\$0.00	\$0.00
August	90,394	0	90,394	0	\$0.00	\$0.00
September	79,587	0	79,587	0	\$0.00	\$0.00
October	69,072	0	69,072	0	\$0.00	\$0.00
November	58,782	0	58,782	0	\$0.00	\$0.00
December	56,301	0	56,301	0	\$0.00	\$0.00
Annual	847,479	0	847,479	0	\$47,713	\$0.00

**Grid rate: Valle**

Month	Energy Purchased (kWh)	Energy Sold (kWh)	Net Energy Purchased (kWh)	Peak Demand (kW)	Energy Charge	Demand Charge
January	167,112	0	167,112	0	\$0.00	\$0.00
February	150,226	0	150,226	0	\$0.00	\$0.00
March	193,265	0	193,265	0	\$0.00	\$0.00
April	205,770	0	205,770	0	\$0.00	\$0.00
May	239,979	0	239,979	0	\$0.00	\$0.00
June	244,077	0	244,077	0	\$0.00	\$0.00
July	251,159	0	251,159	0	\$0.00	\$0.00
August	256,553	0	256,553	0	\$0.00	\$0.00
September	228,445	0	228,445	0	\$0.00	\$0.00
October	212,050	0	212,050	0	\$0.00	\$0.00
November	179,048	0	179,048	0	\$0.00	\$0.00
December	156,669	0	156,669	0	\$0.00	\$0.00
Annual	2,484,352	0	2,484,352	0	\$208,437	\$0.00



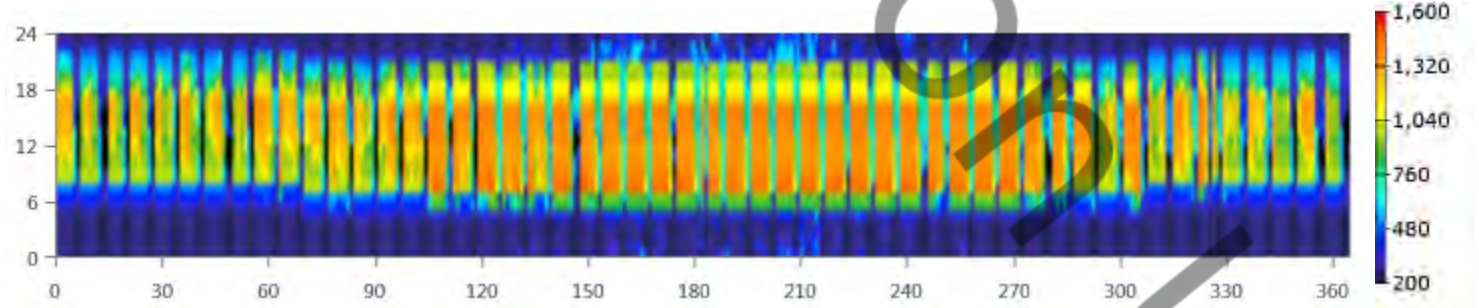
Grid rate: Pico

Month	Energy Purchased (kWh)	Energy Sold (kWh)	Net Energy Purchased (kWh)	Peak Demand (kW)	Energy Charge	Demand Charge
January	229,390	0	229,390	0	\$0.00	\$0.00
February	211,119	0	211,119	0	\$0.00	\$0.00
March	248,006	0	248,006	0	\$0.00	\$0.00
April	250,735	0	250,735	0	\$0.00	\$0.00
May	276,674	0	276,674	0	\$0.00	\$0.00
June	281,866	0	281,866	0	\$0.00	\$0.00
July	292,180	0	292,180	0	\$0.00	\$0.00
August	292,447	0	292,447	0	\$0.00	\$0.00
September	263,433	0	263,433	0	\$0.00	\$0.00
October	255,109	0	255,109	0	\$0.00	\$0.00
November	240,663	0	240,663	0	\$0.00	\$0.00
December	212,233	0	212,233	0	\$0.00	\$0.00
Annual	3,053,856	0	3,053,856	0	\$493,503	\$0.00

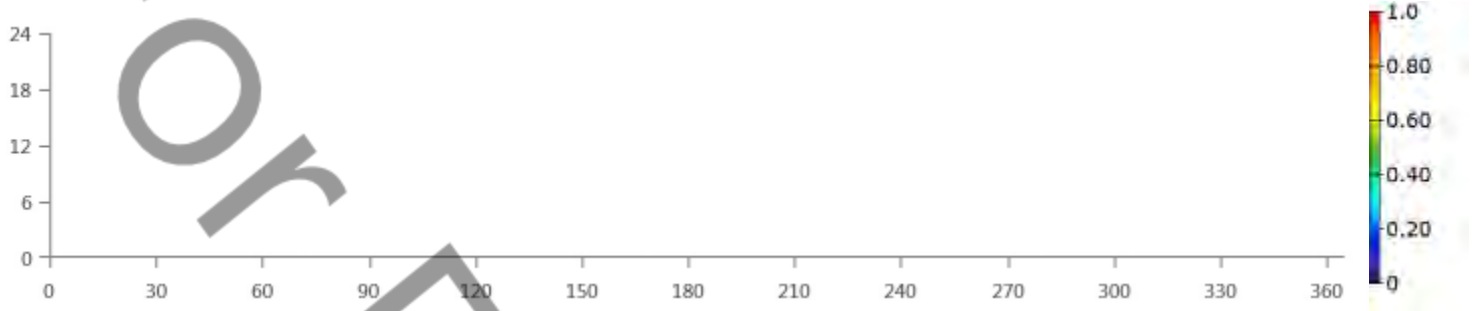
Grid rate: All

Month	Energy Purchased (kWh)	Energy Sold (kWh)	Net Energy Purchased (kWh)	Peak Demand (kW)	Energy Charge	Demand Charge
January	453,835	0	453,835	1,409	\$0.00	\$0.00
February	412,838	0	412,838	1,415	\$0.00	\$0.00
March	504,360	0	504,360	1,456	\$0.00	\$0.00
April	523,345	0	523,345	1,518	\$0.00	\$0.00
May	596,618	0	596,618	1,518	\$0.00	\$0.00
June	612,421	0	612,421	1,527	\$0.00	\$0.00
July	631,484	0	631,484	1,526	\$0.00	\$0.00
August	639,395	0	639,395	1,524	\$0.00	\$0.00
September	571,465	0	571,465	1,514	\$0.00	\$0.00
October	536,230	0	536,230	1,478	\$0.00	\$0.00
November	478,492	0	478,492	1,507	\$0.00	\$0.00
December	425,203	0	425,203	1,391	\$0.00	\$0.00
Annual	6,385,686	0	6,385,686	1,527	\$749,653	\$0.00

Energy Purchased From Grid (kW)



Energy Sold To Grid (kW)



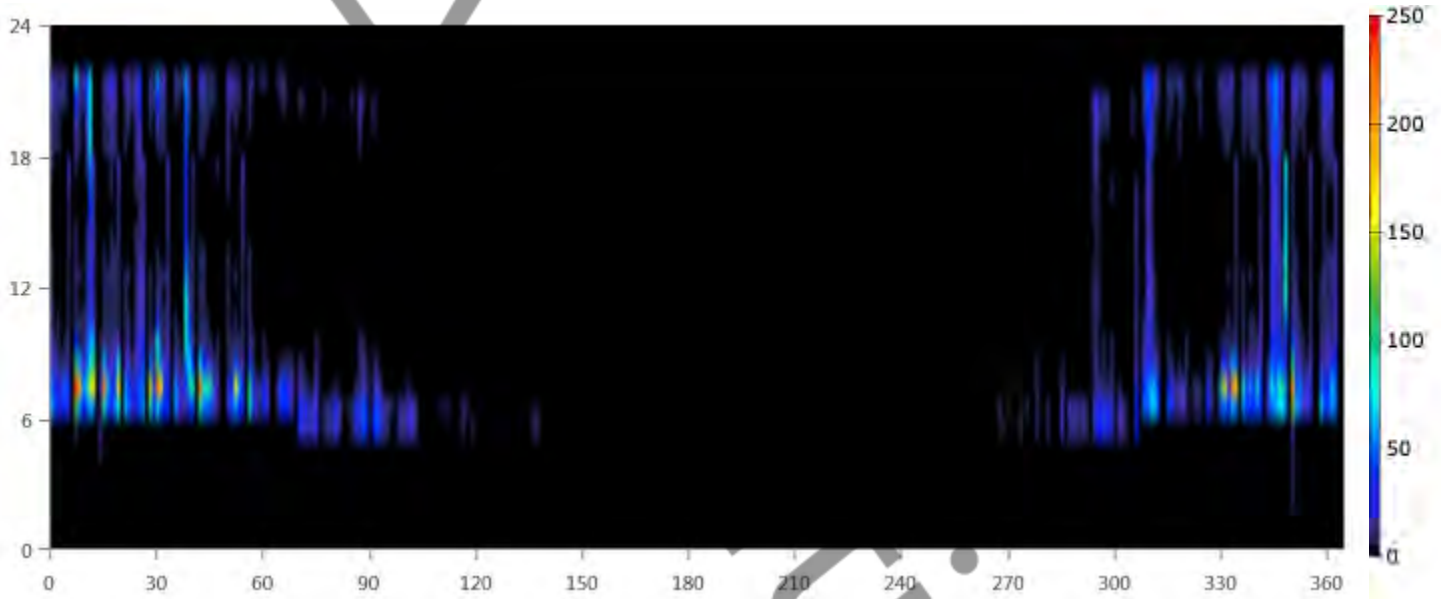
For Evaluation Use

## Fuel Summary

### Natural Gas Consumption Statistics

Quantity	Value	Units
Total fuel consumed	35,834	m <sup>3</sup>
Avg fuel per day	98.2	m <sup>3</sup> /day
Avg fuel per hour	4.09	m <sup>3</sup> /hour

### Natural Gas Consumption (m<sup>3</sup>/hr)



### Emissions

Pollutant	Quantity	Unit
Carbon Dioxide	4,105,299	kg/yr
Carbon Monoxide	0	kg/yr
Unburned Hydrocarbons	0	kg/yr
Particulate Matter	0	kg/yr
Sulfur Dioxide	17,497	kg/yr
Nitrogen Oxides	8,557	kg/yr