



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICA I)

MASTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

ESPECIALIDAD MECÁNICA

OPTIMIZACIÓN DE LA OPERACIÓN DE PLANTAS TERMOSOLARES MEDIANTE EL USO DE UN SIMULADOR CON MODELOS TERMOHIDRÁULICOS

Autor: David Sánchez Plana

Director: Guillermo Vidal Lahera

Madrid

Junio 2016

David
Sánchez
Plana

OPTIMIZACIÓN DE LA OPERACIÓN DE PLANTAS TERMOSOLARES MEDIANTE EL USO DE UN SIMULADOR CON MODELOS TERMOHIDRÁULICOS



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

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

El autor D. David Sánchez Plana DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: OPTIMIZACION DE LA OPERACIÓN DE PLANTAS TERMOSOLARES MEDIANTE EL USO DE UN SIMULADOR CON MODELOS TERMOHIDRÁULICOS 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) Reproducir la 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

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.

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:

- Madrid, a 27 de Junio de 2016

Fdo

[Handwritten signature]

Motivos para solicitar el acceso restringido, cerrado o embargado del trabajo en el Repositorio Institucional:

[illegible]

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
**OPTIMIZACION DE LA OPERACIÓN DE PLANTAS TERMOSOLARES
MEDIANTE EL USO DE UN SIMULADOR CON MODELOS
TERMOHIDRÁULICOS** en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad
Pontificia Comillas en el
curso académico 2015/16 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.:



Fecha: 27 / 6 / 2016

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.:


Guillermo Vidal Lahera

Fecha: 27 / 6 / 2016

Vº Bº del Coordinador de Proyectos

Fdo.:

Fecha: / /



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)

MASTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

ESPECIALIDAD MECÁNICA

OPTIMIZACIÓN DE LA OPERACIÓN DE PLANTAS TERMOSOLARES MEDIANTE EL USO DE UN SIMULADOR CON MODELOS TERMOHIDRÁULICOS

Autor: David Sánchez Plana
Director: Guillermo Vidal Lahera

Madrid
Junio 2016

David
Sánchez
Plana

OPTIMIZACIÓN DE LA OPERACIÓN DE PLANTAS TERMOSOLARES MEDIANTE EL USO DE UN SIMULADOR CON MODELOS TERMOHIDRÁULICOS



OPTIMIZACIÓN DE LA OPERACIÓN DE PLANTAS TERMOSOLARES MEDIANTE EL USO DE UN SIMULADOR CON MODELOS TERMOHIDRÁULICOS.

Autor: Sánchez Plana, David.

Director: Vidal Lahera, Guillermo.

Entidad Colaboradora: Tecnatom S.A.

RESUMEN DEL PROYECTO

Introducción.

El proyecto consistirá en optimizar la operación de una planta termosolar de cilindros parabólicos buscando la adecuada utilización de sus distintos modos de operación. Para ello se realizará un modelo con funciones de transferencia de los sistemas de planta que permita ejecutar los distintos modos de operación de la instalación. Las funciones de transferencia serán obtenidas a partir de transitorios en un simulador que reproduce la respuesta termohidráulica de la planta.

Para entender los modos de operación de la planta, primero se debe realizar un estudio del funcionamiento de una planta termosolar, así como la importancia que tiene en estos el almacenamiento de energía térmica y su utilización. Se concluye, por tanto, que hay 4 modos principales: producción mediante el campo solar, producción mediante el campo solar y carga del almacenamiento de energía térmica, producción mediante el campo solar y descarga del almacenamiento de energía térmica, y producción mediante descarga del almacenamiento de energía térmica. Conociendo estos modos, se pueden deducir cuales son los elementos principales y asignarlos un bloque. En el caso del presente proyecto aparecerán 3 bloques principales (campo solar, almacenamiento térmico y BOP o “Balance of Plant”).

Por otro lado, se deben establecer diferentes funciones de transferencia en función de los distintos bloques con el fin de lograr una operación eficiente. Este proceso de optimización del funcionamiento seguirá unos pasos diferenciados, los cuales son: identificar los parámetros a medir, diseñar los transitorios del simulador, codificar y programar el simulador y validarlo.

Metodología.

La realización del presente proyecto sigue el siguiente orden: estudio de información teórica de la energía termosolar, adquisición de datos de radiación solar, obtención de funciones de transferencia de los principales bloques de la planta, programación en Visual Basic del funcionamiento del simulador, creación de una interfaz sencilla y de fácil comprensión, y por último su validación.

En primer lugar se efectúa un estudio a modo de introducción teórica sobre los aspectos, elementos y el funcionamiento, tanto de la tecnología como del funcionamiento de la planta.

La adquisición de datos de radiación se realiza exportando datos de la biblioteca del software SAM (System Advisor Model), mientras que la obtención de las funciones de transferencia y las posteriores funciones discretizadas se realiza utilizando el simulador de modelos termohidráulicos de Tecnatom, así como el programa Matlab.

Por último, se toma la decisión de utilizar Visual Basic de Excel como herramienta de programación, ya que permite crear de manera más o menos sencilla tanto el funcionamiento de la planta como su interfaz.

Resultados.

Por un lado, la obtención de los datos de radiación se realiza de manera sencilla y no requiere mayor explicación. Sin embargo, la tarea de obtención de las funciones de transferencia y discretizadas sigue un proceso más complejo.

Una vez realizados los ensayos en el simulador de Tecnatom, se utiliza Matlab para comprobar que función de transferencia se adecúa en una mayor proporción a los datos obtenidos. En todos los ensayos se observa que la función de transferencia corresponde a una de segundo orden subamortiguada con retardo puro, que sigue la siguiente estructura:

$$F = \frac{K}{(1 + (2 \cdot z \cdot t_w) \cdot s + (T_w \cdot s)^2) \cdot (1 + t_d \cdot s)}$$

Discretizando dicha función de transferencia obtenemos la función discretizada, que depende de datos de entrada y de salida en instantes de tiempo anteriores así como del incremento de tiempo que se quiera imponer. La función discretizada obtenida en todos los casos sigue la siguiente estructura:

$$S^{n+1} = \frac{G \cdot \frac{E^{n+1} + \tau_1 \frac{S^n}{\Delta t} + \tau_2 \frac{2S^n}{\Delta t^2} - \tau_2 \frac{S^{n-1}}{\Delta t^2}}{\left(1 + \frac{\tau_1}{\Delta t} + \frac{\tau_2}{\Delta t^2}\right)} + \frac{\tau_d}{\Delta t} S^n}{\left(1 + \frac{\tau_d}{\Delta t}\right)} - y_o$$

Los valores de las variables de la función de transferencia y los pertenecientes a la función discretizada para cada uno de los ensayos realizados con el simulador corresponden con los recogidos en las siguientes tablas:

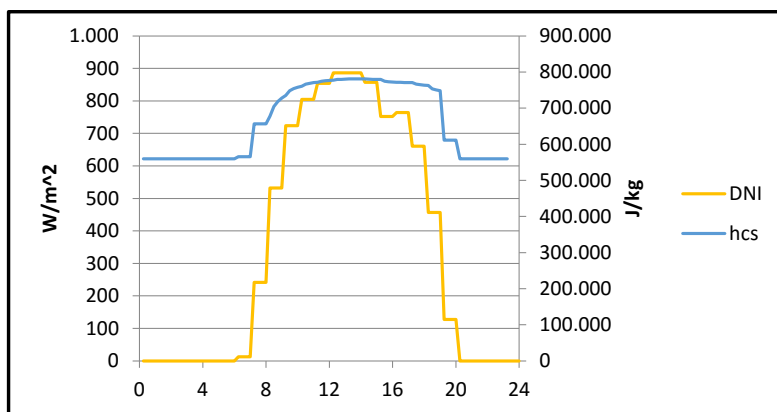
Parámetros de las funciones de transferencia				
Ensayo	k	Tw	zeta	Td
DNI ↓	1,9675	0,079235	0,84134	0,046025
DNI ↑	1,126	0,14687	0,8424	0,07692
Turbina ↓	3,1888	0,088841	0,6954	0
Turbina ↑	8,5219	0,070597	0,80586	0,03038
Carga ↓	1,1678	0,025959	0,85866	0,0091
Carga ↑	1,2159	0,023377	0,98353	0,01306
Descarga ↓	1,0657	0,020131	0,97792	0,00907
Descarga ↑	0,98454	0,029308	0,53221	0,02539

Tabla 1: Parámetros de las funciones de transferencia

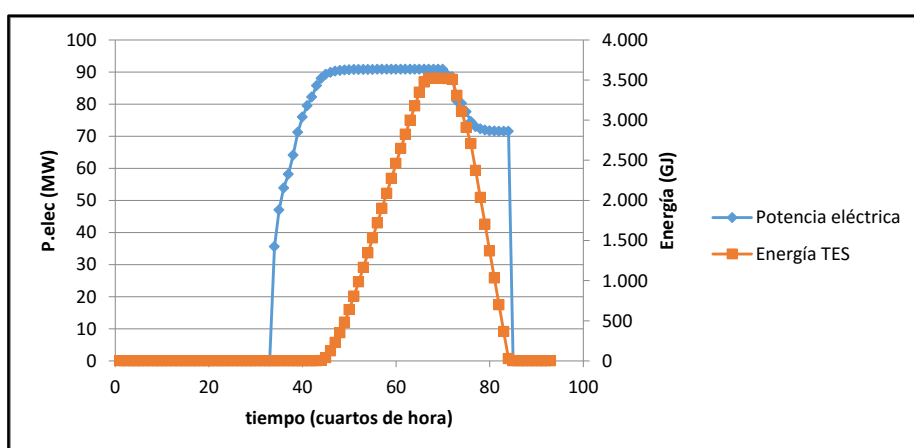
Parámetros de las funciones de discretización						
Ensayo	τ_1	τ_2	τ_d	G	Y_o	fc
DNI ↓	0,13272	0,006241	0,046025	88,7	-213000	45
DNI ↑	0,24744658	0,0215708	0,07692	470	-113000	416,66
Turbina ↓	0,12356006	0,00789272	0	0,00023916	92,2	0,000075
Turbina ↑	0,1137826	0,00498394	0,03038	0,00034088	66,8	0,00004
Carga ↓	0,04457991	0,00067387	0,0091	0,443764	-402000	0,38
Carga ↑	0,04598396	0,00054648	0,01306	0,534996	-311300	0,44
Descarga ↓	0,03937302	0,00040526	0,00907	1,108328	215000	1,04
Descarga ↑	0,03119602	0,00085896	0,02539	1,0042308	96000	1,02

Tabla 2: Parámetros de las funciones de discretización

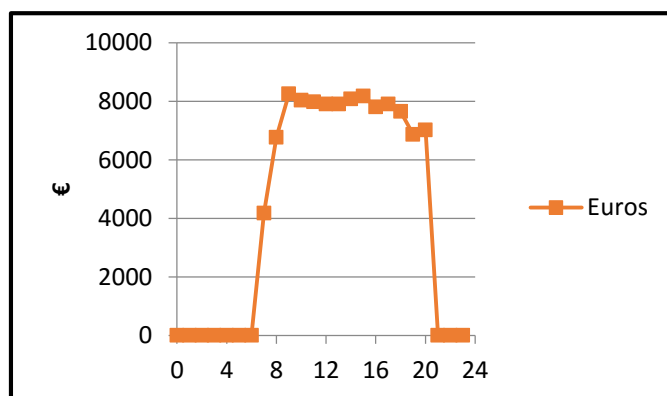
Incluyendo estas funciones discretizadas y utilizando como datos de entrada los datos de radiación de SAM y la curva de retribución €/kWh, se programa en Visual Basic un simulador sencillo. Este simulador es dinámico y varía de modo de operación automáticamente. Además nos proporciona resultados de radiación, entalpía, potencia, energía almacenada en el tanque de sales y retribución diaria. Algunas de las gráficas de salida del simulador son las siguientes:



Gráfica 1: Gráfica de la entalpía del campo solar y la radiación normal directa



Gráfica 2: Gráfica de la potencia eléctrica generada y la energía del almacenamiento térmico



Gráfica 3: Gráfica de retribución diaria

Conclusiones.

Las conclusiones obtenidas del presente proyecto son las siguientes:

- La implantación de funciones de transferencia conlleva a una mayor precisión de simulación, a pesar de que su rango de aplicación esté limitado.
- El simulador obtenido cuenta como una interfaz intuitiva pero exacta, ideal para la fase de formación inicial sobre fundamentos de operación de plantas termosolares.
- La flexibilidad que proporciona un simulador de estas características es alta, permitiendo la parametrización de variables para extrapolar los resultados a otros simuladores.
- Invertir en un simulador es una buena decisión, ya que permiten optimizar los modos de operación, así como su rendimiento económico. Además, el retorno de la inversión suele estar cercano a los 3 meses.

Referencias.

- (Renewables 2015 & 2016 – Global status report)
- “Chinese Wind Energy Association’s Wind Energy, Special Edition 2015”.
- **Tecnatom S. A.**
- Prieto, C., et al. (2016). "Review of technology: Thermochemical energy storage for concentrated solar power plants." Renewable and Sustainable Energy Reviews **60**: 909-929.
- Reddy, R. G. (2011). "Molten Salts: Thermal Energy Storage and Heat Transfer Media." Journal of Phase Equilibria and Diffusion **32**(4): 269-270.
- Abutayeh, M., et al. (2013). "Solar thermal power plant simulation." Environmental Progress & Sustainable Energy **32**(2): 417-424.
- Bauer, P., et al. (2015). "The quiet revolution of numerical weather prediction." Nature **525**(7567): 47-55.

OPTIMIZATION OF THE SOLAR THERMAL PLANTS OPERATION USING A THERMOHYDRAULIC MODEL SIMULATOR.

AutHor: Sánchez Plana, David.

Director: Vidal Lahera, Guillermo.

Collaborating Organization: Tecnatom S.A.

ABSTRACT

Introduction.

The project consists in optimizing the operation of a solar thermal parabolic trough plant, looking for the proper use of its various operating modes. For this purpose a transfer function model of plant systems, capable of implementing the various modes of operation of the installation, will be performed. The transfer functions will be obtained from transients in a thermal hydraulic simulator that reproduces the plant response.

To understand the operation modes of the plant, a study of the operation of a solar thermal plant, as well as the importance of these thermal energy storage and utilization, must be conducted. We conclude, therefore, that there are 4 main modes: production through solar field, production through solar field and loading of thermal energy storage, production through solar field and discharge of thermal energy storage, and production by discharging thermal energy storage. Knowing these modes, the main elements can be deducted and we can assign then a block. In the case of this project there are 3 main blocks (solar field, thermal energy storage and balance of plant).

On the other hand, there must be set different transfer functions depending on the different blocks in order to achieve efficient operation. This performance optimization process will follow different steps, which are: identifying the parameters to be measured, designing simulator transients, coding and programming the simulator and validating it.

Methodology.

The realization of this project follows the incoming order: study of theoretical information of solar thermal energy, data acquisition of solar radiation, obtaining transfer functions of the main blocks of the plant, Visual Basic programming the simulator operation, creating a simple and easy to understand interface, and finally validation.

First, a study was performed as a theoretical introduction to the aspects, elements and performance both the technology and the plant operation.

Acquisition of radiation data is performed exporting data from the software library SAM (System Advisor Model), while obtaining transfer functions and subsequent discretised functions are performed using the Tecnatom's thermohydraulic model simulator and the Matlab program.

Finally, the decision to using Excel's Visual Basic programming tool is taken, as it enable creating more or less easily, both the operation of the plant as its interface.

Results.

On one hand, obtaining radiation data is made simply and does not require further explanation. However, the task of obtaining the transfer functions and discretised ones follows a more complex process

Once the tests in the Tecnatom's simulator are done, Matlab is used to verify that transfer function fits in a greater proportion to the data. In all tests we can notice that the transfer function corresponds to a second order underdamped with pure delay, which follows the following structure:

$$F = \frac{K}{(1 + (2 \cdot z \cdot t_w) \cdot s + (T_w \cdot s)^2) \cdot (1 + t_d \cdot s)}$$

Discretising that transfer function we obtain the discretised function, which depends on input and output in previous instants of time and the increase of time we wants to impose. The discretised function obtained in all cases follows the following structure:

$$S^{n+1} = \frac{G \cdot \frac{E^{n+1} + \tau_1 \frac{S^n}{\Delta t} + \tau_2 \frac{2S^n}{\Delta t^2} - \tau_2 \frac{S^{n-1}}{\Delta t^2}}{\left(1 + \frac{\tau_1}{\Delta t} + \frac{\tau_2}{\Delta t^2}\right)} + \frac{\tau_d}{\Delta t} S^n}{\left(1 + \frac{\tau_d}{\Delta t}\right)} - y_o$$

The values of the variables of the transfer function and the discretised function belonging to each of the tests performed with the simulator correspond with those included in the following tables:

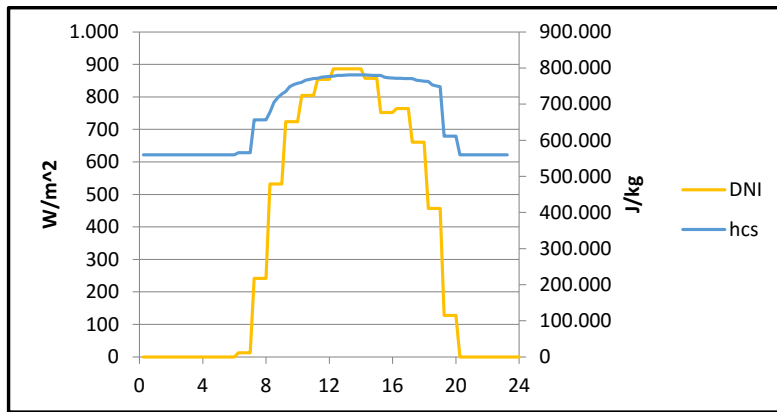
Transfer function parameters				
Test	k	Tw	zeta	Td
DNI ↓	1,9675	0,079235	0,84134	0,046025
DNI ↑	1,126	0,14687	0,8424	0,07692
Turbine ↓	3,1888	0,088841	0,6954	0
Turbine ↑	8,5219	0,070597	0,80586	0,03038
Load ↓	1,1678	0,025959	0,85866	0,0091
Load ↑	1,2159	0,023377	0,98353	0,01306
Discharge ↓	1,0657	0,020131	0,97792	0,00907
Discharge ↑	0,98454	0,029308	0,53221	0,02539

Table 1: Transfer function parameters

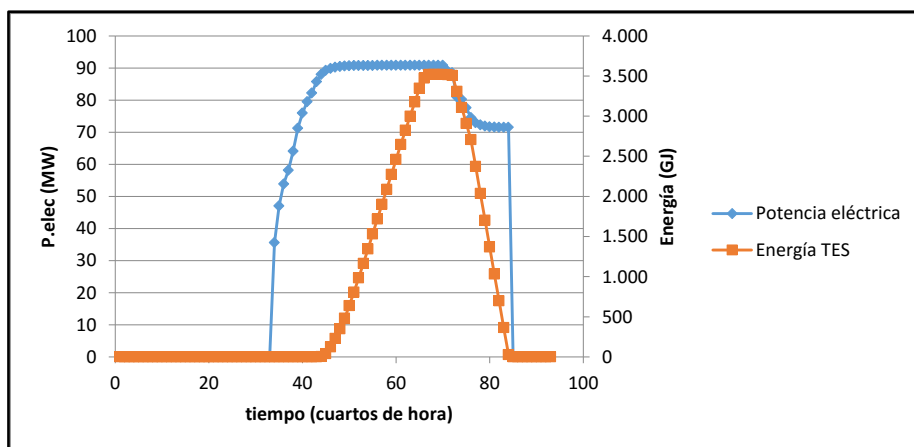
Discretised function parameters						
Test	τ_1	τ_2	τ_d	G	Y_o	fc
DNI ↓	0,13272	0,006241	0,046025	88,7	-213000	45
DNI ↑	0,24744658	0,0215708	0,07692	470	-113000	416,66
Turbine ↓	0,12356006	0,00789272	0	0,00023916	92,2	0,000075
Turbine ↑	0,1137826	0,00498394	0,03038	0,00034088	66,8	0,00004
Load ↓	0,04457991	0,00067387	0,0091	0,443764	-402000	0,38
Load ↑	0,04598396	0,00054648	0,01306	0,534996	-311300	0,44
Discharge ↓	0,03937302	0,00040526	0,00907	1,108328	215000	1,04
Discharge ↑	0,03119602	0,00085896	0,02539	1,0042308	96000	1,02

Table 2: Discretised function parameters

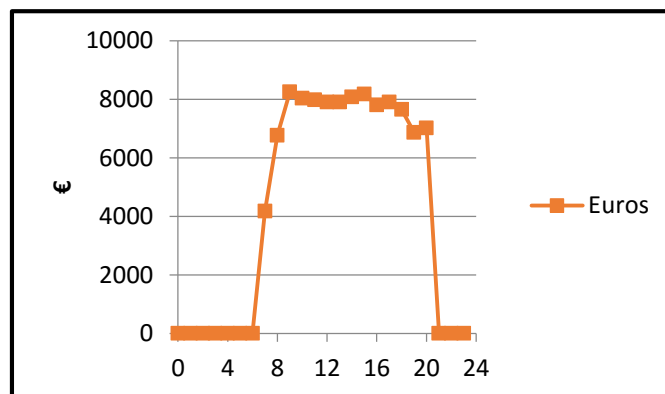
Including these discretised functions and using as input data SAM radiation data and remuneration curve €/kWh, is programmed in Visual Basic a simple simulator. This simulator is dynamic and varies operating mode automatically. Also it provides us with results of radiation, enthalpy, power, energy stored in the melted salts tank and daily retribution. Some of the output graphics of the simulator are the following:



Graph 1: Solar field enthalpy and direct normal radiation graph



Graph 2: Generated electricity and thermal energy storage graph



Graph 3: Daily remuneration graph

Conclusions.

The conclusions of this project are as follows:

- The implementation of transfer functions leads to greater accuracy of simulation, although its application range is limited.
- The obtained simulator has an intuitive but accurate interface, ideal for initial training on fundamentals of operation of CSP plants.
- The flexibility provided by a simulator of these features is high, allowing the parameterization of variables to extrapolate the results to other simulators.
- Investing in simulators is a good decision as they allow to optimize operating modes and their economic performance. In addition, the return on investment is usually close to 3 months.

References.

- (Renewables 2015 & 2016 – Global status report)
- “Chinese Wind Energy Association’s Wind Energy, Special Edition 2015”.
- **Tecnatom S. A.**
- Prieto, C., et al. (2016). "Review of technology: Thermochemical energy storage for concentrated solar power plants." Renewable and Sustainable Energy Reviews **60**: 909-929.
- Reddy, R. G. (2011). "Molten Salts: Thermal Energy Storage and Heat Transfer Media." Journal of Phase Equilibria and Diffusion **32**(4): 269-270.
- Abutayeh, M., et al. (2013). "Solar thermal power plant simulation." Environmental Progress & Sustainable Energy **32**(2): 417-424.
- Bauer, P., et al. (2015). "The quiet revolution of numerical weather prediction." Nature **525**(7567): 47-55.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Capítulo 1: Introducción y planteamiento

1.1.	Motivación del proyecto	3
1.1.1.	Energía termosolar: una energía renovable.....	3
1.1.2.	Simuladores de termosolares.....	6
1.1.3.	Selección de la empresa para el desarrollo del proyecto	8
1.1.4.	Conclusiones de la motivación	12
1.2.	Objetivo del proyecto.....	13
1.3.	Introducción teórica	15
1.3.1.	Energía solar concentrada CSP	15
1.3.2.	Colectores de cilindro parabólico.....	17
1.3.3.	Almacenamiento térmico.....	18
1.3.4.	Sales fundidas.....	20

Capítulo 2: Descripción de las tecnologías

2.1.	Estado de la simulación de las centrales termosolares.....	23
2.2.	Modelos de previsión de la energía solar	27
2.2.1.	Predicciones pasadas las 6 horas	27
2.2.2.	Predicciones entre 2 y 6 horas	28
2.2.3.	Predicciones antes de 2 horas.....	28
2.2.4.	Conclusiones de los modelos de predicción	29
2.3.	Aspectos innovadores	31

Capítulo 3: Descripción del modelo desarrollado

3.1.	Modos de operación	33
3.2.	Datos obtenidos	37
3.2.1.	Obtención de datos de radiación solar	37
3.2.2.	Datos obtenidos mediante ensayos en el simulador de Tecnatom	41
3.3.	Función de transferencia.....	49
3.4.	Creación del simulador.....	85

3.4.1.	Interfaz visual	85
3.4.2.	Calculo de la radiación	92
3.4.3.	Módulo extra: potencia del campo solar	93
3.4.4.	Gráfico funcional secuencial	95
3.4.5.	Programación de las ecuaciones y decisiones tomadas.....	95
Capítulo 4: Análisis de resultados		
4.	Resultados de la simulación	99
Capítulo 5: Conclusiones		
5.	Conclusiones.....	105
Capítulo 6: Anexos		
6.1.	Planos	107
6.2.	Código.....	117
Capítulo 7: Bibliografía		
7.	Bibliografía	161

1.1. Motivación del proyecto

En el presente epígrafe se muestran los aspectos considerados como base y justificación para la consecución del presente Proyecto Fin de Máster, así como la empresa seleccionada para su guía y dirección. La importancia que cobra actualmente la energía termosolar, principalmente en nuestro país, junto con la necesidad de realizar nuevas investigaciones con el objetivo de poder optimizar diferentes áreas de las centrales productoras de esta energía, principalmente sus simuladores, es el elemento fundamental que ha motivado la elección de este tema.

1.1.1. Energía termosolar: una energía renovable

De acuerdo con el informe sobre la situación de las energías renovables a nivel mundial del 2016 (Renewables 2015 – Global status report), se constata que la generación eléctrica gracias a las energías renovables ha **aumentado un 0,9%** el último año. Esto confirma la tendencia que se está tomando hacia el uso cada vez mayor de este tipo de energías.

Por otra parte, hoy en día únicamente el 0,4% de la electricidad producida proviene del conjunto de energías mareomotriz y termosolar concentrada (CSP) como se puede observar en la Imagen 1.1. Además si lo comparamos con la del año pasado podemos constatar el crecimiento del resto de energías renovables, mientras que la combinación **mareomotriz-CSP se mantiene estable en 0,4%** (Imagen 1.2).

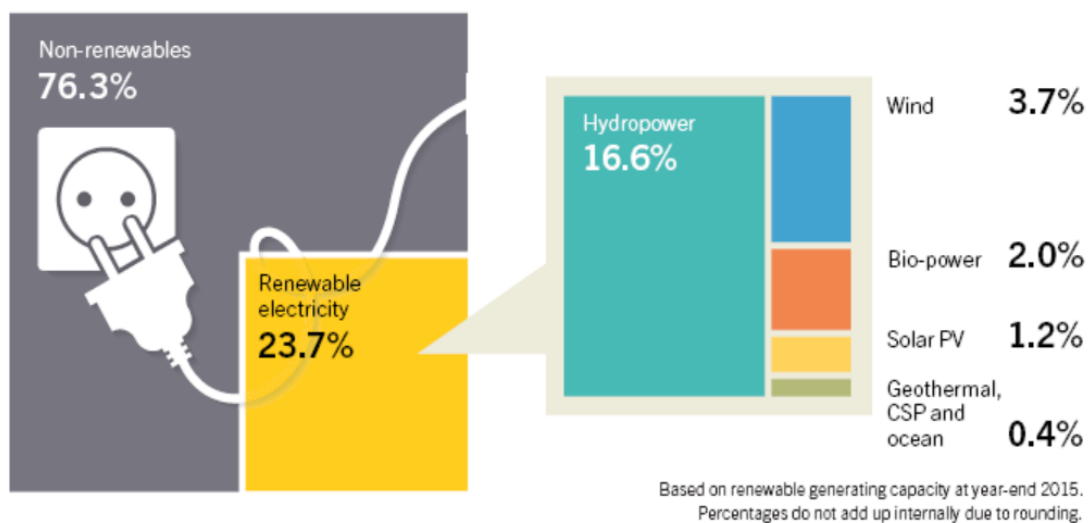


Imagen 1.1: Porcentaje de energías destinadas a la generación eléctrica en 2016

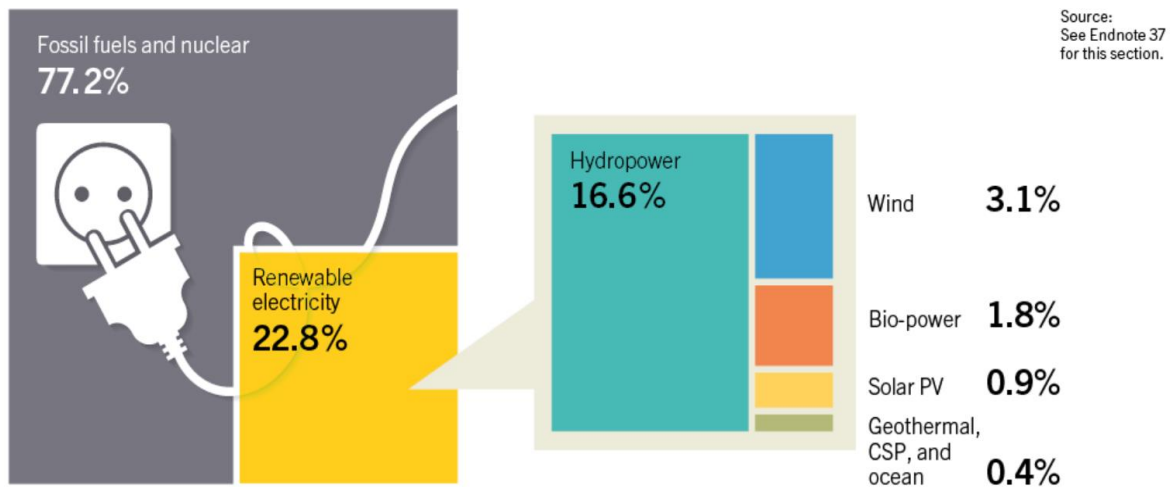


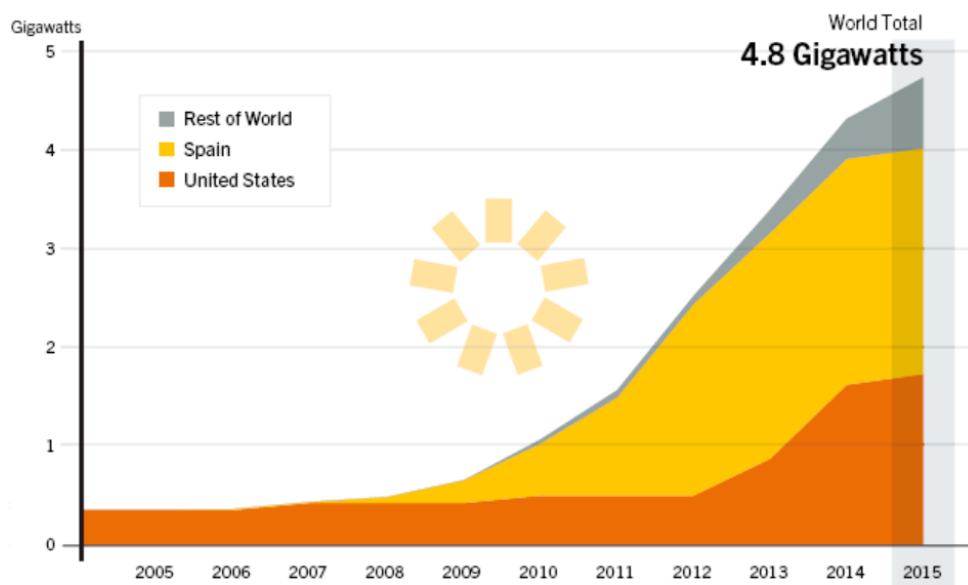
Imagen 1.2: Porcentaje de energías destinadas a la generación eléctrica en 2015

Es aquí donde surge esa necesidad de mejorar e incrementar la utilización de la tecnología termosolar concentrada. Esta energía genera una serie de beneficios entre los que se pueden destacar, el hecho de que no produce gases de efecto invernadero causantes del cambio climático, además de **adecuarse a la demanda eléctrica**, ya que en determinadas ocasiones genera la mayor cantidad de energía justo cuando se necesita: por ejemplo en los días calurosos y soleados cuando las personas encienden los aparatos de aire acondicionado. Esta adecuación a la demanda también se debe a la posibilidad de almacenar la energía térmica en tanques de sales fundidas para su posterior utilización en un momento del día en el que la radiación solar sea mínima o nula. Cuenta además con otra ventaja respecto de la tecnología fotovoltaica (PV), y es su **menor coste**, ya que las placas de silicio empleadas en los paneles fotovoltaicos tienen un elevado precio.

En cuanto a la capacidad instalada de esta tecnología el 2015 supuso un punto de inflexión en la expansión del mercado de la energía termosolar concentrada más allá de **España y Estados Unidos** (que unidas representan aproximadamente el **90 % de la capacidad instalada**). Al final del año, numerosas instalaciones estaban en construcción en Australia, Chile, China, India, Israel, México, Arabia Saudí y Sudáfrica. Marruecos y Sudáfrica superaron a los Estados Unidos en la capacidad añadida, por lo que Marruecos se convirtió en el primer país en vías de desarrollo en alcanzar la cima del mercado mundial de CSP. Además, todas las instalaciones de este tipo, especialmente las de tecnología de cilindro parabólico (la cual ha eclipsado al resto de tecnologías CSP como Fresnel, disco parabólico o de torre) que fueron instaladas a finales de 2015 y principio de 2016 contaban con almacenamiento de energía térmica, aumentando así su flexibilidad y competencia.

Otro dato importante de lo ocurrido en 2015 es que la capacidad total de Sudáfrica alcanzó 200 MW, estando otros 200 MW bajo construcción. Gracias a este hito el acceso a la red en zonas de alta insolación se ha convertido en un desafío clave para los proyectos de CSP del Sur de África, muchos de los cuales se planean realizar en regiones con limitadas redes de transmisión. En Estados Unidos, por el contrario, la evolución de la capacidad instalada de energía solar concentrada se ha paralizado este último año debido al bajo precio del gas natural y al aumento del interés por la energía fotovoltaica, quedándose fija en unos 1,7 GW.

España sigue siendo el líder mundial en capacidad de CSP existente, con 2,3 GW a finales de año 2015. Sin embargo, en el 2015 la capacidad no aumentó considerablemente y a principios de 2016 no había nuevas instalaciones CSP en construcción, en proyecto o en desarrollo en el país. Estos últimos datos pueden verse reflejados en la Gráfica 1.1.



Gráfica 1.1: Capacidad instalada de energía termosolar concentrada a nivel mundial

Como último punto que mencionar sobre este apartado, la colaboración entre China y Estados Unidos en la generación de energía termosolar, ha estado en marcha desde hace algún tiempo. Varios estudios demuestran que China posee un rico recurso solar en su territorio (Imagen 1.3). Todo esto ha generado un gran impacto, de tal manera que los primeros proyectos de demostración a gran escala están a punto de salir a la luz, allanando el camino para la continua innovación tecnológica y amplificación de este mercado. Esta información puede consultarse fácilmente en el artículo de la revista “Chinese Wind Energy Association’s Wind Energy, Special Edition 2015”.

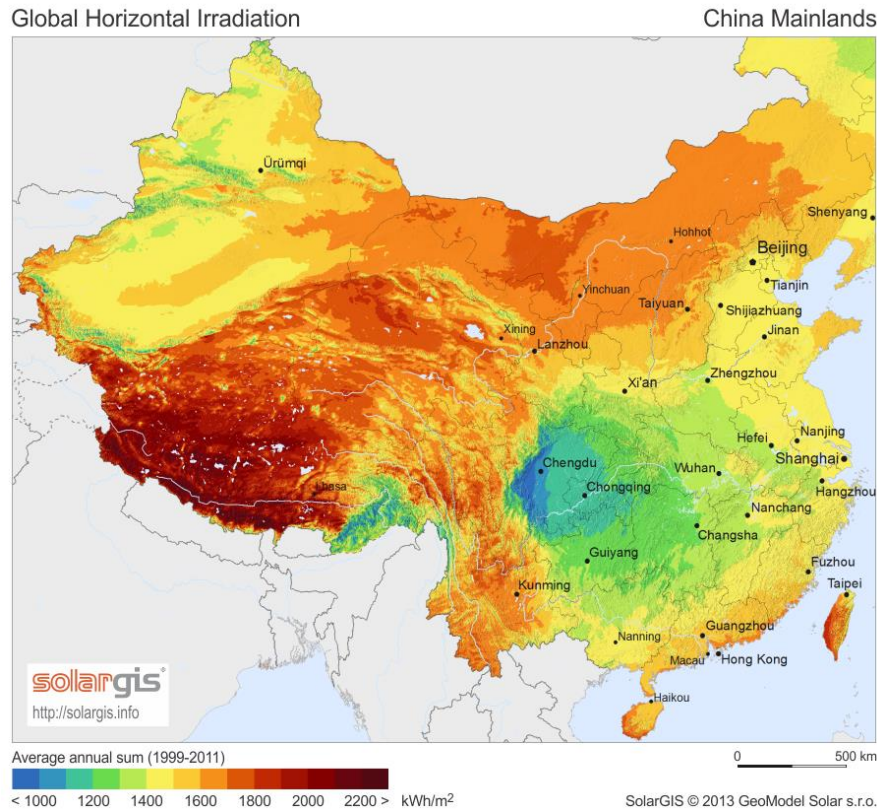


Imagen 1.3: Radiación solar media anual en China (1999-2011)

1.1.2. Simuladores de termosolares

Una de las posibles áreas de mejora de esta tecnología son los simuladores y modelos meteorológicos que permitan que la planta opere de forma eficiente. Todo esto unido a que la energía termosolar tiene un futuro asegurado dentro del mix energético mundial, motiva en gran parte la realización de este proyecto.

Otro aspecto importante que justifica e impulsa el desarrollo del presente proyecto, es el uso actual de simuladores en plantas termosolares. Hoy en día es difícil sacar el rendimiento óptimo a dichas plantas debido a su complicada operación a máximo rendimiento. Gracias a los simuladores, los operarios tienen la oportunidad de comprobar el comportamiento de las plantas en distintos escenarios y actuar en consecuencia. Estos simuladores también pueden servir como instrumento de docencia y preparación de futuros operarios, y es necesario reflejar el comportamiento de la planta lo mejor posible para poder instruir a estos técnicos adecuadamente.

A continuación se detallan de forma esquemática las áreas en las cuales se usan los simuladores y el valor añadido que pueden proporcionar a las plantas de generación, con el fin de clarificar este punto y justificar la creación de un simulador como objetivo principal de este proyecto.

- Uso de los simuladores

- a) **Entrenamiento**

Los simuladores son típicamente utilizados para la formación de los operadores y el resto de personal de ingeniería y explotación de la instalación, previa a la puesta en marcha de la instalación y, para reentrenamientos y pruebas durante la operación de la misma.

- b) **Apoyo a ingeniería**

Los simuladores de plantas de generación se utilizan en las siguientes fases de proyecto.

b.1) Durante el diseño de la planta, para su validación y el análisis de sistemas.

b.2) Durante la construcción y puesta en marcha, para la verificación y validación de las lógicas y de la interfaz hombre-máquina (pantallas de operación).

b.3) Durante la operación de la planta, como apoyo a las modificaciones y análisis de eficiencia.

- Valor añadido de los simuladores

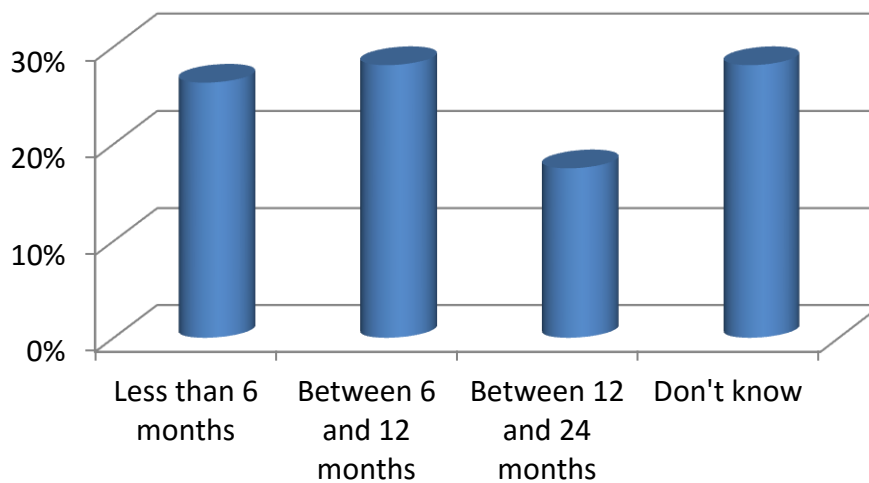
En un estudio clásico sobre simuladores de plantas de energía en los Estados Unidos (Electric Power Research Institute: EPRI TR-102690), los beneficios de los simuladores se dividieron en cuatro categorías de ahorro:

- Aumento de la disponibilidad de la instalación, produciéndose menos disparos y fallos de operación
- Optimización del rendimiento térmico
- Aumento de la vida de los componentes de la planta, ya que una buena operación produce menos fallos de equipos y un aumento de su fiabilidad
- Cumplimiento con los requisitos medioambientales al prevenir accidentes

Todo lo anterior puede suponer un **ahorro de unos \$ 4,500 por MW instalado**. Esto significa que la recuperación de la inversión para el desarrollo de un simulador será de unos 3 meses. Este estudio ha sido implícitamente extendido a otras áreas de la industria con el fin de justificar el uso de simuladores.

Para verificar y justificar lo expuesto anteriormente se puede observar la siguiente gráfica de barras (Gráfica 1.2). Ésta indica que aproximadamente el 30% de los casos en que se invierte en un simulador, dicha inversión se recupera en menos de 6 meses y el otro 30% de los casos lo recupera entre 6 y 12 meses. Si se mira en conjunto, se deduce que en el **70% de los casos el ROI (retorno de la inversión) no supera los 2 años**.

Time to realize ROI
(Data from ARC Strategies for OTS Feb. 2014)



Gráfica 1.2: Retorno de la inversión de simuladores

1.1.3. Selección de la empresa para el desarrollo del proyecto

A continuación se describe la compañía que ha tutorizado y gestionado el proyecto, ofreciendo en todo momento su ayuda y colaboración para el desarrollo del mismo. Dicha empresa se denomina **Tecnatom S. A.**

Descripción de la Compañía

Tecnatom, es una empresa de ingeniería que presta sus servicios en el sector de generación de energía eléctrica desde su creación en el **año 1957**. Su actividad principal se centra en la prestación de servicios de inspección e integridad estructural de componentes, el adiestramiento de personal de operación mediante simuladores de alcance total, y la ingeniería de ayuda a la operación de centrales.

Los accionistas de Tecnatom son las principales compañías eléctricas españolas: Endesa, Iberdrola y Gas Natural Fenosa.

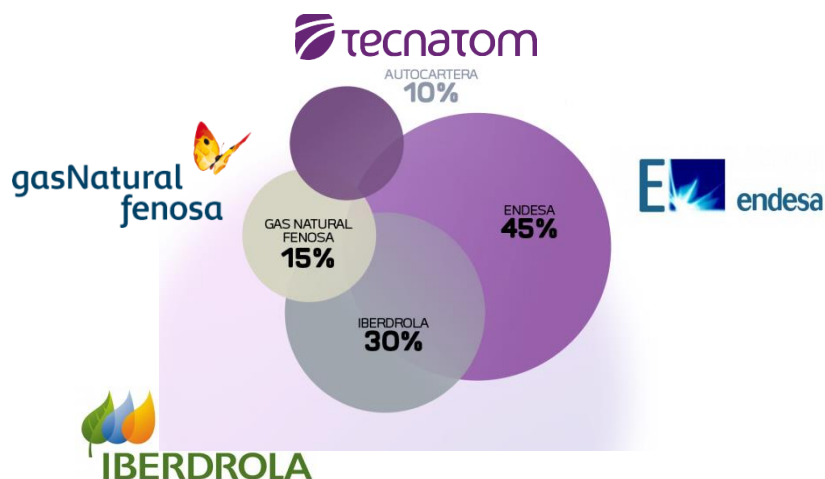


Imagen 1.4: Tecnatom y sus accionistas

En la última década, Tecnatom ha diversificado sus servicios y productos en el **mercado internacional** y en otros sectores industriales como el aeronáutico, ferroviario, petroquímico, etc. Suministra servicios y productos con **altos contenidos tecnológicos** los cuales mejora continuamente para adaptarse a las necesidades y requisitos de los diversos clientes y mercados.

Hoy día es un grupo empresarial con presencia internacional que ha extendido la oferta de sus servicios y productos a otros países a través de sus filiales en Francia, Brasil, China, Estados Unidos, México y Emiratos Árabes Unidos.

Además del mercado nacional en sus diferentes ramas nucleares, térmicas, hidráulicas, ciclo combinado, renovables, petroquímicas, aeronáutico, ferroviario, etc., los mercados internacionales se han convertido hoy en un espacio natural de la acción cotidiana de Tecnatom, como refleja el hecho de que a lo largo de la última década se ejecuten proyectos desde los Estados Unidos de América hasta Japón, pasando por Suecia, Finlandia, Corea del Sur, Taiwan, Brasil, Argentina, México, los países de Europa del Este, Rusia, Ucrania, etc. y que sus métodos de trabajo hayan sido validados por diferentes clientes y autoridades reguladoras del ámbito internacional.

Bien directamente o a través de estos acuerdos estratégicos con los principales suministradores, las capacidades tecnológicas y los productos y servicios de Tecnatom están ya presentes en los mercados nacional e internacional, y seguirán haciéndolo en el futuro.

Capacidades tecnológicas / Productos y Servicios

- Servicios de Inspección e Integridad Estructural

Incluye los servicios de inspección automáticos mediante técnicas de ensayos no destructivos de componentes mecánicos, combustible nuclear fresco e irradiado, componentes relacionados con la seguridad nuclear, turbo generadores, cambiadores de calor o generadores de vapor.



- Pruebas de Operabilidad de Sistemas y Componentes

Tales como pruebas de fugas y diagnosis de válvulas, pruebas de tarado y fugas de válvulas de seguridad, test de fugas de la contención, pruebas ventilación y filtros HVAC, pruebas de amortiguadores y muelles, pruebas de equipos eléctricos y de instrumentación y control, análisis de eficiencia y auditoría de la planta y del ciclo y los laboratorios certificados (acreditación ENAC) de presión, temperatura y caudal de gases.

- Desarrollo de Productos de Ensayos No Destructivos

Productos adaptados para los sectores energético y aeroespacial, incluyendo sistemas altamente integrados en procesos de producción, diseñados para componentes metálicos y composites, Inspecciones in-line y off-line, pórticos Gantry y sistemas robotizados (Sistema TAURUS) para todas las tecnologías de ensayos no destructivos (Ultrasonidos Phased Array y Láser UT, Corrientes Inducidas, Visual, Luz Estructurada y Gammagrafía).

- Servicios de Ingeniería

Entre los que se encuentra la Ingeniería y Programas ISI, los Estudios de Integridad Estructural, la Caracterización de Materiales, la Ingeniería de Operación a Largo Plazo (LTO), el Suministro de Equipos Clase Nuclear y Repuestos, la Calificación de Componentes de Seguridad y la Dedicación de Componentes Comerciales.

- Gestión de Emergencias y Apoyo a Explotación

Entre los que se encuentran los servicios de apoyo al licenciamiento y puesta en marcha de plantas de generación eléctrica, desarrollo de procedimientos de operación, análisis de incidentes y gestión de la experiencia operativa, desarrollo de planes de emergencia y desarrollo de sistemas de monitorización y diagnóstico de la operación de plantas.



- Formación

Los servicios de Formación de Tecnatom abarcan un amplio rango de actividades. Dichas actividades se extienden desde el apoyo integral en la explotación de los Centros de Entrenamiento de sus clientes, al diseño e implantación de actividades específicas de formación y entrenamiento, tanto en instalaciones en operación como en nuevos proyectos en todo el mundo. Además, suministra servicios de formación en los sectores nuclear, térmico, renovable, petroquímico, industrial y aeroespacial.

- Simulación

Puesto que concretamente este aspecto que ofrece Tecnatom es el que interesa específicamente en el presente trabajo, se desarrolla con mayor detalle en un epígrafe a continuación.

- Salas de Control

Incluyen el diseño y suministro de Salas de Control, el estudio de Ingeniería de Factores Humanos (HFE), la modernización de los sistemas de instrumentación y control y el desarrollo de sistemas computerizados de ayuda a la operación.



Experiencia en simulación

Los simuladores constituyen un medio esencial para el entrenamiento, la operación y la ingeniería de las instalaciones industriales al recrear su respuesta dinámica en el ambiente real de trabajo en la Sala de Control.

Los códigos de simulación actuales permiten predecir los resultados de pruebas, modificaciones y ajustes sobre la instalación real. En esa línea Tecnatom dispone de una amplia experiencia en el uso y desarrollo de simuladores para el análisis de seguridad y de ingeniería (concepto **SAE: Simulation Assisted Engineering**), en especial en lo que se refiere al análisis en la evaluación de estrategias de operación o de mitigación de accidentes, la anticipación de actividades de mantenimiento, la validación de cambios al diseño antes de su puesta en servicio, la optimización de procesos, la V&V y ajuste de sistemas de I&C digitales y Sistemas de Ayuda a la Operación.

Tecnatom ha sido certificada por AENOR, en cuanto a conformidad con las exigencias de la norma ISO 9001 en la actividad: “Diseño y Desarrollo de Sistemas Informáticos y Simulación”

Esta empresa tiene más de 35 años de experiencia en simulación, habiendo desarrollado más de 70 simuladores de plantas de generación de distintas tecnologías, entre ellas: centrales nucleares, centrales térmicas de carbón y fuel, centrales de ciclo combinado, centrales hidráulicas y centrales termosolares. A continuación se enumeran las referencias más recientes de los simuladores de estas últimas.

a) Simuladores de entrenamiento

Simulador de alcance total de cilindros parabólicos

Con almacenamiento térmico de sales fundidas:

- Andasol I – España – 50 MWe – 2010
- Kaxu – Sudáfrica – 100 MWe – 2014

Sin almacenamiento térmico de sales fundidas:

- Helioenergy I – España – 50MWe – 2012

Simulador de alcance total de torre

Con almacenamiento térmico de sales fundidas:

- Atacama (en desarrollo) – Chile – 110MWe – 2015

b) Simuladores de apoyo a ingeniería

SAE Xina (Parabolic Trough Collector)

Atacama (On-going development) – Chile – 110MWe – 2015

De esta manera Tecnatom está consolidada como una de las empresas líderes en plantas de generación eléctrica y específicamente en termosolares, lo que la convierte en ideal como colaboradora para el desarrollo del presente proyecto.



Cuando tienes que formar al futuro

Se necesita el mejor equipo humano, los medios didácticos más avanzados y los estándares internacionales más exigentes

1.1.4. Conclusiones de la motivación

Expuestas las razones de motivación del proyecto se procede extraer de un modo sintetizado y concreto, a modo de conclusión, lo expuesto anteriormente punto por punto.

En primer lugar, se ha podido comprobar cómo las energías renovables tienen un papel importante en el suministro de energía sostenible, y actualmente se encuentran en creciente desarrollo. Entre ellas se sitúa la generación termosolar, en la que España es líder mundial.

En segundo lugar, los simuladores pueden ayudar en la operación segura y eficiente de las plantas termosolares, optimizando su funcionamiento.

En tercer lugar y por último, se ha seleccionado para la consecución del proyecto, la empresa Tecnatom S.A, líder en simulación y más concretamente en simulación de plantas termosolares.

1.2. Objetivo del proyecto

El objetivo principal de este proyecto, es la realización de un simulador sencillo de una planta termosolar que tenga en cuenta tanto los transitorios, como las inercias térmicas. Este simulador hará especial hincapié en los modos de operación de las plantas termosolares, de los que hablaremos más adelante.

A pesar de que el proyecto engloba numerosas tareas, las principales fases se enumeran de la siguiente manera:

- Estudio y análisis de documentación: lectura y comprensión del material proporcionado por el director.
- Definición de modos de operación: explicación de los distintos modos de operación de la planta, sus principales elementos, y esquemas del funcionamiento en cada caso.
- Simulación y obtención de datos: realizar una simulación de los distintos casos anteriores para la obtención de datos de la planta.
- Diseño de función de transferencia: una vez conseguidos los datos, se calcula una función de transferencia que represente el funcionamiento de un proceso.
- Diseño del simulador de Excel VBA: mediante programación en Visual Basic, definir elementos y realizar un esquema operativo de la central termosolar.
- Programación del simulador: programar el esquema anterior.
- Optimización de la planta: Optimizar el programa de simulación para que sea lo más adecuado posible.

Se debe destacar además que la optimización del simulador responde a fines económicos. Aunque en este proyecto no se desarrolle la optimización económica, si se harán pruebas con la curva de demanda-precio para verificar el correcto funcionamiento del simulador.

1.3. Introducción teórica

Antes de proceder a lo particular del presente proyecto, en este epígrafe se expone un breve marco teórico en el que se incluyen los aspectos más importantes que han de tomarse como base para la comprensión del diseño del simulador. Dichos aspectos tratados son la energía solar concentrada, los colectores de cilindro parabólico, el almacenamiento térmico y las sales fundidas.

1.3.1. Energía solar concentrada CSP

La energía solar concentrada se basa principalmente en producir altas temperaturas (entre 200 y 2000°C) gracias a la radiación solar. Esto se consigue concentrando la radiación solar mediante espejos, lo que conseguirá calentar un fluido de transferencia de calor, el cual circulará por dentro de unos conductos. Posteriormente, este fluido intercambiará calor con el agua de otro circuito, convirtiéndola en vapor, que será utilizado para la generación de electricidad.

Las aplicaciones más comunes para las que se usa este tipo de energía son:

- Obtención de vapor a baja presión para su uso en procesos industriales (200-400°C)
- Obtención de vapor a alta presión para su uso en la generación de electricidad (400-600°C).
- Obtención de calor para su uso en procesos termoquímicos (800-2000°C)

La energía solar concentrada se puede dividir en dos grupos en función de si la geometría de los espejos focaliza la luz solar en un punto o en una línea.

- Colector puntual: la luz se centra en un punto. Los espejos reflectores siguen la trayectoria del sol en dos ejes. Algunos ejemplos de este tipo de colectores son: de disco (Imagen 1.5), torres (Imagen 1.6) y Fresnel.



Imagen 1.5: Colector solar de disco parabólico

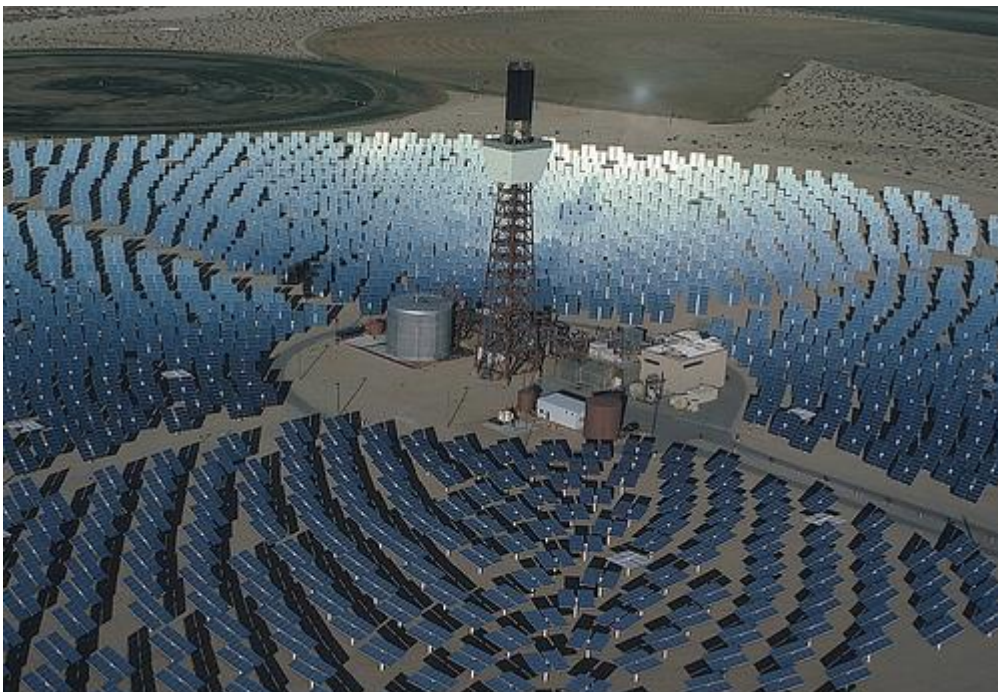


Imagen 1.6: Colector solar de torre

- Colector lineal: la luz se centra en una línea. Los espejos reflectores siguen la trayectoria del sol en un eje. Algunos ejemplos de este tipo de colectores son: cilindro parabólico y Fresnel lineal (Imagen 1.7).



Imagen 1.7: Colector solar Fresnel lineal

1.3.2. Colectores de cilindro parabólico

En el caso que nos ocupa, nos vamos a centrar únicamente en la tecnología de cilindro parabólico (Imagen 1.8), ya que la planta de la que se van a obtener los datos de simulación es de este tipo. En las plantas termosolares de este tipo, el campo solar está formado por espejos cóncavos curvados con forma de semi-tubo o canal. Estos espejos concentran la radiación sobre una tubería que transporta un fluido de transferencia de calor o aceite que alcanza altas temperaturas. Este tipo de configuración del campo solar está presente en las centrales termosolares que se dedican exclusivamente a la generación de electricidad. Como detalle, estos colectores también reciben la denominación de colectores de alta temperatura debido a que alcanzan temperaturas superiores a la de ebullición.

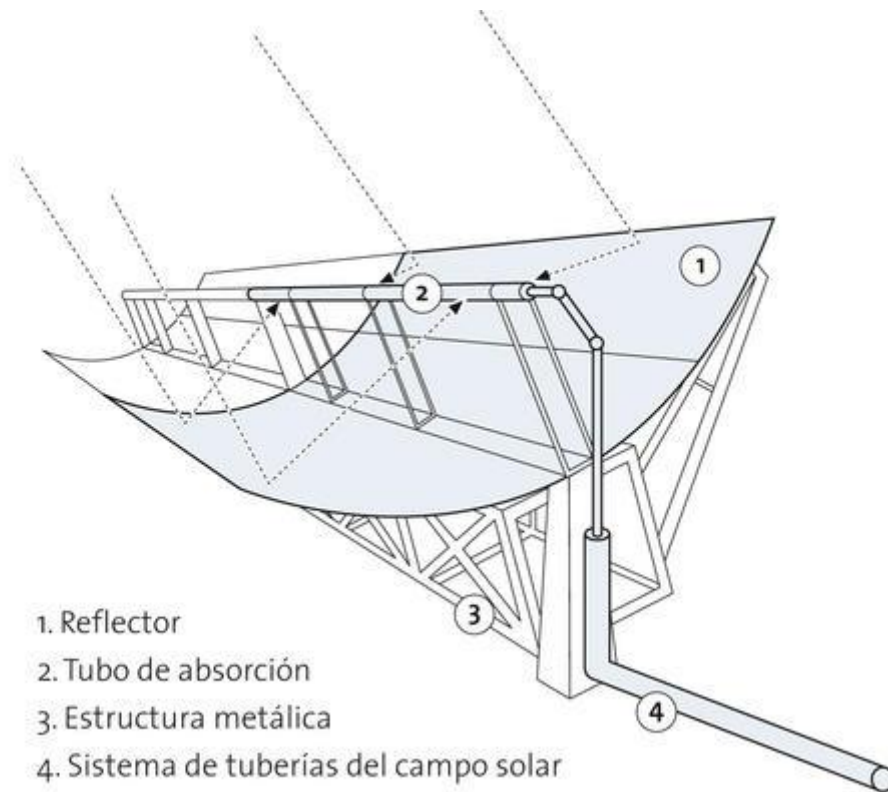


Imagen 1.8: Colector solar de cilindro parabólico

1.3.3. Almacenamiento térmico

Para ser capaz de ampliar el tiempo de funcionamiento u operación de una planta de energía solar concentrada (CSP) hasta más de 15 horas, es necesario incluir un dispositivo de almacenamiento de energía térmica (TES). Este almacén de energía térmica también proporciona una mayor versatilidad a la planta y hace que su dependencia durante las horas de operación sea más fiable. Por otro lado, debido a las diferentes configuraciones de los sistemas CSP, es necesaria una amplia variedad de tecnologías de almacenamiento, materiales y métodos. El almacenamiento de calor sensible y latente es común en tecnologías CSP, pero el almacenamiento termoquímico (TCS) está todavía poco desarrollado, únicamente a nivel de laboratorio (Prieto, Cooper et al. 2016).

En nuestro caso, dicho almacenamiento de energía térmica estará compuesto por dos tanques de sales fundidas, uno de baja temperatura y el otro de alta temperatura (Imagen 1.9 e Imagen 1.10). Cuando se requiera recuperar la energía térmica o almacenarla, se producirá un intercambio de calor entre las sales que circularán de un tanque a otro y el fluido de transferencia de calor del campo solar.

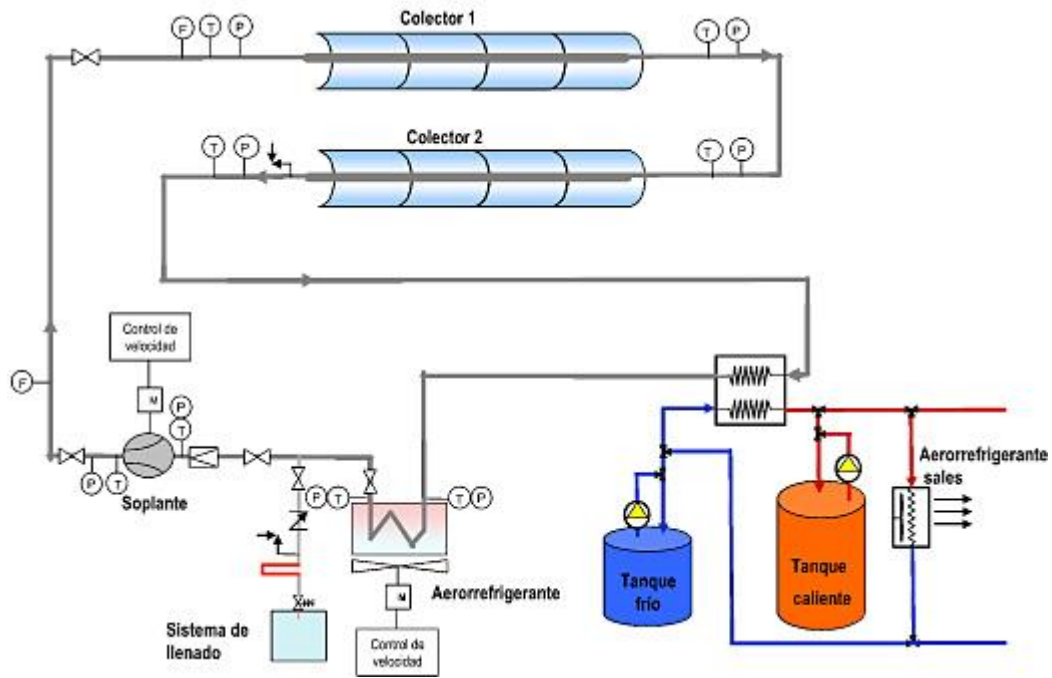


Imagen 1.9: Esquema de una planta termosolar con almacenamiento térmico



Imagen 1.10: Tanques de almacenamiento de sales fundidas

1.3.4. Sales fundidas

De toda la gama de materiales de investigación a diversas propiedades, las sales fundidas son un grupo muy específico que tiene un inmenso potencial como almacenamiento de energía térmica, y como medio de transferencia de calor para aplicaciones de energía solar. Las sales fundidas se han propuesto como fluidos de transferencia de calor para altas temperaturas de 250 a 1000°C. Las sales fundidas con bajo punto de fusión (LMP) son un grupo de sales que permanecen en estado líquido en un amplio rango de temperaturas. Algunas propiedades importantes de sales LMP son las siguientes:

- Buena conductividad térmica y eléctrica
- Alta estabilidad térmica y química
- Baja viscosidad
- Respetan el medio ambiente

El rango de estado líquido para una sal fundida actuando sin ser mezclada puede ser 150 a 600°C. Mediante una combinación de diferentes sales LMP y la optimización de la composición, este rango de estado líquido de las sales aumenta significativamente. Debido a esto y a las propiedades mencionadas anteriormente, las sales fundidas LMP son un excelente medio de almacenamiento y un excelente fluido de transferencia de calor en sistemas de plantas de energía termosolar. Actualmente este conjunto de sales que se comporta como un fluido de transferencia térmica, es una mezcla de 60% de nitrato de sodio NaNO_3 y 40% de nitrato de potasio KNO_3 cuyo rango de temperatura de estado líquido es 220-600°C. La principal desventaja de esta mezcla de sal es su alto punto de fusión. La sal puede congelar y bloquear la tubería durante las noches de invierno. Con el fin de superar este problema, necesitan ser incorporadas instalaciones auxiliares, lo que podría aumentar la inversión y los costes operativos.



Imagen 1.11: Elementos que componen las sales fundidas

Se están realizando investigaciones para desarrollar nuevas mezclas de sales fundidas de bajo punto de fusión (LMP) que tienen un rango amplio y estable de temperatura de estado líquido, capacidad calorífica alta, densidad moderada, viscosidad y conductividad térmica, y alta densidad de almacenamiento de energía térmica. Además, el acero inoxidable común debe mostrar resistencia apreciable a la corrosión para estas mezclas de sal, ya que se utiliza como material de las tuberías para mantener las sales. (Reddy 2011)

2.1. Estado de la simulación de las centrales termosolares

Hoy en día, cualquier tipo de central de producción de energía eléctrica cuenta con uno o varios simuladores que permiten tanto la preparación de los futuros operarios de las centrales, como la prueba de varios escenarios para estudiar el comportamiento de dicha planta.

Como podemos observar en algunos artículos (Abutayeh, Goswami et al. 2013), estos códigos de software o simuladores están orientados al modelado de las operaciones en el estado estacionario, que suele ser suficiente para las centrales eléctricas convencionales. Las centrales termosolares se someten a distintos picos en su operación debido a la naturaleza aleatoria de la radiación solar a lo largo del día, por lo tanto, el modelado que valida su actuación debe responder a una repuesta transitoria.

Por tanto, el estado del arte en cuanto a simuladores de plantas termosolares se refiere, es un tema avanzado e implantado, que tiene una dirección de mejora que apunta a regímenes transitorios y progresos en los modelos utilizados, teniendo en cuenta cada vez más factores, como puede ser la inercia térmica del fluido y su conversión en energía.

A continuación se incluye una lista de algunos simuladores disponibles hoy en día:

- **GateCycle**

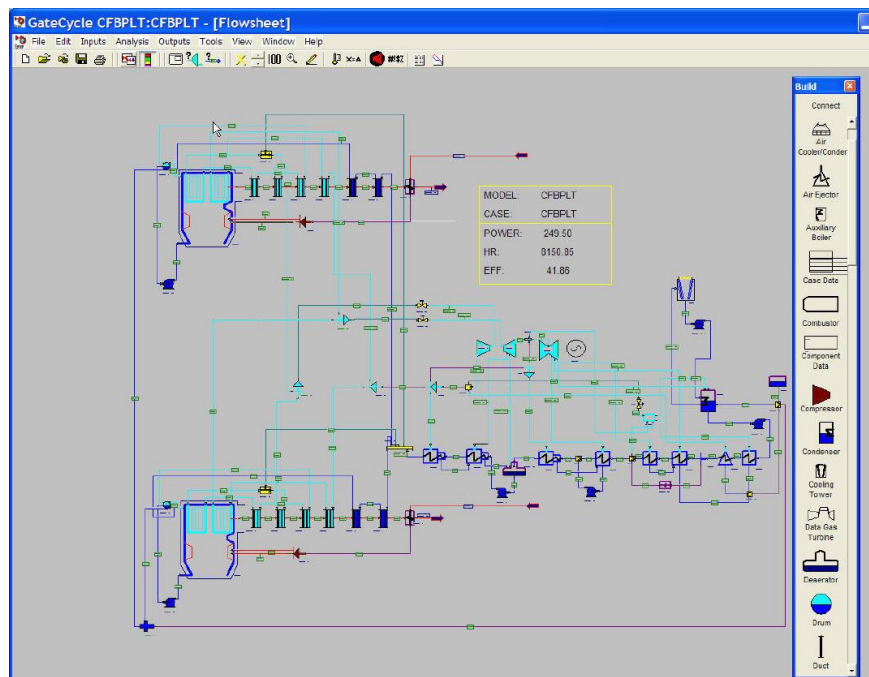


Imagen 2.1: Pantalla de simulación de GateCycle

- HYSYS

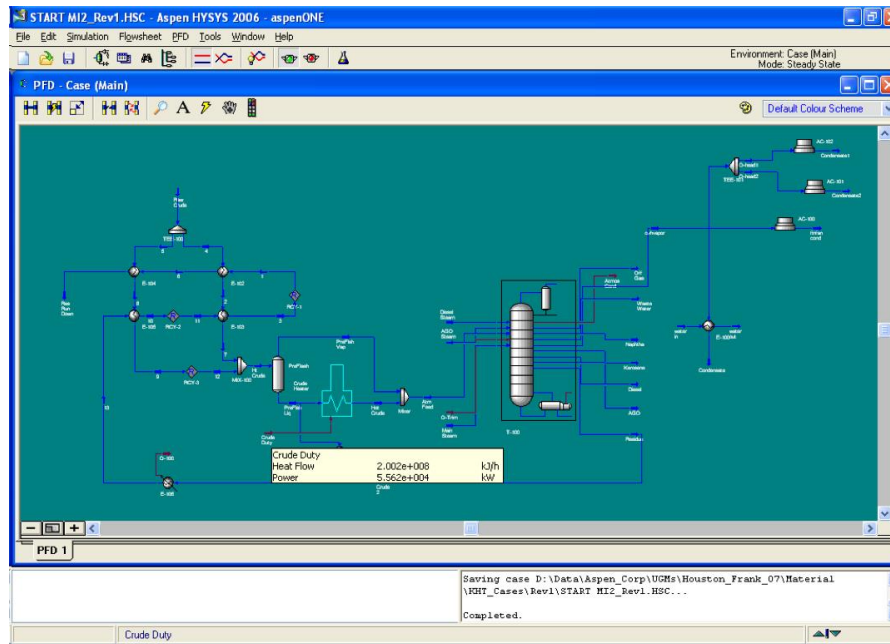


Imagen 2.2: Pantalla de simulación de HYSYS

- IPSEpro

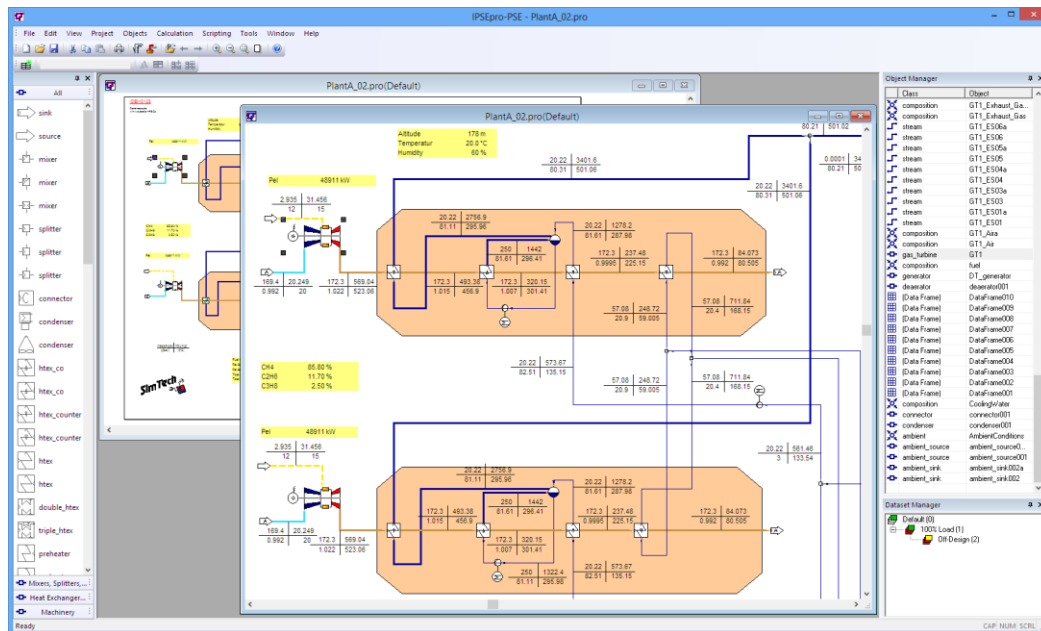


Imagen 2.3: Pantalla de simulación de IPSEpro

- Thermoflex

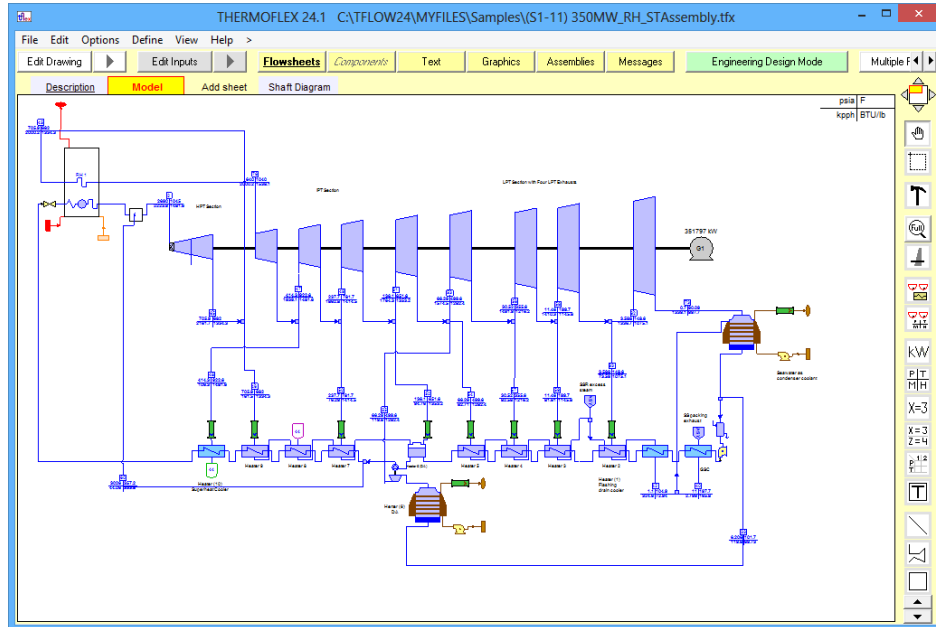


Imagen 2.4: Pantalla de simulación de Thermoflex

- Renovetec

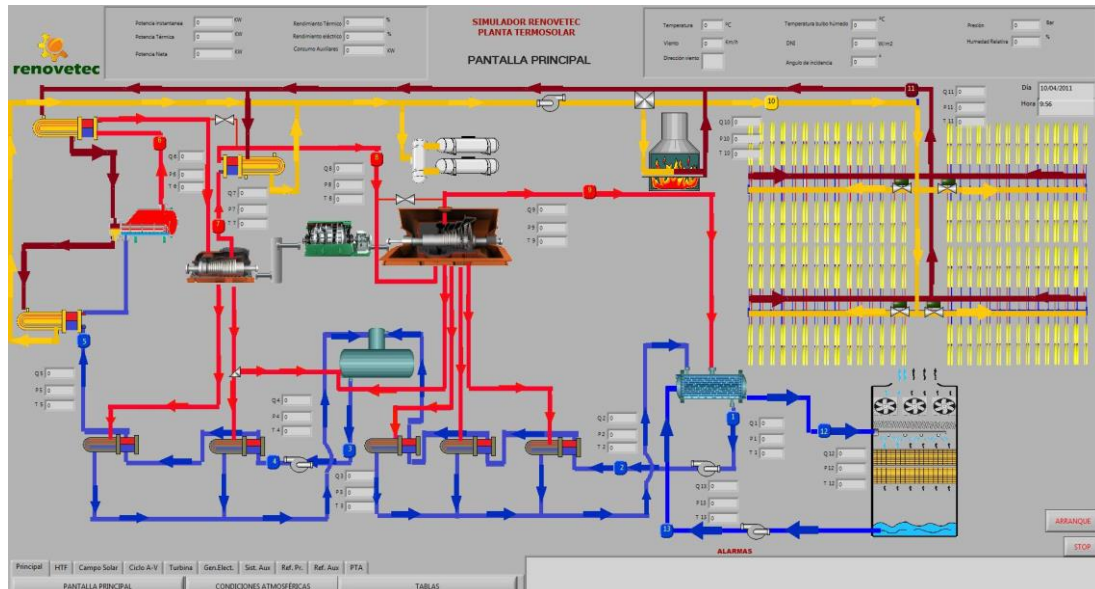


Imagen 2.5: Pantalla de simulación de Renovetec

Los simuladores anteriormente descritos utilizan herramientas de simulación de estado estacionario y solo de un proceso de planta. A continuación se incluye alguno de los simuladores hechos por Tecnatom de alcance total, es decir, incluye:

- Modelación de todos los sistemas principales de planta
- Emulación del DCS de planta
- Emulación de las láminas del sistema de control de planta
- Reproducción física de la sala de control
- Puesto del instructor

Además, estos simuladores poseen modelos de cálculo en situaciones de fallo (utilizando programas como Trac y Relap) y una suite completa de herramientas de simulación, tales como:

- TeamFlow para los modelos termohidráulicos.
- TeamElectric para la resolución eléctrica de nodos y cables.
- TeamLogic para la lógica y el control de planta.
- TeamSkecht para la visualización del sistema de control distribuido (DCS) de la planta, tal y como se aprecia en la siguiente imagen (Imagen 2.x)

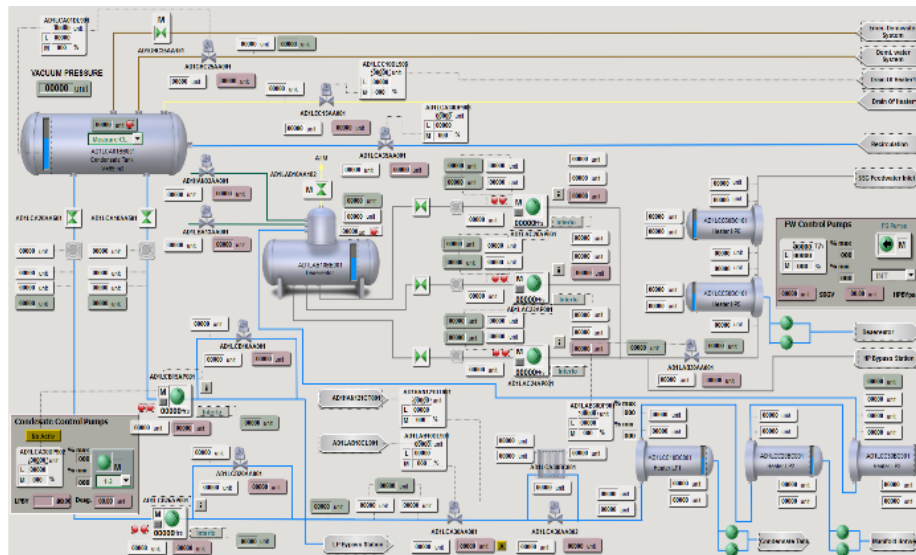


Imagen 2.6: Pantalla del TeamSkecht de Tecnatom

2.2. Modelos de previsión de la energía solar

Cuando hablamos de predicción o previsión solar nos referimos a la capacidad de anticipar los distintos valores de radiación solar que habrá en un determinado lugar, teniendo muy en cuenta si la predicción se desea saber para un espacio de tiempo cercano o lejano. Los modelos de predicción meteorológica centrados en la radiación solar se pueden dividir en 3 categorías principales, dependiendo de la escala de tiempo.

2.2.1. Predicciones pasadas las 6 horas.

En el caso de que se necesite saber qué cantidad de radiación solar se va a tener dentro de 6 o más horas se debe recurrir a modelos de predicción numérica del tiempo o NWP (Numerical Weather Prediction). Este método utiliza modelos físicos para integrar las ecuaciones que gobiernan el tiempo. Los avances en la predicción numérica del tiempo presentan una revolución pausada, ya que conllevan una acumulación constante de los conocimientos científicos y los avances tecnológicos a lo largo de numerosos años. No obstante, el impacto de la predicción numérica del tiempo es uno de los más grandes en el área de la ciencia física. Las desventajas de utilizar NWP son principalmente la complejidad de las funciones de transferencia de la radiación, la física de las nubes, y que cuenta con errores a medida que pasan las horas. Si bien esto último se puede corregir a través de métodos estadísticos. (Bauer, Thorpe et al. 2015)

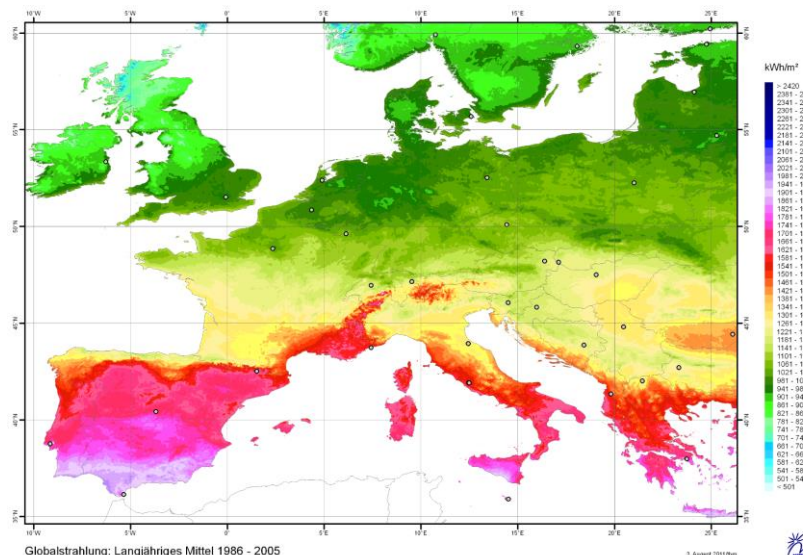


Imagen 2.7: Modelo de predicción numérica del tiempo

2.2.2. Predicciones entre 2 y 6 horas.

En el caso de encontrarnos en esta franja de tiempo, el método utilizado en la predicción solar es mediante satélites. Gracias a las imágenes tomadas por el satélite podemos detectar las nubes de una determinada posición y, mediante la extrapolación, extraer los vectores de movimiento. No obstante, este método posee una dificultad elevada debido a la complejidad en la detección y deformación de las nubes, sus funciones de transferencia y la resolución del satélite.

Detlev Heinemann, Elke
Lorenz. ICEM 2011.

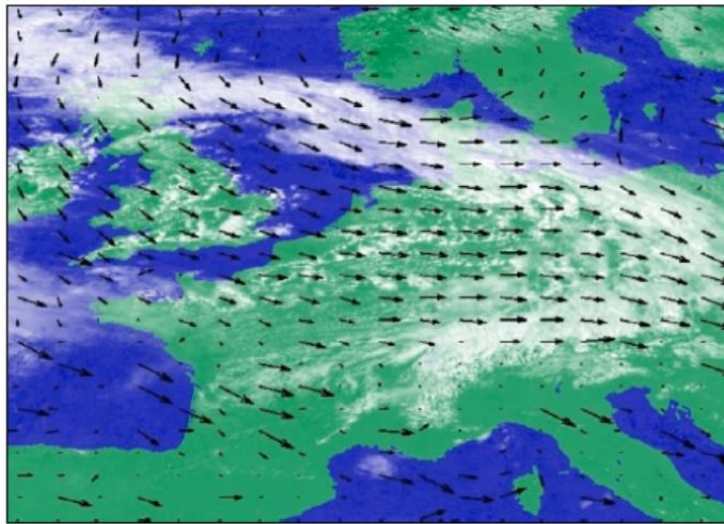


Imagen 1.8: Predicción meteorológica por satélite

2.2.3. Predicciones antes de 2 horas.

Cuando la predicción necesaria es más o menos inmediata, es decir, se requiere saber el clima dentro de unos pocos minutos o dentro de pocas horas, se debe recurrir a métodos de predicción estadística o a un reproductor de imágenes terrestre.

- Métodos estadísticos: Utilizan casos de comportamiento pasados para recrear un modelo capaz de predecir el comportamiento futuro. Tiene ciertas desventajas, como una alta variabilidad y cambios en los escalones de predicción.
- Reproductor de imágenes terrestres: Básicamente se trata de cámara de ojo de pez estacionaria colocada en algún tejado o sitio elevado para que grabe únicamente el cielo. Identifica la posición de las nubes cercanas, sus fronteras o límites (forma, tamaño, etc.), así como sus vectores de movimiento. Su principal

desventaja es que el rango de tiempo en el que puede predecir el clima es breve, pues únicamente proporciona información de las nubes cercanas.

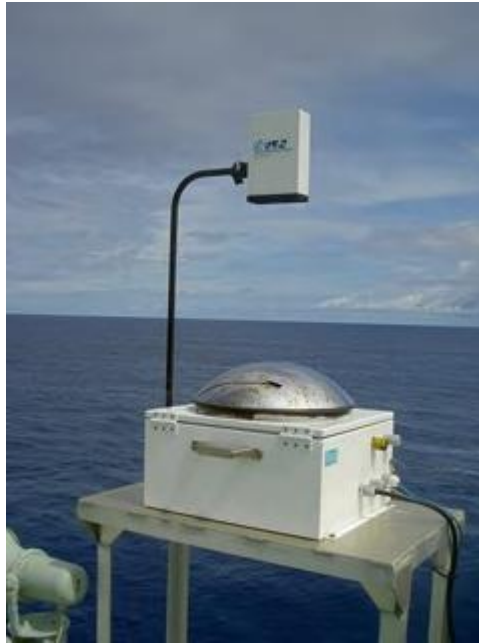


Imagen 2.9: Reproductor de imágenes terrestre

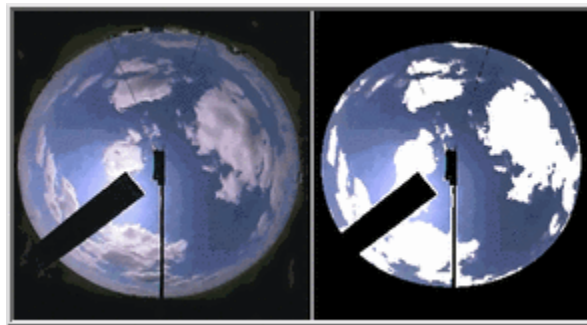


Imagen 2.10: Imagen obtenida con el reproductor de imágenes terrestre

2.2.4. Conclusiones de los modelos de predicción

Como conclusión podemos destacar que para tener un modelo de previsión fiable y operativo que cubra todos los horizontes de tiempo desde un par de minutos a un par de días, se deben de incorporar todos los métodos descritos anteriormente.

Algunos modelos que están operativos en la actualidad son: Global Forecast System, Modelo global del Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas a Plazo Medio, Australian Solar Energy Forecasting System, entre muchos otros.

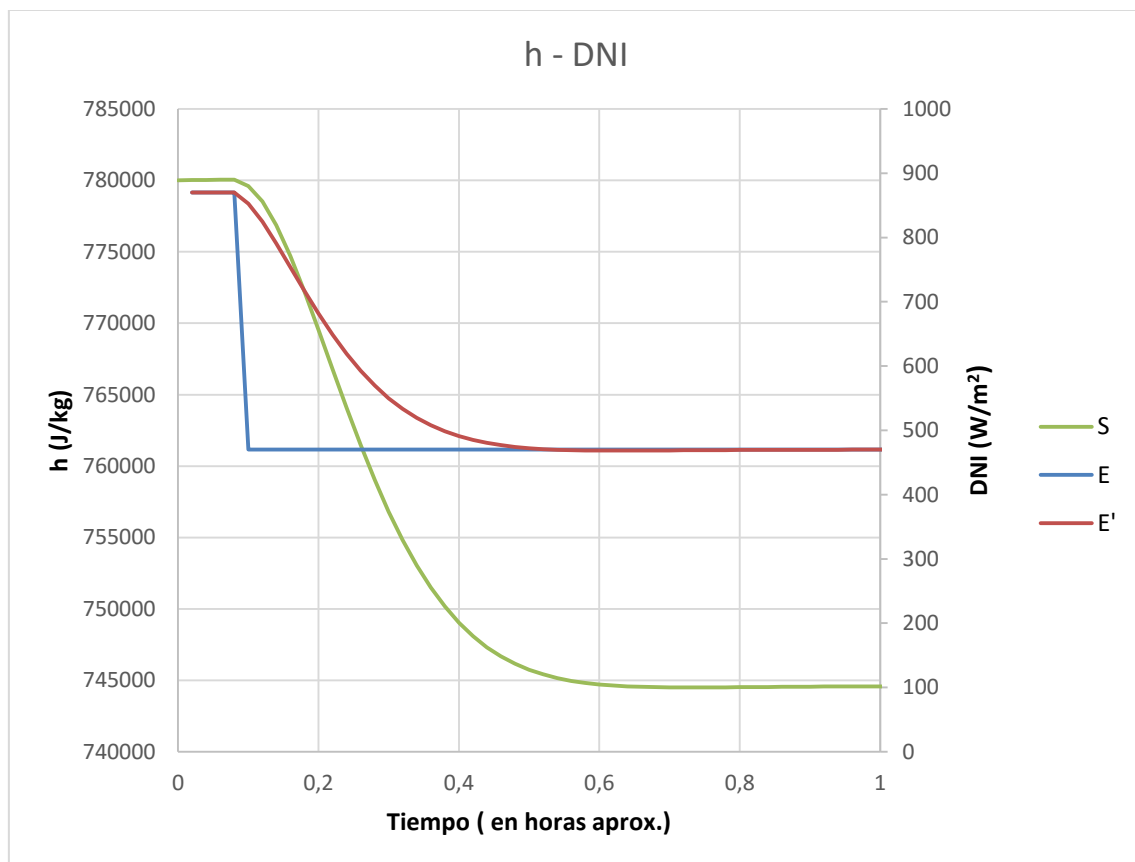
Otro punto distinto pero que está relacionado con este tema son los simuladores de plantas y elementos que aprovechan las energías renovables, los cuales nos proporcionan datos de potencia y eficiencia de la planta mediante la utilización de variables previamente obtenidas de días anteriores. Un ejemplo de este tipo de simuladores es el System Advisor Model (SAM), del cual se hablará más adelante.

2.3. Aspectos innovadores

Las razones por las cuales se ha decidido realizar un simulador están bien recogidas en la sección “1.1. Motivación”. A pesar de ello, como hemos podido observar en la anterior sección, hoy en día existen numerosos simuladores operativos que realizan la misma labor, así que ¿Qué es lo que diferencia al simulador realizado en el presente proyecto del resto?

Todos los simuladores que han sido desarrollados, no solo para plantas termosolares, cuentan en su programación con cálculos realizados en régimen permanente. Esto quiere decir que la evolución de las variables del sistema no cuenta con un régimen transitorio, como es el caso del programa Thermoflex de ciclos combinados, por lo que no se aprecian inercias u otros procesos que requieran de un cierto tiempo para estabilizarse. Por otro lado, algunos simuladores basan sus resultados en datos empíricos.

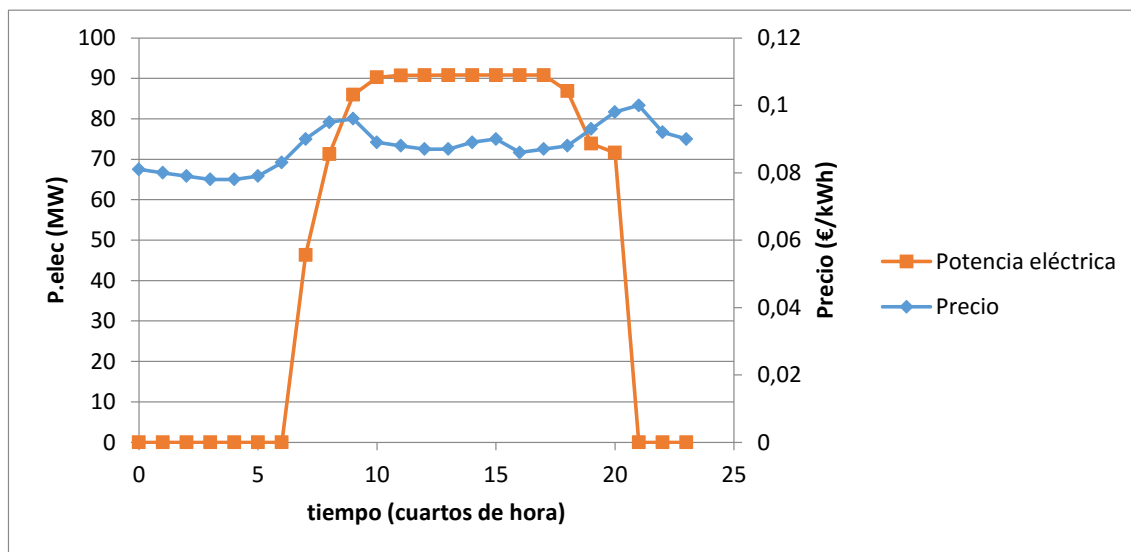
Lo que diferencia, por tanto, a nuestro simulador es la base que contiene, apoyada en **funciones de transferencia** como la que se muestra en la gráfica 2.1. Gracias a esta base, se puede apreciar de una mejor manera la respuesta temporal de las variables, las inercias y los procesos. Por ello, el comportamiento y evolución de variables de este tipo, como puede ser la entalpía de salida del campo solar (relacionada con la temperatura), quedarán definidas con precisión.



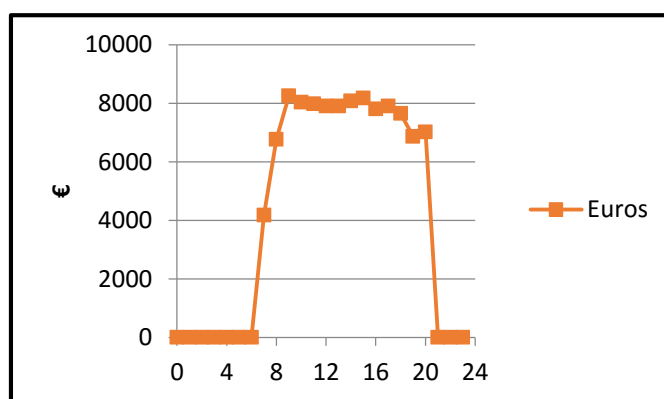
Gráfica 2.1: Respuesta de la función de transferencia

Otro aspecto que no es habitual encontrar en los simuladores actuales es la representación de los resultados de retribución por generación ante los distintos modos de operación y condiciones ambientales. Este simple aspecto añade el valor de hacer consciente al explotador de las consecuencias económicas de sus decisiones en la operación.

En la gráfica 2.3 se representa la retribución obtenida para una potencia eléctrica generada y una curva de precio de mercado como la mostrada en la gráfica 2.2.



Gráfica 1.2: Potencia eléctrica y precio del mercado



Gráfica 2.3: Retribución de la operación

3.1. Modos de operación

En la planta termosolar de estudio se pueden diferenciar 4 modos de operación principales, que dependen fundamentalmente del uso que se dé del almacenamiento de energía térmica (denominado TES “Thermal Energy storage”). Dichos modos de operación son los siguientes:

1. Producción mediante el campo solar.

En este modo de operación, toda la energía térmica intercambiada entre los colectores y el fluido es llevada directamente al generador de vapor. Gracias al intercambio de calor que se produce en el generador de vapor, el agua del circuito de la turbina se convierte en vapor, que aporta la energía necesaria para hacer funcionar la turbina. Posteriormente la energía de la turbina será transformada en energía eléctrica mediante un generador eléctrico. En este modo se cerrarán las válvulas correspondientes al intercambiador de calor aceite-sales.

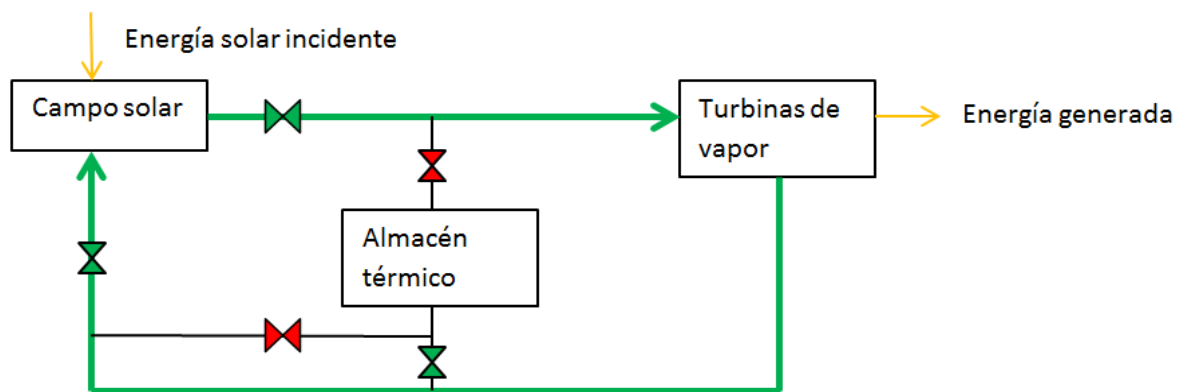


Imagen 3.1: Modo 1

2. Producción mediante el campo solar y carga del almacenamiento de energía térmica.

En este modo de operación, la energía térmica intercambiada entre los colectores y el fluido se reparte en proporciones variables entre el generador de vapor y el almacén de energía térmica, el cual comienza a cargarse. Este modo entrará en funcionamiento siempre y cuando la energía solar térmica transformada sea mayor de la necesaria para dar la máxima potencia de la turbina. Por supuesto, el almacén de sales calientes debe de contar con espacio suficiente para almacenar esta energía sobrante.

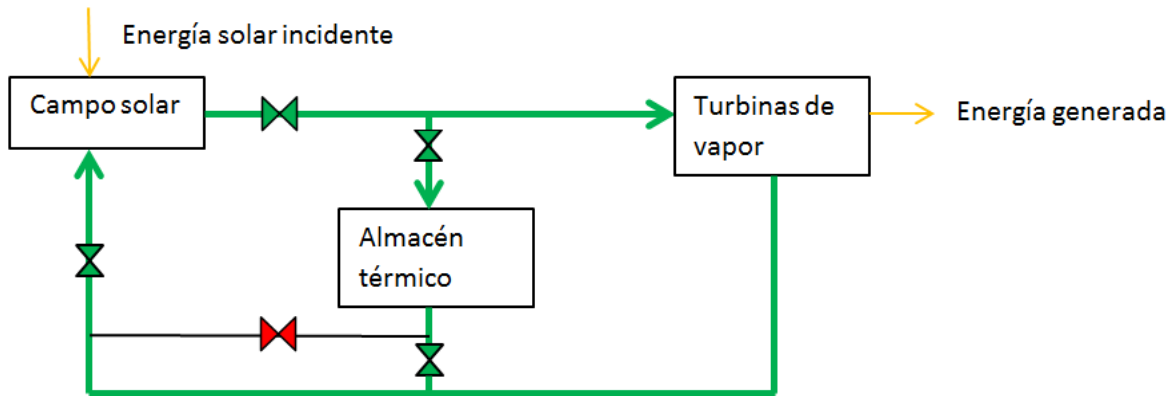


Imagen 3.2: Modo 2

3. Producción mediante el campo solar y descarga del almacenamiento de energía térmica.

En este modo de operación, la energía térmica intercambiada entre los colectores y el fluido proporciona energía a la turbina de vapor mediante el intercambio de calor producido en el generador de vapor, ayudándose del almacén de energía térmica, el cual comienza a descargarse. Este modo puede darse en varios momentos, ya que es decisión del operario cuándo descargar las sales para proporcionar un extra de energía. Sin embargo, en el caso de este proyecto, las sales se descargarán siempre y cuando haya energía almacenada en el tanque de sales calientes y la potencia de la turbina no esté en su máximo valor.

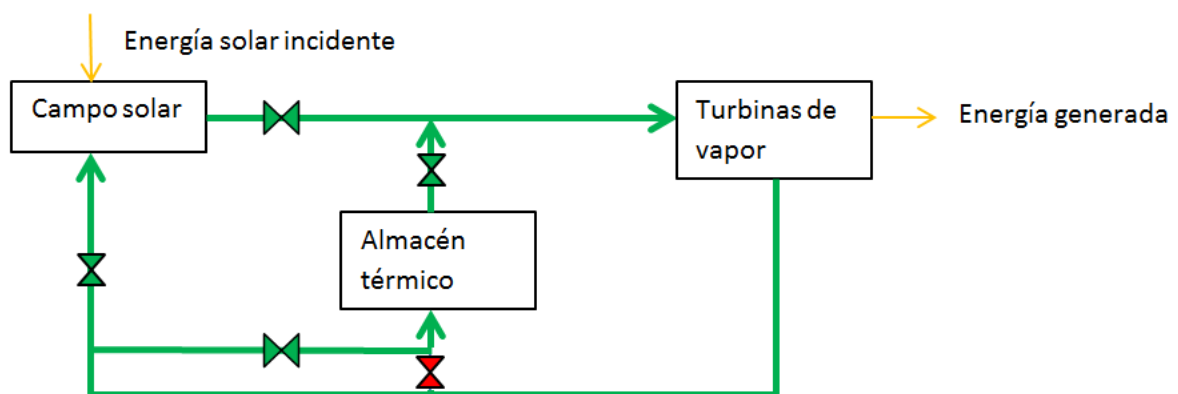


Imagen 3.3: Modo 3

4. Producción mediante descarga del almacenamiento de energía térmica.

En este modo de operación, la energía térmica proporcionada al generador de vapor proviene únicamente del almacén de energía térmica, el cual comienza a descargarse. Al igual que se ha mencionado antes, es decisión del operario elegir el momento en el que se descargan las sales, aunque en nuestro caso se descargarán automáticamente en cuanto la radiación solar sea nula.

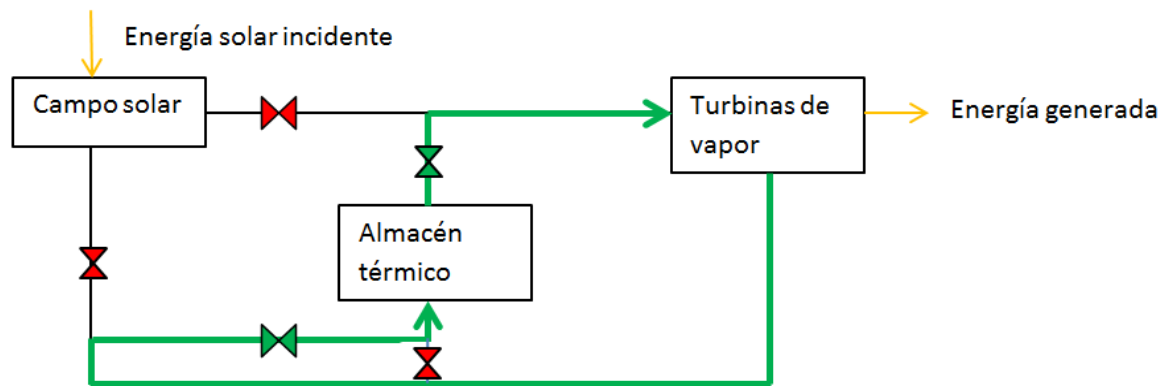


Imagen 3.4: Modo 4

Existen otros modos de operación, pero no serán objeto de estudio al tratarse estos de modos basados principalmente en el mantenimiento y cuidado del campo solar (evitar el congelamiento del líquido refrigerante en las tuberías de los paneles solares).

Para el simulador que se va a programar, existe un quinto modo que sería el modo desconexión de la planta. Este modo se daría en el caso de que la radiación solar fuese nula y el tanque de sales calientes estuviese completamente vacío.

Gracias a esta definición de los modos de operación de la planta, es más fácil poder distinguir los elementos principales de la misma. Estos elementos principales serán objeto de estudio y su comportamiento será modelado mediante funciones de transferencia. En el caso de este proyecto la central se puede simplificar como un conjunto de tres bloques principales a efectos de modelar el simulador de manera más sencilla. A continuación se definirán dichos bloques:

- Campo solar: compuesto por colectores de cilindro parabólico. Se encarga de captar la radiación solar y transmitirle la energía térmica al fluido de transferencia de calor o HTF. Su comportamiento dependerá de numerosos factores, como pueden ser características o geometría de los colectores (número de colectores, distancia entre ellos, orientación, apertura, ancho, longitud, grado de suciedad, eficiencia óptica, modificador del ángulo de incidencia), características y parámetros de los receptores (diámetro interno y externo, absortancia, emitancia, suciedad, cubrimiento por sombra), o propiedades del fluido (densidad, caudal).



Imagen 3.5: Campo solar de cilindro parabólico

- BOP (Balance of Plant): es el conjunto del generador de vapor con el circuito de la turbina o grupo de turbinas de vapor. Dicho vapor es obtenido gracias al intercambio de calor entre el agua del circuito de la turbina y el fluido de transferencia de calor del circuito del campo solar. Las variables de este bloque pueden ser variables termodinámicas, como la temperatura de entrada y de salida, la entalpía o los caudales másicos. El esquema de este bloque sería igual que el de un ciclo de Rankine, con la salvedad de sustituir la caldera por el generador de vapor.

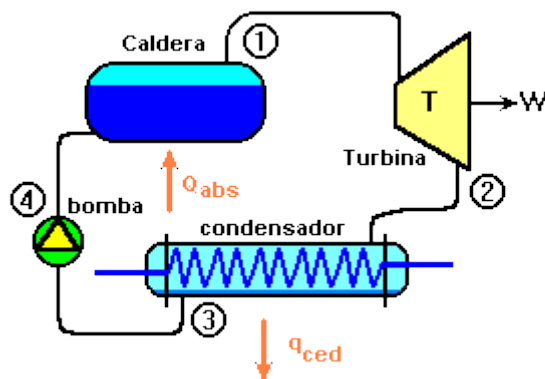


Imagen 3.6: Ciclo Rankine

- Almacenamiento térmico: lo componen un par de tanques que almacenan sales, uno a alta temperatura y otro a baja temperatura. Algunos valores a estudiar pueden ser la geometría de los tanques (diámetro, altura), sus características de eficiencia (coeficiente de pérdidas, capacidad térmica), así como las propiedades de las sales.

3.2. Datos obtenidos

A continuación, se detallan los datos obtenidos.

3.2.1. Obtención de datos de radiación solar

Para explicar cómo se han obtenido los datos de radiación solar que posteriormente serán utilizados como datos de entrada en el simulador desarrollado, se debe primero explicar y definir el software que se utiliza para obtenerlos. El software utilizado en este caso es el System Advisor Model (SAM).

SAM es un software que realiza predicciones de rendimiento y estimaciones del coste de la energía para los proyectos de energía conectada a la red. Para ello se basa en los costes de instalación y de funcionamiento y en los parámetros de diseño del sistema que se especifiquen como entrada al modelo. SAM representa el coste y el rendimiento de los proyectos de energía renovable utilizando modelos informáticos desarrollados en la compañía NREL, Sandia National Laboratories, la Universidad de Wisconsin, y otras organizaciones. Cada modelo de rendimiento representa una parte del sistema, y cada modelo financiero representa la estructura financiera de un proyecto. Los modelos requieren datos de entrada para describir las características de funcionamiento de los equipos físicos del sistema y de los costes del proyecto. El interfaz de usuario de SAM hace posible que personas que no tienen experiencia en el desarrollo de modelos informáticos puedan construir un modelo para un proyecto de energía renovable, y así poder hacer proyecciones de costes y rendimiento basados en los resultados del modelo.

Para describir las condiciones de los recursos de energía renovable y el clima en una ubicación concreta, SAM requiere un archivo de datos meteorológicos. Dependiendo del tipo de sistema que se está modelando, puedes elegir un archivo de datos de clima de una lista, descargar uno de Internet, o crear el archivo con sus propios datos.

SAM incluye varias bibliotecas de datos de rendimiento y coeficientes que describen las características de los componentes de distintos sistemas, tales como módulos fotovoltaicos e inversores, receptores y colectores de campos solares de cilindro parabólico, o turbinas eólicas. Para esos componentes, sólo se tiene que elegir una opción de una lista, y SAM aplicará valores de la biblioteca a las variables.

Para este proyecto únicamente eran importantes los datos de radiación solar de un año típico, sin necesidad de ejecutar el programa para calcular rendimientos o costes de la planta. Estos datos de radiación se extrajeron de la biblioteca de datos que antes se mencionaba. Para ello se tuvo que definir qué tipo de tecnología se estaba utilizando y decidir en qué lugar se quería obtener los datos. Se decidió tomar los datos procedentes de la radiación solar en Madrid.

Hay que tener en cuenta que la localización se escogió como lugar de referencia para cálculos posteriores, no para maximizar la eficiencia de la planta o por motivos económicos. Es probable que no sea una localidad viable para colocar una planta termosolar, pero eso no es objeto de estudio del presente proyecto.

Choose a performance model, and then choose from the available financial models.

Photovoltaic (detailed)	Commercial (distributed)
Photovoltaic (PVWatts)	PPA single owner (utility)
High concentration PV	PPA partnership flip with debt (utility)
Wind	PPA partnership flip without debt (utility)
Biomass combustion	PPA sale leaseback (utility)
Geothermal	LCOE calculator (FCR method)
Solar water heating	No financial model
Generic system	
CSP parabolic trough (physical)	
CSP parabolic trough (empirical)	
CSP power tower molten salt	
CSP power tower direct steam	
CSP linear Fresnel molten salt	
CSP linear Fresnel direct steam	
CSP dish Stirling	
CSP generic model	

Imagen 3.7: Modelos de SAM

Choose a weather file from the solar resource library

Click a name in the list to choose a file from the library. Type a few letters of the name in the search box to filter the list. If your location is not in the library, try downloading a file (see below).

Search for: Name

Name	Station ID	Latitude	Longitude	Time zone	Elevation	Source
Slovakia SVK Bratislava (INTL)	118160	48.2	17.2	1	130	IWEC
Slovakia SVK Kosice (INTL)	119680	48.7	21.27	1	232	IWEC
Slovenia SVN Ljubljana (INTL)	130140	46.22	14.48	1	385	IWEC
Spain ESP Madrid (INTL)	082210	40.45	-3.55	1	582	IWEC
Spain ESP Palma (INTL)	083060	39.55	2.73	1	8	IWEC
Spain ESP Santander (INTL)	080230	43.47	-3.82	1	40	IWEC
Spain ESP Sevilla (INTL)	083910	37.42	-5.9	1	31	IWEC
Sri Lanka LKA Anuradhapura (AFB) (INTL)	434210	8.33	80.42	6	89	SWERA
Sri Lanka LKA Batticaloa (AFB) (INTL)	434360	7.72	81.7	6	12	SWERA
Sri Lanka LKA Colombo Katunayake (INTL)	434500	7.17	79.88	6	8	SWERA
Sri Lanka LKA Colombo Ratmalana (INTL)	434670	6.82	79.88	6	5	SWERA
Sri Lanka LKA Hambantota (INTL)	434970	6.12	81.13	6	20	SWERA
Sri Lanka LKA Kankesanthurai (AFB) (INTL)	434000	9.8	80.07	6	10	SWERA
Sri Lanka LKA Nuwara-Eliya (INTL)	434730	6.97	80.77	6	1880	SWERA

City: Madrid Time zone: GMT 1 Latitude: 40.45 °N

State: ESP Elevation: 582 m Longitude: -3.55 °E

Country: Spain Data Source: IWEC Station ID: 082210

Data file: C:\SAM\2015.6.30\solar_resource\Spain ESP Madrid (INTL).csv

Tools

- View hourly data...
- Refresh library
- Folder settings...
- Open library folder...

Annual irradiance and temperature summary

Global horizontal: NaN kWh/m²/day Average temperature: 14.3 °C

Direct normal (beam): 4.23 kWh/m²/day Average wind speed: 2.4 m/s

Diffuse horizontal: 1.78 kWh/m²/day

Download a weather file from NREL Solar Prospector

Download... Click Download and type a street address or coordinates (continental United States only) to download a weather file from the NREL Solar Prospector database. SAM will add the file to the solar resource library and display it in the list above. [Visit Solar Prospector website](#)

Use a specific weather file on disk

☐ Browse...

Check the box and click Browse to choose a weather file stored on your computer without adding it to the solar resource library.

Imagen 3.8: Elección de la localización en SAM

Una vez extraídos los datos de la biblioteca de SAM, se crea un archivo Excel con los valores necesarios para realizar los cálculos. El fichero incluye valores del mes, el día, la hora, la radiación normal directa, la radiación difusa, temperatura, dirección del viento, velocidad del viento y del albedo. También indicará la elevación, la latitud y la longitud de la localización elegida. Como detalle, hay que tener en cuenta que los datos están tomados para crear en conjunto un año típico, por lo que el año que aparece con cada dato puede variar.

Para el caso que atañe a este proyecto, los datos que se van a requerir son únicamente el mes, el día, la hora y la radiación normal directa. En el apartado de creación del simulador se explicará más a fondo este tema y cómo se obtiene automáticamente el valor de la radiación normal directa indicando únicamente el mes y el día para el cual interese saberla.

A continuación se expondrá un ejemplo a modo de tabla de dichos datos obtenidos.

Location	City	Region	Country	Latitude	Longitude	Time Zone	Elevation	Source					
82210	Madrid	ESP	Spain	40.450.000	-3.550.000	1.0	582	IWEC					
Year	Month	Day	Hour	Beam	Diffuse	Tdry	Tdew	Pres	Wdir	Wspd	Aod	Pwp	Alb
1994	1	1	0	0	0	9.7	7.4	957	250	7.2	0.11	99.9	0.21
1994	1	1	1	0	0	9.7	6.9	957	999	7.4	0.11	99.9	0.21
1994	1	1	2	0	0	9.5	6.2	957	270	7.7	0.11	99.9	0.21
1994	1	1	3	0	0	9.2	5.4	957	270	7.2	0.11	99.9	0.21
1994	1	1	4	0	0	8.8	4.6	957	999	4.8	0.11	99.9	0.21
1994	1	1	5	0	0	8.3	3.7	957	999	2.4	0.11	99.9	0.21
1994	1	1	6	0	0	7	1	957	0	0	0.11	99.9	0.21
1994	1	1	7	0	0	7.3	1.1	958	999	1.7	0.11	99.9	0.21
1994	1	1	8	0	2	7.7	1.3	959	999	3.4	0.11	99.9	0.21
1994	1	1	9	0	20	8	1.4	960	290	5.1	0.11	99.9	0.21
1994	1	1	10	68	107	9.3	3.6	960	999	4.8	0.11	99.9	0.21
1994	1	1	11	268	164	10.7	5.5	959	999	4.4	0.11	99.9	0.21
1994	1	1	12	520	144	12	7.2	959	240	4.1	0.11	99.9	0.21
1994	1	1	13	415	167	12.2	5.7	959	999	3.8	0.11	99.9	0.21
1994	1	1	14	211	184	12.5	4.1	958	999	3.4	0.11	99.9	0.21
1994	1	1	15	32	142	12.7	2.3	958	240	3.1	0.11	99.9	0.21
1994	1	1	16	85	87	11.9	3.4	958	999	3.1	0.11	99.9	0.21
1994	1	1	17	0	20	11	4.4	959	999	3.1	0.11	99.9	0.21
1994	1	1	18	0	0	10.2	5.3	959	250	3.1	0.11	99.9	0.21
1994	1	1	19	0	0	10	4	959	0	0	0.11	99.9	0.21
1994	1	1	20	0	0	9.3	4.8	959	999	1.6	0.11	99.9	0.21
1994	1	1	21	0	0	8.6	4.5	959	999	3.3	0.11	99.9	0.21

Tabla 3.1: Datos extraídos de la biblioteca de SAM

3.2.2. Datos obtenidos mediante ensayos en el simulador de Tecnatom

Para obtener la función de transferencia de los bloques que hemos descrito antes, debemos realizar ciertas pruebas con el simulador proporcionado por la empresa, en unas determinadas condiciones, con el fin de conseguir datos para graficar una respuesta temporal a un escalón. Además, antes de realizar las pruebas se deben elegir las variables que se van a estudiar y que representen mejor el funcionamiento de su respectivo bloque.

Antes de comenzar a describir los ensayos realizados en el simulador proporcionado, se describirá su funcionamiento y su interfaz, con el objetivo de ayudar a la comprensión de los aspectos que posteriormente se mostrarán y que están vinculados con él.

El simulador utilizado está basado en una planta real, actualmente en operación. Por razones de confidencialidad no se puede indicar específicamente la planta de la que se trata, pero para construir una idea genérica, se trata de una planta de campo solar de cilindro parabólico, con almacenamiento térmico de sales y con una potencia de generación de aproximadamente 100 MW. El simulador funciona mediante una interfaz de pestañas, en las cuales se muestran partes de la planta esquematizadas en nudos, conductos y elementos principales (como válvulas, bombas, turbinas, espejos, etc.). Un ejemplo de este sistema de pestañas es el que se muestra en la imagen 3.9, en la cual se pueden observar distintos nudos, conductos y válvulas pertenecientes a un subconjunto de las conexiones de los tanques de sales y el generador de vapor. Todo ello está programado en el lenguaje de programación Fortran, adecuadamente ordenado en módulos.

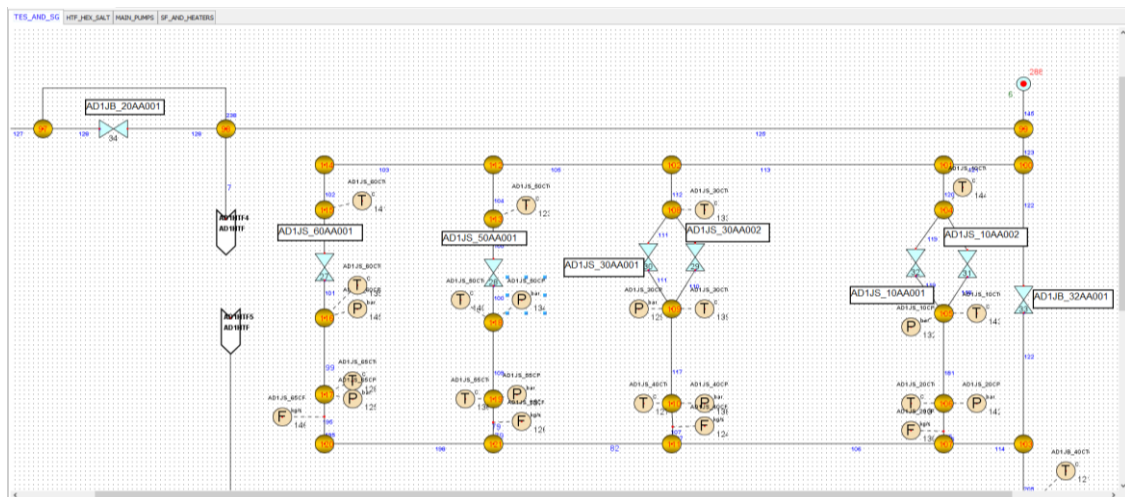


Imagen 3.9: Interfaz de nudos del simulador de Tecnatom

Por otra parte, el simulador está asociado a una hoja Excel. Gracias a esta vinculación, podemos realizar ensayos para comprobar cómo se comportan determinadas variables en el tiempo ante escalones en otras variables y así obtener las gráficas. La complejidad de esta tarea reside, no únicamente en la decisión de las variables, sino en localizar dichas variables en el simulador y obtener su nombre. En la imagen que se puede ver a continuación (Imagen 3.10), se puede apreciar un ejemplo de cómo se utiliza el fichero de Excel para obtener la respuesta temporal de la entalpía de salida del campo solar ante una variación en la radiación normal directa que le llega a los colectores.

Función de transferencia del Campo solar			
VARIABLES SIMULADOR			
TIMET 1	1.832780E+004	Tiempo de simulación	Tabla
OK1 1	2.000000E-001	Convergencia de los cálculos	Tiempo U: Radiación Y: Entalpía
NUM_IC 1	2	Condición inicial	13.10 1000.08 770684.46
HORA_SIM 1	4.727130E+004	Tiempo en segundos	13.10 1000.08 770684.33
WES_SIM 1	2.000000E+000		13.10 1000.09 770684.13
DNA_SIM 1	3.200000E+001		13.10 1000.09 770683.81
CDL_1_DATOS 1	VERDADERO	Ti: Coger externos	13.10 1000.09 770683.69
CDL_1_DNI 1	VERDADERO	Ti: Coger externos	13.10 1000.09 770683.50
CDL_2_DNI 1	3.000158E+003	Introducir DNI externo	13.10 1000.09 770683.21
DNI_SIM 1	3.000158E+003	DNI Simulador	13.10 1000.10 770683.09
CDNI 1 1	3.000158E+003	DNI Simulador lag	13.10 1000.10 770682.92
ADSHFT_N122_1 1	3.020301E+002	Tem Entrada CS	13.10 1000.10 770682.81
ADSHFT_N122_2 1	3.050001E+002	Entalpía Entrada CS	13.10 1000.10 770682.63
ADSHFT_N144_1 1	3.853511E+002	Tem Salida CS	13.10 1000.10 770682.54
ADSHFT_N144_2 1	7.704889E+005	Entalpía Salida CS	13.10 1000.10 770682.38
			13.10 1000.11 770682.13
			13.10 1000.11 770682.03
			13.10 1000.11 770681.88
			13.10 1000.11 770681.79
			13.10 1000.11 770681.65
			13.10 1000.11 770681.56
			13.10 1000.11 770681.35
			13.10 1000.11 770681.26
			13.10 1000.12 770681.14
			13.10 1000.12 770681.07
			13.10 1000.12 770680.95
			13.10 1000.12 770680.88
			13.10 1000.12 770680.78

Imagen 3.10: Hoja Excel asociada al simulador de Tecnatom

Ensayo para el bloque del campo solar.

En el caso del campo solar, es lógico que el escalón (o variable de entrada por así decirlo) sea la radiación solar normal directa o DNI. La entalpía será la variable a estudiar en la respuesta temporal en lugar de la temperatura, ya que si fuese la temperatura la variable estudiada, posteriormente tendríamos que realizar más cálculos para obtener la energía, ya que el calor específico del fluido no es constante.

Se realizarán dos pruebas: la respuesta de la entalpía a un escalón incremental en la radiación y la respuesta de la entalpía a un escalón negativo en la radiación. Ambas funciones de transferencia son similares, pero por temas como la inercia térmica del fluido o la longitud de los conductos se debe comprobar que existen pequeñas diferencias.

En la realización del ensayo de bajada no hubo ningún problema, ya que se escogieron desde el primer momento valores de radiación medios. Sin embargo, el ensayo del escalón de subida de la radiación fue llevado a cabo teniendo en cuenta más variables y restricciones. En primer lugar, y para prevenir un problema con el desenfoque de espejos (Imagen 3.11), lo que se tuvo que hacer fue variar el caudal del fluido de transferencia de calor para que la temperatura del mismo a la salida del campo solar estuviese estable en un valor cercano a 400°C. Para llevar a cabo esta variación del caudal se debía asignar el mismo como una variable de

contorno y bloquearla en el simulador. Se realizaron dos ensayos con caudales de 1200 y 900 kg/s.

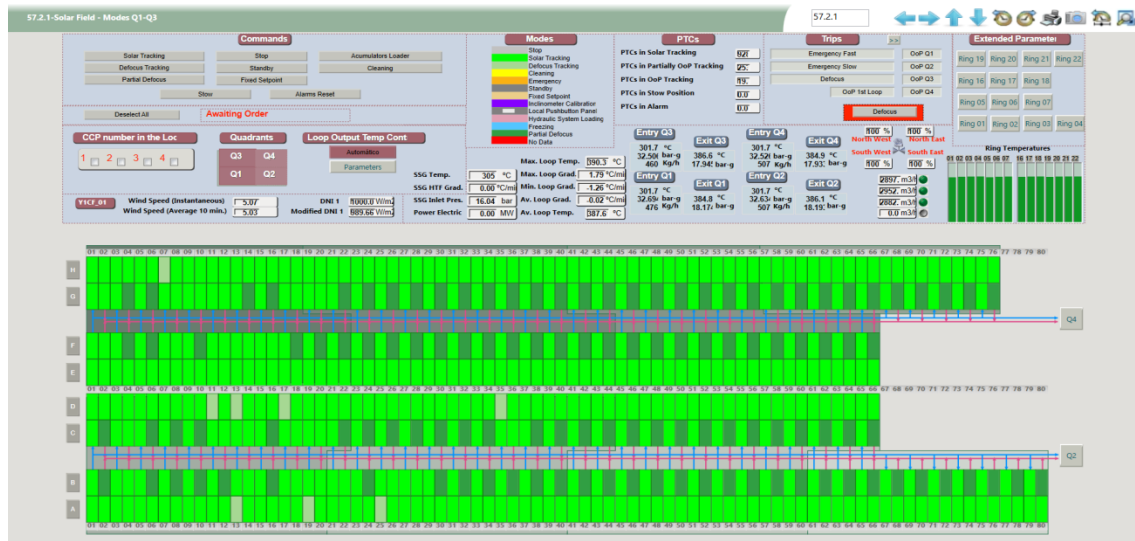
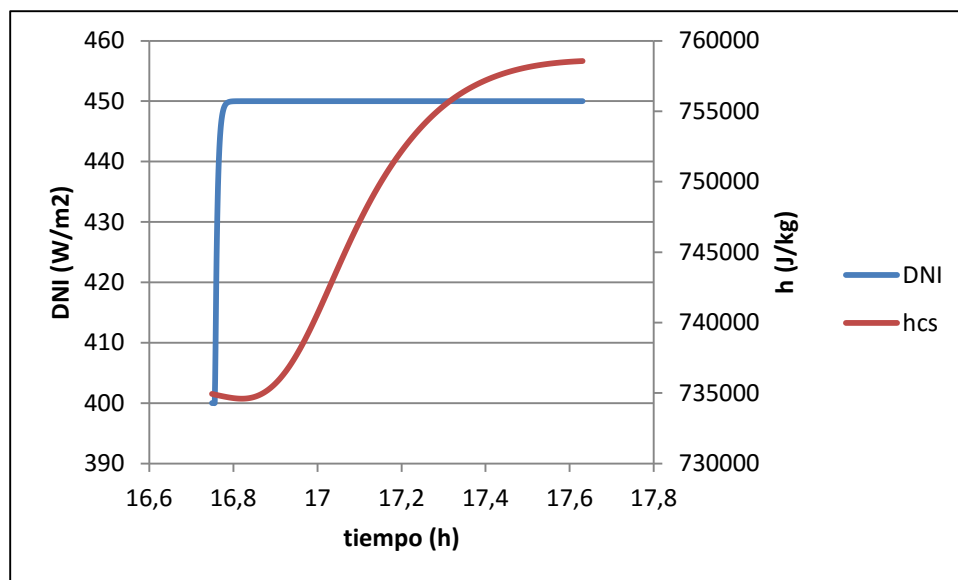
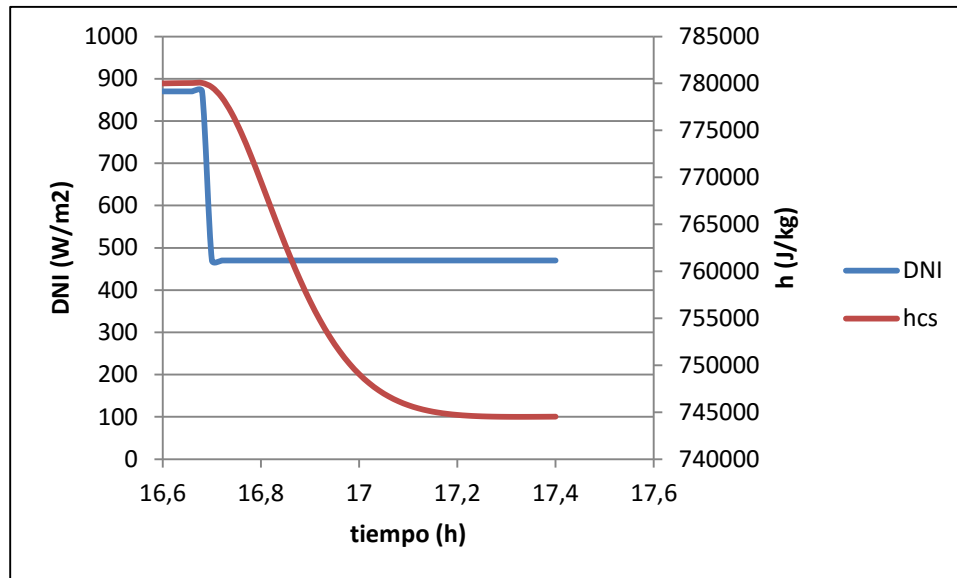


Imagen 3.11: Campo solar del simulador de Tecnomat

- En el caso del caudal igual a 1200 kg/s la temperatura de salida se estabilizó a los 290°C, un valor muy próximo o casi idéntico del valor que se podía medir de la temperatura de entrada. El caudal era demasiado elevado y por tanto había que disminuirlo.
- Con un caudal igual a 900 kg/s sí que se conseguía una temperatura de salida muy próxima a la deseada (alrededor de 390°C). Además, como comprobación secundaria, se observó la temperatura a la salida de los espejos, siendo esta temperatura 371°C (y no superando su máxima de 377°C). Esta restricción también se podía comprobar observando el gradiente de temperatura del bloque de espejos (4 espejos), tanto su valor máximo como medio, el cual debería ser muy próximo a 0.



Gráfica 3.1: Ensayo de subida DNI-h



Gráfica 3.2: Ensayo de bajada DNI-h

Ensayo para el bloque turbina de vapor.

Con el fin de que el simulador responda correctamente, el primer paso que se debe dar es definir un volumen elevado (por ejemplo 25 veces el valor de operación normal) de fluido en el conducto de entrada al intercambiador de calor. Esta condición se debe definir para que las temperaturas o entalpías de entrada que vamos a estudiar se mantengan estables durante el ensayo, ya que si no impusiésemos esta condición variarían y no podríamos simular un escalón.

Una vez definido el volumen aumentado se realizó un ensayo del comportamiento temporal de la potencia producida por las turbinas respecto a un escalón en la entalpía de entrada al generador de vapor, pero el simulador dio una alarma en la temperatura de saturación, la cual excedía el máximo de operación de la planta. Se barajaron dos posibles soluciones, disminuir el valor del escalón de la entalpía o eliminar la restricción en el simulador. Se optó por la segunda opción con el fin de obtener una gráfica de la respuesta temporal más prolongada en el tiempo y por tanto más precisa.

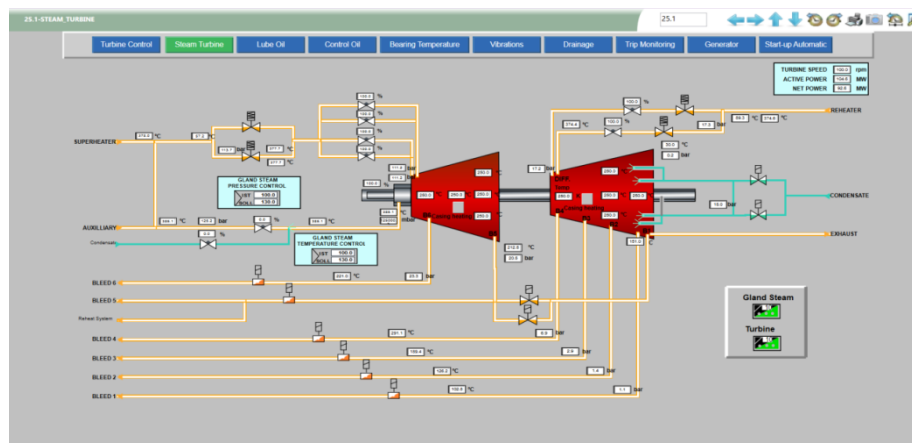
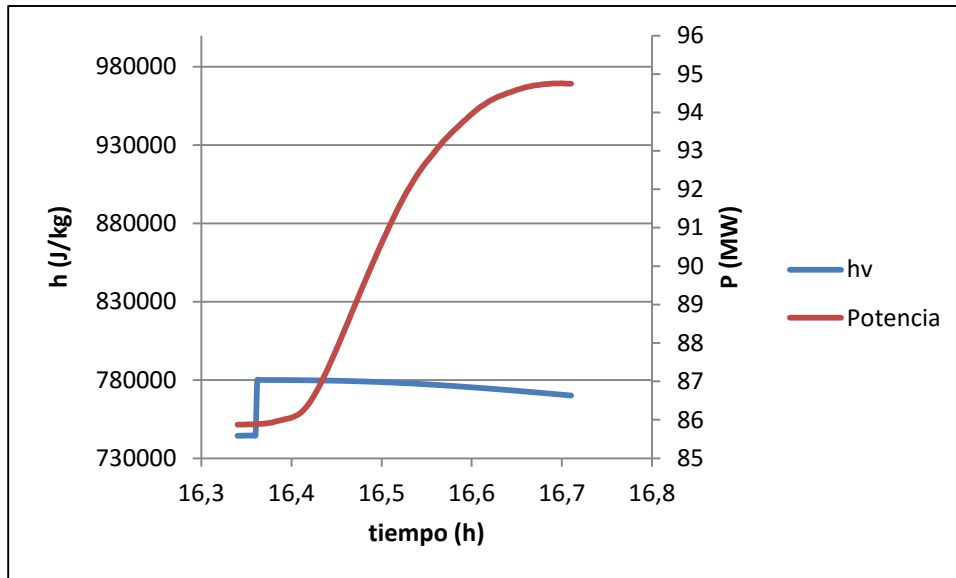
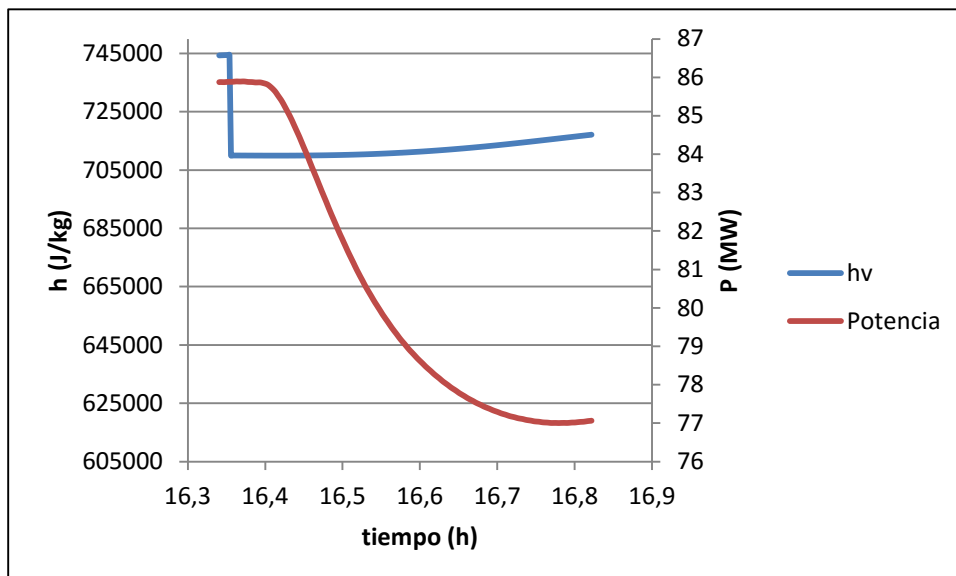


Imagen 3.12: Turbina de vapor del simulador de Tecnatom

Se tomó un valor del volumen del conducto de entrada al intercambiador de calor de unos 500 m^3 y se fue disminuyendo la entalpía desde el valor que tenía por defecto a máxima potencia (aproximadamente 780000 J/kg), hasta un valor en el que la potencia se mantenía estable y no era la máxima (aproximadamente 740000 J/kg). El valor resultante de la potencia fue 86 MW , un valor que permitía tener un margen de operación más que suficiente para imponer un escalón de subida o bajada.



Gráfica 3.3: Ensayo de subida h-P



Gráfica 3.4: Ensayo de bajada h-P

Ensayo para el bloque de los tanques de sales

En este ensayo se decidió comparar entalpía con entalpía, ya que se dedujo que era lo que más podría llegar a aproximar el comportamiento de la carga o la descarga de energía de los tanques de sales.

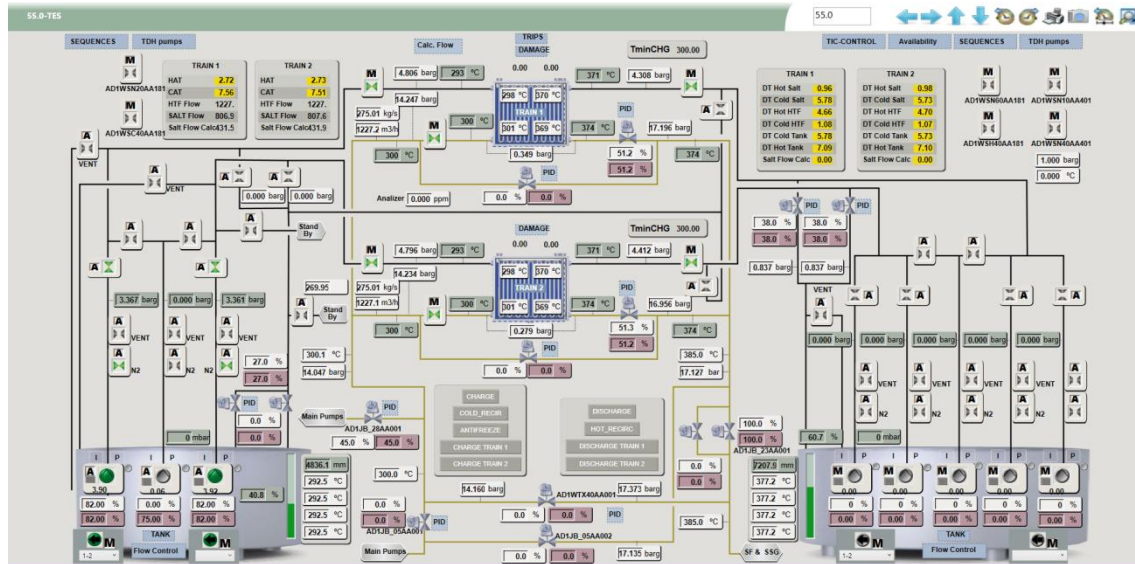
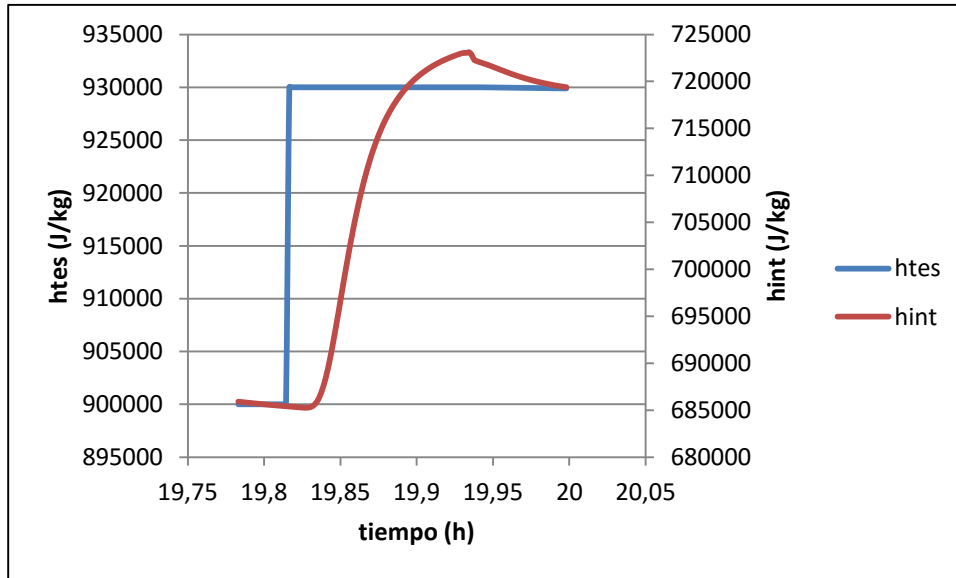
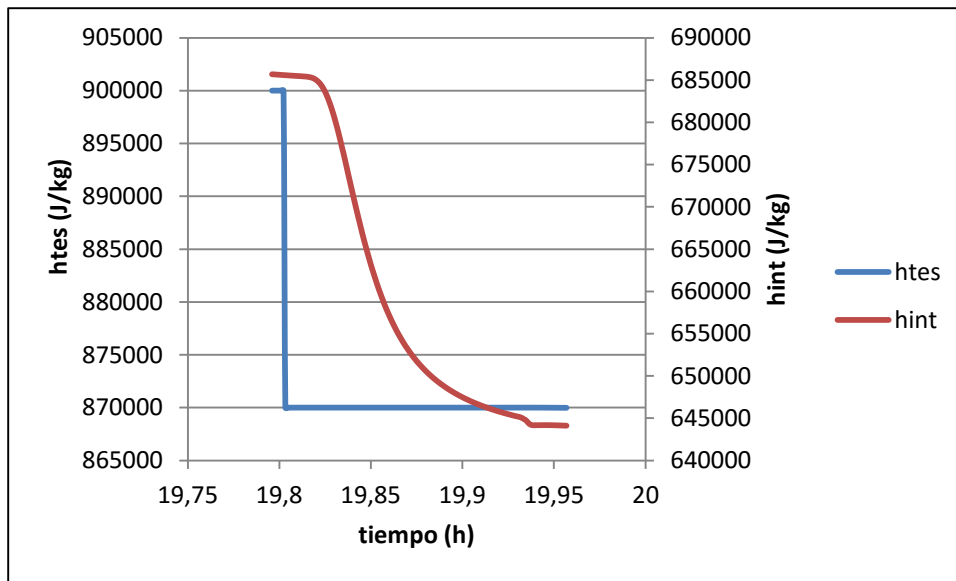


Imagen 3.13: Tanques de sales del simulador de Tecnomat

El primer ensayo que se realizó de este bloque fue el de descarga del tanque de sales calientes. Por tanto, se decidió observar la respuesta de la entalpía del aceite (htf) a la salida del intercambiador de calor de sales, ante un escalón tanto de subida como de bajada en la entalpía medida dentro del propio tanque de sales calientes. Para no incurrir en problemas de pérdida demasiado rápida de la energía del tanque, los escalones ensayados fueron del orden de 30000 J/kg (de 900000 a 930000 J/kg en el escalón de subida y de 900000 a 870000 J/kg en el escalón de bajada).

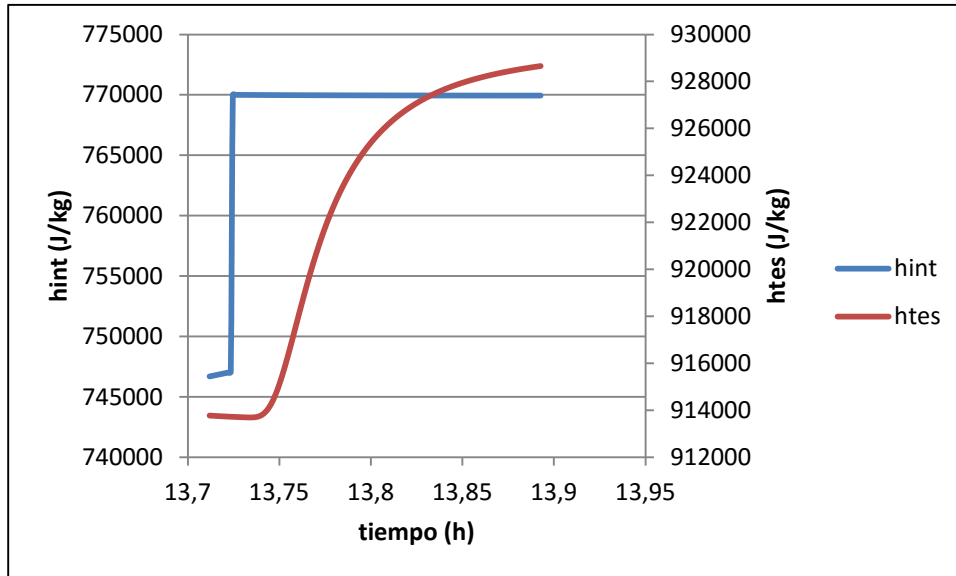


Gráfica 3.5: Ensayo de subida htes-h

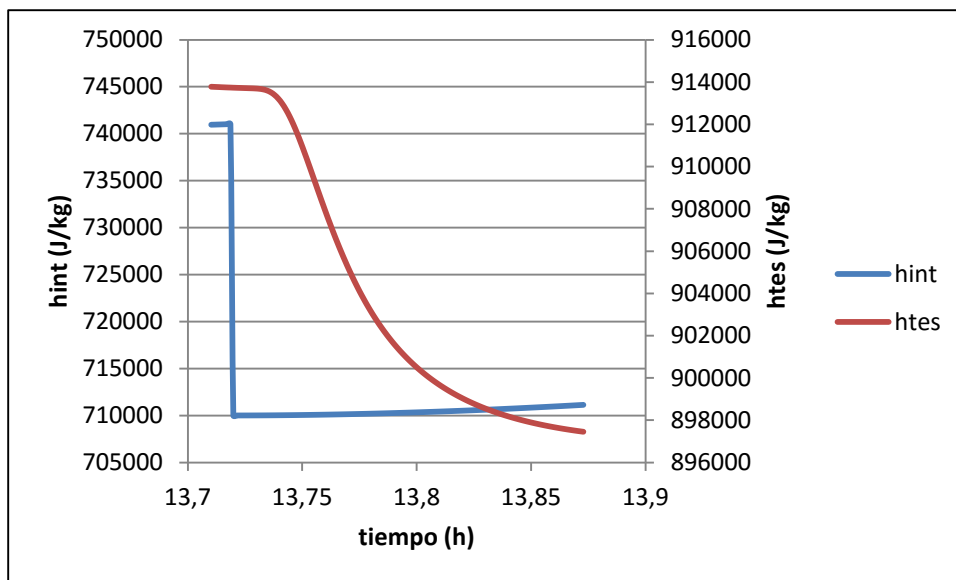


Gráfica 3.6: Ensayo de bajada htes-h

A continuación se realizó el ensayo de carga del tanque de sales calientes. La mecánica a seguir fue la misma que en el caso anterior con la diferencia de que esta vez el escalón se daba en la entalpía del aceite (htf) que entraba al intercambiador de sales. Después se observaba la respuesta de la entalpía del conducto de entrada al tanque de sales calientes (en vez que como en el caso anterior que era la entalpía del tanque de sales calientes). Se realizó así debido a problemas a la hora de medir dichos valores en el simulador. Se realizaron por tanto escalones de 30000 J/kg aproximadamente (de 747500 a 770000 J/kg en el escalón de subida y de 740000 a 710000 J/kg en el escalón de bajada).



Gráfica 3.7: Ensayo de subida h-htes



Gráfica 3.8: Ensayo de bajada h-htes

3.3. Función de transferencia

El procedimiento para hallar la función de transferencia de cada bloque sigue unos pasos bien marcados y diferenciados, que se van a explicitar detalladamente a continuación:

- 1) Realizar el ensayo en el simulador de la central y obtener tanto una tabla de los valores a estudiar como su gráfica.
- 2) Los valores obtenidos tienen que ser normalizados para un escalón unitario que se da en $t = 0$.

Una vez obtenidos los valores pertinentes se procede al empleo de Matlab, donde debemos importar los datos procedentes de Excel. Otra opción es realizar una aproximación a una línea de tendencia polinómica en el propio Excel. La compatibilidad en este caso no será del 100% pero nos permite hallar la mayoría de puntos con los que se va a trabajar. Hay que tener en cuenta que si se han cogido intervalos de tiempo iguales, únicamente con importar los datos bastaría. Por otro lado, si no se han cogido dichos intervalos iguales, habría que interpolar con Simulink para definir un intervalo constante, mucho más cómodo para Matlab. De todos modos hay que realizar una conversión con Simulink para generar las matrices de datos que se utilizarán. (*)

Otra opción es realizar una aproximación a una línea de tendencia polinómica en el propio Excel. La compatibilidad en este caso no será del 100% tampoco, pero nos permite hallar la mayoría de puntos con los que se va a trabajar. Esta aproximación no se realizó con todos los ensayos, ya que en los ensayos del campo solar no se llevó a cabo.

(*) Se definirá un bloque de secuencia de interpolación repetitiva en la que se ajustará el intervalo de tiempo (si hiciese falta) y los datos a estudiar. Luego se añadirá un bloque de alcance para que genere la nueva matriz de datos.

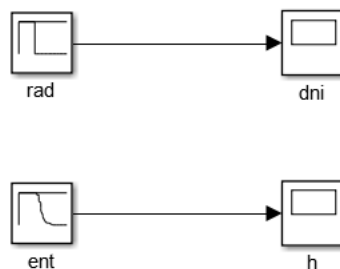


Imagen 3.14: Sistema de bloques de Matlab

- 3) Con los nuevos datos abrimos la función “*ident*” de Matlab e importamos los vectores del escalón de entrada y de su respuesta temporal.

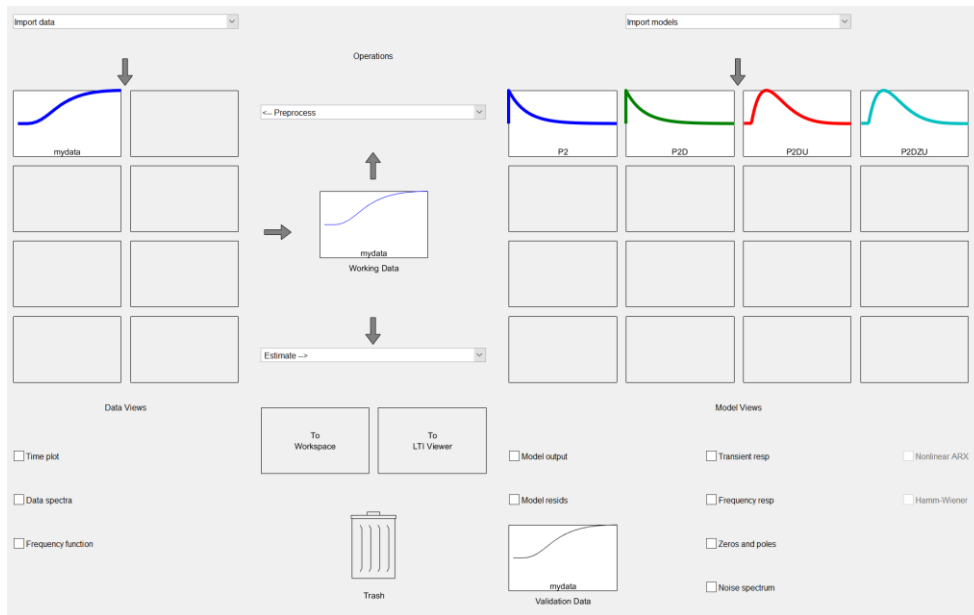


Imagen 3.15: Verificación de varios modelos con Ident de Matlab

- 4) Elegimos un modelo (primer orden, segundo orden, con retardo, amortiguado...) y comprobamos en qué medida se ajusta a la gráfica que teníamos en un principio. Obviamente se escogerá el modelo que más se ajuste a nuestros datos.

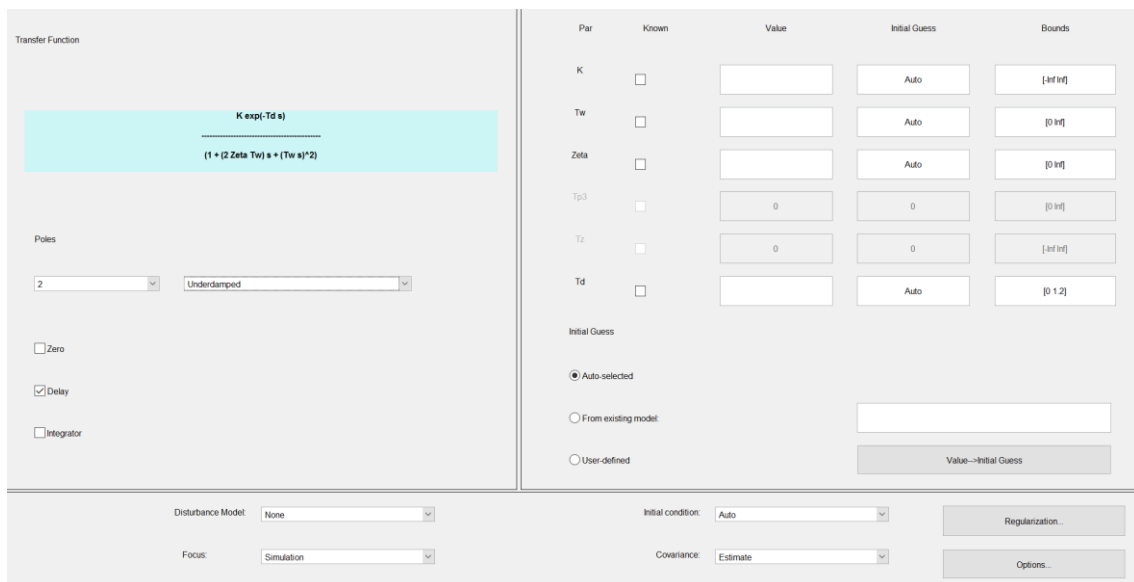


Imagen 1.16: Interfaz de salida de las funciones de transferencia

- 5) Tomamos las incógnitas de la función de transferencia y la planteamos.

Llegados a este punto se barajaron varios métodos de cómo pasar de la función de transferencia en el régimen de la frecuencia obtenida anteriormente, a una función temporal. Los métodos que se probaron fueron: utilización del comando *residue* de Matlab combinado con la tabla de antitransformadas de Laplace, el comando *ilaplace* de Matlab que devuelve directamente la función en el régimen temporal y por último, el método de discretización. A continuación se explicarán más detalladamente estos métodos y se decidirá cuál se utilizará para este caso concreto.

Método 1: Descomposición parcial de fracciones.

Teniendo una función de transferencia del tipo $F(s) = \frac{a+bs+cs^2+ds^3+\dots}{a'+b's+c's^2+d's^3+\dots}$ se descompone en forma de dos vectores $A = [\dots d \ c \ b \ a]$ y $A' = [\dots d' \ c' \ b' \ a']$. A continuación se utiliza la función *residue*: $[r, p, k] = \text{residue}(A, A')$

Esta función nos devolverá los valores de los residuos, los polos y las constantes. A continuación se aplica la antitransformada de Laplace para obtener la función requerida.

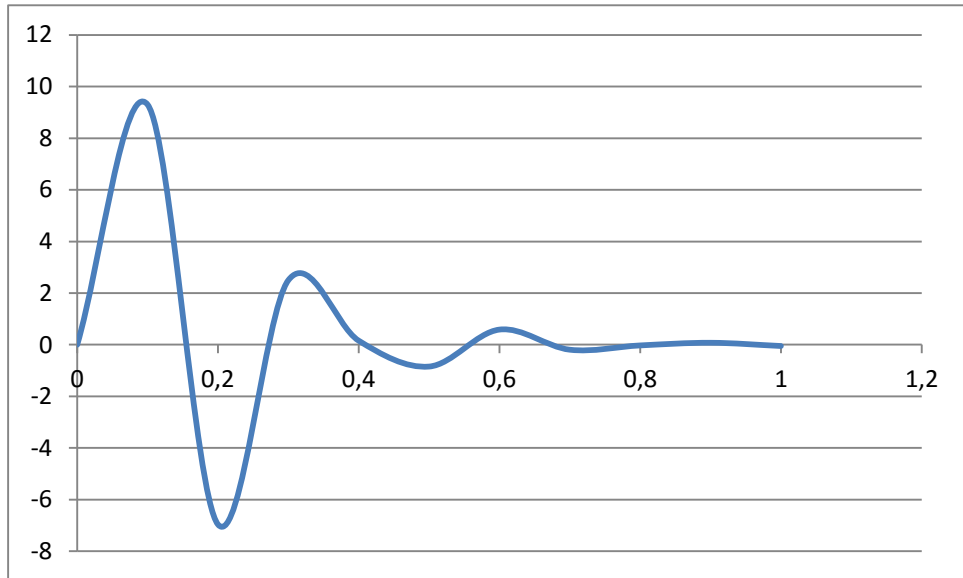
Tabla 2.2. Transformada de Laplace de las señales básicas Se supone que todas las señales son causales		
Señal	$x(t), \ t \geq 0$	$X(s)$
Impulso	$A\delta(t)$	A
Escalón unitario	$A\gamma(t)$	$\frac{A}{s}$
Rampa lineal	At	$\frac{A}{s^2}$
Exponencial	Ae^{-at}	$\frac{A}{s+a}$
Exponencial por el tiempo	Ate^{-at}	$\frac{A}{(s+a)^2}$
Senoidal	$A \cos(\omega t + \varphi)$	$\frac{\frac{A}{2}e^{j\varphi}}{s-j\omega} + \frac{\frac{A}{2}e^{-j\varphi}}{s+j\omega}$
Senoidal amortiguada	$Ae^{-at} \cos(\omega t + \varphi)$	$\frac{\frac{A}{2}e^{j\varphi}}{s+a-j\omega} + \frac{\frac{A}{2}e^{-j\varphi}}{s+a+j\omega}$

Tabla 3.2: Tabla de transformada de Laplace

Para ilustrar el método, se mostrarán a continuación dos ejemplos en los que se utilizó (en el caso de la función de transferencia del campo solar), uno con una función de transferencia de orden 2 y otra de orden 3.

$$F(s) = \frac{1,9383}{1 + 0,162023772s + 0,01313316s^2} \rightarrow \frac{-11,96j}{s - (-6,168 + 6,172j)} + \frac{11,96j}{s - (-6,168 - 6,172j)}$$

$$y(t) = 2e^{-6,18t} \cdot (-12 \cdot \sin(6,17t))$$

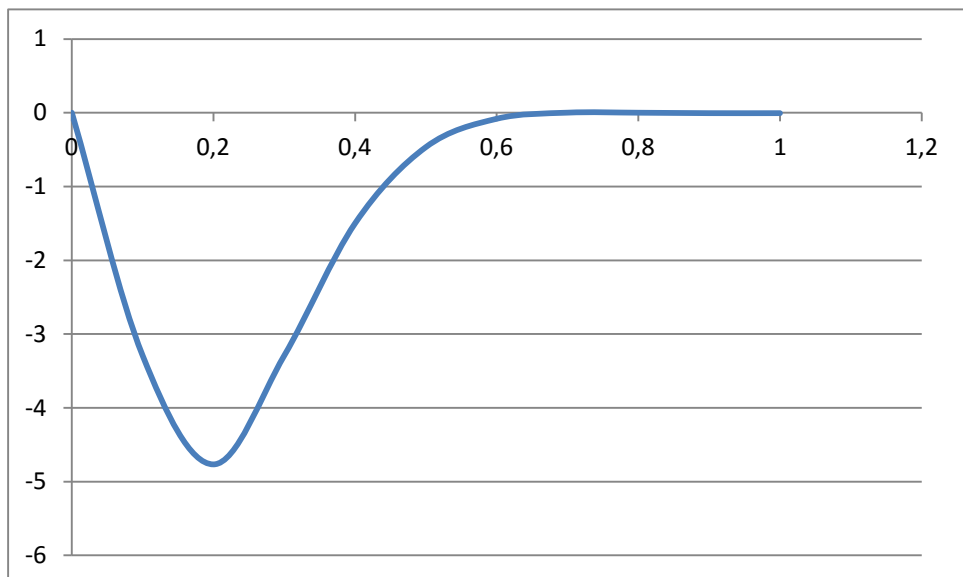


Gráfica 3.9: Función de transferencia de segundo orden fallida

$$F(s) = \frac{1,9842}{1 + 0,18383933s + 0,01209197s^2 + 0,00046003s^3}$$

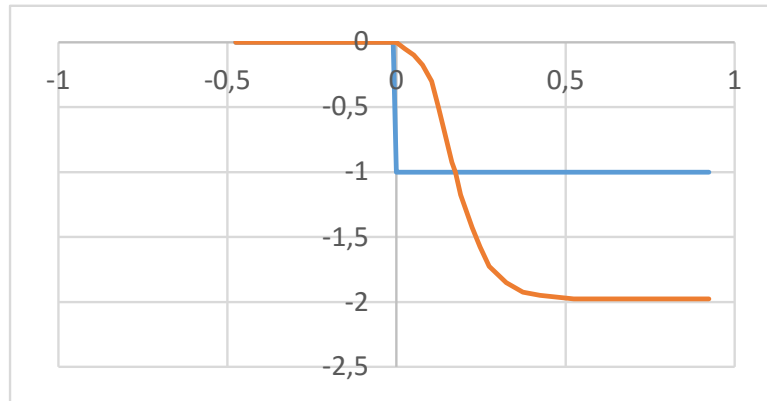
$$\rightarrow \frac{-12,7 - 0,1526j}{s - (-8,7 + 13j)} + \frac{-12,7 + 0,1526j}{s - (-8,7 - 13j)} + \frac{25,47}{s + 8,87}$$

$$y(t) = 25,47e^{-8,86t} + 2e^{-8,7t} \cdot (-12,73 \cdot \cos(13t) + 0,15\sin(13t))$$



Gráfica 3.10: Función de transferencia de tercer orden fallida

Como se puede comprobar, estas funciones no corresponden a lo que se desea obtener, que es más o menos como lo que podemos ver en la siguiente figura. Por tanto este método se desecha.



Gráfica 1.11: Respuesta que se desea conseguir

Método 2: Antitransformada directa

Teniendo una función de transferencia del tipo $F(s) = \frac{a+bs+cs^2+ds^3+\dots}{a'+b's+c's^2+d's^3+\dots}$ se utiliza la función *ilaplace*: $Ft = \text{ilaplace}(Fs)$.

Si realizamos con este método un ejemplo (con la función del campo solar) obtenemos lo siguiente:

fs =

$$9921/(5000*((8486055676228605*s^3)/18446744073709551616+(1742636530757607*s^2)/144115188075855872 + (6623509904672333*s)/36028797018963968 + 1))$$

ft=ilaplace(fs)

$$ft=(22876268494409057697792*\text{symsum}(\exp(\text{root}(s^3+(74352491978991232*s^2)/2828685225409535+(3391237071192234496*s^3)/8486055676228605+18446744073709551616/8486055676228605,s3,k)*t)/((25458167028685815*\text{root}(s^3+(74352491978991232*s^2)/2828685225409535+(3391237071192234496*s^3)/8486055676228605+18446744073709551616/8486055676228605,s3,k)^2+446114951873947392*\text{root}(s^3+(74352491978991232*s^2)/2828685225409535+(3391237071192234496*s^3)/8486055676228605+18446744073709551616/8486055676228605,s3,k) + 3391237071192234496), k, 1, 3))/625$$

No hay que adentrarse mucho en la ecuación resultante para ver que posee una gran complejidad. Sin ir más lejos, contiene sumatorios (que en Matlab son representados por la función `symsum`). Es inviable introducir este tipo de resultado en forma de ecuación en el simulador, por lo que de nuevo debemos rechazar este método.

Método 3: Discretización

Teniendo una función de transferencia del tipo $F(s) = \frac{a+bs+cs^2+ds^3+\dots}{a'+b's+c's^2+d's^3+\dots}$ el segundo paso que debemos realizar es su descomposición en una función de segundo orden y una función retardo o retraso puro.

La función resultante de esta descomposición es la siguiente:

$$\text{Función 1: } S = \frac{1}{1 + \tau_1 s + \tau_2 s^2} \cdot E$$

$$\text{Función 2: } S = \frac{G}{1 + \tau_d s} \cdot E$$

Se debe de hacer especial mención a la G, que en nuestro caso es la ganancia del sistema. Este valor se calculará multiplicando la ganancia de régimen permanente K de la función de transferencia con un factor de conversión f_c . Dicho factor de conversión dependerá de las unidades asignadas a los ejes verticales principal y secundario.

Por otro lado, se ha de incluir un valor de inicialización y_0 para el correcto funcionamiento de la función. Este valor y_0 se obtendrá empíricamente, ajustando el valor hasta optimizar el ajuste con los datos obtenidos inicialmente en los ensayos.

Después, lo que se debe de hacer es discretizar la función 1, siguiendo el procedimiento que a continuación se muestra:

$$S = \frac{1}{1 + \tau_1 s + \tau_2 s^2} \cdot E$$

$$S \cdot (1 + \tau_1 s + \tau_2 s^2) = E$$

$$S + \tau_1 \frac{dS}{dt} + \tau_2 \frac{d^2 S}{dt^2} = E$$

$$S^{n+1} + \tau_1 \frac{(S^{n+1} - S^n)}{\Delta t} + \tau_2 \frac{(S^{n+1} - 2S^n + S^{n-1}))}{\Delta t^2} = E^{n+1}$$

$$S^{n+1} \cdot \left(1 + \frac{\tau_1}{\Delta t} + \frac{\tau_2}{\Delta t^2}\right) - \tau_1 \frac{S^n}{\Delta t} - \tau_2 \frac{2S^n}{\Delta t^2} + \tau_2 \frac{S^{n-1}}{\Delta t^2} = E^{n+1}$$

$$S^{n+1} = \frac{E^{n+1} + \tau_1 \frac{S^n}{\Delta t} + \tau_2 \frac{2S^n}{\Delta t^2} - \tau_2 \frac{S^{n-1}}{\Delta t^2}}{\left(1 + \frac{\tau_1}{\Delta t} + \frac{\tau_2}{\Delta t^2}\right)}$$

$$S^{n+1} = \hat{E}$$

Por último, discretizamos la función 2 partiendo de la anterior de la siguiente manera:

$$S = \frac{G}{1 + \tau_d s} \cdot \hat{E}$$

$$S \cdot (1 + \tau_d s) = G \cdot \hat{E}$$

$$S^{n+1} + \tau_d \cdot \frac{S^{n+1} - S^n}{\Delta t} = G \cdot \hat{E}$$

$$S^{n+1} = \frac{G \cdot \hat{E} + \frac{\tau_d}{\Delta t} S^n}{(1 + \frac{\tau_d}{\Delta t})}$$

Esta ecuación nos permite calcular la salida en un momento dado conociendo dicha salida en dos instantes anteriores, el valor de la entrada en ese instante y un intervalo de tiempo. El intervalo de muestreo Δt elegido fue 0,02 segundos, aunque se podría haber elegido otro cualquiera. En lo único que influirá esto será en lo ajustada que saldrá la respuesta respecto de lo que se quiere conseguir. Hay que destacar que en las gráficas que se van a mostrar de este apartado el tiempo aparece descrito como horas aproximadas. Este quiere decir que el valor 1 del eje horizontal equivale a 56 minutos (aproximadamente 1 hora).

Una vez han quedado bien definidos los pasos a seguir, se muestran los resultados obtenidos en los 8 ensayos que componen este estudio.

Función de transferencia del campo solar (escalón de bajada)

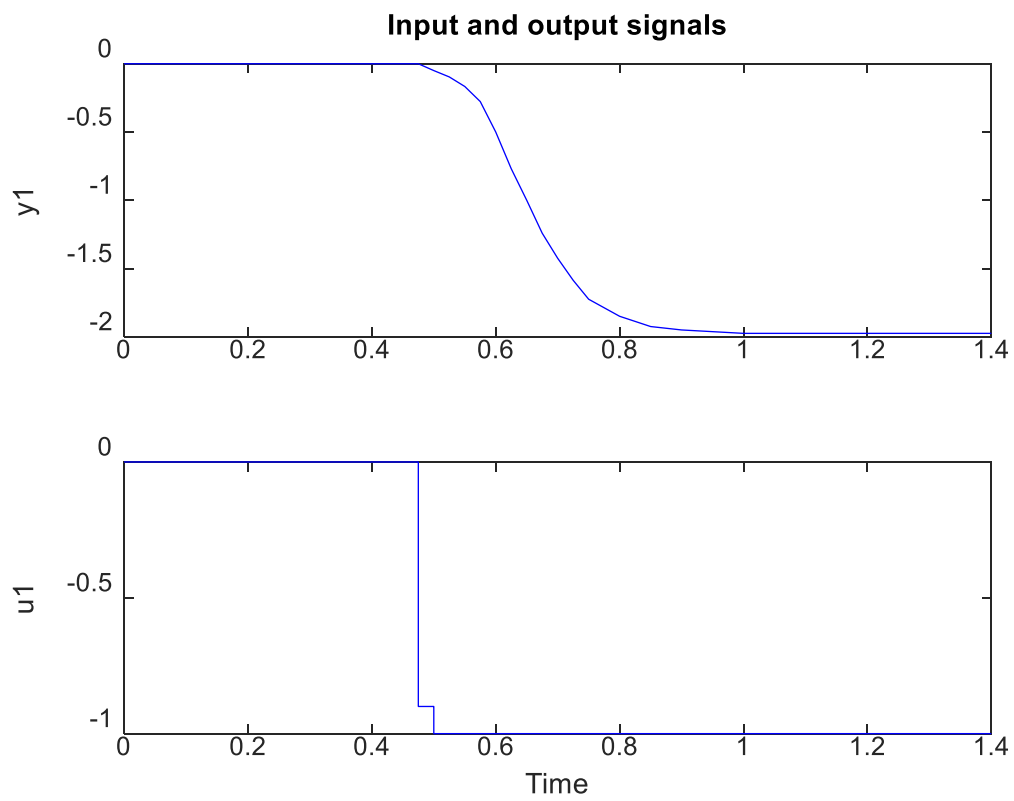
Siguiendo los pasos descritos anteriormente tenemos las siguientes gráficas:

- Gráfica 3.12: Ensayo normalizado para salto unitario.
- Gráfica 3.13: prueba de modelos que mejor se ajustan a nuestra respuesta temporal.
 - o Azul claro: segundo orden subamortiguado con retardo (97,83% de ajuste).
 - o Morado: segundo orden subamortiguado con retardo y cero (97,82% de ajuste).
 - o Rojo: segundo orden con retardo (95,36% de ajuste).
 - o Verde: segundo orden (65,55% de ajuste).
- Gráfica 3.14: Ecuación discretizada.

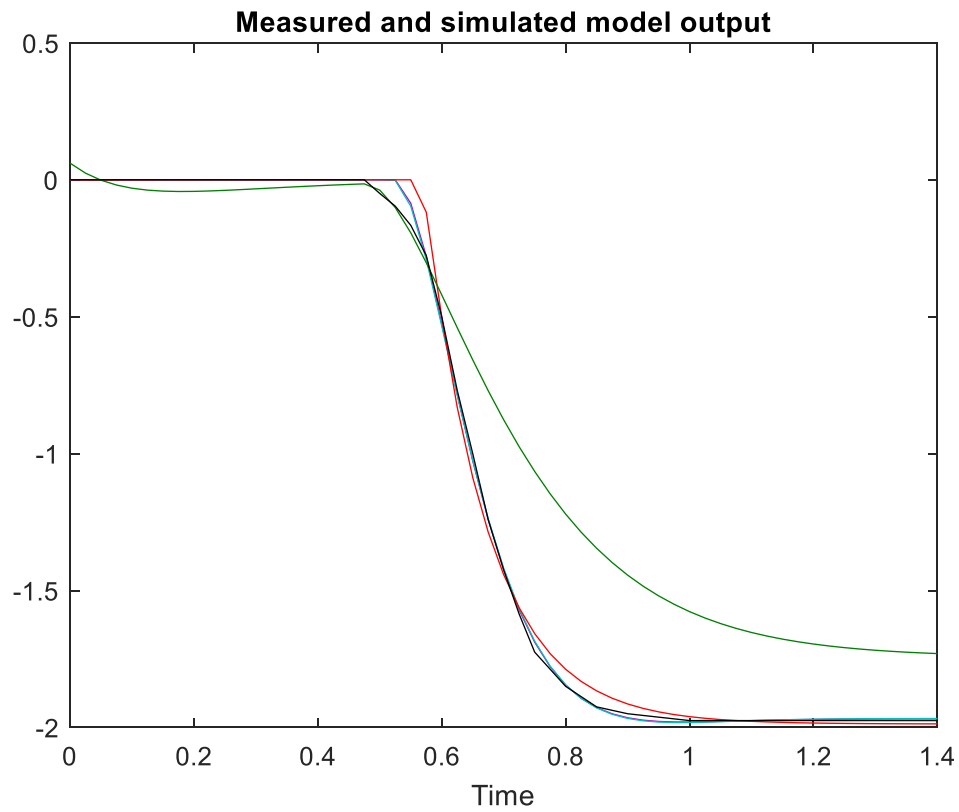
La función de transferencia correspondiente a la calculada con Matlab es:

$$F = \frac{K}{(1 + (2 \cdot z \cdot t_w) \cdot s + (T_w \cdot s)^2) \cdot (1 + t_d \cdot s)}$$

$$F = \frac{1,9675}{(1 + (2 \cdot 0,84134 \cdot 0,079235) \cdot s + (0,079235 \cdot s)^2) \cdot (1 + 0,046025 \cdot s)}$$



Gráfica 3.12: Respuesta temporal y escalón unitario



Gráfica 3.13: Ajuste de los modelos seleccionados

Transfer Function

$$\frac{K \exp(-T_d s)}{(1 + (2 \text{ Zeta } T_w) s + (T_w s)^2)}$$

Poles

2 Underdamped

☐ Zero

☒ Delay

☐ Integrator

Par	Known	Value	Initial Guess	Bounds
K	☐	1.9675	Auto	[-Inf Inf]
Tw	☐	0.079235	Auto	[0 10000]
Zeta	☐	0.84134	Auto	[0 Inf]
Tp3	☐	0	0	[0 Inf]
Tz	☐	0	0	[-Inf Inf]
Td	☐	0.046025	Auto	[0 1]

Initial Guess

☒ Auto-selected

☐ From existing model:

☐ User-defined

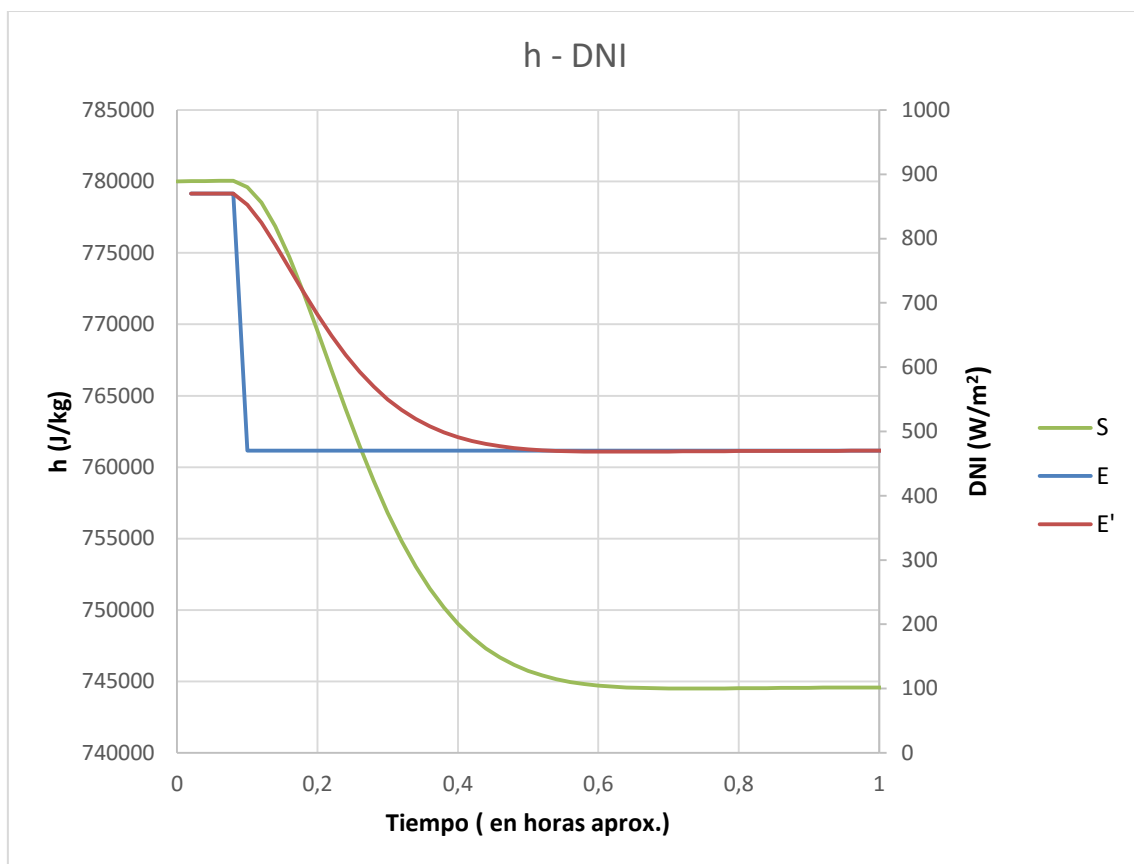
Value-->Initial Guess

Imagen 3.17: Valores de la función de transferencia

Discretizando la función de transferencia obtenemos la siguiente ecuación:

$$S^{n+1} = \frac{G \cdot \frac{E^{n+1} + \tau_1 \frac{S^n}{\Delta t} + \tau_2 \frac{2S^n}{\Delta t^2} - \tau_2 \frac{S^{n-1}}{\Delta t^2}}{\left(1 + \frac{\tau_1}{\Delta t} + \frac{\tau_2}{\Delta t^2}\right)} + \frac{\tau_d}{\Delta t} S^n}{\left(1 + \frac{\tau_d}{\Delta t}\right)} - y_o$$

$$S^{n+1} = \frac{G \cdot \frac{E^{n+1} + 0,13272 \frac{S^n}{\Delta t} + 0,006241 \frac{2S^n}{\Delta t^2} - 0,006241 \frac{S^{n-1}}{\Delta t^2}}{\left(1 + \frac{0,13272}{\Delta t} + \frac{0,006241}{\Delta t^2}\right)} + \frac{0,046}{\Delta t} S^n}{\left(1 + \frac{0,046}{\Delta t}\right)} + 213000$$



Gráfica 3.14: Ecuación discretizada

Función de transferencia del campo solar (escalón de subida)

Siguiendo los pasos descritos anteriormente tenemos las siguientes gráficas:

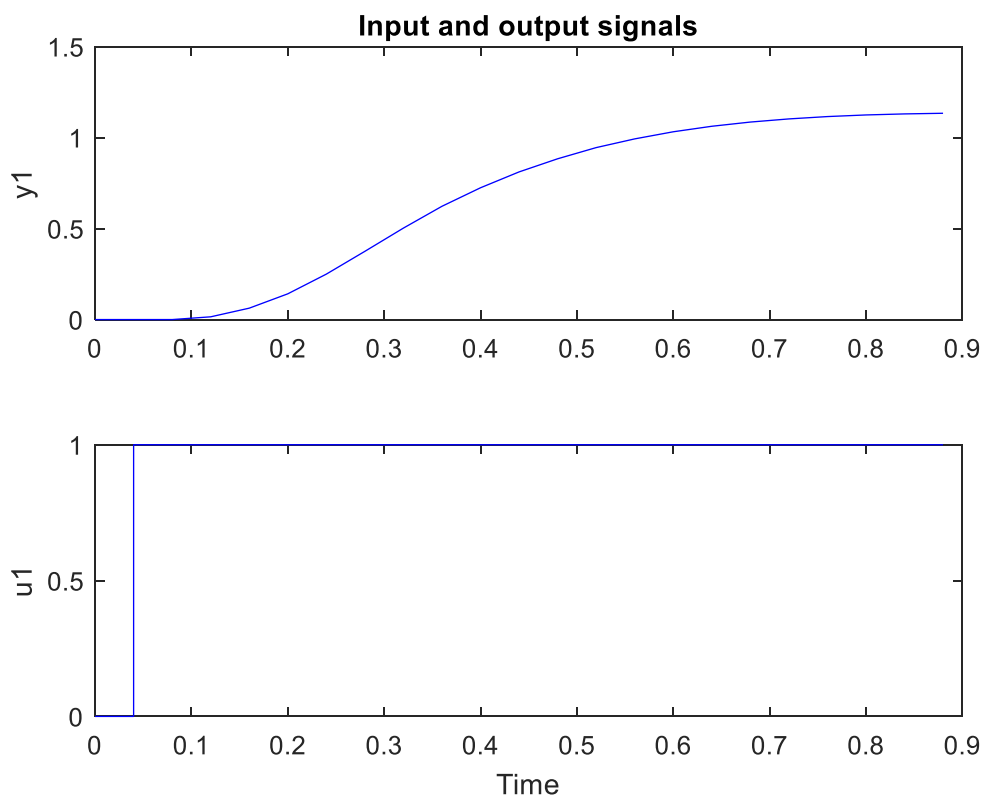
- Gráfica 3.15: Ensayo normalizado para salto unitario.
- Gráfica 3.16: prueba de modelos que mejor se ajustan a nuestra respuesta temporal.
 - Rojo: segundo orden subamortiguado con retardo (99,07% de ajuste).

- Azul claro: segundo orden subamortiguado con retardo y cero (99,07% de ajuste).
 - Verde: segundo orden con retardo (73,49% de ajuste).
 - Azul: segundo orden (11,72% de ajuste).
- Gráfica 3.17: Ecuación discretizada.

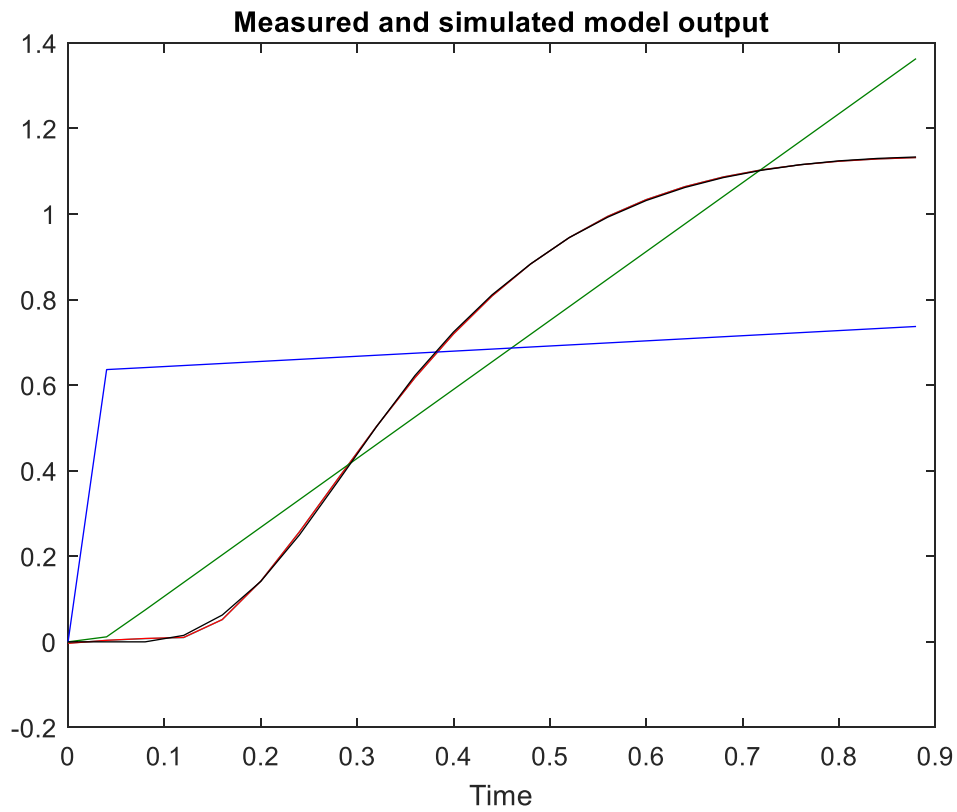
La función de transferencia correspondiente a la calculada con Matlab es:

$$F = \frac{K}{(1 + (2 \cdot z \cdot t_w) \cdot s + (T_w \cdot s)^2) \cdot (1 + t_d \cdot s)}$$

$$F = \frac{1,126}{(1 + (2 \cdot 0,8424 \cdot 0,14687) \cdot s + (0,14687 \cdot s)^2) \cdot (1 + 0,07692 \cdot s)}$$



Gráfica 3.15: Respuesta temporal y escalón unitario



Gráfica 3.16: Ajuste de los modelos seleccionados

Transfer Function

$$\frac{K \exp(-T_d s)}{(1 + (2 \text{ Zeta } T_w) s + (T_w s)^2)}$$

Poles

2

Underdamped

☐ Zero
 ☒ Delay
 ☐ Integrator

Par	Known	Value	Initial Guess	Bounds
K	☐	1.126	Auto	[-Inf Inf]
Tw	☐	0.14687	Auto	[0 10000]
Zeta	☐	0.8424	Auto	[0 Inf]
Tp3	☐	0	0	[0 Inf]
Tz	☐	0	0	[-Inf Inf]
Td	☐	0.07692	Auto	[0 1.2]

Initial Guess

☒ Auto-selected

☐ From existing model:

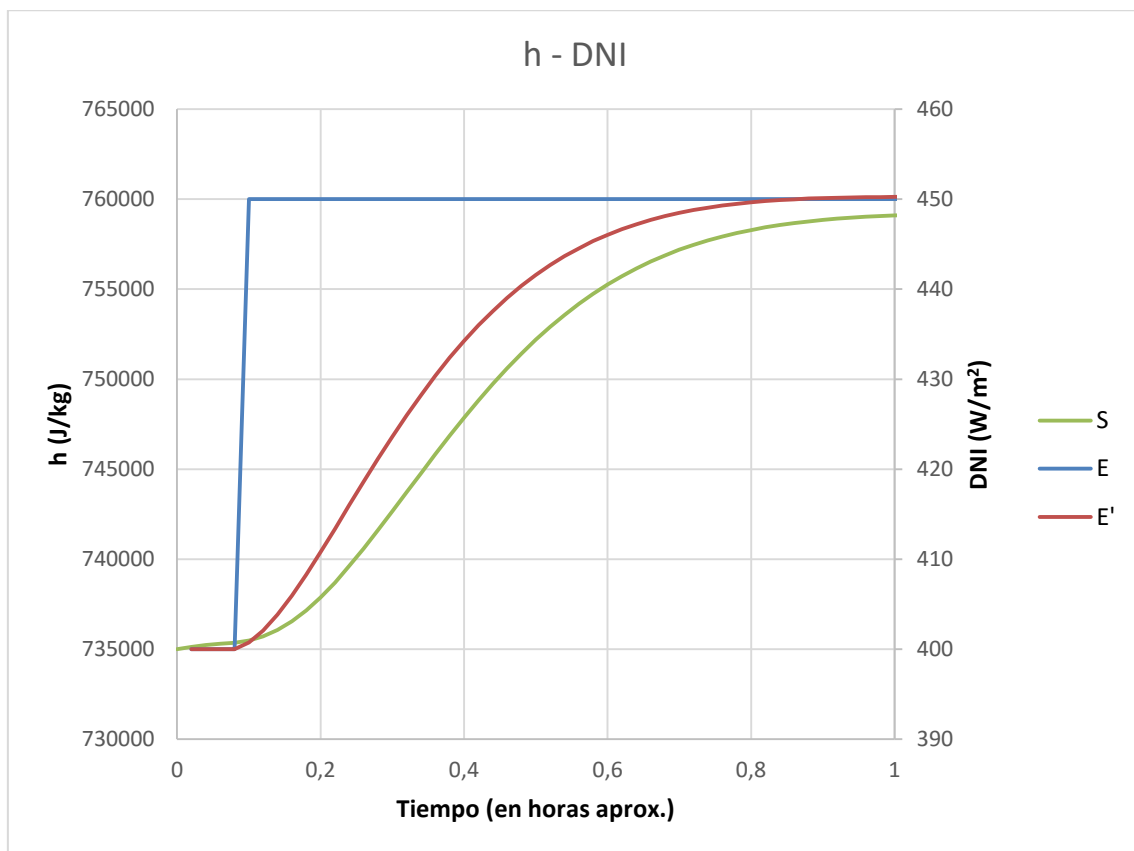
☐ User-defined Value-->Initial Guess

Imagen 3.18: Valores de la función de transferencia

Discretizando la función de transferencia obtenemos la siguiente ecuación:

$$S^{n+1} = \frac{G \cdot \frac{E^{n+1} + \tau_1 \frac{S^n}{\Delta t} + \tau_2 \frac{2S^n}{\Delta t^2} - \tau_2 \frac{S^{n-1}}{\Delta t^2}}{\left(1 + \frac{\tau_1}{\Delta t} + \frac{\tau_2}{\Delta t^2}\right)} + \frac{\tau_d}{\Delta t} S^n}{\left(1 + \frac{\tau_d}{\Delta t}\right)} - y_o$$

$$S^{n+1} = \frac{479 \cdot \frac{E^{n+1} + 0,24744658 \frac{S^n}{\Delta t} + 0,0215708 \frac{2S^n}{\Delta t^2} - 0,0215708 \frac{S^{n-1}}{\Delta t^2}}{\left(1 + \frac{0,24744658}{\Delta t} + \frac{0,006241}{\Delta t^2}\right)} + \frac{0,07692}{\Delta t} S^n}{\left(1 + \frac{0,07692}{\Delta t}\right)} + 113000$$



Gráfica 3.17: Ecuación discretizada

Función de transferencia de la turbina (escalón de bajada)

Siguiendo los pasos descritos anteriormente tenemos las siguientes gráficas:

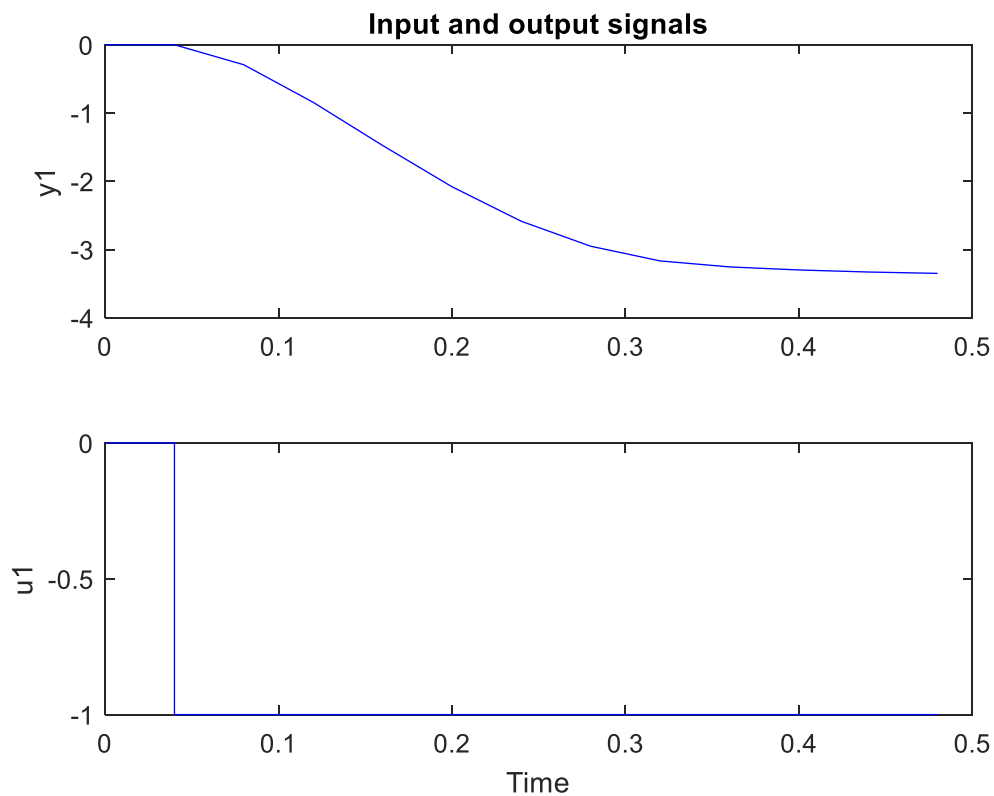
- Gráfica 3.18: Ensayo normalizado para salto unitario.
- Gráfica 3.19: Ensayo normalizado aproximado a una ecuación polinómica.

- Gráfica 3.20: prueba de modelos que mejor se ajustan a nuestra respuesta temporal.
 - o Azul claro: segundo orden subamortiguado con retardo (98,54% de ajuste).
 - o Rojo: segundo orden subamortiguado con retardo y cero (98,5% de ajuste).
 - o Verde: segundo orden con retardo (79,24% de ajuste).
 - o Azul: segundo orden (26,51% de ajuste).
- Gráfica 3.21: Ecuación discretizada.

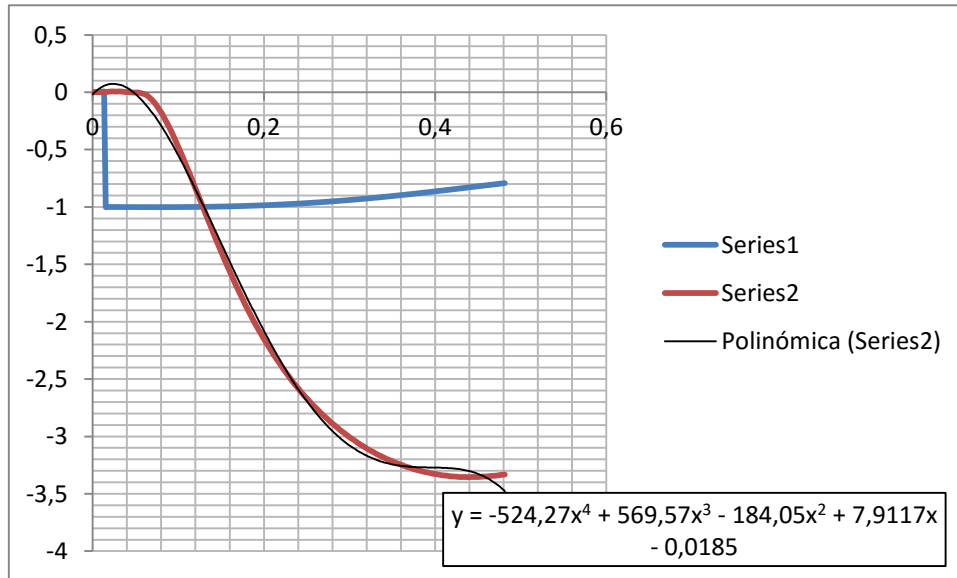
La función de transferencia correspondiente a la calculada con Matlab es:

$$F = \frac{K}{(1 + (2 \cdot z \cdot t_w) \cdot s + (T_w \cdot s)^2) \cdot (1 + t_d \cdot s)}$$

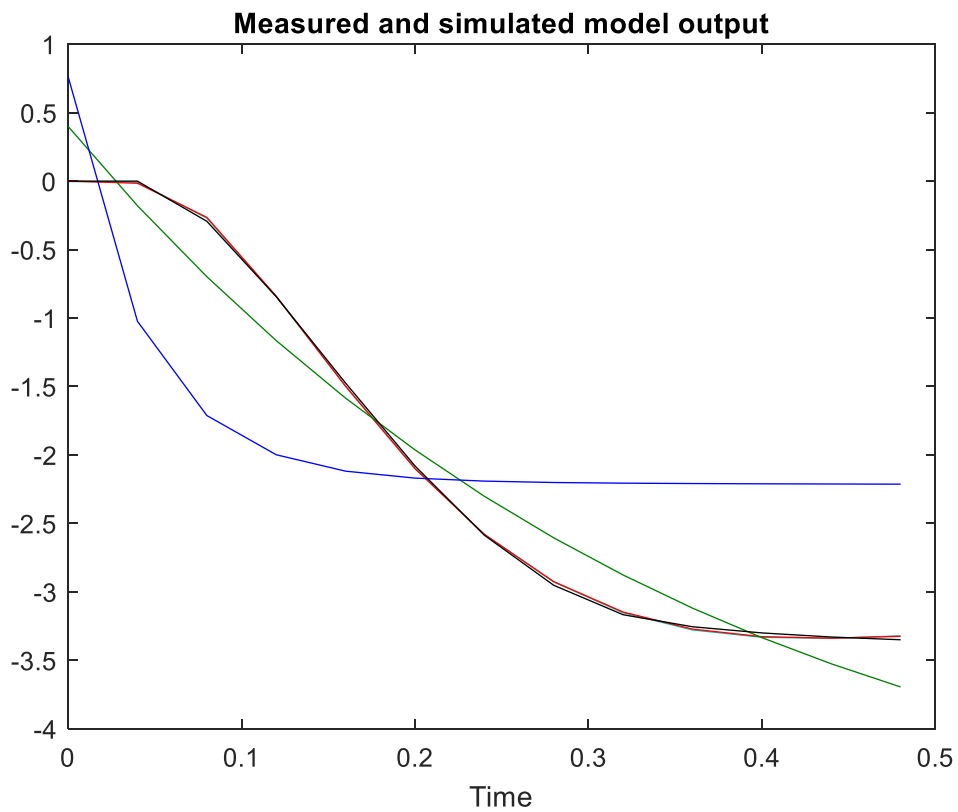
$$F = \frac{3,1888}{(1 + (2 \cdot 0,6954 \cdot 0,0088841) \cdot s + (0,0088841 \cdot s)^2) \cdot (1 + 0 \cdot s)}$$



Gráfica 3.18: Respuesta temporal y escalón unitario



Gráfica 3.19: Ajuste mediante ecuación polinómica



Gráfica 3.20: Ajuste de los modelos seleccionados

Transfer Function

$$\frac{K \exp(-T_d s)}{(1 + (2 \text{ Zeta } T_w) s + (T_w s)^2)}$$

Poles

2

Underdamped

☐ Zero
 ☒ Delay
 ☐ Integrator

Par	Known	Value	Initial Guess	Bounds
K	☐	3.1888	Auto	[-Inf Inf]
Tw	☐	0.088841	Auto	[0 10000]
Zeta	☐	0.6954	Auto	[0 Inf]
TP3	☐	0	0	[0 Inf]
Tz	☐	0	0	[-Inf Inf]
Td	☐	0	Auto	[0 1.6]

Initial Guess

☒ Auto-selected

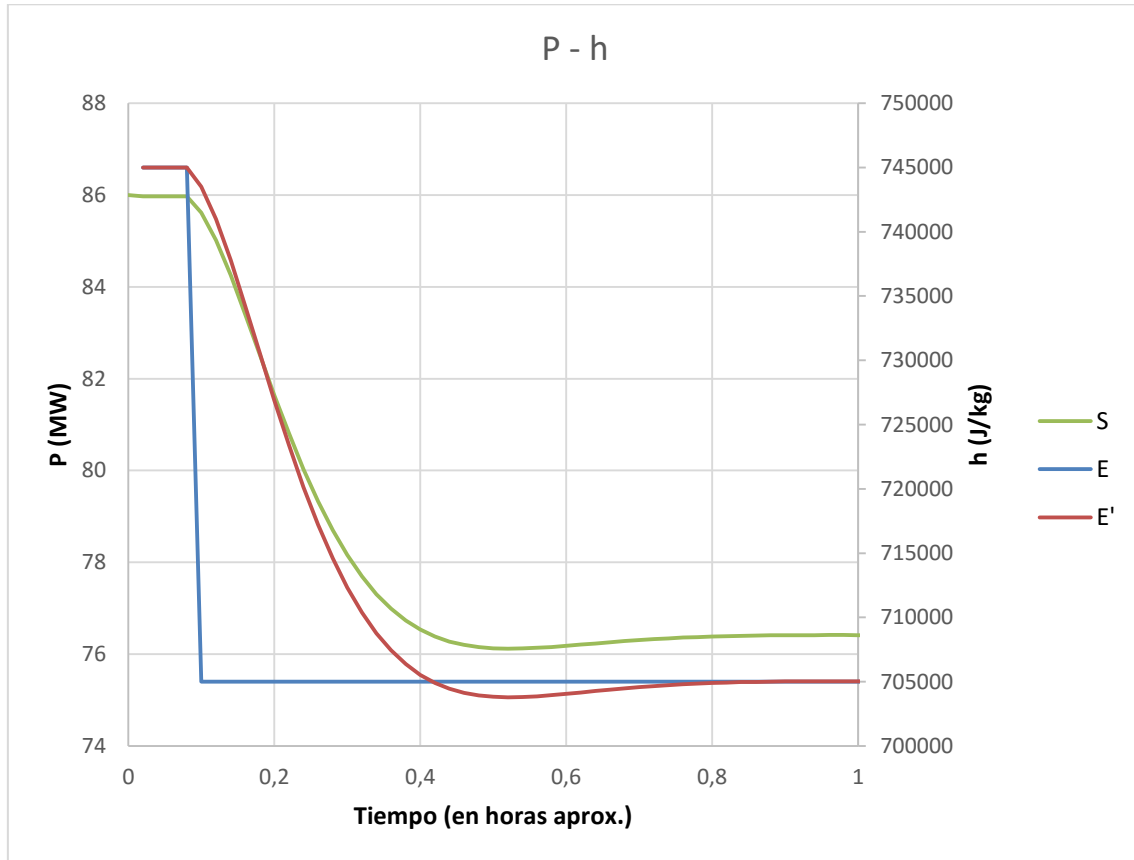
☐ From existing model:

☐ User-defined

Imagen 3.19: Valores de la función de transferencia

$$S^{n+1} = \frac{G \cdot \frac{E^{n+1} + \tau_1 \frac{S^n}{\Delta t} + \tau_2 \frac{2S^n}{\Delta t^2} - \tau_2 \frac{S^{n-1}}{\Delta t^2}}{\left(1 + \frac{\tau_1}{\Delta t} + \frac{\tau_2}{\Delta t^2}\right)} + \frac{\tau_d}{\Delta t} S^n}{\left(1 + \frac{\tau_d}{\Delta t}\right)} - y_o$$

$$S^{n+1} = \frac{0,00024 \cdot \frac{E^{n+1} + 0,12356006 \frac{S^n}{\Delta t} + 0,00789272 \frac{2S^n}{\Delta t^2} - 0,00789272 \frac{S^{n-1}}{\Delta t^2}}{\left(1 + \frac{0,12356006}{\Delta t} + \frac{0,00789272}{\Delta t^2}\right)} + \frac{0}{\Delta t} S^n}{\left(1 + \frac{0}{\Delta t}\right)} - 92,2$$



Gráfica 3.21: Ecuación discretizada

Función de transferencia de la turbina (escalón de subida)

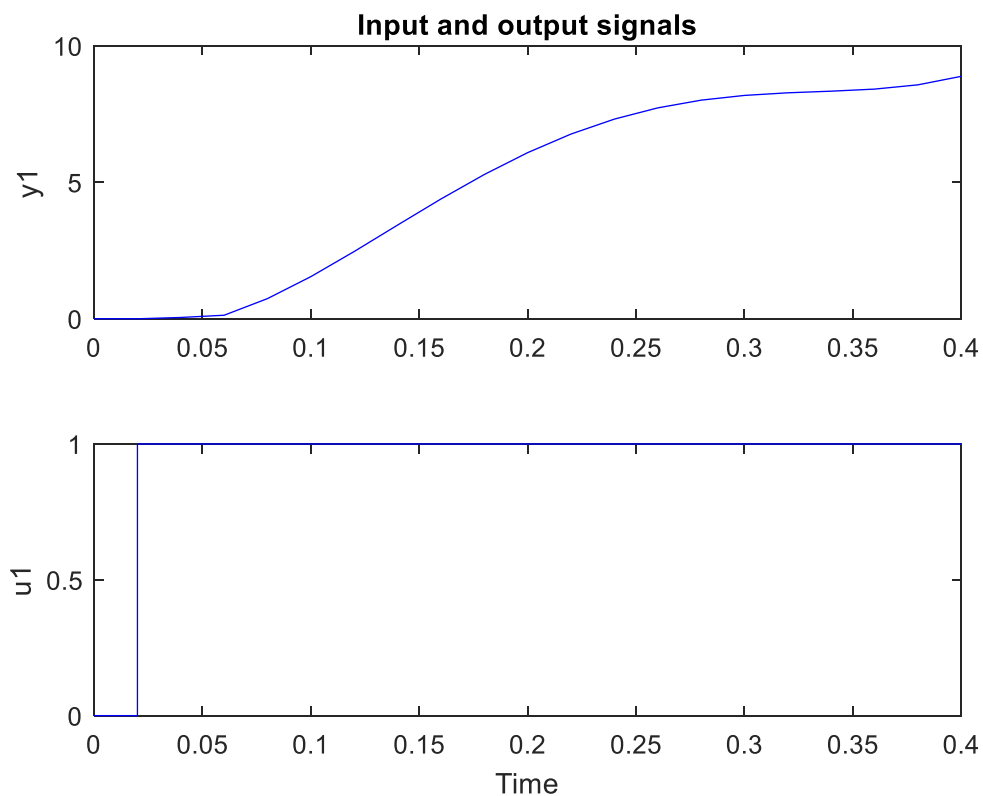
Siguiendo los pasos descritos anteriormente tenemos las siguientes gráficas:

- Gráfica 3.22: Ensayo normalizado para salto unitario.
- Gráfica 3.23: Ensayo normalizado aproximado a una ecuación polinómica.
- Gráfica 3.24: prueba de modelos que mejor se ajustan a nuestra respuesta temporal.
 - o Azul claro: segundo orden subamortiguado con retardo (97,46% de ajuste).
 - o Rojo: segundo orden subamortiguado con retardo y cero (97,43% de ajuste).
 - o Verde: segundo orden con retardo (74,24% de ajuste).
 - o Azul: segundo orden (7,32% de ajuste).
- Gráfica 3.25: Ecuación discretizada.

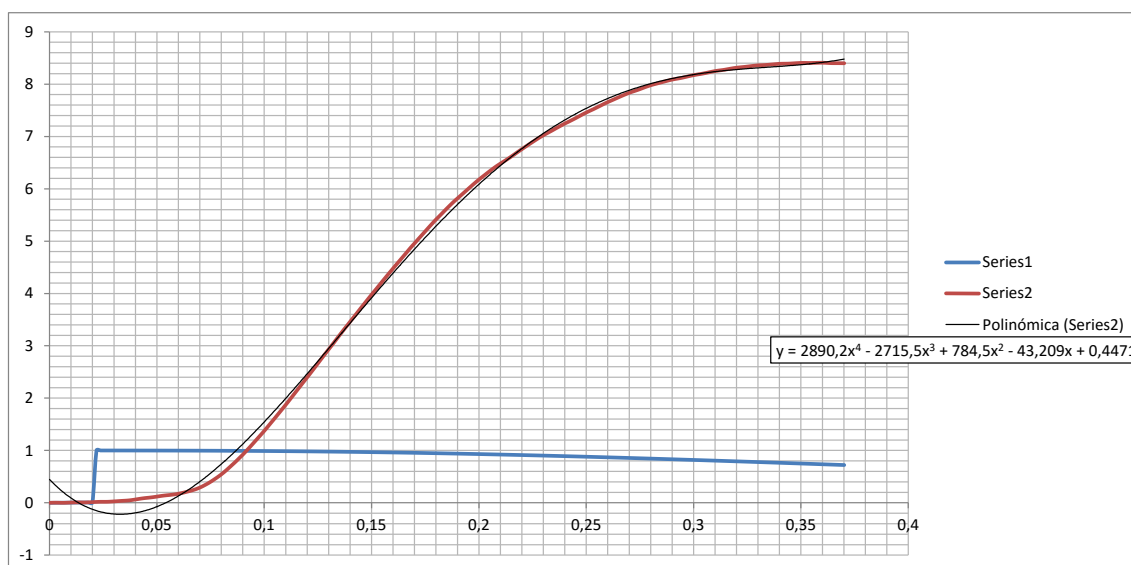
La función de transferencia correspondiente a la calculada con Matlab es:

$$F = \frac{K}{(1 + (2 \cdot z \cdot t_w) \cdot s + (T_w \cdot s)^2) \cdot (1 + t_d \cdot s)}$$

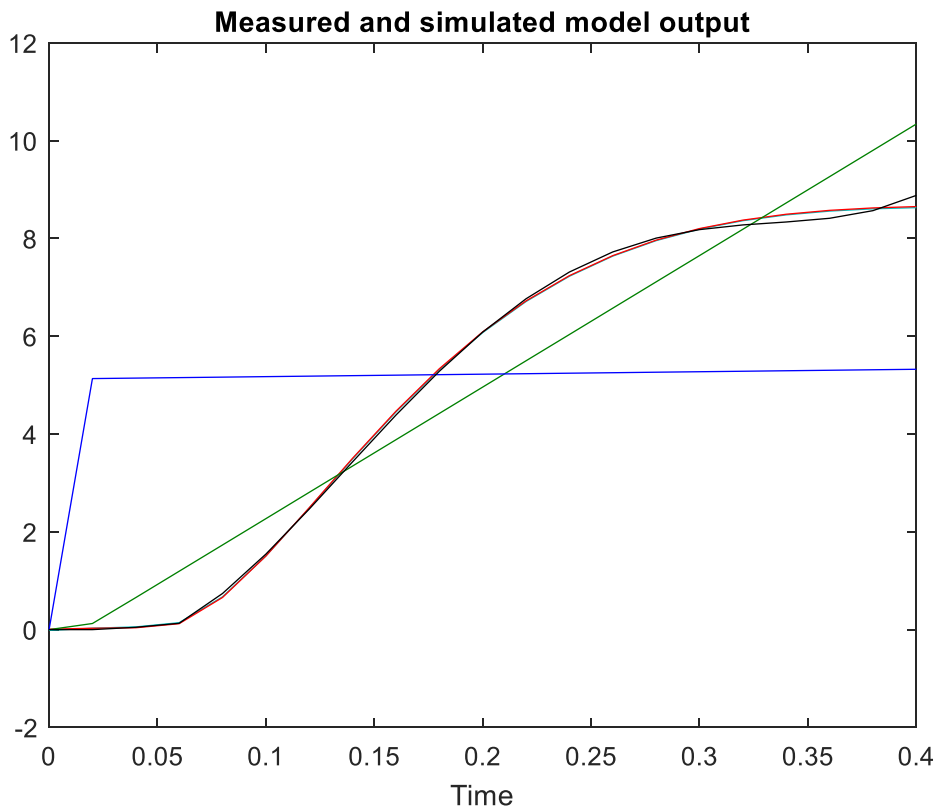
$$F = \frac{8,5219}{(1 + (2 \cdot 0,80586 \cdot 0,070597) \cdot s + (0,070597 \cdot s)^2) \cdot (1 + 0,03038 \cdot s)}$$



Gráfica 3.22: Respuesta temporal y escalón unitario



Gráfica 3.23: Ajuste mediante ecuación polinómica



Gráfica 3.24: Ajuste de los modelos seleccionados

Transfer Function

$$\frac{K \exp(-T_d s)}{(1 + (2 \text{ Zeta } T_w) s + (T_w s)^2)}$$

Poles

2

Underdamped

☐ Zero
 ☒ Delay
 ☐ Integrator

Par	Known	Value	Initial Guess	Bounds
K	☐	8.5219	Auto	[-Inf Inf]
Tw	☐	0.070597	Auto	[0 10000]
Zeta	☐	0.80586	Auto	[0 Inf]
Tp3	☐	0	0	[0 Inf]
Tz	☐	0	0	[-Inf Inf]
Td	☐	0.03038	Auto	[0 0.8]

Initial Guess

☒ Auto-selected

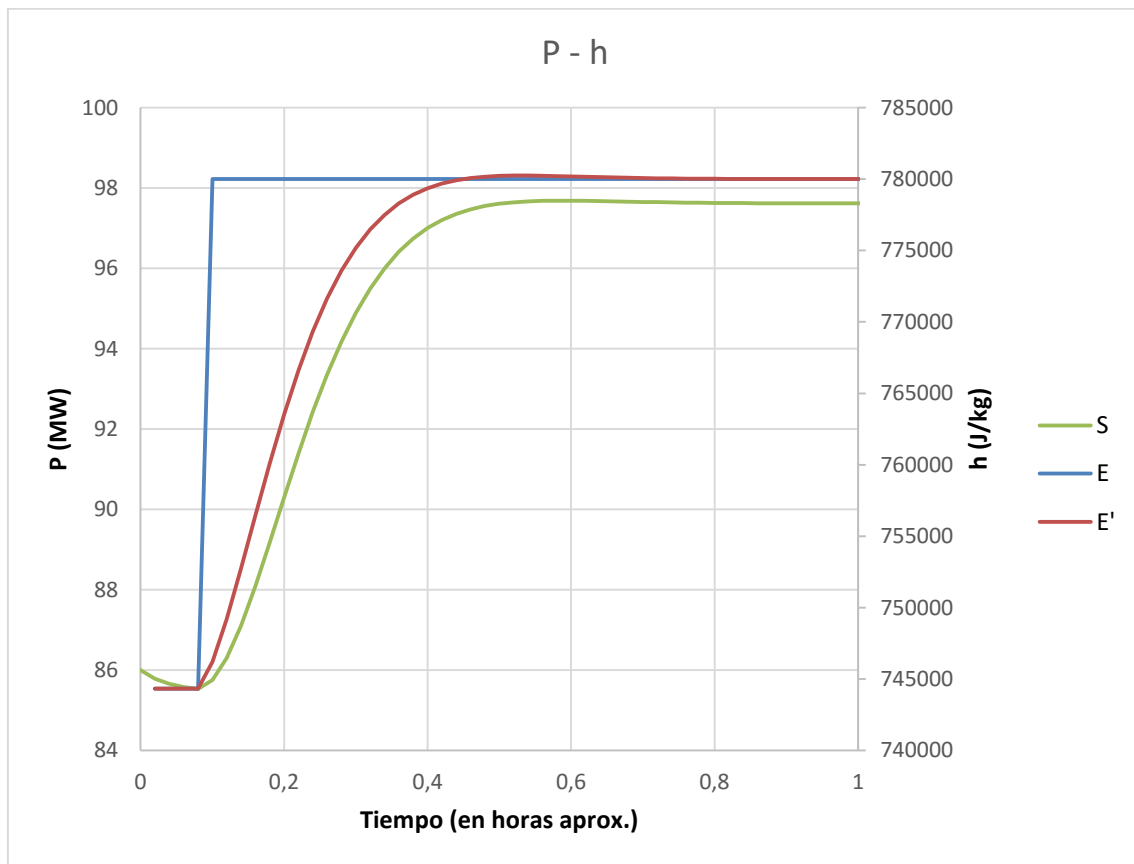
☐ From existing model:

☐ User-defined

Imagen 3.20: Valores de la función de transferencia

$$S^{n+1} = \frac{G \cdot \frac{E^{n+1} + \tau_1 \frac{S^n}{\Delta t} + \tau_2 \frac{2S^n}{\Delta t^2} - \tau_2 \frac{S^{n-1}}{\Delta t^2} + \frac{\tau_d}{\Delta t} S^n}{\left(1 + \frac{\tau_1}{\Delta t} + \frac{\tau_2}{\Delta t^2}\right) + \frac{\tau_d}{\Delta t}} - y_o$$

$$S^{n+1} = \frac{0,00034 \cdot \frac{E^{n+1} + 0,11378 \frac{S^n}{\Delta t} + 0,004984 \frac{2S^n}{\Delta t^2} - 0,004984 \frac{S^{n-1}}{\Delta t^2} + \frac{0,03038}{\Delta t} S^n}{\left(1 + \frac{0,11378}{\Delta t} + \frac{0,004984}{\Delta t^2}\right) + \frac{0,03038}{\Delta t}} - 66,8$$



Gráfica 3.25: Ecuación discretizada

Función de transferencia de carga del almacén térmico (escalón de bajada)

Siguiendo los pasos descritos anteriormente tenemos las siguientes gráficas:

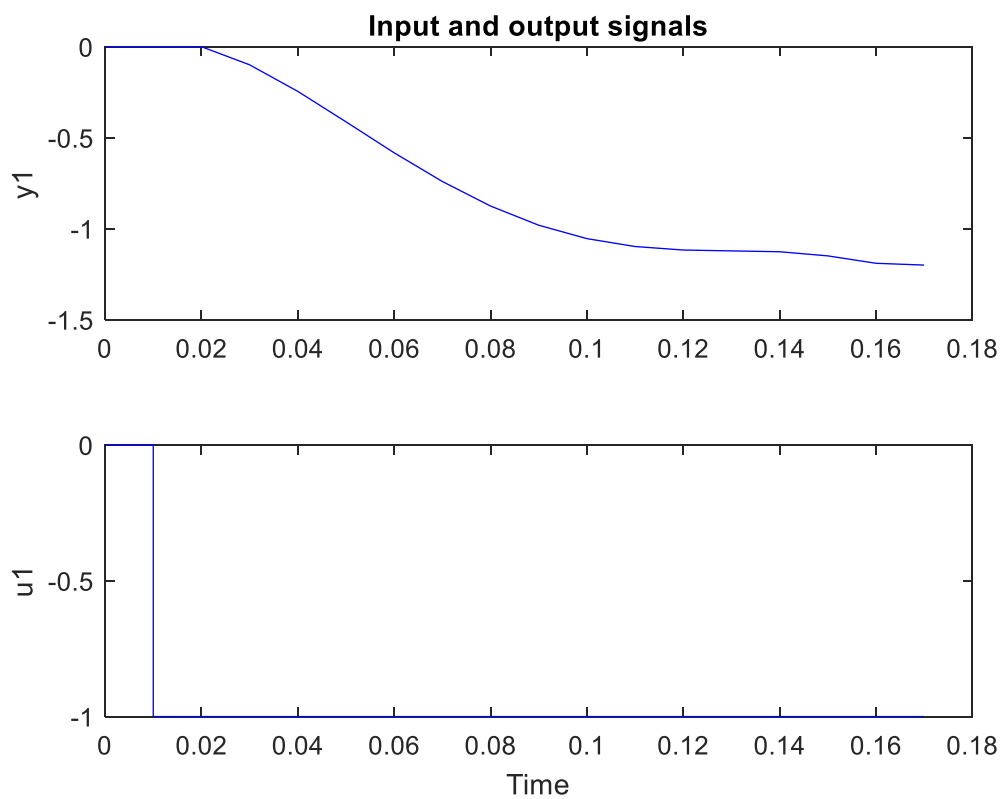
- Gráfica 3.26: Ensayo normalizado para salto unitario.
- Gráfica 3.27: Ensayo normalizado aproximado a una ecuación polinómica.
- Gráfica 3.28: prueba de modelos que mejor se ajustan a nuestra respuesta temporal.

- Azul claro: segundo orden subamortiguado con retardo (96,63% de ajuste).
 - Rojo: segundo orden subamortiguado con retardo y cero (96,61% de ajuste).
 - Azul: segundo orden (76,68% de ajuste).
 - Verde: segundo orden con retardo (68,63% de ajuste).
- Gráfica 3.29: Ecuación discretizada.

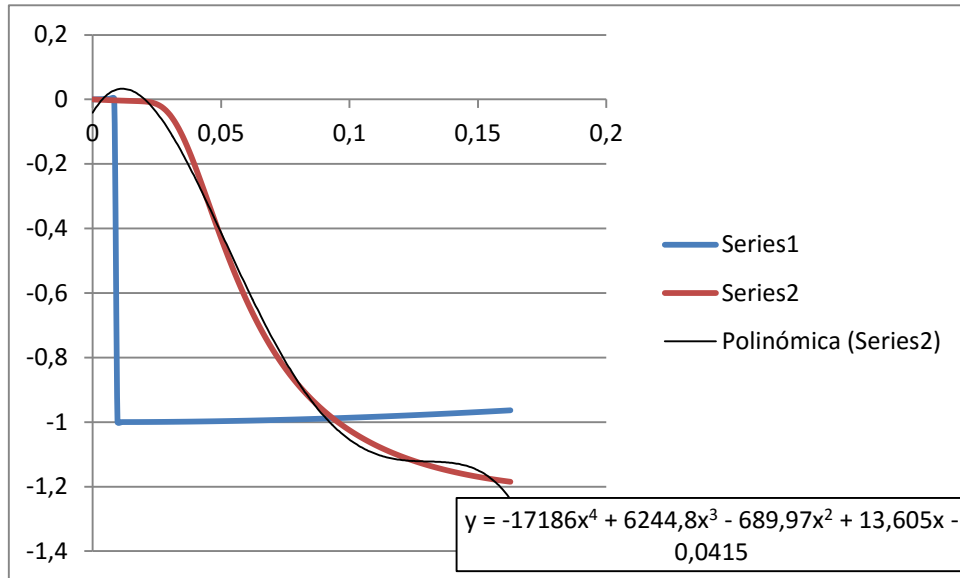
La función de transferencia correspondiente a la calculada con Matlab es:

$$F = \frac{K}{(1 + (2 \cdot z \cdot t_w) \cdot s + (T_w \cdot s)^2) \cdot (1 + t_d \cdot s)}$$

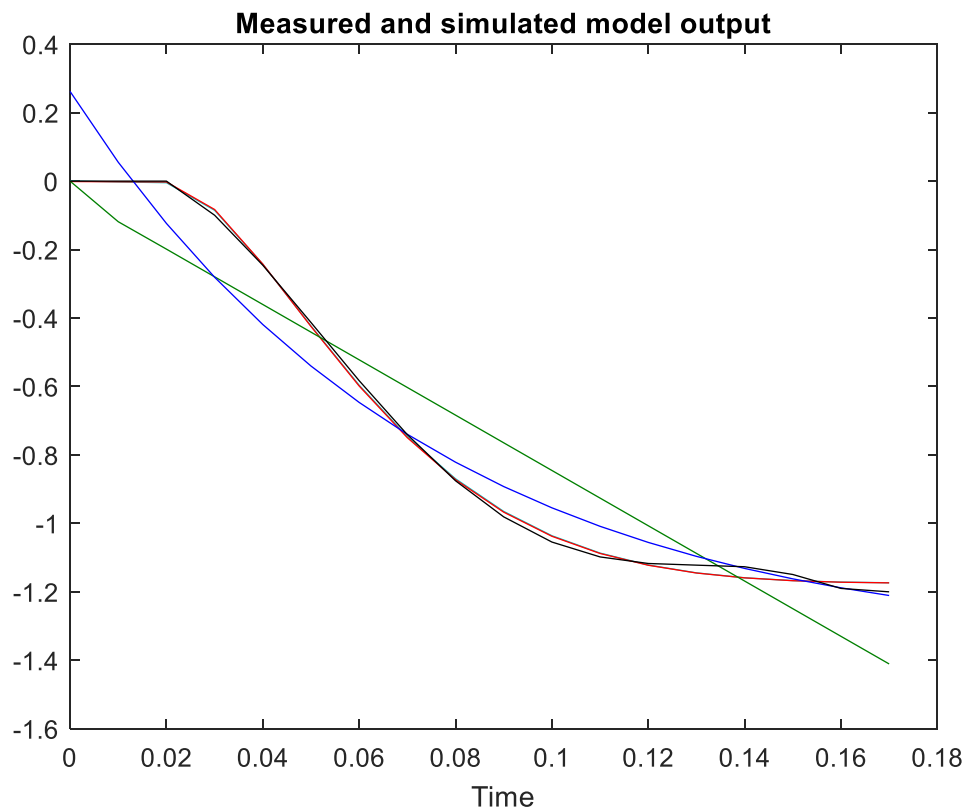
$$F = \frac{1,1678}{(1 + (2 \cdot 0,85866 \cdot 0,025959) \cdot s + (0,025959 \cdot s)^2) \cdot (1 + 0,0091 \cdot s)}$$



Gráfica 3.26: Respuesta temporal y escalón unitario



Gráfica 3.27: Ajuste mediante ecuación polinómica



Gráfica 3.28: Ajuste de los modelos seleccionados

Transfer Function

$$\frac{K \exp(-T_d s)}{(1 + (2 \text{ Zeta } T_w) s + (T_w s)^2)}$$

Poles

2

Underdamped

☐ Zero
☒ Delay
☐ Integrator

Par	Known	Value	Initial Guess	Bounds
K	☐	1.1678	Auto	[-Inf Inf]
Tw	☐	0.025959	Auto	[0 10000]
Zeta	☐	0.85866	Auto	[0 Inf]
TP3	☐	0	0	[0 Inf]
Tz	☐	0	0	[-Inf Inf]
Td	☐	0.0091	Auto	[0 0.4]

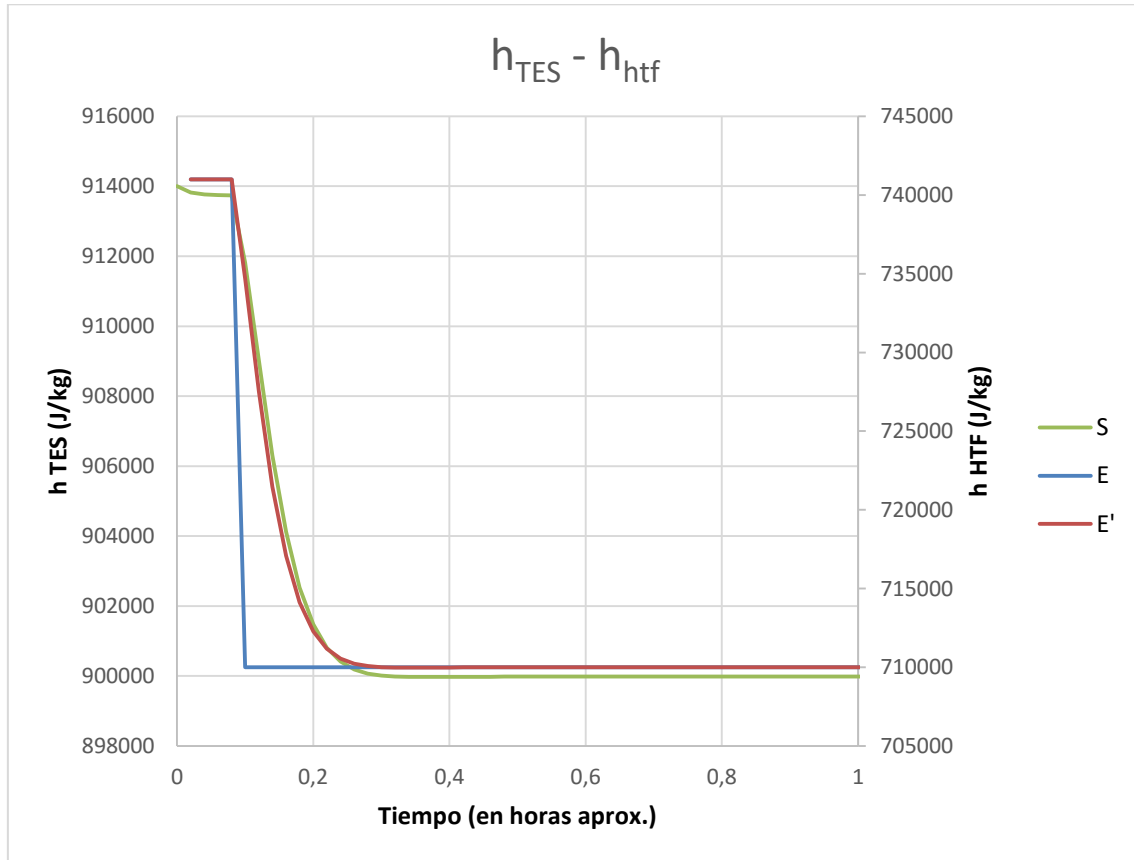
Initial Guess

☒ Auto-selected
☐ From existing model:
☐ User-defined

Imagen 3.21: Valores de la función de transferencia

$$S^{n+1} = \frac{G \cdot \frac{E^{n+1} + \tau_1 \frac{S^n}{\Delta t} + \tau_2 \frac{2S^n}{\Delta t^2} - \tau_2 \frac{S^{n-1}}{\Delta t^2}}{\left(1 + \frac{\tau_1}{\Delta t} + \frac{\tau_2}{\Delta t^2}\right)} + \frac{\tau_d}{\Delta t} S^n}{\left(1 + \frac{\tau_d}{\Delta t}\right)} - y_o$$

$$S^{n+1} = \frac{0,443764 \cdot \frac{E^{n+1} + 0,04458 \frac{S^n}{\Delta t} + 0,00067387 \frac{2S^n}{\Delta t^2} - 0,00067387 \frac{S^{n-1}}{\Delta t^2}}{\left(1 + \frac{0,04458}{\Delta t} + \frac{0,00067387}{\Delta t^2}\right)} + \frac{0,0091}{\Delta t} S^n}{\left(1 + \frac{0,0091}{\Delta t}\right)} + 402000$$



Gráfica 3.29: Ecuación discretizada

Función de transferencia de carga del almacén térmico (escalón de subida)

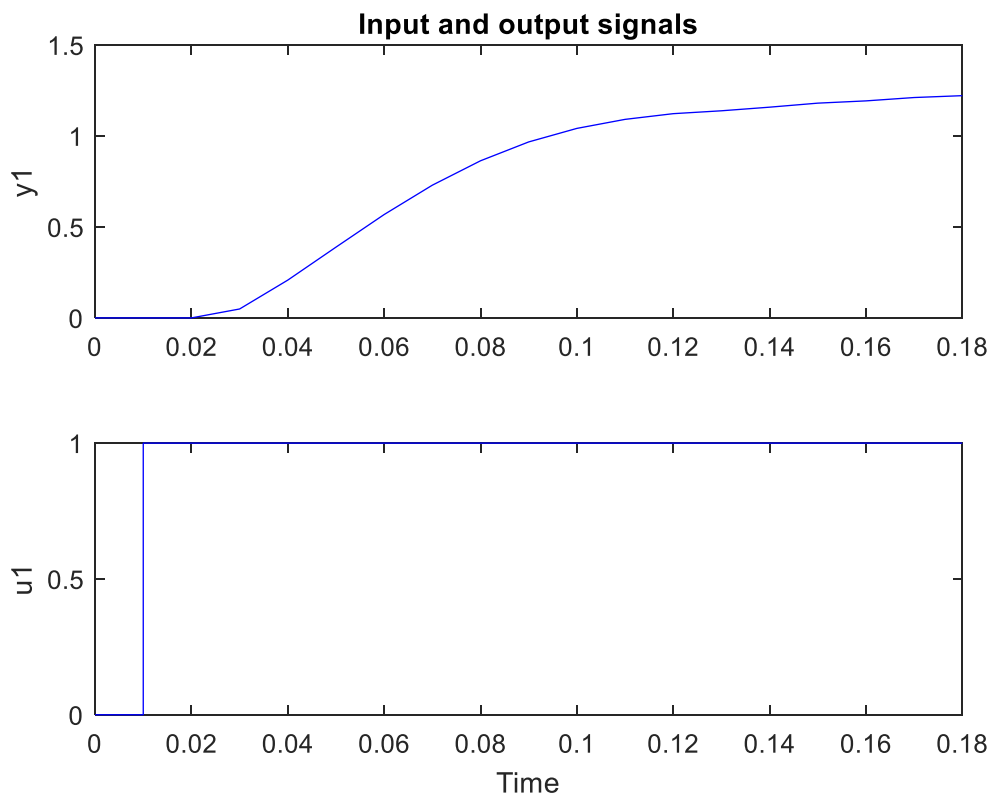
Siguiendo los pasos descritos anteriormente tenemos las siguientes gráficas:

- Gráfica 3.30: Ensayo normalizado para salto unitario.
- Gráfica 3.31: Ensayo normalizado aproximado a una ecuación polinómica.
- Gráfica 3.32: prueba de modelos que mejor se ajustan a nuestra respuesta temporal.
 - o Azul claro: segundo orden subamortiguado con retardo (98,34% de ajuste).
 - o Rojo: segundo orden subamortiguado con retardo y cero (98,33% de ajuste).
 - o Azul: segundo orden (76,62% de ajuste).
 - o Verde: segundo orden con retardo (11,12% de ajuste).
- Gráfica 3.33: Ecuación discretizada.

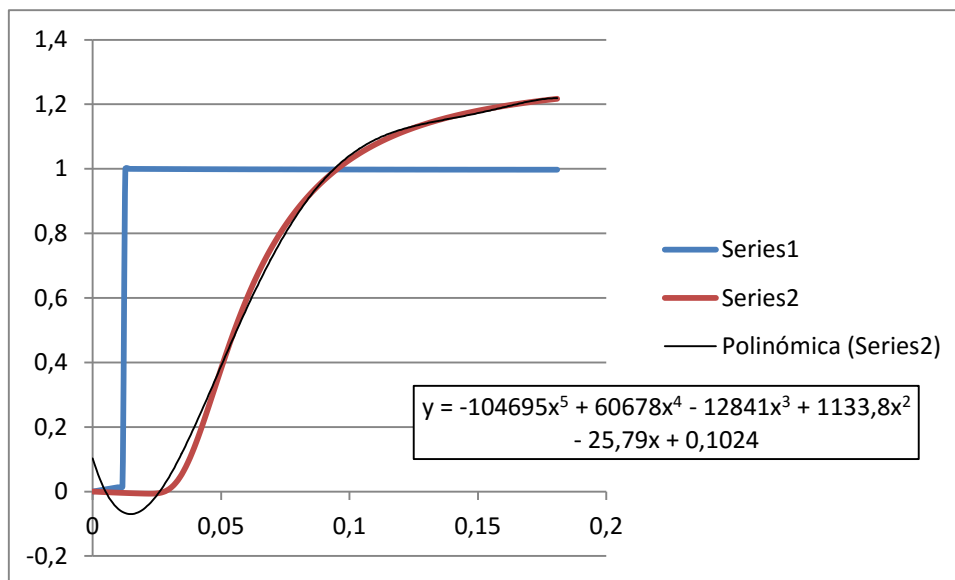
La función de transferencia correspondiente a la calculada con Matlab es:

$$F = \frac{K}{(1 + (2 \cdot z \cdot t_w) \cdot s + (T_w \cdot s)^2) \cdot (1 + t_d \cdot s)}$$

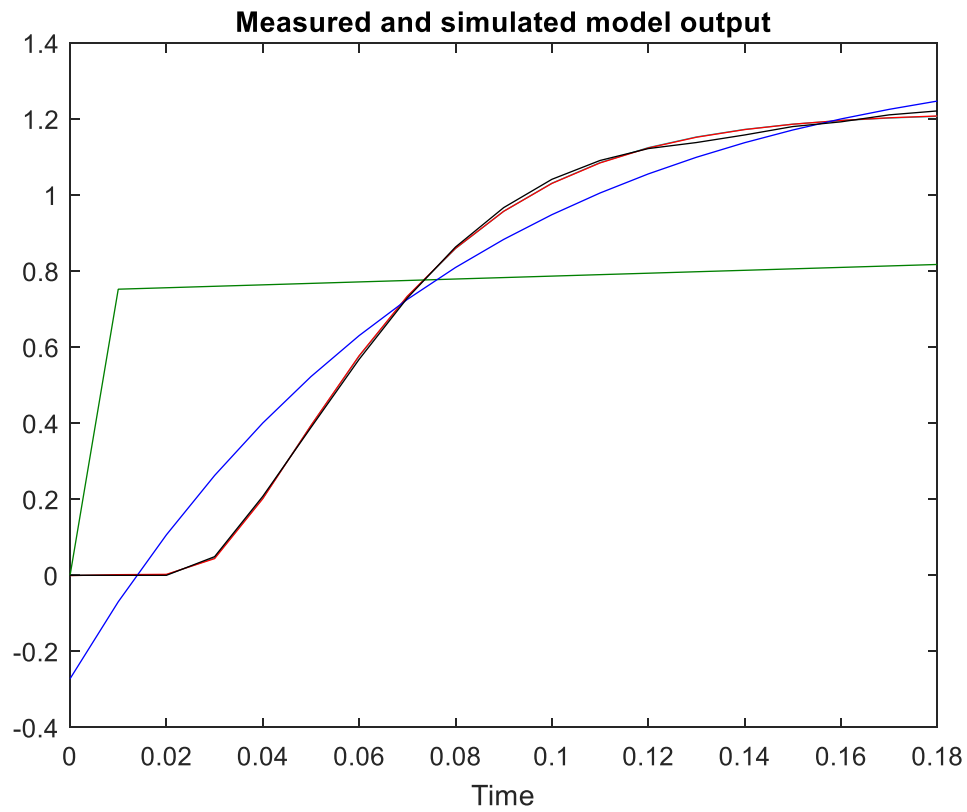
$$F = \frac{1,2159}{(1 + (2 \cdot 0,98353 \cdot 0,023377) \cdot s + (0,023377 \cdot s)^2) \cdot (1 + 0,01306 \cdot s)}$$



Gráfica 3.30: Respuesta temporal y escalón unitario



Gráfica 3.31: Ajuste mediante ecuación polinómica



Gráfica 3.32: Ajuste de los modelos seleccionados

Transfer Function

$$\frac{K \exp(-T_d s)}{(1 + (2 \text{ Zeta } T_w) s + (T_w s)^2)}$$

Poles

2

Underdamped

☐ Zero
 ☒ Delay
 ☐ Integrator

Par	Known	Value	Initial Guess	Bounds
K	☐	1.2159	Auto	[-Inf Inf]
Tw	☐	0.023377	Auto	[0 10000]
Zeta	☐	0.98353	Auto	[0 Inf]
Tp3	☐	0	0	[0 Inf]
Tz	☐	0	0	[-Inf Inf]
Td	☐	0.01306	Auto	[0 0.4]

Initial Guess

☒ Auto-selected

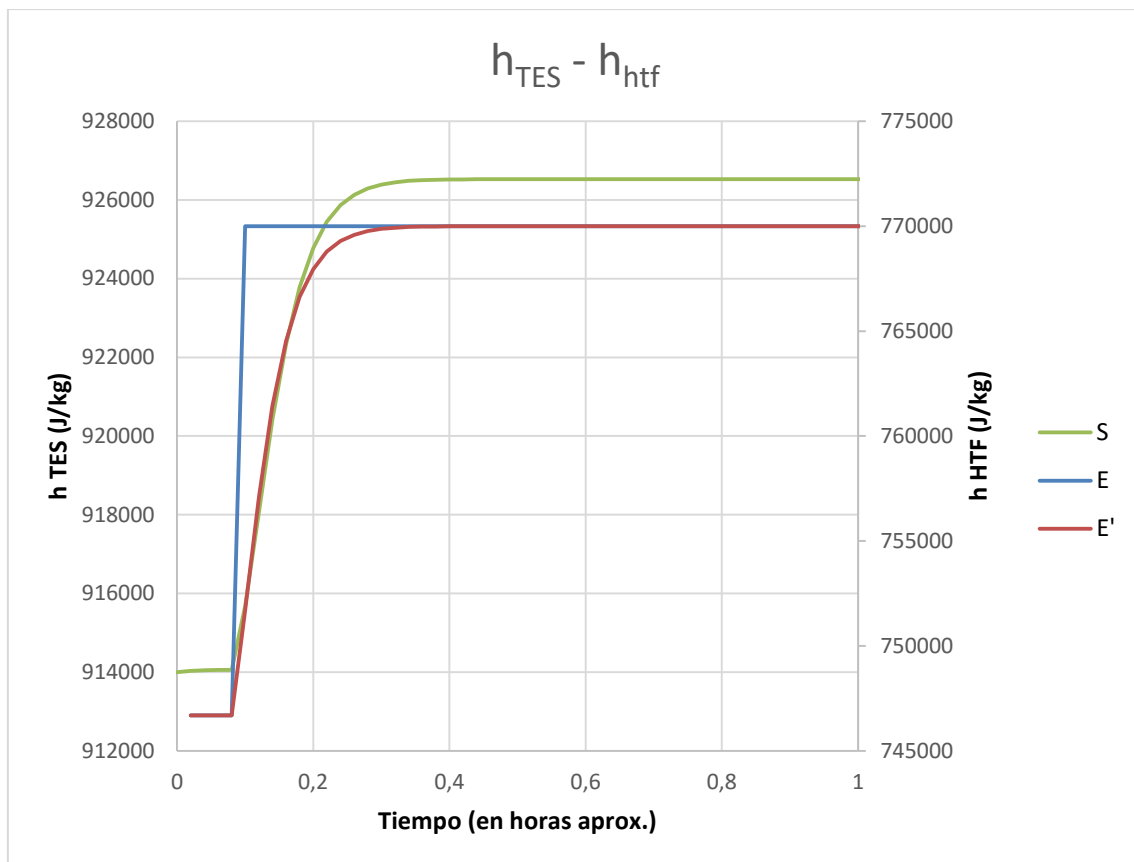
☐ From existing model:

☐ User-defined Value-->Initial Guess

Imagen 3.22: Valores de la función de transferencia

$$S^{n+1} = \frac{G \cdot \frac{E^{n+1} + \tau_1 \frac{S^n}{\Delta t} + \tau_2 \frac{2S^n}{\Delta t^2} - \tau_2 \frac{S^{n-1}}{\Delta t^2} + \frac{\tau_d}{\Delta t} S^n}{\left(1 + \frac{\tau_1}{\Delta t} + \frac{\tau_2}{\Delta t^2}\right) + \frac{\tau_d}{\Delta t}} - y_o$$

$$S^{n+1} = \frac{0,534996 \cdot \frac{E^{n+1} + 0,046 \frac{S^n}{\Delta t} + 0,00054648 \frac{2S^n}{\Delta t^2} - 0,00054648 \frac{S^{n-1}}{\Delta t^2} + \frac{0,01306}{\Delta t} S^n}{\left(1 + \frac{0,046}{\Delta t} + \frac{0,00054648}{\Delta t^2}\right) + \frac{0,01306}{\Delta t}} + 311300$$



Gráfica 3.33: Ecuación discretizada

Función de transferencia de descarga del almacén térmico (escalón de bajada)

Siguiendo los pasos descritos anteriormente tenemos las siguientes gráficas:

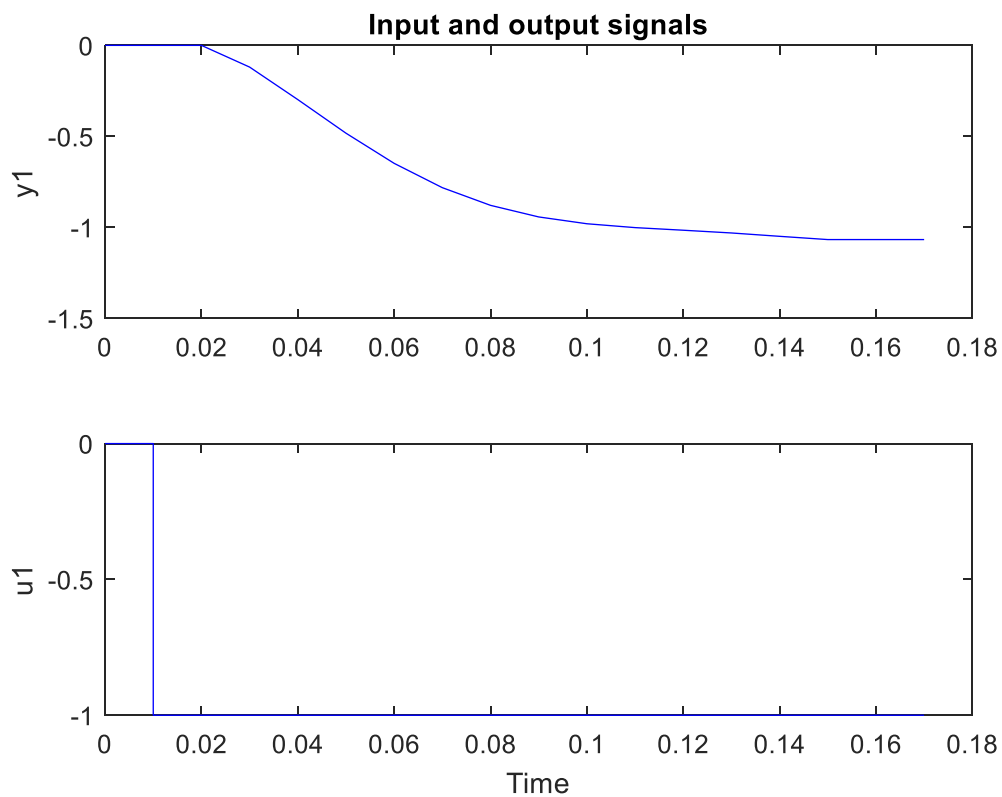
- Gráfica 3.34: Ensayo normalizado para salto unitario.
- Gráfica 3.35: Ensayo normalizado aproximado a una ecuación polinómica.
- Gráfica 3.36: prueba de modelos que mejor se ajustan a nuestra respuesta temporal.

- Azul claro: segundo orden subamortiguado con retardo (98,22% de ajuste).
 - Rojo: segundo orden subamortiguado con retardo y cero (98,22% de ajuste).
 - Verde: segundo orden con retardo (77,7% de ajuste).
 - Azul: segundo orden (69,09% de ajuste).
- Gráfica 3.37: Ecuación discretizada.

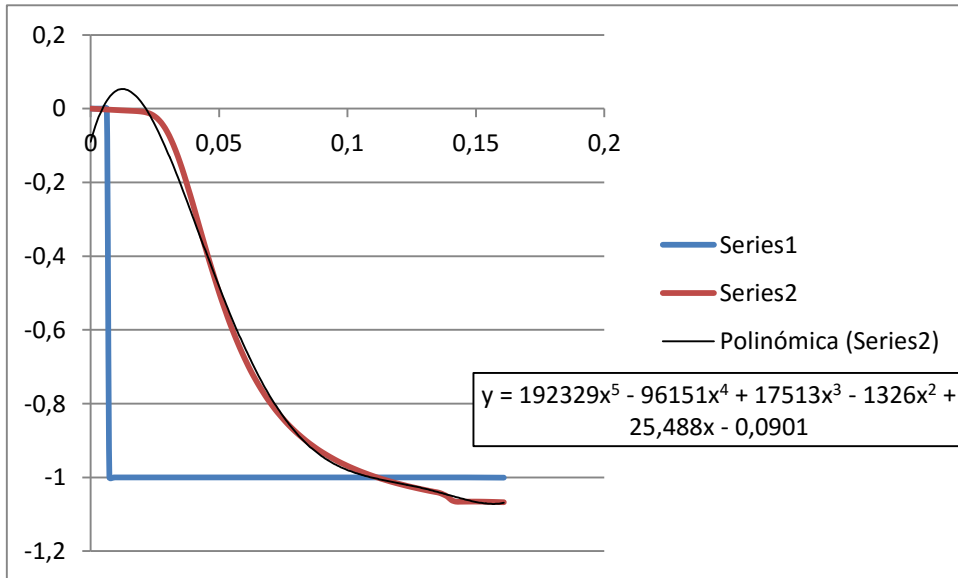
La función de transferencia correspondiente a la calculada con Matlab es:

$$F = \frac{K}{(1 + (2 \cdot z \cdot t_w) \cdot s + (T_w \cdot s)^2) \cdot (1 + t_d \cdot s)}$$

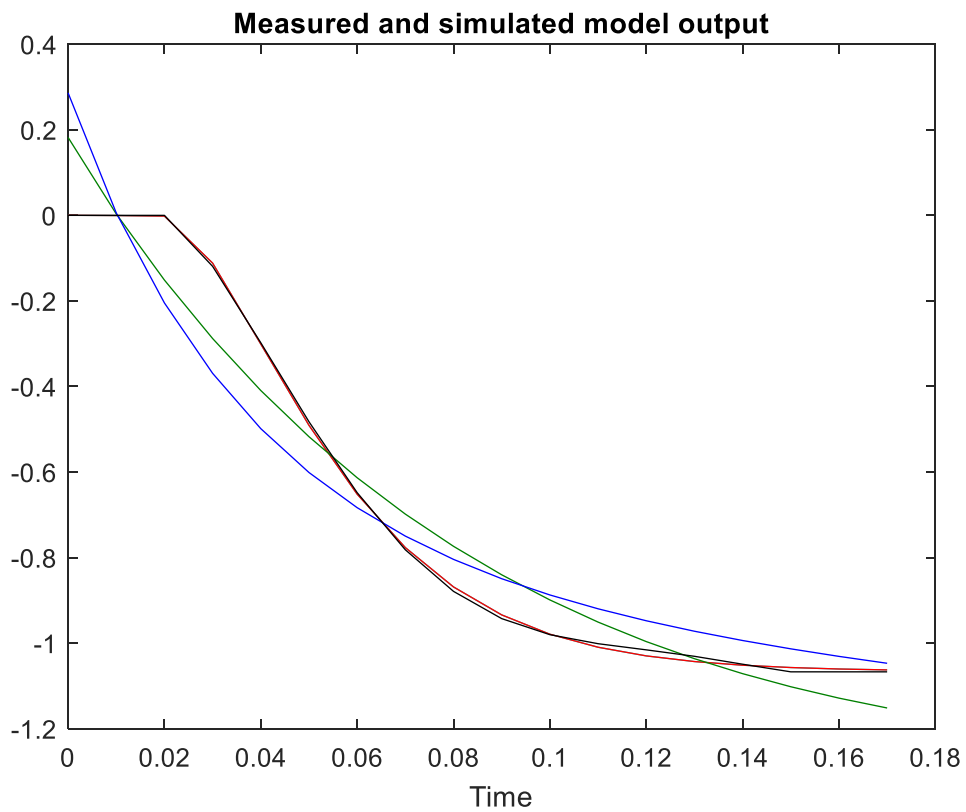
$$F = \frac{1,0657}{(1 + (2 \cdot 0,97792 \cdot 0,020131) \cdot s + (0,020131 \cdot s)^2) \cdot (1 + 0,00907 \cdot s)}$$



Gráfica 3.34: Respuesta temporal y escalón unitario



Gráfica 3.35: Ajuste mediante ecuación polinómica



Gráfica 3.36: Ajuste de los modelos seleccionados

Transfer Function

$$\frac{K \exp(-T_d s)}{(1 + (2 \text{ Zeta } T_w) s + (T_w s)^2)}$$

Poles

2

Underdamped

☐ Zero
 ☒ Delay
 ☐ Integrator

Par	Known	Value	Initial Guess	Bounds
K	☐	1.0657	Auto	[-Inf Inf]
Tw	☐	0.020131	Auto	[0 10000]
Zeta	☐	0.97792	Auto	[0 Inf]
Tp3	☐	0	0	[0 Inf]
Tz	☐	0	0	[-Inf Inf]
Td	☐	0.00907	Auto	[0 0.4]

Initial Guess

☒ Auto-selected

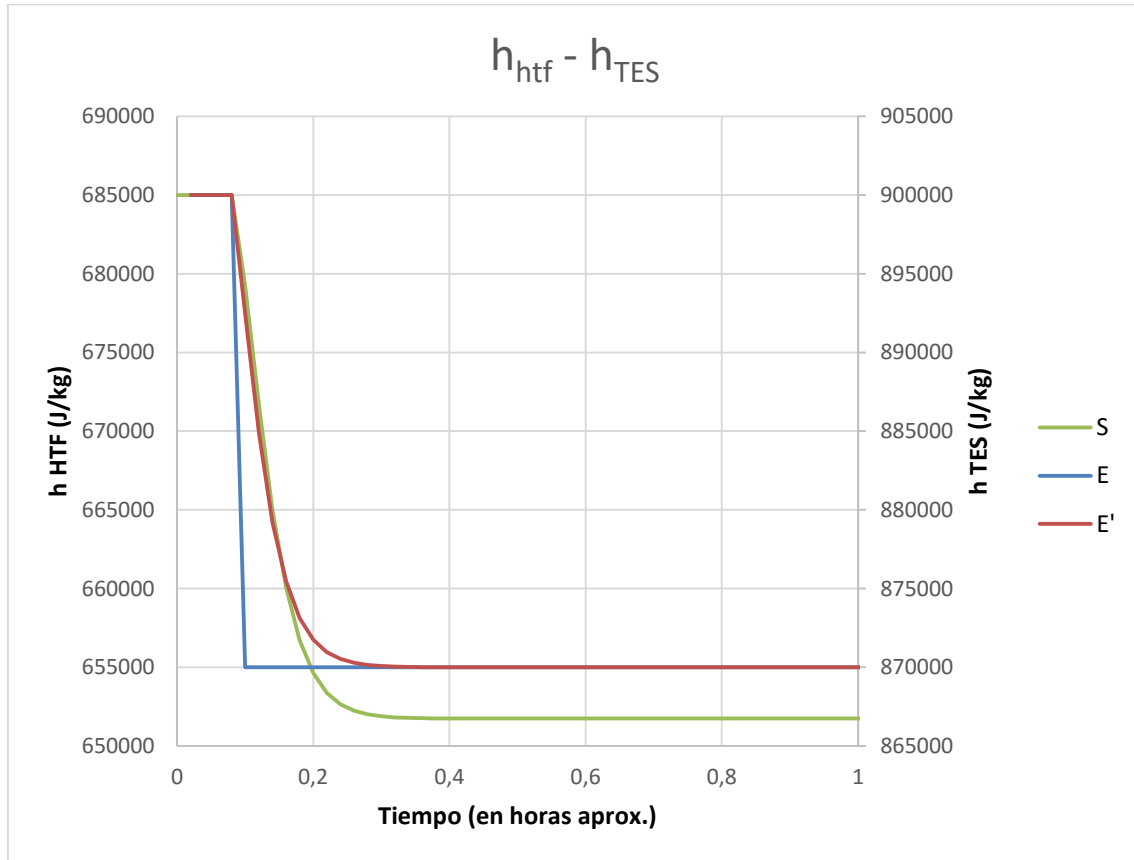
☐ From existing model:

☐ User-defined

Imagen 3.23: Valores de la función de transferencia

$$S^{n+1} = \frac{G \cdot \frac{E^{n+1} + \tau_1 \frac{S^n}{\Delta t} + \tau_2 \frac{2S^n}{\Delta t^2} - \tau_2 \frac{S^{n-1}}{\Delta t^2}}{\left(1 + \frac{\tau_1}{\Delta t} + \frac{\tau_2}{\Delta t^2}\right)} + \frac{\tau_d S^n}{\Delta t}}{(1 + \frac{\tau_d}{\Delta t})} - y_o$$

$$S^{n+1} = \frac{1,108328 \cdot \frac{E^{n+1} + 0,03937 \frac{S^n}{\Delta t} + 0,0004 \frac{2S^n}{\Delta t^2} - 0,0004 \frac{S^{n-1}}{\Delta t^2}}{\left(1 + \frac{0,03937}{\Delta t} + \frac{0,0004}{\Delta t^2}\right)} + \frac{0,00907 S^n}{\Delta t}}{(1 + \frac{0,00907}{\Delta t})} - 215000$$



Gráfica 3.37: Ecuación discretizada

Función de transferencia de descarga del almacén térmico (escalón de subida)

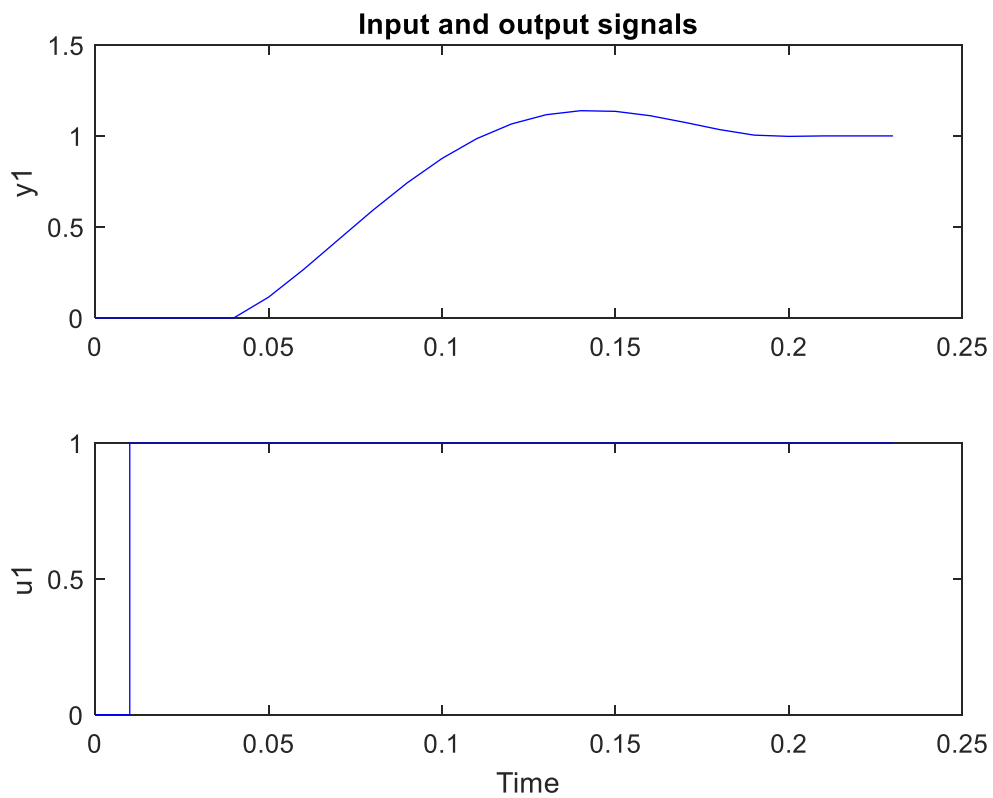
Siguiendo los pasos descritos anteriormente tenemos las siguientes gráficas:

- Gráfica 3.38: Ensayo normalizado para salto unitario.
- Gráfica 3.39: Ensayo normalizado aproximado a una ecuación polinómica.
- Gráfica 3.40: prueba de modelos que mejor se ajustan a nuestra respuesta temporal.
 - o Azul claro: segundo orden subamortiguado con retardo (96,78% de ajuste).
 - o Rojo: segundo orden subamortiguado con retardo y cero (96,77% de ajuste).
 - o Verde: segundo orden con retardo (64,75% de ajuste).
 - o Azul: segundo orden (59,9% de ajuste).
- Gráfica 3.41: Ecuación discretizada.

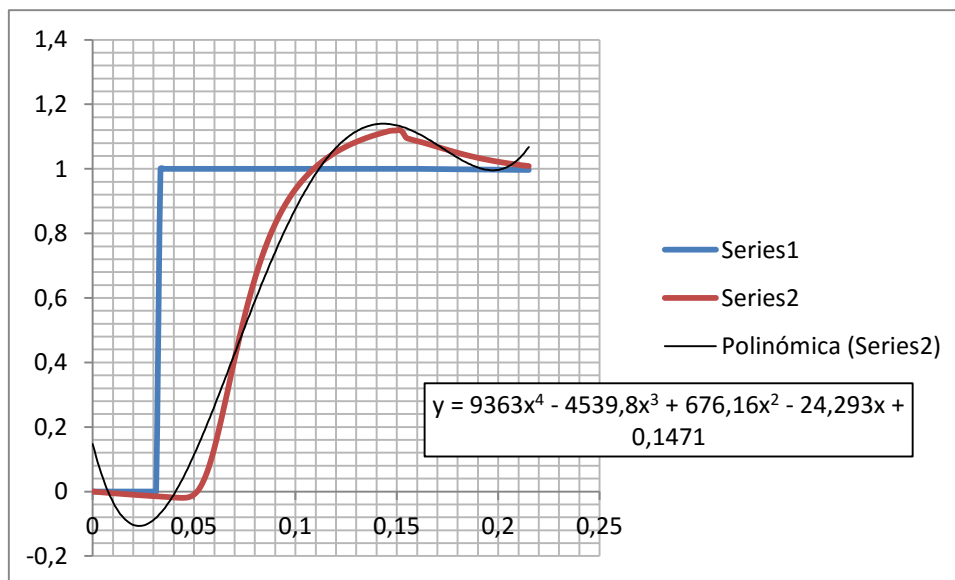
La función de transferencia correspondiente a la calculada con Matlab es:

$$F = \frac{K}{(1 + (2 \cdot z \cdot t_w) \cdot s + (T_w \cdot s)^2) \cdot (1 + t_d \cdot s)}$$

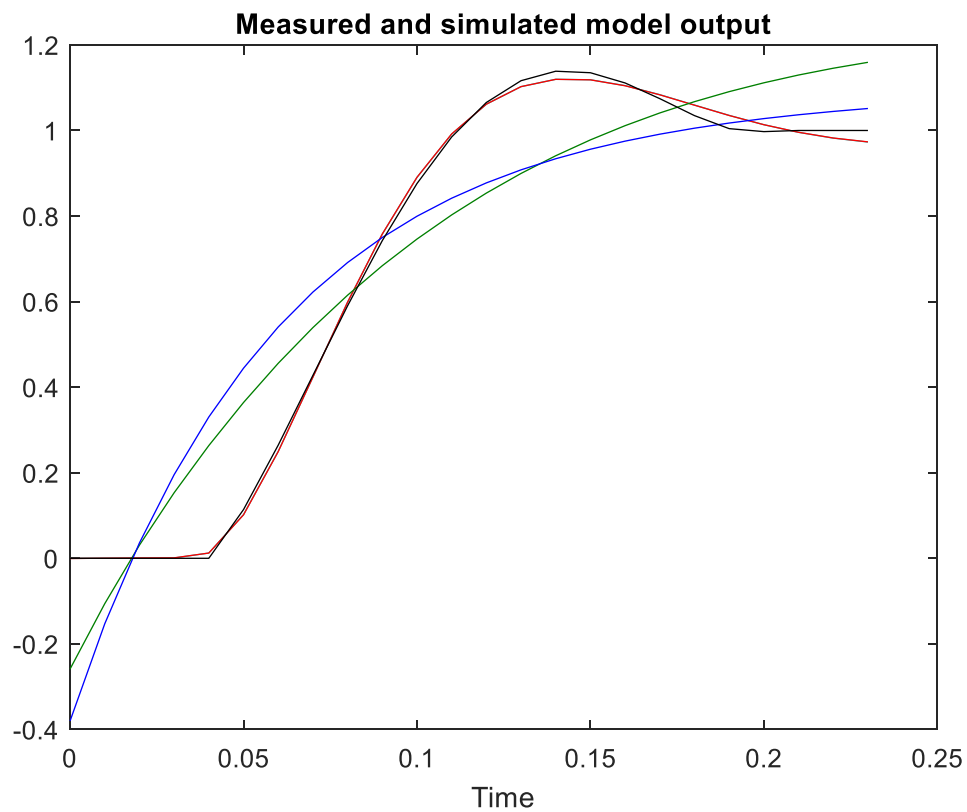
$$F = \frac{0,98454}{(1 + (2 \cdot 0,53221 \cdot 0,029308) \cdot s + (0,029308 \cdot s)^2) \cdot (1 + 0,02539 \cdot s)}$$



Gráfica 3.38: Respuesta temporal y escalón unitario



Gráfica 2 Ajuste mediante ecuación polinómica



Gráfica 3.40: Ajuste de los modelos seleccionados

Transfer Function

$$\frac{K \exp(-T_d s)}{(1 + (2 \text{ Zeta } T_w) s + (T_w s)^2)}$$

Poles

2 Underdamped

☐ Zero

☒ Delay

☐ Integrator

Par	Known	Value	Initial Guess	Bounds
K	☐	0.98454	Auto	[-Inf Inf]
Tw	☐	0.029308	Auto	[0 10000]
Zeta	☐	0.53221	Auto	[0 Inf]
Tp3	☐	0	0	[0 Inf]
Tz	☐	0	0	[-Inf Inf]
Td	☐	0.02539	Auto	[0 0.4]

Initial Guess

☒ Auto-selected

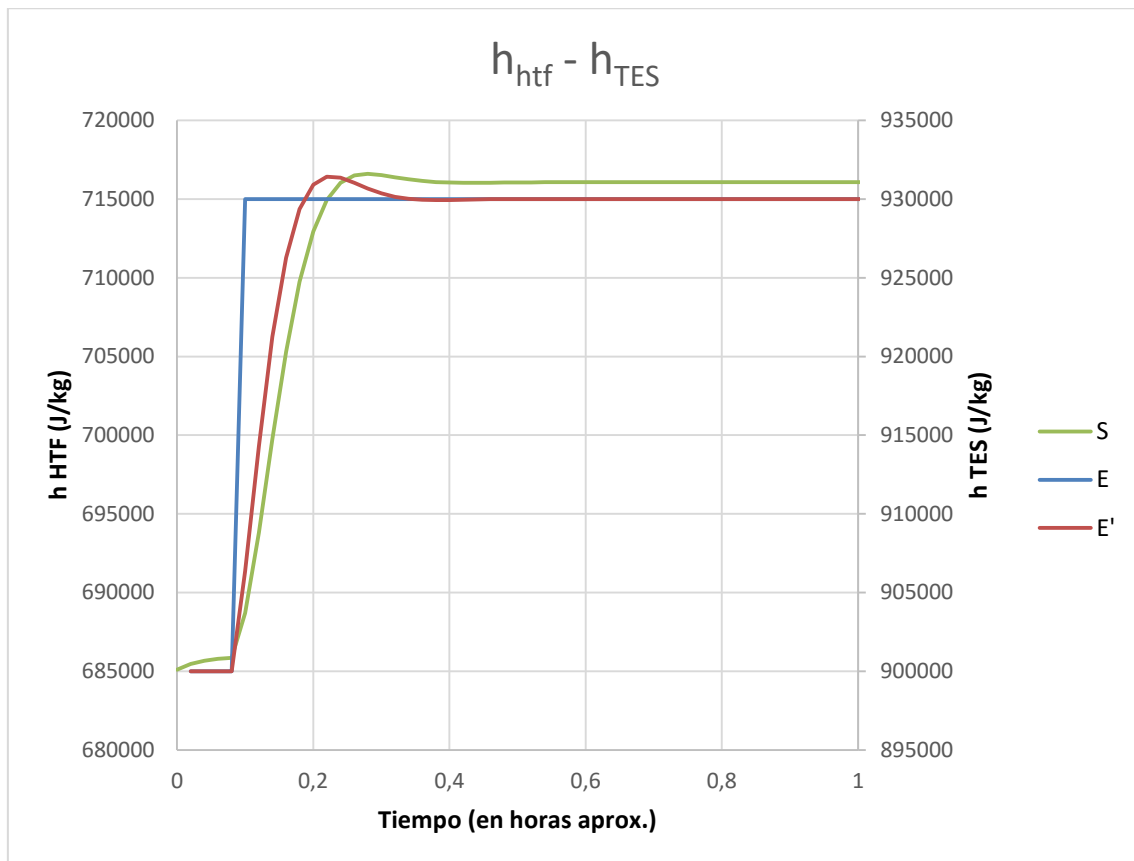
☐ From existing model:

☐ User-defined

Imagen 3.24: Valores de la función de transferencia

$$S^{n+1} = \frac{G \cdot \frac{E^{n+1} + \tau_1 \frac{S^n}{\Delta t} + \tau_2 \frac{2S^n}{\Delta t^2} - \tau_2 \frac{S^{n-1}}{\Delta t^2}}{\left(1 + \frac{\tau_1}{\Delta t} + \frac{\tau_2}{\Delta t^2}\right)} + \frac{\tau_d}{\Delta t} S^n}{\left(1 + \frac{\tau_d}{\Delta t}\right)} - y_o$$

$$S^{n+1} = \frac{1,0042308 \cdot \frac{E^{n+1} + 0,0312 \frac{S^n}{\Delta t} + 0,00086 \frac{2S^n}{\Delta t^2} - 0,00086 \frac{S^{n-1}}{\Delta t^2}}{\left(1 + \frac{0,0312}{\Delta t} + \frac{0,00086}{\Delta t^2}\right)} + \frac{0,02539}{\Delta t} S^n}{\left(1 + \frac{0,02539}{\Delta t}\right)} - 96000$$



Gráfica 3.41: Ecuación discretizada

Ensayo	Parámetros de las funciones de transferencia			
	k	Tw	zeta	Td
DNI ↓	1,9675	0,079235	0,84134	0,046025
DNI ↑	1,126	0,14687	0,8424	0,07692
Turbina ↓	3,1888	0,088841	0,6954	0
Turbina ↑	8,5219	0,070597	0,80586	0,03038
Carga ↓	1,1678	0,025959	0,85866	0,0091
Carga ↑	1,2159	0,023377	0,98353	0,01306
Descarga ↓	1,0657	0,020131	0,97792	0,00907
Descarga ↑	0,98454	0,029308	0,53221	0,02539

Tabla 3.3: Parámetros de las funciones de transferencia

Parámetros de las funciones de discretización						
Ensayo	τ_1	τ_2	τ_d	G	Y_o	fc
DNI ↓	0,13272	0,006241	0,046025	88,7	-213000	45
DNI ↑	0,24744658	0,0215708	0,07692	470	-113000	416,66
Turbina ↓	0,12356006	0,00789272	0	0,00023916	92,2	0,000075
Turbina ↑	0,1137826	0,00498394	0,03038	0,00034088	66,8	0,00004
Carga ↓	0,04457991	0,00067387	0,0091	0,443764	-402000	0,38
Carga ↑	0,04598396	0,00054648	0,01306	0,534996	-311300	0,44
Descarga ↓	0,03937302	0,00040526	0,00907	1,108328	215000	1,04
Descarga ↑	0,03119602	0,00085896	0,02539	1,0042308	96000	1,02

Tabla 1.4: Parámetros de las funciones de discretización

3.4. Creación del simulador

Una vez que se dispone tanto de los datos de entrada (obtenidos mediante el software SAM), como de las ecuaciones discretizadas que definen a los bloques principales de la planta termosolar, el siguiente paso es la creación de un simulador simple con el fin de validar y comprobar lo preciso que es el modelo, y lo bien que se ajustan los resultados con los de un simulador real.

Es cierto que hasta este punto las ecuaciones obtenidas de las funciones de transferencia serían más que válidas para su uso en todo tipo de simuladores y lenguajes de programación, como es el caso de Fortran. Sin embargo, la complejidad del código de programación de los simuladores reales impide implantar dichas ecuaciones con facilidad. Lo mismo ocurre si se trata de crear el simulador en Fortran a partir de cero con las ecuaciones; el tiempo que se necesita invertir para aprender a utilizar correctamente el software es largo.

Por estas razones se decidió validar el modelo construido con las ecuaciones en Excel, mediante el lenguaje de programación Visual Basic. La aplicación Visual Basic permite crear elementos como ventanas en las que se pueden almacenar valores, pulsadores, menús, etc. de forma sencilla. También se pueden definir las apariencias, posiciones y comportamientos de dichos elementos o imágenes tanto de forma visual, como utilizando el código de programación. Además, este software o lenguaje de programación toma elementos de diferentes paradigmas, como el orientado a objetos y el orientado a eventos.

Para el caso que se estudia en el presente proyecto, Visual Basic satisface todas las áreas que necesitamos en el simulador, ya que es un sistema RAD (Rapid Application Development), que permite crear aplicaciones de forma rápida, especialmente para prototipos o simuladores.

El simulador que se va a realizar se puede dividir en dos partes bien diferenciadas, las cuales tienen que ver con los datos de radiación obtenidos mediante SAM y las ecuaciones discretizadas respectivamente. A pesar de ello, y como ambas secciones forman parte del simulador final, se explicarán de manera conjunta.

Para entender el simulador, la mejor manera de exponerlo y describirlo es desde fuera hacia dentro, es decir, desde los aspectos meramente visuales, a la explicación de las hipótesis tomadas y ecuaciones planteadas en el código de programación.

3.4.1. Interfaz visual

La interfaz visual es la primera toma de contacto que cualquier usuario tiene con el simulador, por lo que los elementos virtuales tienen que representar adecuadamente los elementos reales de la planta, aunque sea de manera simplificada. Para una mejor comprensión del interfaz visual, los elementos que lo componen serán divididos en varios bloques, que se corresponden con aquellos que han sido descritos en el inicio del capítulo (3.1. *Modos de operación y bloques*).

- **Campo solar**

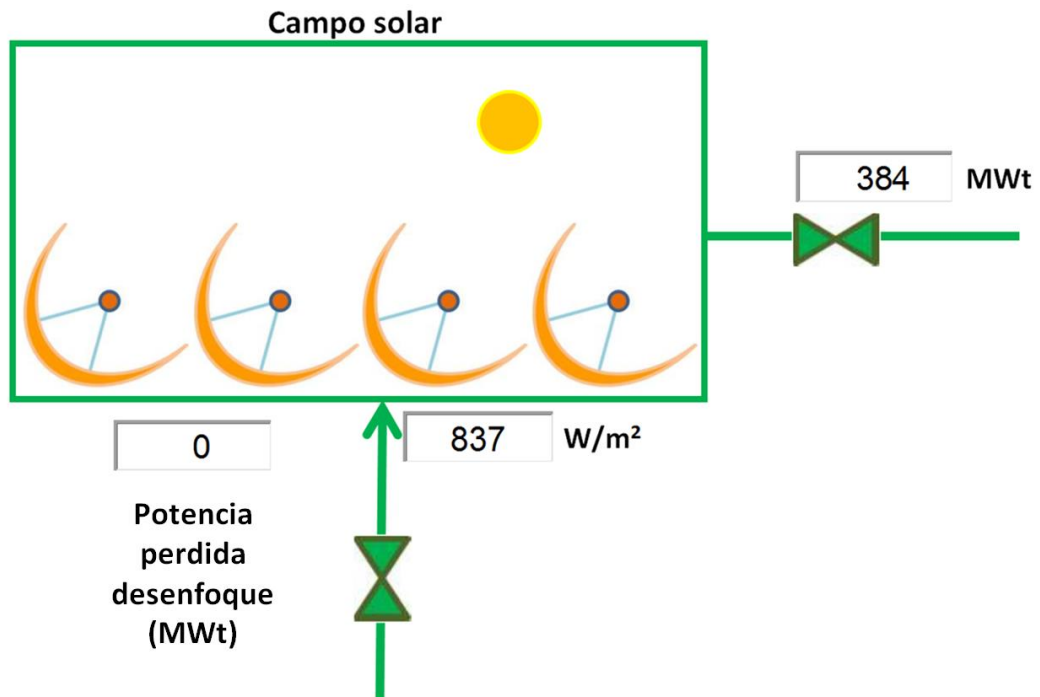


Imagen 3.25: Interfaz del campo solar

En este bloque se representa el campo solar mediante un conjunto de colectores de cilindro parabólico. Los colectores girarán siguiendo al sol, que aparecerá a media altura por la derecha del recuadro (por el Este), a las 08:00, irá avanzando y tendrá su máxima altura a las 14:00 y descenderá hasta desaparecer por la izquierda del recuadro (Oeste) a las 21:00.

Los datos que aparecerán en los recuadros pertenecientes a este bloque serán, de izquierda a derecha, la potencia perdida por el desenfoque de los espejos, la radiación normal directa y la potencia de salida del campo solar.

La potencia perdida por el desenfoque de los espejos se dará siempre y cuando la energía de salida del campo solar sea mayor de la que proporciona la máxima potencia en la turbina (alrededor de 360 MW térmicos), y el tanque de sales calientes esté completamente lleno. Por otro lado, la radiación normal directa no superará nunca los 1000 W/m^2 ya que se han cogido los datos de radiación de un año típico en Madrid, lugar en el que es difícil sobrepasar dicho valor.

- **Almacenamiento de energía térmica (tanques de sales)**

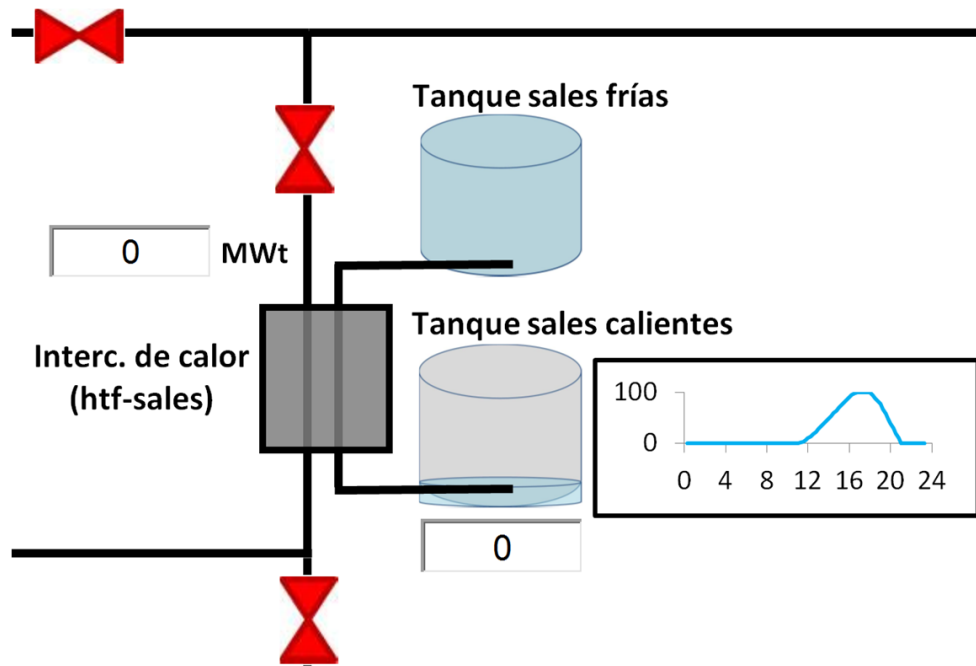


Imagen 3.26: Interfaz del almacenamiento térmico

El bloque del almacenamiento térmico contiene el intercambiador de calor entre el aceite (htf) y las sales, el tanque de sales frías y el de sales calientes. Los tanques son dinámicos y al pasar las sales de uno a otro puede apreciarse como se vacían o se llenan.

El dato que aparece en el recuadro de la izquierda representa la potencia de entrada o salida del intercambiador, dependiendo de si se encuentra en modo carga o descarga respectivamente.

La gráfica de la derecha representa el porcentaje de volumen que contiene el tanque de sales calientes. El volumen máximo almacenable pasado a energía es de 3,52 GJ, según la siguiente fórmula:

$$E_{max} = V \cdot \rho \cdot (h_s - h_e) = 3,52 \cdot 10^{12} J$$

Siendo:

Volumen del tanque: $V = h \cdot \pi \cdot R^2 = 11,5 \cdot \pi \cdot 18^2 \approx 1,2 \cdot 10^4 m^3$

Densidad de las sales a 292°C: $\rho = 1903 kg/m^3$

Entalpía de entrada a 292°C: $h_e = 7,957 \cdot 10^5 J/kg$

Entalpía de salida a 345°C: $h_s = 9,4987 \cdot 10^5 J/kg$

- **BOP (generador de vapor + turbina)**

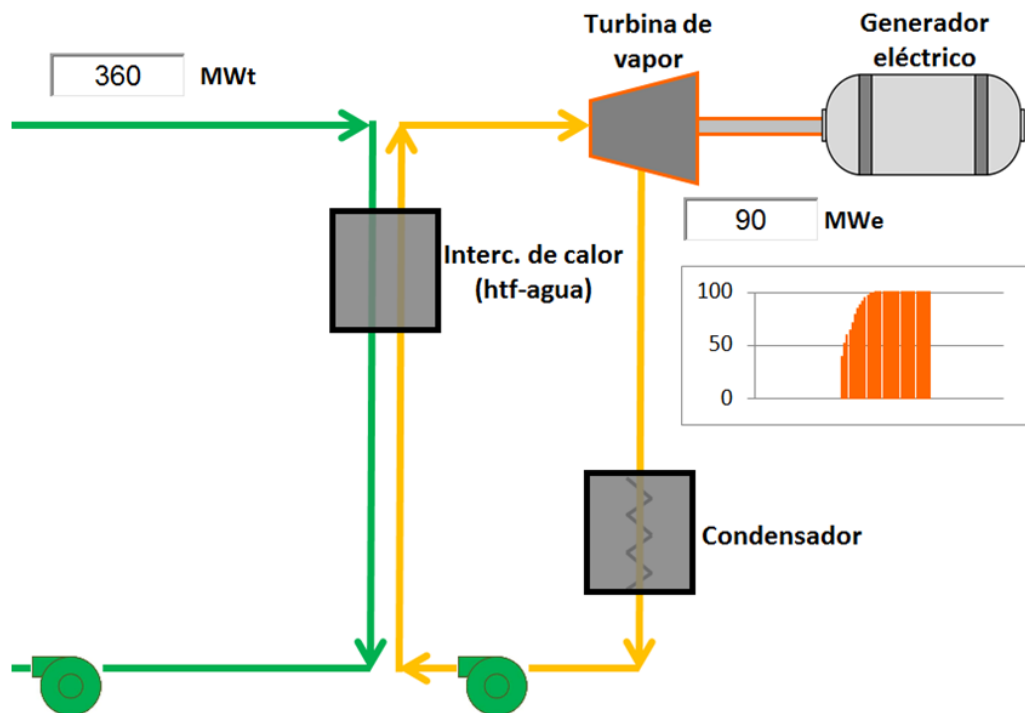


Imagen 3.27: Interfaz del BOP

Comúnmente conocido como BOP (Balance of Plant), esta sección está compuesta por el intercambiador de calor entre el aceite y el agua (también llamado generador de vapor), y el circuito de la turbina (turbina, condensador y bomba).

Los recuadros, de izquierda a derecha, representan la potencia térmica de entrada al generador de vapor y la potencia eléctrica generada.

La potencia eléctrica máxima se fijó en 90 MW, potencia acorde con la radiación solar de la zona. Si se hubiese puesto un límite mayor, lo más probable es que no se utilizase en almacenamiento térmico en ningún caso. La gráfica de la derecha indica el porcentaje de potencia eléctrica, siendo el 100% 90MW.

- Visión general de la planta

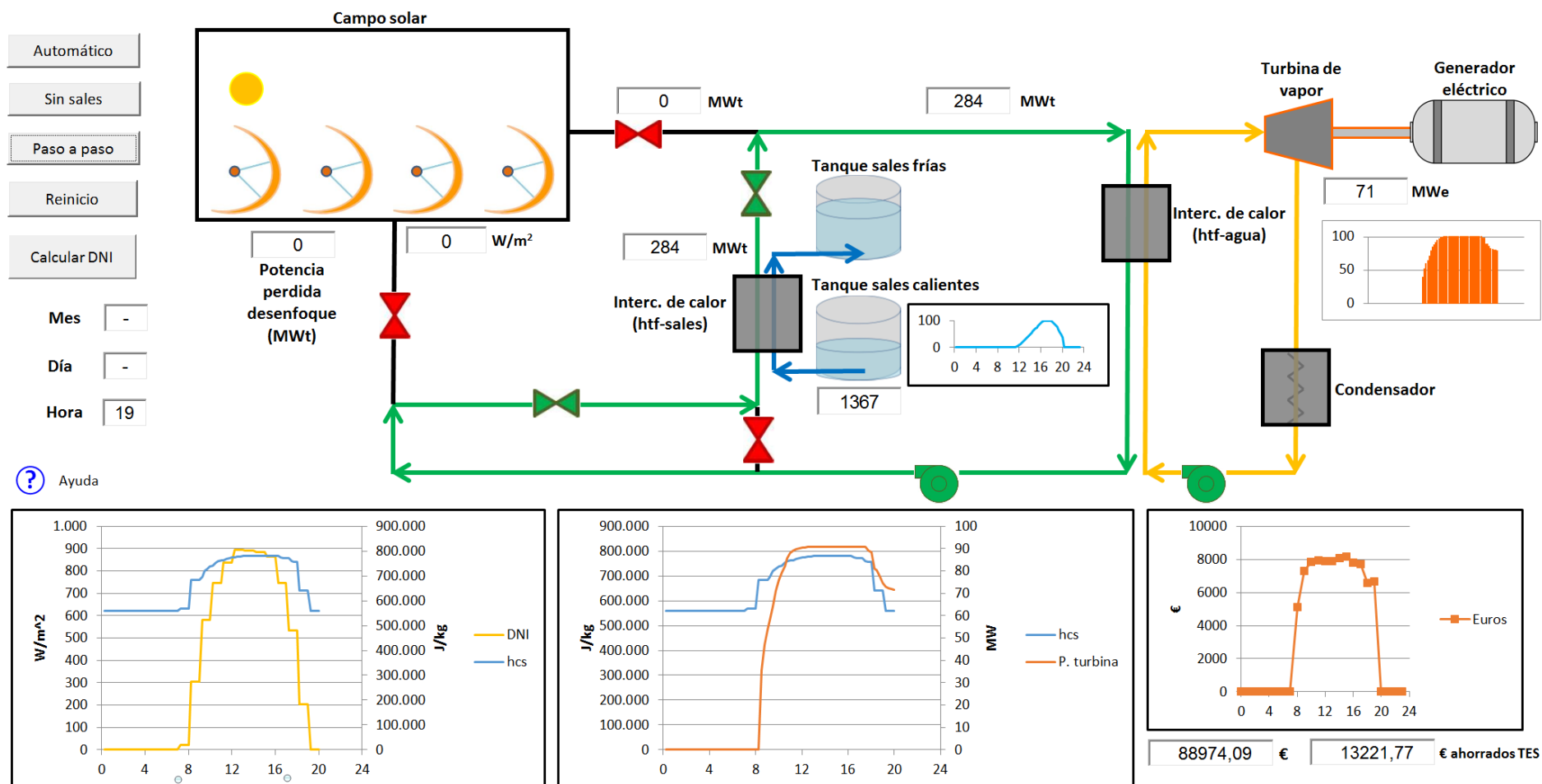


Imagen 3.28: Interfaz del simulador completo

La vista de cómo es el simulador completo, con todos los bloques acoplados sería como la de la imagen previa (Imagen 3.28). El interfaz de colores utilizado en el simulador es el siguiente:

- Conductos: si por el conducto está pasando un caudal determinado que no sea nulo (ya sea aceite, sales agua o vapor), dicho conducto se iluminará de color verde, azul o amarillo dependiendo de si es aceite, sales o agua-vapor, respectivamente. Las flechas indicarán la dirección del caudal. Si el conducto no tiene caudal alguno, éste permanecerá de color negro.
- Válvulas: el color verde indicará que la válvula está abierta. Por el contrario, si la válvula está cerrada se iluminará de color rojo.
- Bombas: de forma análoga a las válvulas, si la bomba está en funcionamiento tendrá un color verde, mientras que si está parada aparecerá en rojo.
- Campo solar: si la radiación normal directa es mayor que cero, el recuadro del campo solar se iluminará en verde.
- Turbina: se encenderá de color naranja siempre y cuando esté generando potencia.

Las dos primeras gráficas que se pueden observar en la parte inferior del simulador representan la correspondencia entre la radiación normal directa, la entalpía de salida del campo solar y la potencia eléctrica generada. Se escogió estas variables a representar ya que al fin y al cabo, el DNI y la potencia eléctrica son la entrada y la salida de un bloque que englobe a todo el simulador. Por otra parte, la entalpía del campo solar nos permite ver como se ajusta nuestro modelo al simulador en el que se realizaron los ensayos.

La gráfica de la parte inferior derecha representa las ganancias brutas de la instalación. Justo debajo se puede ver el valor acumulado y el valor de ahorro que se ha conseguido gracias a la inclusión del almacenamiento térmico. Estos datos no nos proporcionan ningún optimo económico, pero son igualmente importantes para intuir el correcto funcionamiento de la planta.

- Pulsadores y casillas de entrada

Los pulsadores son la principal fuente de interacción que tiene el usuario con el simulador. Los tres primeros pulsadores (*Automático*, *Sin sales* y *Paso a paso*), corresponden a los modos de funcionamiento que tiene el simulador. Mientras que *Automático* y *Sin sales* realizan los cálculos de un día entero pero no muestran los cambios en los elementos dinámicos como las variables de casillas, los tanques o las válvulas. *Paso a paso* nos permite ejecutar hora a hora el simulador, haciendo posible ver tanto la evolución de las variables como de los elementos dinámicos. El botón de *Reinicio* nos permite resetear todas las variables y valores calculados, dejando el simulador listo para un nuevo ensayo. Por último, el pulsador *Calcular DNI* calcularía la radiación normal directa del día del mes que indiquemos en los recuadros situados en la parte inferior. Por último, el recuadro *hora* se irá actualizando automáticamente.

The image shows a vertical stack of controls. At the top are five buttons: 'Automático', 'Sin sales', 'Paso a paso', 'Reinicio', and 'Calcular DNI'. Below these are three input fields labeled 'Mes', 'Día', and 'Hora'. The 'Hora' field contains the number '19'.

Imagen 3.29:
Pulsadores

- **Botón de ayuda**

El simulador cuenta con un botón de ayuda. Pulsando este botón se abrirá una ventana que nos mostrará los pasos a seguir para utilizar el simulador correctamente.

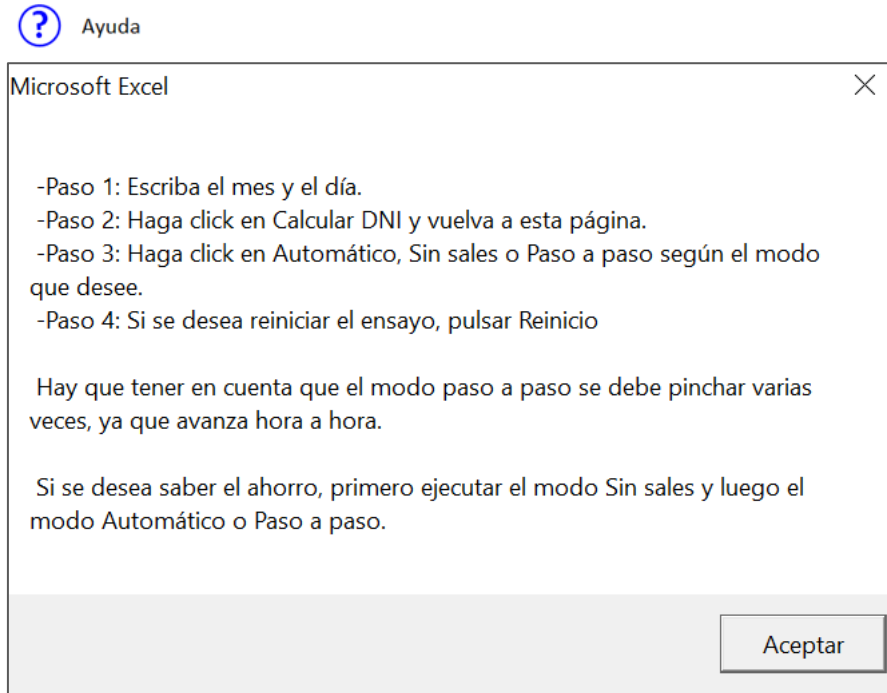


Imagen 3.30: Mensaje de ayuda

- **Gráficas y tablas del simulador**

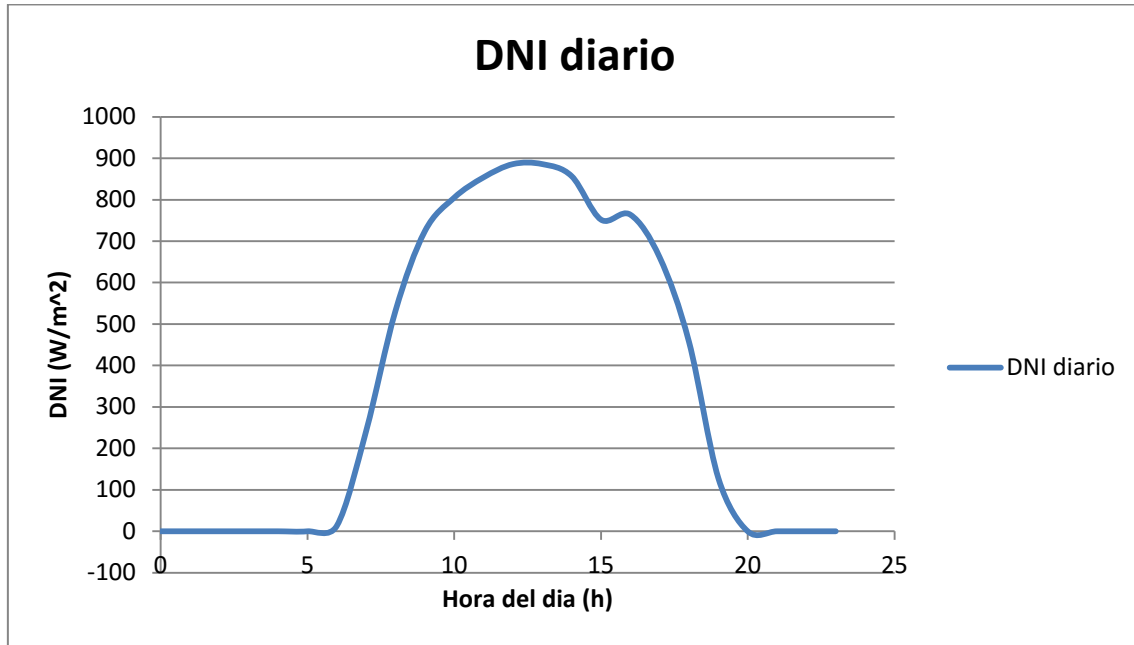
Las gráficas y tablas que se muestran en el simulador reflejan los resultados obtenidos al ejecutar la simulación. Por ello, dicho apartado se desarrollará con una mayor profundidad en el “Capítulo 4: Resultados”.

3.4.2. Calculo de radiación

Para calcular la radiación normal directa o DNI, el simulador se apoya en los datos extraídos de la biblioteca de SAM. El usuario del simulador únicamente debe de indicar el mes y el día en la página principal del simulador y presionar el botón *Calcular DNI*. El programa rastreará la fecha indicada entre los datos de la hoja *Calculo_DNI* y creará una tabla y una gráfica en la hoja *Entrada*. Un ejemplo de lo obtenido son la tabla y gráfica siguientes.

Hora	DNI
0	0
1	0
2	0
3	0
4	0
5	0
6	13
7	242
8	532
9	724
10	805
11	854
12	886
13	886
14	857
15	752
16	764
17	661
18	457
19	128
20	0
21	0
22	0
23	0

Tabla 3.5: Datos de radiación obtenidos



Gráfica 3.42: Radiación normal directa diaria

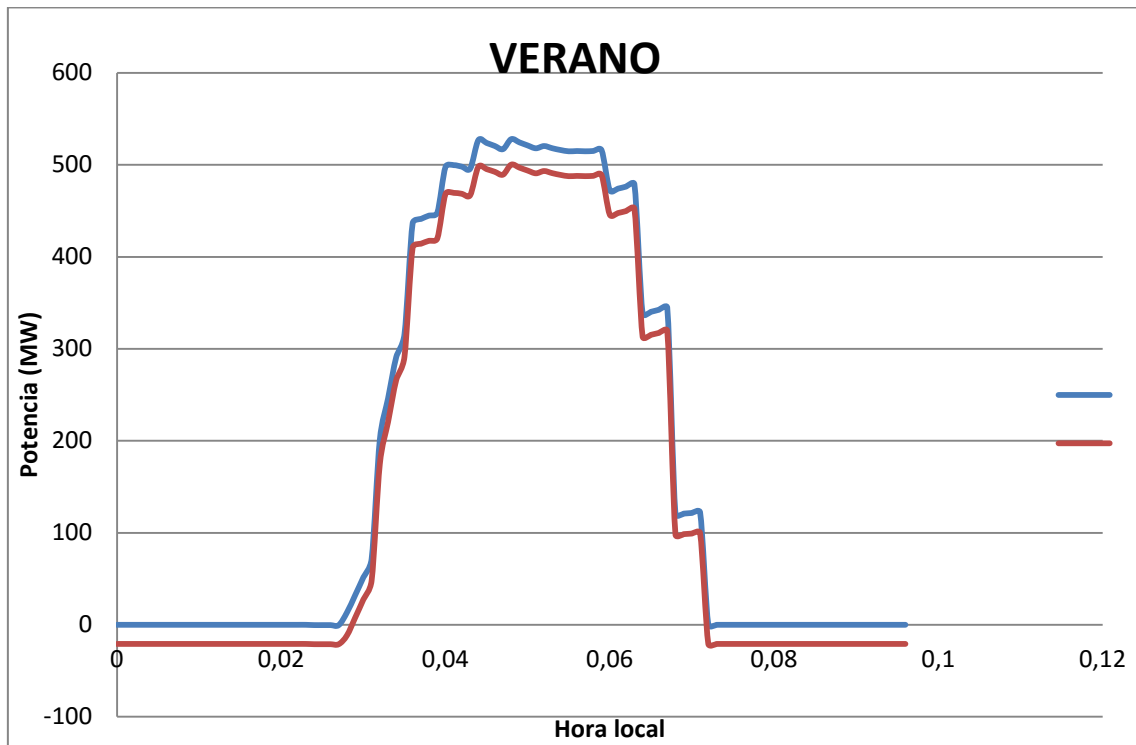
Para realizar un ensayo adecuado con el simulador, el DNI debe de ser mayor de 800 W/m^2 , con el fin de que durante la ejecución del programa la planta pase por distintos modos de operación. Además, se debe tener en cuenta que se trata de datos obtenidos de un año típico, por lo que nos encontraremos valores bajos de radiación en otoño e invierno, y mayores en primavera y verano. Aun así, existen excepciones y se pueden encontrar días de verano con escasa DNI (debido a nubes, por ejemplo).

3.4.3. Módulo extra: potencia del campo

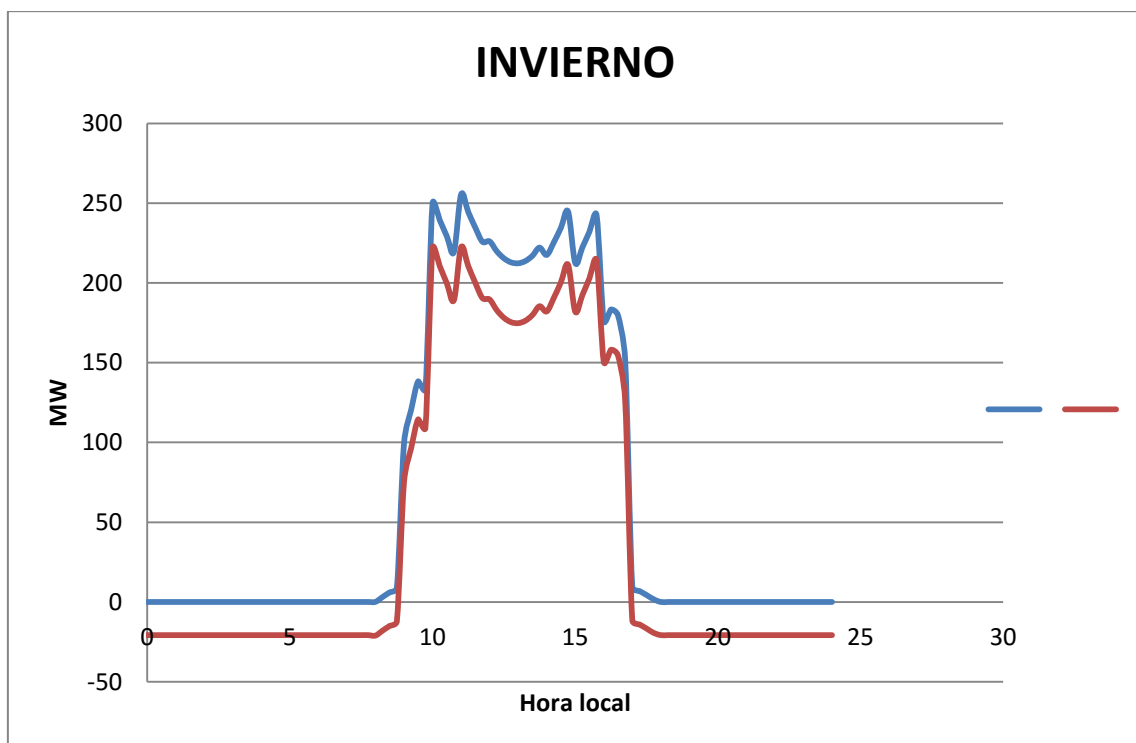
Con el fin de crear una idea general de la potencia térmica que genera un campo solar, se realizó un segundo programa para dicho fin. Partiendo de un fichero Excel proporcionado por Tecnatom en el que se calculaba la posición solar y el rendimiento de los espejos, se creó un programa en el que los datos de entrada eran el mes y el día, y se obtenían valores de la radiación normal directa, la radiación difusa y la potencia térmica del campo solar.

Se debe de mencionar que este programa no servía para obtener datos necesarios para el simulador, si no para comprobar órdenes de magnitud semejantes.

Para ilustrar este caso se muestran dos ejemplos, uno en verano (13 de junio) y otro en invierno (15 de noviembre).



Gráfica 3.43: Potencia del campo solar en verano



Gráfica 3.44: Potencia del campo solar en invierno

3.4.4. Gráfico funcional secuencial

Para entender el funcionamiento del simulador sin necesidad de entrar en detalles del código de programación, se recurre a un gráfico funcional secuencial. En él, dependiendo de las condiciones que se cumplan, se terminará en un modo u otro. Esto es muy similar a las funciones condicionantes que se encuentran en el código del simulador.

El gráfico se recorrerá 4 veces cada hora, de modo que pueden darse varios cambios de modos dentro de una hora. Lamentablemente, el modo más lento de funcionamiento del simulador (*Paso a paso*) solo nos muestra la variación de modos de hora en hora, por lo que se perdería información. No obstante, las tablas de datos dinámicos del simulador sí cuentan con la información de las variables cada cuarto de hora, por lo que se podría recurrir a ellas en caso de querer conocer alguna transición.

Aunque en el gráfico se vean reflejados 6 modos distintos, únicamente existen 4 de ellos que ya han sido definidos previamente a principios de este capítulo. El modo Off y el modo 1 con desenfoque, solo tienen sentido dentro de la programación, no como modos de operación en sí.

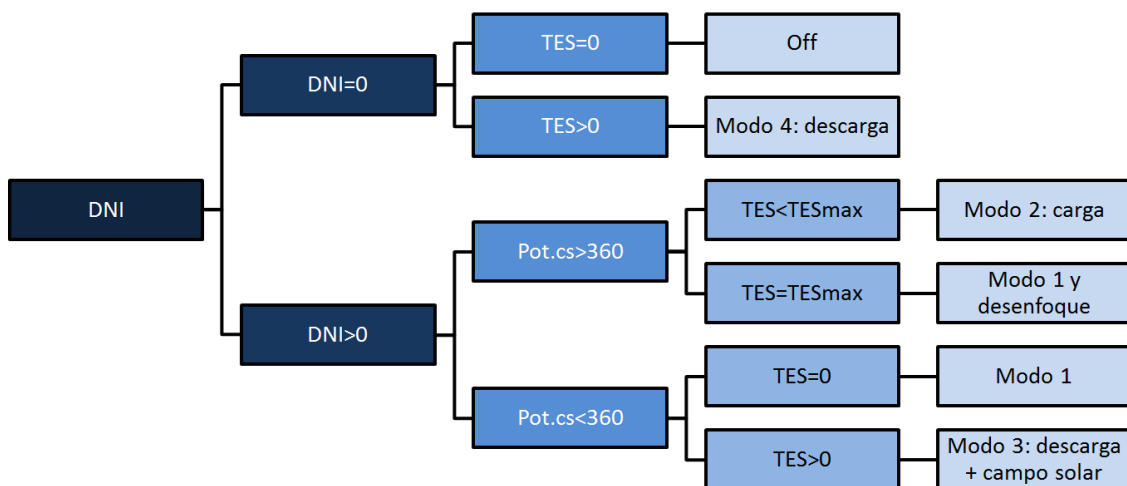


Gráfico funcional secuencial

3.4.5. Programación de las ecuaciones y decisiones tomadas

El código de programación es, a rasgos generales, una combinación de las ecuaciones discretizadas obtenidas y el gráfico funcional secuencial. Como en algunos apartados anteriores, en esta sección se seguirá un orden basado en los bloques principales de la planta para llevar una organización y facilitar la comprensión.

Comenzando por el bloque del campo solar, lo primero que se debe asumir es el caudal de aceite que va a circular por los conductos principales. Es cierto que si observamos la sección “3.2.2. Ensayos”, se puede afirmar que el caudal del aceite es de 900 kg/s, si bien las características de la planta de ensayo no coinciden con las de la planta del simulador creado. Por tanto, se asume que pasa un caudal de 1800 kg/s y que la función de transferencia

obtenida funciona adecuadamente para este nuevo caudal. No es una hipótesis muy arriesgada y como se puede comprobar ejecutando el simulador, es acertada.

Por otro lado, cuando el DNI es menor de 350 W/m² la respuesta de la entalpía no absolutamente precisa. Además, teniendo una DNI nula, el valor de la entalpía no es exactamente el valor mínimo obligatorio, por lo que se debe de realizar una linealización de la entalpía de salida cuando el DNI sea menor de 350 W/m².

Los cálculos que se llevan a cabo en este bloque son el cálculo de la entalpía de salida del campo solar mediante la ecuación discretizada, y el cálculo de la potencia del campo solar, conociendo el caudal másico y la entalpía de salida. La entalpía de entrada es dato y equivale a la mínima entalpía del campo solar (560000 J/kg).

$$h_{cs}^{n+1} = \frac{G \cdot \frac{DNI^{n+1} + \tau_1 \frac{h_{cs}^n}{\Delta t} + \tau_2 \frac{2h_{cs}^n}{\Delta t^2} - \tau_2 \frac{h_{cs}^{n-1}}{\Delta t^2}}{\left(1 + \frac{\tau_1}{\Delta t} + \frac{\tau_2}{\Delta t^2}\right)} + \frac{\tau_d}{\Delta t} h_{cs}^n}{\left(1 + \frac{\tau_d}{\Delta t}\right)} - y_o$$

$$P_{cs} = (h_{cs} - h_e) \cdot \dot{m}$$

La linealización de la entalpía es:

$$h = 400 \cdot DNI + 560000$$

En el bloque del almacenamiento térmico, hay que diferenciar si el simulador se encuentra cargando o descargando sales. En el primer caso, la energía que se cargará en el tanque dependerá en proporción de la energía sobrante del campo solar (si excede los 360 MW), la entalpía a la entrada del tanque caliente se calculará con la ecuación discretizada pertinente y la potencia desviada a sales se calculará directamente recirculando el exceso del campo solar.

$$P_{sales} = P_{cs} - 360$$

$$E_{sales}^{n+1} = E_{sales}^n + E_{carga}$$

$$E_{carga} = h_{tes} \cdot 60 \cdot 15 \cdot \dot{m}_{sales} \cdot \frac{P_{sales}}{360}$$

$$h_{tes}^{n+1} = \frac{G \cdot \frac{h_{cs}^{n+1} + \tau_1 \frac{h_{tes}^n}{\Delta t} + \tau_2 \frac{2h_{tes}^n}{\Delta t^2} - \tau_2 \frac{h_{tes}^{n-1}}{\Delta t^2}}{\left(1 + \frac{\tau_1}{\Delta t} + \frac{\tau_2}{\Delta t^2}\right)} + \frac{\tau_d}{\Delta t} h_{tes}^n}{\left(1 + \frac{\tau_d}{\Delta t}\right)} - y_o$$

En este caso, el único supuesto es el caudal másico por sales. Se toman dos trenes por los que circula un caudal de 450 kg/s, por lo que el caudal total es 900 kg/s.

La descarga funciona de manera análoga, pero puede darse el caso en el que la descarga de una pequeña cantidad de sales no proporcione energía alguna al circuito, posiblemente porque el circuito cuente con una temperatura mayor, aun sin estar dando la potencia máxima.

$$P_{sales} = 360 - P_{cs}$$

$$E_{sales}^{n+1} = E_{sales}^n - E_{descarga}$$

$$E_{descarga} = h_{tes} \cdot 60 \cdot 15 \cdot \dot{m}_{sales} \cdot \frac{P_{sales}}{360}$$

$$h_{cs}^{n+1} = \frac{G \cdot \frac{h_{tes}^{n+1} + \tau_1 \frac{h_{cs}^n}{\Delta t} + \tau_2 \frac{2h_{cs}^n}{\Delta t^2} - \tau_2 \frac{h_{cs}^{n-1}}{\Delta t^2}}{\left(1 + \frac{\tau_1}{\Delta t} + \frac{\tau_2}{\Delta t^2}\right)} + \frac{\tau_d}{\Delta t} h_{cs}^n}{\left(1 + \frac{\tau_d}{\Delta t}\right)} - y_o$$

En este caso, el único supuesto es el caudal másico por sales. Se toma un único tren por el que circula un caudal de 400 kg/s.

Por último, el bloque BOP incluirá únicamente los cálculos mediante la ecuación discretizada. Sin embargo, es aquí donde dicha ecuación trabaja adecuadamente en una región reducida. Es por eso que, al igual que en el campo solar, se debe de linealizar su comportamiento.

$$p^{n+1} = \frac{G \cdot \frac{h_{cs}^{n+1} + \tau_1 \frac{P^n}{\Delta t} + \tau_2 \frac{2P^n}{\Delta t^2} - \tau_2 \frac{P^{n-1}}{\Delta t^2}}{\left(1 + \frac{\tau_1}{\Delta t} + \frac{\tau_2}{\Delta t^2}\right)} + \frac{\tau_d}{\Delta t} P_{cs}^n}{\left(1 + \frac{\tau_d}{\Delta t}\right)} - y_o$$

La linealización de la potencia es:

$$P = 0 \quad si \quad P < 76$$

$$P = \frac{80 \cdot P}{4} - \frac{76 \cdot 84}{4} \quad si \quad P < 80$$

4. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

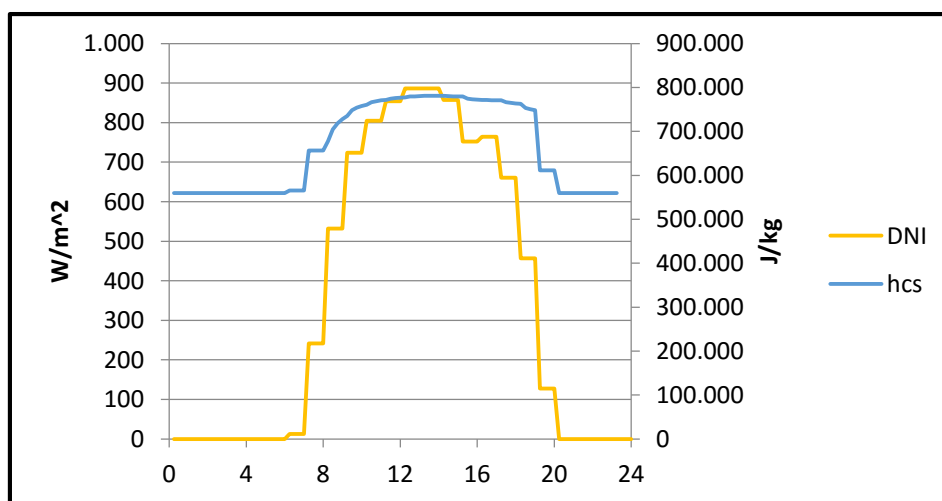
Las gráficas del apartado “Salida” del simulador son de gran utilidad a la hora de comprobar el comportamiento de la planta al detalle, y complementan los datos de salida del interfaz con resultados que no se muestran en esa ventana. Los resultados de la simulación se pueden dividir en dos grupos: los que aparecen en la página principal del simulador (hoja *Simulador*) y los que aparecen en la hoja *Salida*.

El primer grupo ya ha sido explicado brevemente en el capítulo anterior, por lo que en este apartado se realizará una descripción y un análisis de las mismas, pero de un modo más detallado.

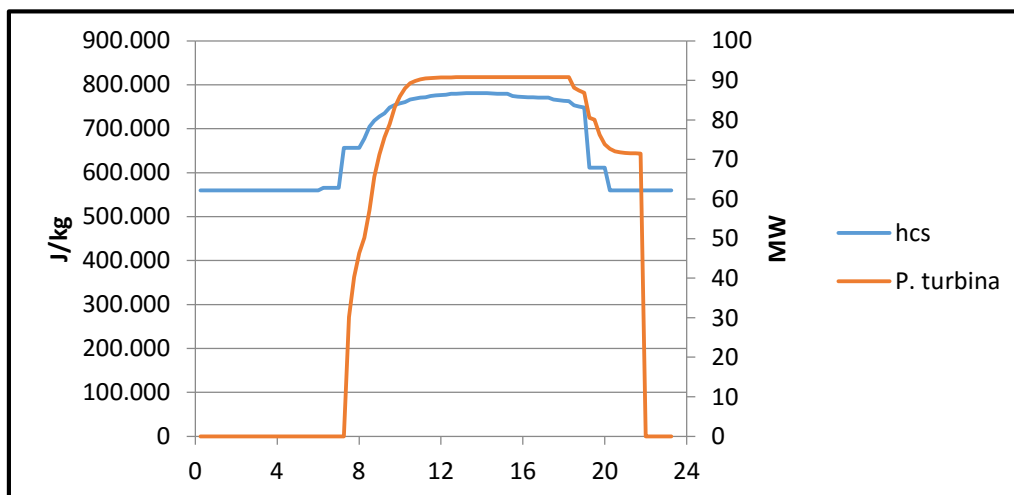
En la gráfica 4.1, se puede observar la correlación entre la radiación normal directa y la entalpía de salida del campo solar. Los resultados expuestos son correctos, ya que se puede apreciar que cuando la radiación es nula la entalpía está en su mínimo valor (560000 J/kg). A medida que la radiación sube, también lo hace la entalpía proporcionalmente, sin llegar nunca a sobrepasar su valor máximo (760000 J/kg).

La gráfica 4.2 nos muestra la entalpía de salida del campo solar frente a la potencia eléctrica generada por la planta. Es cierto que no es fácil vislumbrar la correlación entre ambas variables, pero la utilidad de esta gráfica reside en su combinación con la anterior. En cierto modo, en la hoja *Salida* del simulador se pueden encontrar gráficas que complementan mejor el análisis. De todos modos, se puede observar que la potencia nunca supera su máximo (90 MW). Además, se puede apreciar el uso de las sales alrededor de las últimas horas, ya que la potencia no desciende abruptamente.

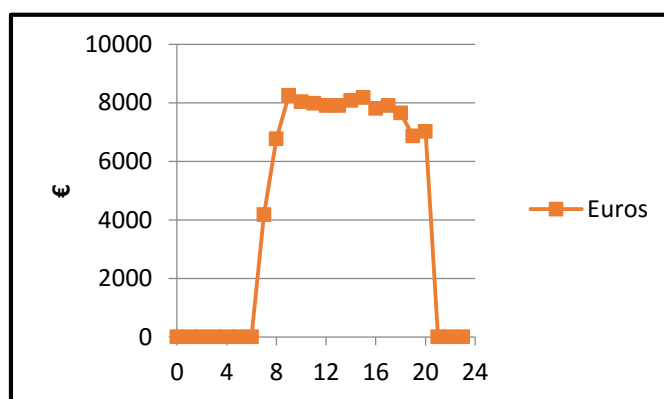
La última gráfica (Gráfica 4.3) perteneciente a la hoja principal del simulador nos indica la retribución a lo largo del día. Al haber usado como curva de demanda-precio una curva prácticamente plana, la gráfica de retribución se asemeja a la de la potencia eléctrica, como se puede observar. Los recuadros que acompañan a esta gráfica nos permiten comprobar lo preciso del modelo, siendo las ganancias brutas del orden de 100000€/día y el ahorro de implantar el almacenamiento térmico alrededor del 30% de las ganancias brutas. No se tienen en cuenta ni las primas ni el coste de operación para este ensayo.



Gráfica 4.1: Gráfica DNI-hcs



Gráfica 4.2: Gráfica hcs-P.turbina



Gráfica 4.3: Gráfica de retribución

104501,18	€	28748,85	€ ahorrados TES
-----------	---	----------	-----------------

El segundo grupo de resultados lo componen aquellas gráficas y tablas que se pueden extraer de la hoja *Salida* del simulador.

Comenzando por las tablas, éstas son completadas con datos dinámicos extraídos de las variables de simulación. Existen 3 de estas tablas y cada una de ellas tiene su propia función. La tabla 4.1 muestra los datos generales de la planta (radiación normal directa, entalpía de salida del campo solar, potencia eléctrica generada, energía almacenada en el tanque de sales calientes, potencia térmica del campo solar, potencia térmica perdida por desenfoque, potencia térmica de entrada al generador de vapor, potencia térmica desviada a sales y cuartos de hora transcurridos, respectivamente), la tabla 4.2 indica los porcentajes (horas transcurridas, porcentaje de sales calientes almacenadas y porcentaje de potencia eléctrica generada, respectivamente), y la tabla 4.3 es una tabla retributiva (horas transcurridas, precio por kilovatio, potencia eléctrica generada y retribución, respectivamente).

DNI	0	0	0	0	0	0	0	0
Hcs	560.000	560.000	560.000	560.000	560.000	560.000	560.000	560.000
Pot	0	0	0	0	0	0	0	0
htes_alm	0	0	0	0	0	0	0	0
POT_CS	0	0	0	0	0	0	0	0
POT_desenfoque	0	0	0	0	0	0	0	0
POT_final	0	0	0	0	0	0	0	0
POT_sales	0	0	0	0	0	0	0	0
Hora (1/4 horas)	1	2	3	4	5	6	7	8

Tabla 4.1: Resultados generales

Hora	0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25
%TES	0	0	0	0	0	0	0	0	0
%POT	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 4.2: Resultados en porcentaje

Hora	0	1	2	3	4	5	6	7	8
€/kWh	0,081	0,08	0,079	0,078	0,078	0,079	0,083	0,09	0,095
MW	0	0	0	0	0	0	0	46	71
€	0	0	0	0	0	0	0	4172,2	6767,6

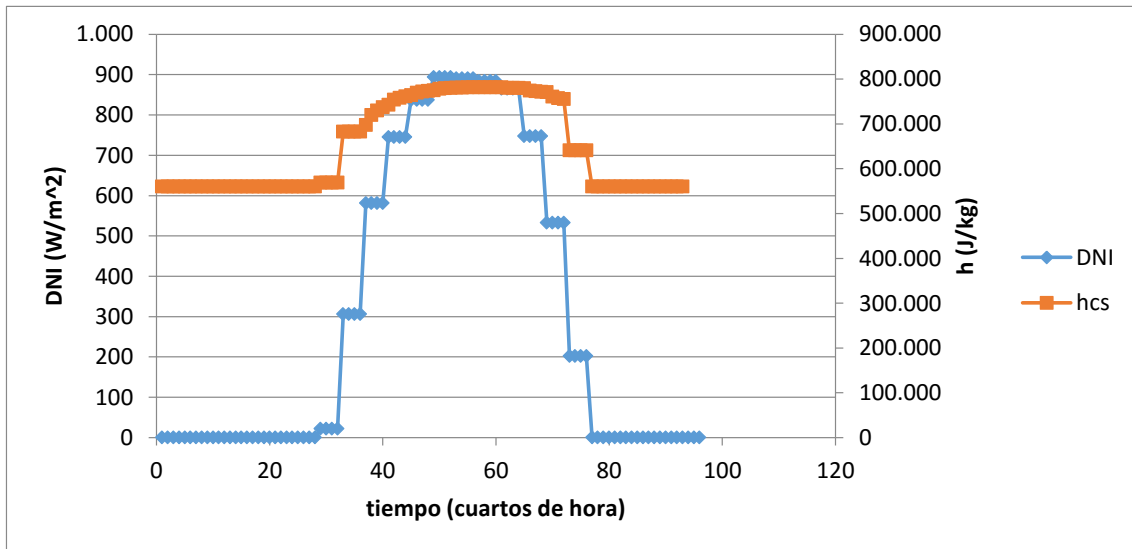
Tabla 4.3: Resultados retributivos

Por otra parte, las gráficas mostradas en esta hoja del simulador representan en conjunto el comportamiento de la planta. Tanto la gráfica 4.4 como la gráfica 4.5 representan correlaciones ya explicadas anteriormente.

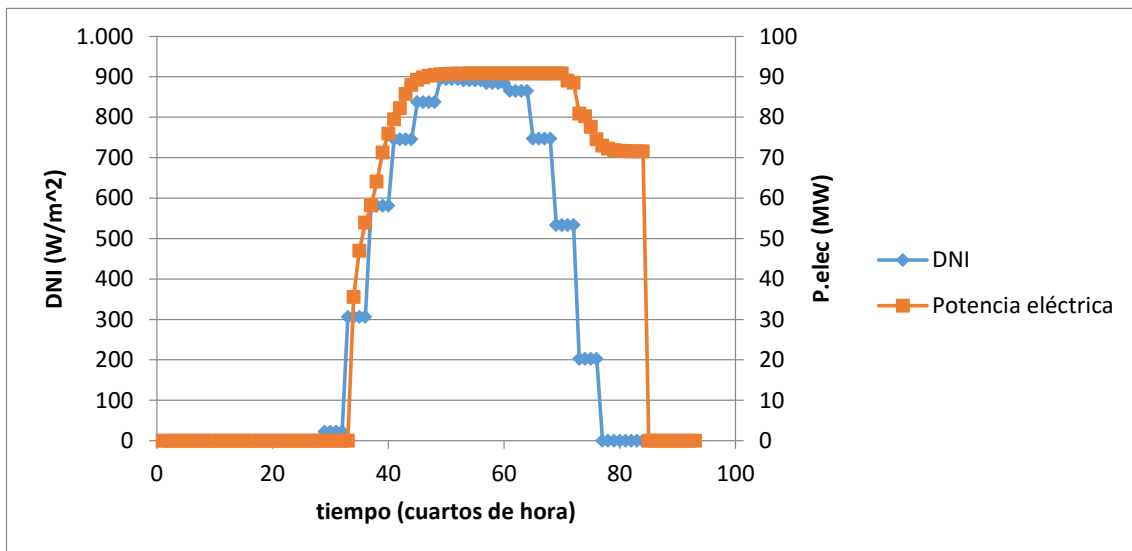
La gráfica 4.6 muestra como la potencia evoluciona con respecto a la carga y descarga de sales. Puede observarse como la descarga de sales proporciona un extra de potencia a últimas horas, cuando la radiación solar no basta para mantener en funcionamiento la turbina. Se debe mencionar también que la potencia de la turbina nunca llegará a su máximo (90 MW) únicamente con la descarga de sales, quedándose en valores cercanos a 70 MW. Este fenómeno sucede también en la plantas termosolares reales.

La importancia de la gráfica 4.7 reside en incluir todas las distintas potencias que se dan en la planta, por lo que se puede deducir en qué modo está funcionando la planta en cualquier instante de tiempo. Se puede observar cómo ante un exceso de potencia del campo solar (POT_CS) la potencia desviada por sales (POT_sales) comienza a aumentar, y al producirse ese desvío, la potencia que entra en el generador de vapor se mantiene constante a 360 MW. También se muestra el comportamiento de la potencia térmica perdida por el desenfoque de los espejos (POT_desenfoque), que aumenta cuando hay exceso de potencia en el campo solar pero el almacenamiento térmico se encuentra al máximo de su volumen.

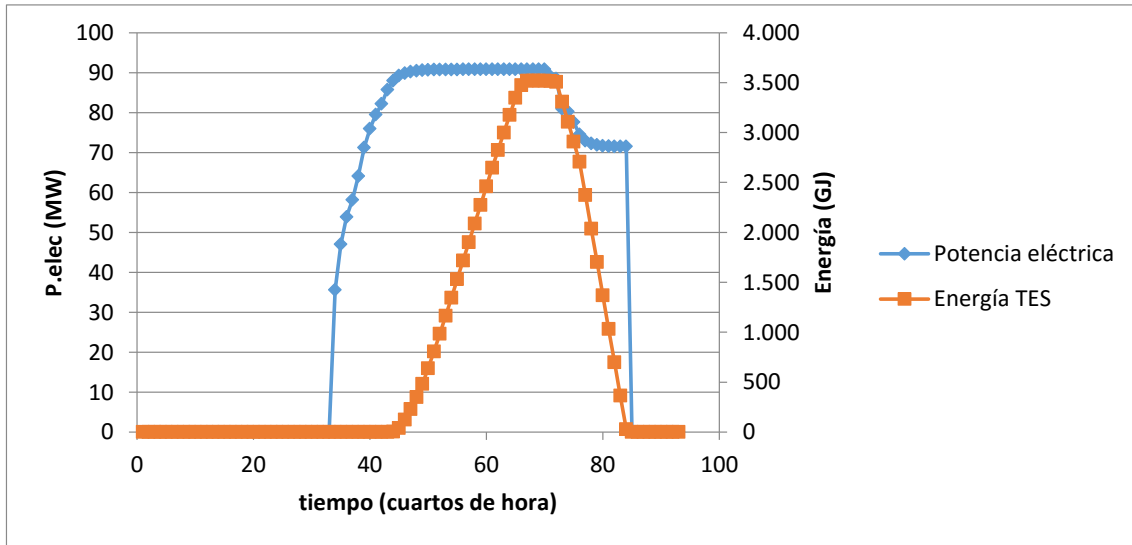
Para finalizar, analizaremos la gráfica 4.8. Esta gráfica no incluye resultados nuevos (ya que únicamente muestra la potencia eléctrica y la retribución no es un resultado, sino un dato de entrada), por lo que su única utilidad reside en visualizar la curva de precios que se han incluido en el simulador.



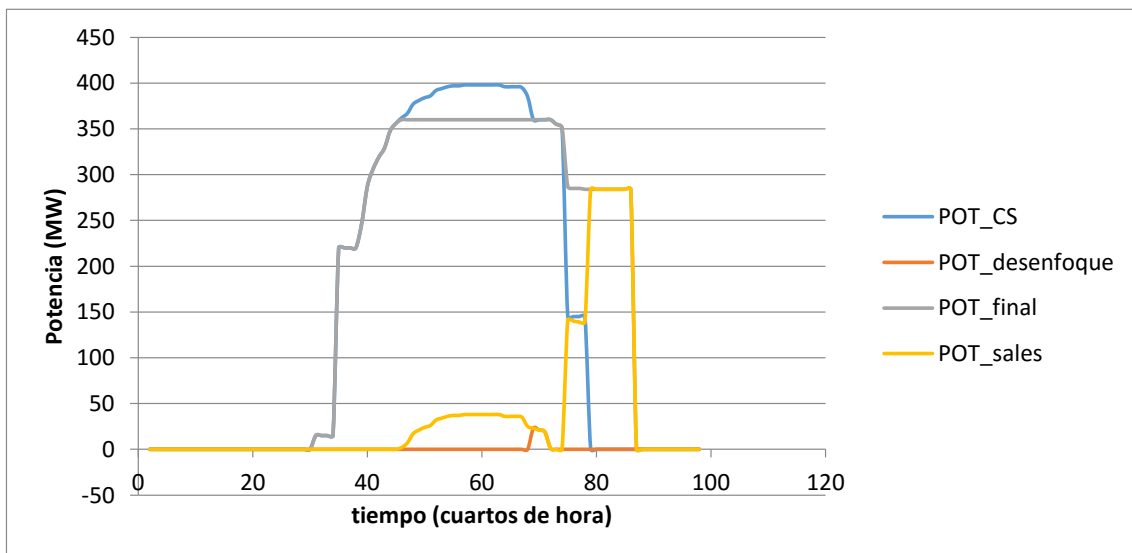
Gráfica 4.4: Gráfica DNI-hcs



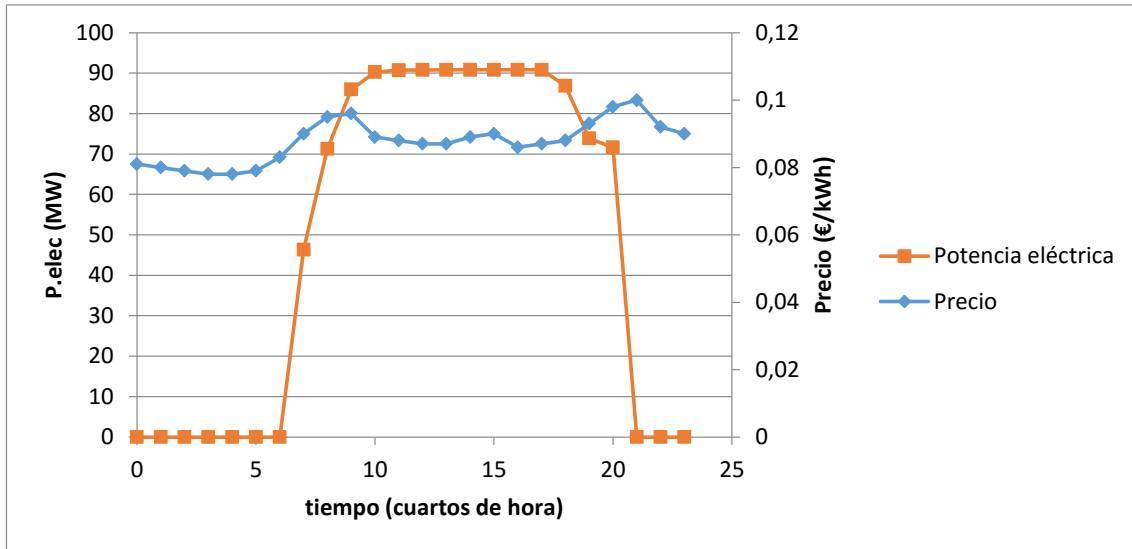
Gráfica 4.5: Gráfica DNI-Potencia eléctrica



Gráfica 4.6: Gráfica Potencia eléctrica – Energía TES



Gráfica 4.7: Gráfica comparativa de potencias



Gráfica 4.8: Curva de €/kWh

5. CONCLUSIONES

Precisión

Como se ha observado a lo largo del presente proyecto, las funciones de transferencia utilizadas para modelar el simulador funcionan correctamente en un rango de aplicación limitado (por ejemplo el modelado del arranque de la turbina). Esto se verifica en la linealización que ha sido requerida tanto en el campo solar como en la turbina. No obstante ha quedado demostrado que la precisión en la respuesta del simulador es similar que la de los métodos convencionales utilizados hoy en día. Sin embargo, hay que destacar que se obtiene una **respuesta más realista** de la instalación en procesos con elevada inercia. Esto es debido a las funciones de transferencia incluidas en el cálculo. Realizando un mayor número de ensayos y obteniendo un conjunto más amplio de funciones de transferencia, se podría desarrollar un simulador de alcance total.

Simplificación

La simplificación de la planta simulada presenta la ventaja de ofrecer una interfaz sencilla y de fácil comprensión, dando una **visión intuitiva, pero exacta**, del comportamiento de la instalación ante las distintas condiciones objeto del estudio. A su vez, nos proporciona una respuesta rápida ante distintos escenarios, ofreciendo resultados inmediatos. Por tanto esta simplificación puede ser utilizada para dar una visión global del funcionamiento de la instalación, mostrar las formas de operación más eficientes y el análisis de las consecuencias económicas.

Por el contrario, este simulador no podría ser utilizado para la formación especializada de los operadores, que deben de manejar un mayor número de elementos de proceso aquí no modelados. Si se podría utilizar en una fase de formación inicial sobre fundamentos de operación de plantas termosolares con almacenamiento térmico de sales fundidas, ya que posee una buena representación de los distintos modos de operación.

Flexibilidad

La posibilidad de parametrizar determinados valores de la planta permite la utilización de este simulador durante la fase de diseño de plantas termosolares, permitiendo el **análisis de diversas configuraciones** en busca de la más adecuada. En el caso del presente proyecto, sería fácil modificar el valor de la potencia máxima de operación o el valor de la energía máxima almacenable en el tanque de sales calientes, y por tanto realizar un análisis de coste-beneficio de dichas modificaciones, por lo que queda demostrada la utilidad de este tipo de simuladores como ayuda a la toma de decisiones sobre distintas configuraciones de planta durante la fase de diseño o de distintas modificaciones durante la fase de explotación.

Una inversión rentable

Una de las mayores ventajas de este simulador es la posibilidad de obtener los resultados de retribución por generación, de manera que ayude al explotador de la instalación a obtener el

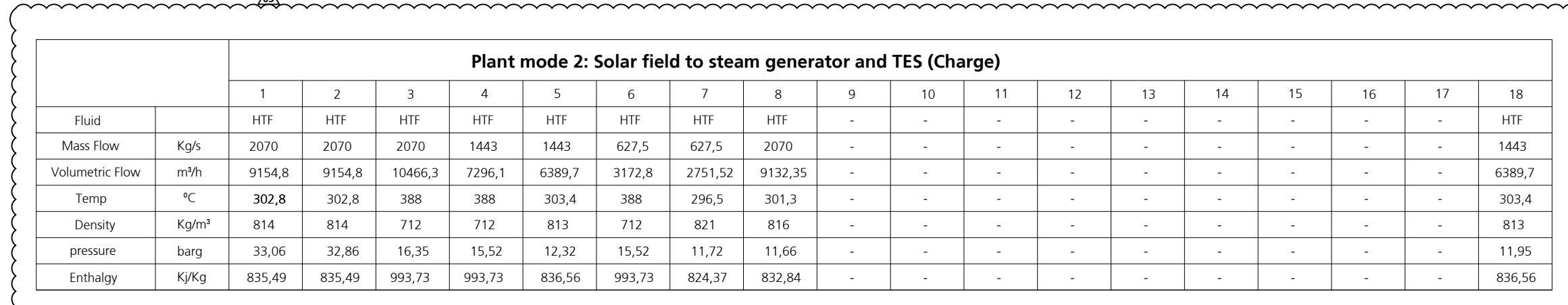
máximo rendimiento, **optimizando los distintos modos de operación** y haciéndole consciente del impacto sobre los resultados de una operación adecuada.

Dado que las respuestas obtenidas con este simulador han sido muy fiables, se podría pensar en desarrollar nuevos modelos que **optimicen el rendimiento económico** mediante un ajuste adecuado de la operación de la planta con la curva de la demanda de energía eléctrica.

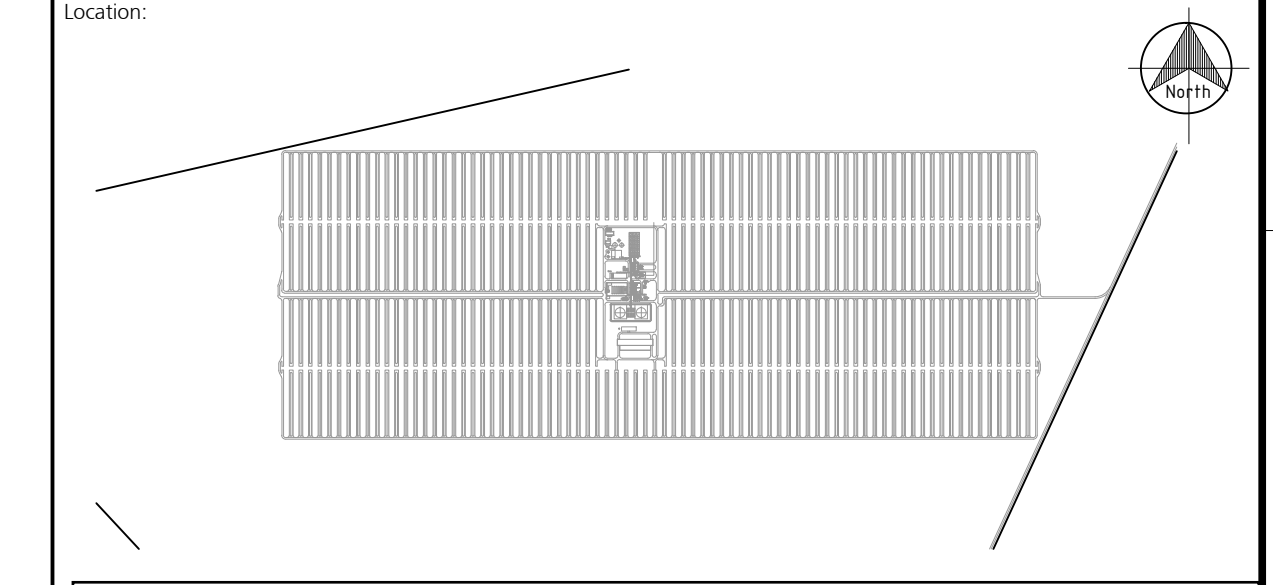
Queda patente que la inversión en el desarrollo de este tipo de simuladores tiene una recuperación rápida mediante su utilización durante la validación del diseño y una operación más eficiente.

6.1. Planos

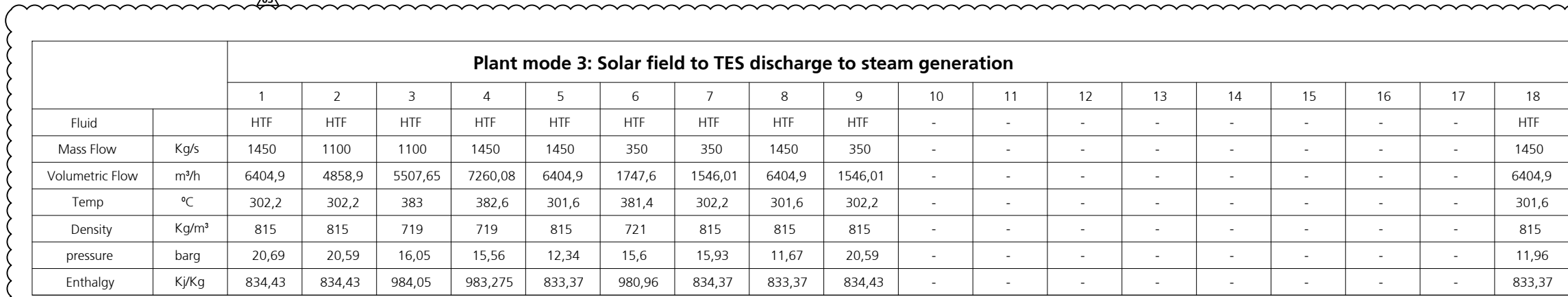
A continuación se muestran los planos de los distintos modos de operación de la planta que se ha tomado como referencia.



03	2013/03/01	UTE Comments	MTBM	JTG	PGM
02	2012/12/31	UTE Comments	MTBM	JTG	MTG
01	2012/12/21	UTE Comments	MTBM	JTG	ONTO
00	2012/06/29	First issue	MJC	JTG	PG
Rev. No.:	Edition Date:	Description:	Signature Drawn by:	Signature Reviewed by:	Signature Approved by:



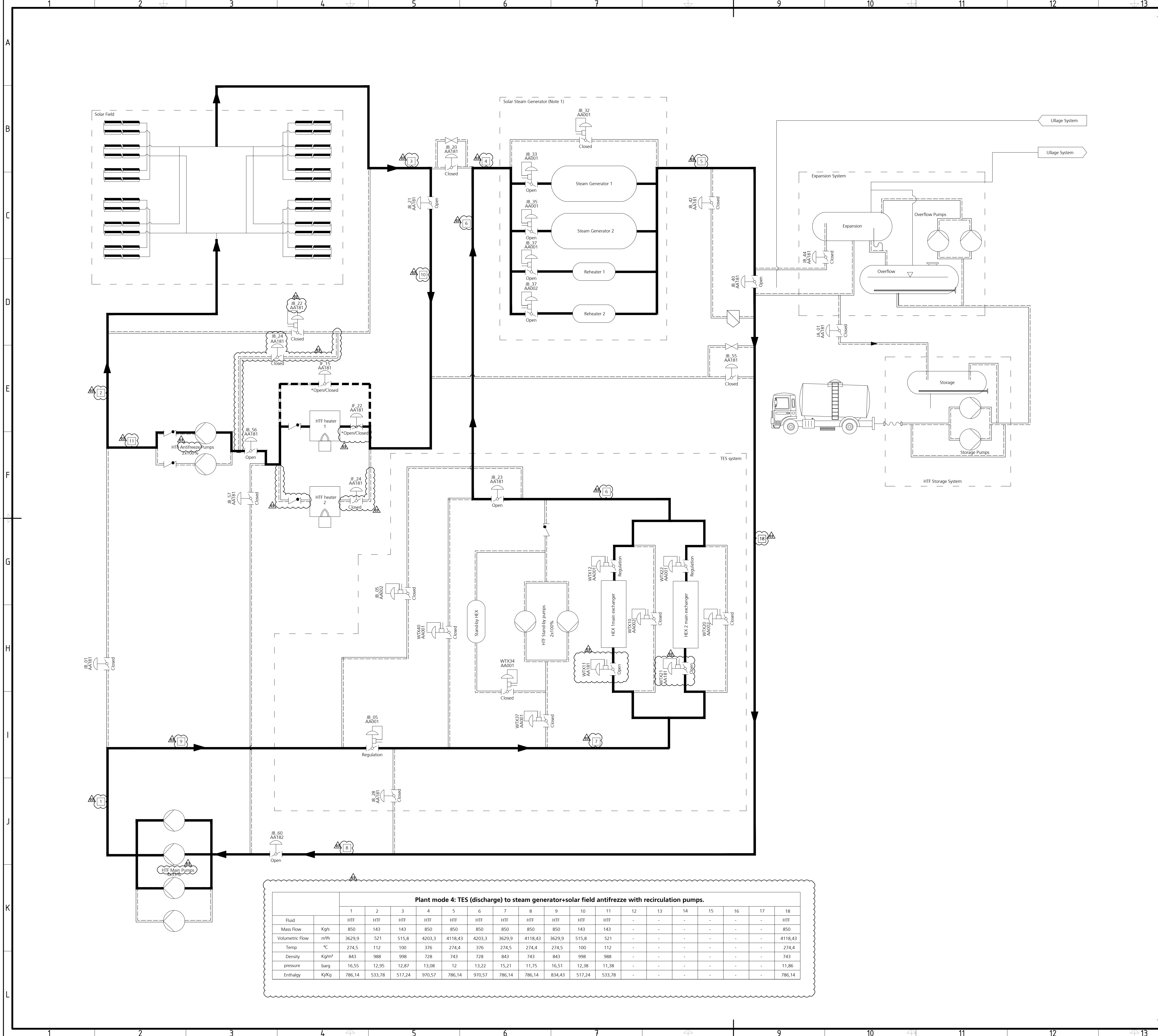
State: N/S	Operation modes of HTF System & Solar Field Process Flow Diagram 	Drawing No.: 0328-PLN-AGI-58-11-0002 Sheets: 11 Sheet No.: 2 Int. Drawing No.: Status:
Title and Subtitle: Plant mode 2: Solar Field to Steam Generation and TES Charge	This drawing and the design it covers are the property of the owner. They have been prepared by the engineer, who has been retained by the owner. They are not to be used, copied, scanned, reprinted or used under any circumstances. As an exception, it can be used in limited and private way, as long as it does not give permission to the borrower for using a drawing for a written contract.	For input For output For construction For information only



03	2013/03/01	UTE Comments	MTBM	JTG	PGM
02	2012/12/31	UTE Comments	MTBM	JTG	MTG
01	2012/12/21	UTE Comments	MTBM	JTG	ONTO
00	2012/06/29	First issue	MJC	JTG	PG
Rev. No.:	Edition Date:	Description:	Signature Drawn by:	Signature Reviewed by:	Signature Approved by:

Scale:	Title and Subtitles: 	Drawing No.:	
N/S		0328-PLN-AGI-58-11-0002	
		Sheets:	Sheet No.:
		11	3
		Int. Drawing No.:	

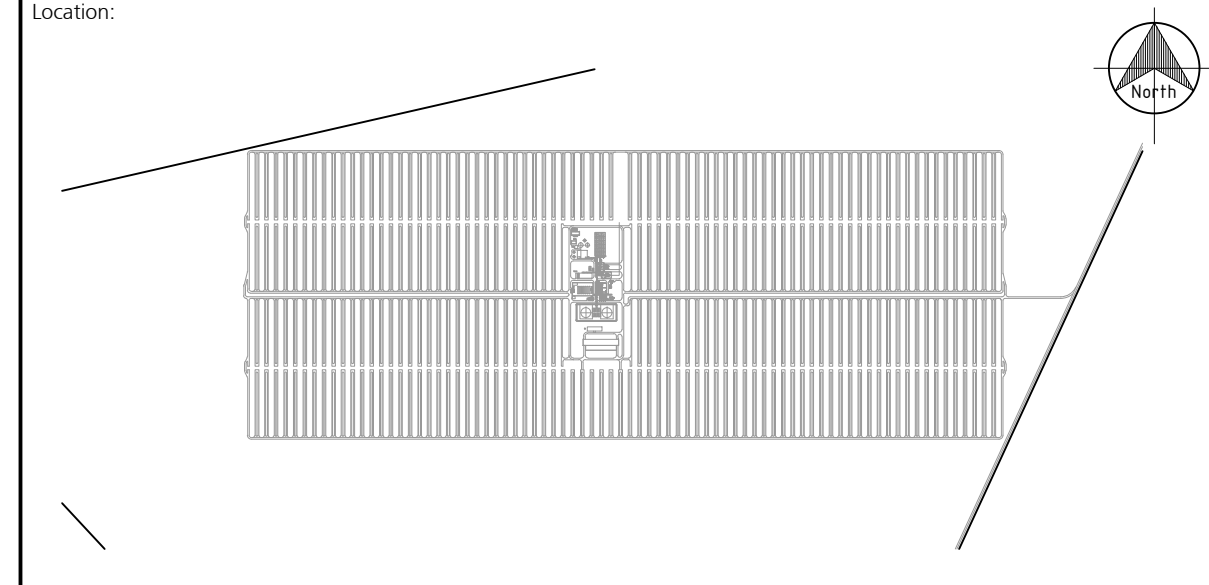
This drawing and the design it covers are the property of Abensia EPC. They have been merely loaned by express agreement of the borrower, who states that it cannot be reproduced, copied, loaned, exhibited or used under any circumstances. As an exception, it can be used in a limited and private way, as long as Abensia EPC gives permission to the borrower for using it through a written consent.	preliminary For layout For construction For construction except hold As built	Status
--	--	---------------



		Plant mode 4: TES (discharge) to steam generator+solar field antifreeze with recirculation pumps.																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Fluid		HTF	HTF	HTF	HTF	HTF	HTF	HTF	HTF	HTF	HTF	HTF	-	-	-	-	-	-	HTF
Mass flow	Kg/s	850	143	143	850	850	850	850	850	850	143	143	-	-	-	-	-	-	850
Volumetric flow	m³h	3629,9	521	515,8	4203,3	4118,43	4203,3	3629,9	4118,43	3629,9	515,8	521	-	-	-	-	-	-	4118,43
Temp	°C	274,5	112	100	376	274,4	376	274,5	274,4	274,5	100	112	-	-	-	-	-	-	274,4
Density	Kg/m³	843	988	998	728	743	728	843	743	843	998	988	-	-	-	-	-	-	743
pressure	barg	16,55	12,95	12,87	13,08	12	13,22	15,21	11,75	16,51	12,38	11,38	-	-	-	-	-	-	11,86
Enthalpy	Kj/Kg	786,14	533,78	517,24	970,57	786,14	970,57	786,14	786,14	834,43	517,24	533,78	-	-	-	-	-	-	786,14

*Note: Open or closed depending of mode.
** According to best efficiency point of HTF antifreeze pump based on H&M Balance Revision 3
*** HTF Heaters would deliver 3 MWth according to temperature given in this PFD. HTF heater can deliver up to maximum of 5,8MWth net. In that case temperature would increase until achieving thermal equilibrium

03	2013/03/01	UTE Comments	MTBM	JTG	PGM
02	2012/12/31	UTE Comments	MTBM	JTG	MTG
01	2012/12/21	UTE Comments	MTBM	JTG	ONTO
00	2012/06/29	First issue	MJC	JTG	PG
Rev. No.:	Edition Date:	Description:	Signature	Signature	Signature
			Drawn by:	Reviewed by:	Approved by:



Scale: N/S

Operation modes of HTF System & Solar Field
Process Flow Diagram
Plant mode 4: TES Discharge to Steam Generation + Solar Field Antifreeze with HTF antifreeze pumps

Drawing No.: 0328-PLN-AGI-58-11-0002

Sheets: 11

Sheet No.: 4

Int. Drawing No.:

This drawing and the design covered are the property of Abertis EPC. They have been created, issued, revised, approved or used under any circumstances. As an exception, it can be used in a limited and private way, as long as Abertis EPC gives permission to the borrower for using it through a written consent.

As built

For construction

For layout

Primary

Status

6.2. Código de programación

A continuación se muestran los diversos módulos de Visual Basic que componen el código de programación del simulador.

Código de programación de pulsador “Automático”

```

Private Sub Simulación_Click()

Dim Contador_Hora As Integer                                'Contador del paso de horas

Dim num_horas As Integer                                    'Numero de horas que equivale a1
numero de interacciones
Dim hora As Integer                                         'Hora de simulacion

Dim dni                                                     'Variables del CS
Dim Hex1, Hex_1, Hex_2 As Double

Dim POW_TSF As Double                                       'Energia tanque sales frias
Dim POW_TSF_NOR As Double                                   'Energia tanque sales frias
normalizada (0-1)

'Potencias
Dim POT_CS As Integer                                       'Potencias

'Tanque de sales calientes
Dim Masa_TES_max, E_carga, E_descar As Double

Dim Modo As Integer                                         'Modo de operacion
Dim pmax As Boolean

Contador_Hora = worksheets("Datos").Cells(2, 3)
Masa_TES_max = 3520000000000# / 10000000000#

'Adquisicion datos

worksheets("Datos").Cells(3, 3) = 23                        'num_horas = 23
worksheets("Datos").Cells(4, 3) = 4                        'num_cuartos = 4
worksheets("Datos").Cells(5, 3) = 760000                   'h_max = 760000
worksheets("Datos").Cells(6, 3) = 560000                   'h_max = 760000
'FT DNI-Hcampo
worksheets("Datos").Cells(7, 3) = 0                        'dni = 0
worksheets("Datos").Cells(8, 3) = 0                        'dni_1 = 0
worksheets("Datos").Cells(9, 3) = 0                        'dni_2 = 0
worksheets("Datos").Cells(10, 3) = 700000                  'hcs = 700000
worksheets("Datos").Cells(11, 3) = 700000                  'hcs_1 = 700000
worksheets("Datos").Cells(12, 3) = 700000                  'hcs_2 = 700000
'FT H-HTF-PottTV
worksheets("Datos").Cells(15, 3) = 559000                  'htv = 700000
worksheets("Datos").Cells(16, 3) = 559000                  'htv_1 = 700000
worksheets("Datos").Cells(17, 3) = 559000                  'htv_2 = 700000
worksheets("Datos").Cells(18, 3) = 0                       'Pot = 0
worksheets("Datos").Cells(19, 3) = 0                       'Pot_1 = 0
worksheets("Datos").Cells(20, 3) = 0                       'Pot_2 = 0
'FT HEX-HSC-Carga
worksheets("Datos").Cells(23, 3) = 0                        'Hex = 0
worksheets("Datos").Cells(24, 3) = 0                        'Hex_1 = 0
worksheets("Datos").Cells(25, 3) = 0                        'Hex_2 = 0
worksheets("Datos").Cells(26, 3) = 0                        'HSC = 0
worksheets("Datos").Cells(27, 3) = 0                        'HSC_1 = 0
worksheets("Datos").Cells(28, 3) = 0                        'HSC_2 = 0
worksheets("Datos").Cells(29, 3) = 0                        'htes_alm = 0
'FT HEX-HSC-Descarga
worksheets("Datos").Cells(32, 3) = 760000                   'h4 = 0
worksheets("Datos").Cells(33, 3) = 760000                   'h4_1 = 0
worksheets("Datos").Cells(34, 3) = 760000                   'h4_2 = 0
worksheets("Datos").Cells(35, 3) = 930000                   'htesd = 0
worksheets("Datos").Cells(36, 3) = 930000                   'htesd_1 = 0
worksheets("Datos").Cells(37, 3) = 930000                   'htesd_2 = 0

'cont = 0
,
,
,
'h_max = 767832.8457
,
'h_1 = 0
'h_2 = 0
'pot_1 = 0
'pot_2 = 0
'h3_1 = 0
'h3_2 = 0
'h4 = 0
'h4_1 = 687832.8

```

```

'h4_2 = 687832.8
'htes = 0
'htes_1 = 0
'htes_2 = 0
'htesd = 900000
'htesd_1 = 900000
'htesd_2 = 900000
'htes_alm = 0

For Contador_Hora = 0 To 23
num_horas = Worksheets("Datos").Cells(3, 3)
num_cuartos = Worksheets("Datos").Cells(4, 3)
h_max = Worksheets("Datos").Cells(5, 3)
h_min = Worksheets("Datos").Cells(6, 3)
hora = Worksheets("Entrada").Cells(3 + Contador_Hora, 2)
actual Cells(Fila,Columna)
Call colector1(Contador_Hora)

'num_horas
'num_cuartos
'h_max = 0
'h_min = 0
'Hora/iteracion

For j = 1 To num_cuartos
'Coger valores de la base de datos
dni = Worksheets("Datos").Cells(7, 3)
dni_1 = Worksheets("Datos").Cells(8, 3)
dni_2 = Worksheets("Datos").Cells(9, 3)
'hcs = Worksheets("Datos").Cells(10, 3)
'hcs_1 = Worksheets("Datos").Cells(11, 3)
'hcs_2 = Worksheets("Datos").Cells(12, 3)
'htv = Worksheets("Datos").Cells(15, 3)
'htv_1 = Worksheets("Datos").Cells(16, 3)
'htv_2 = Worksheets("Datos").Cells(17, 3)
'pot = Worksheets("Datos").Cells(18, 3)
'pot_1 = Worksheets("Datos").Cells(19, 3)
'pot_2 = Worksheets("Datos").Cells(20, 3)
'Hex1 = Worksheets("Datos").Cells(23, 3)
'Hex_1 = Worksheets("Datos").Cells(24, 3)
'Hex_2 = Worksheets("Datos").Cells(25, 3)
'HSC = Worksheets("Datos").Cells(26, 3)
'HSC_1 = Worksheets("Datos").Cells(27, 3)
'HSC_2 = Worksheets("Datos").Cells(28, 3)
'htes_alm = Worksheets("Datos").Cells(29, 3)
'h4 = Worksheets("Datos").Cells(32, 3)
'h4_1 = Worksheets("Datos").Cells(33, 3)
'h4_2 = Worksheets("Datos").Cells(34, 3)
'Htesd = Worksheets("Datos").Cells(35, 3)
'Htesd_1 = Worksheets("Datos").Cells(36, 3)
'Htesd_2 = Worksheets("Datos").Cells(37, 3)

'FT campo solar
dni_2 = Worksheets("Datos").Cells(8, 3)
anterior dni_1 = Worksheets("Datos").Cells(7, 3)
anterior dni = Worksheets("Entrada").Cells(3 + Contador_Hora, 3)
DNI hcs_2 = Worksheets("Datos").Cells(11, 3)
anterior hcs_1 = Worksheets("Datos").Cells(10, 3)
anterior Call camposolar_bajada(dni, dni_1, dni_2, hcs, hcs_1, hcs_2, t)
hcs hcs = Application.Max(hcs, hmin)
POT_CS = Int((hcs - h_min) * 1800 / 1000000#)
salida del campo solar en MW POW=Ah*q

'q = (hcs - htv) * 1800 / (hcs - 560000)

'sobra energia
'sobra energia
If (POT_CS >= 360) Then
If (hcs > h_max) Then
Hex_2 = Worksheets("Datos").Cells(24, 3)
Hex_1 = Worksheets("Datos").Cells(23, 3)
Hex1 = hcs
HSC_2 = Worksheets("Datos").Cells(27, 3)
HSC_1 = Worksheets("Datos").Cells(26, 3)
Call tes_c_bajada(Hex1, Hex_1, Hex_2, HSC, HSC_1, HSC_2, t, htes_alm)
Pot_cs_exc = POT_CS - 360
Pot_cs_max = Int(350 * 2 * (hcs - h_min) / 1000000#)
E_carga = HSC * 60 * 15 * 900 * Pot_cs_exc / (Pot_cs_max * 1000000000#)
htes_alm = htes_alm + E_carga
dif de entalpias
'q = (hcs - htv) * 1800 / (hcs - 560000)

```

```

        htes_alm = Application.Min(htes_alm, Masa_TES_max)
        h4 = 760000
        Modo = 2
    ElseIf (POT_CS < 360) And (htes_alm > 0.01) Then
        h4_2 = Worksheets("Datos").Cells(33, 3)
        h4_1 = Worksheets("Datos").Cells(32, 3)
        htesd_2 = Worksheets("Datos").Cells(36, 3)
        htesd_1 = Worksheets("Datos").Cells(35, 3)
        Htesd = 930000 * (hcs / h_max) * 900000
        Call tes_d_bajada(Htesd, htesd_1, htesd_2, h4, h4_1, h4_2, t, htes_alm)
        Pot_tes_exc = 360 - POT_CS
        Pot_tes_max = Int(1800 * (h_max - h_min) / 1000000#)
        E_descar = Htesd * 60 * 15 * 400 * Pot_tes_exc / (Pot_tes_max * 1000000000#)
        htes_alm = htes_alm - E_descar 'cálculo del % de caudal de sales en funcion de la
dif de entalpías
        htes_alm = Application.Max(htes_alm, 0)
        If dni = 0 And htes_alm > 0 Then
            Modo = 4
        Else
            Modo = 3
        End If
    Else
        h3 = 0
        h4 = 760000
        Modo = 1
    End If
    If dni = 0 And htes_alm = 0 Then
        Modo = 5
    End If

    'FT H_HTF-PotTV
    htv_2 = Worksheets("Datos").Cells(16, 3) 'htv_2 = 0
    htv_1 = Worksheets("Datos").Cells(15, 3) 'htv_1 = 0
    'htv = hcs + h4
    If (Modo = 3 Or Modo = 4) Then
        htv = Application.Max(hcs, h4)
    Else
        htv = hcs
    End If
    htv = Application.Min(htv, h_max)
    pot_2 = Worksheets("Datos").Cells(19, 3) 'Pot_2 = 0
    pot_1 = Worksheets("Datos").Cells(18, 3) 'Pot_1 = 0
    'pot = worksheets("Datos").Cells(18, 3) 'calcular
    If htv >= htv_1 Then
        Call bop_subida(htv, htv_1, htv_2, pot, pot_1, pot_2, t, pmax)
    ElseIf htv < htv_1 Then
        htv_1 = (htv + htv_2) / 2
        Call bop_bajada(htv, htv_1, htv_2, pot, pot_1, pot_2, t, pmax)
    End If

    POT_desenfoque = 0
    If POT_CS >= 360 And htes_alm >= 3520 Then
        If Modo = 3 Then
            POT_desenfoque = 0
        Else
            POT_desenfoque = POT_CS - 360
            POT_CS = 360
            Modo = 1
        End If
    End If

    'Visualizacion tabla
    worksheets("Salida").Cells(2, 2 + j + Contador_Hora * 4) = dni
    worksheets("Salida").Cells(3, 2 + j + Contador_Hora * 4) = hcs
    worksheets("Salida").Cells(4, 2 + j + Contador_Hora * 4) = pot
    worksheets("Salida").Cells(5, 2 + j + Contador_Hora * 4) = htes_alm
    worksheets("Salida").Cells(6, 2 + j + Contador_Hora * 4) = POT_CS
    worksheets("Salida").Cells(7, 2 + j + Contador_Hora * 4) = POT_desenfoque
    worksheets("Salida").Cells(8, 2 + j + Contador_Hora * 4) = Int((htv - 560000) * 1800 /
1000000#)
    worksheets("Salida").Cells(9, 2 + j + Contador_Hora * 4) = Int(Abs((hcs - 560000) *
1800 / 1000000# - (htv - 560000) * 1800 / 1000000#))
    worksheets("Salida").Cells(10, 2 + j + Contador_Hora * 4) = POW_S_TSF

    , tanquecaliente = htes_alm / 3520

    'Tanque sales calientes
    Select Case tanquecaliente
    Case 0 To 0.09
        worksheets("Simulador").tankc.Picture = worksheets("Simulador").tank10.Picture
    Case 0.1 To 0.19
        worksheets("Simulador").tankc.Picture = worksheets("Simulador").tank20.Picture
    Case 0.2 To 0.29
        worksheets("Simulador").tankc.Picture = worksheets("Simulador").tank30.Picture
    Case 0.3 To 0.39

```

```

        Worksheets("Simulador").tankc.Picture = Worksheets("Simulador").tank40.Picture
Case 0.4 To 0.49
        Worksheets("Simulador").tankc.Picture = Worksheets("Simulador").tank50.Picture
Case 0.5 To 0.59
        Worksheets("Simulador").tankc.Picture = Worksheets("Simulador").tank60.Picture
Case 0.6 To 0.69
        Worksheets("Simulador").tankc.Picture = Worksheets("Simulador").tank70.Picture
Case 0.7 To 0.79
        Worksheets("Simulador").tankc.Picture = Worksheets("Simulador").tank80.Picture
Case 0.8 To 0.89
        Worksheets("Simulador").tankc.Picture = Worksheets("Simulador").tank90.Picture
Case 0.9 To 1
        Worksheets("Simulador").tankc.Picture = Worksheets("Simulador").tank100.Picture

End Select

tanquefrio = 1 - tanquecaliente

'Tanque sales frias
Select Case tanquefrio
Case 0 To 0.09
        Worksheets("Simulador").tankf.Picture = Worksheets("Simulador").tank10.Picture
Case 0.1 To 0.19
        Worksheets("Simulador").tankf.Picture = Worksheets("Simulador").tank20.Picture
Case 0.2 To 0.29
        Worksheets("Simulador").tankf.Picture = Worksheets("Simulador").tank30.Picture
Case 0.3 To 0.39
        Worksheets("Simulador").tankf.Picture = Worksheets("Simulador").tank40.Picture
Case 0.4 To 0.49
        Worksheets("Simulador").tankf.Picture = Worksheets("Simulador").tank50.Picture
Case 0.5 To 0.59
        Worksheets("Simulador").tankf.Picture = Worksheets("Simulador").tank60.Picture
Case 0.6 To 0.69
        Worksheets("Simulador").tankf.Picture = Worksheets("Simulador").tank70.Picture
Case 0.7 To 0.79
        Worksheets("Simulador").tankf.Picture = Worksheets("Simulador").tank80.Picture
Case 0.8 To 0.89
        Worksheets("Simulador").tankf.Picture = Worksheets("Simulador").tank90.Picture
Case 0.9 To 1
        Worksheets("Simulador").tankf.Picture = Worksheets("Simulador").tank100.Picture

End Select

If Modo = 1 Then
    Call Modo11(pot)
ElseIf Modo = 2 Then
    Call Modo21
ElseIf Modo = 3 Then
    Call Modo31
ElseIf Modo = 4 Then
    Call Modo41
ElseIf Modo = 5 Then
    Call Modo51
End If

Worksheets("Datos").Cells(7, 3) = dni
Worksheets("Datos").Cells(8, 3) = dni_1
Worksheets("Datos").Cells(9, 3) = dni_2
Worksheets("Datos").Cells(10, 3) = hcs
Worksheets("Datos").Cells(11, 3) = hcs_1
Worksheets("Datos").Cells(12, 3) = hcs_2

Worksheets("Datos").Cells(15, 3) = htv
Worksheets("Datos").Cells(16, 3) = htv_1
Worksheets("Datos").Cells(17, 3) = htv_2
Worksheets("Datos").Cells(18, 3) = pot
Worksheets("Datos").Cells(19, 3) = pot_1
Worksheets("Datos").Cells(20, 3) = pot_2

Worksheets("Datos").Cells(23, 3) = Hex1
Worksheets("Datos").Cells(24, 3) = Hex_1
Worksheets("Datos").Cells(25, 3) = Hex_2
Worksheets("Datos").Cells(26, 3) = HSC
Worksheets("Datos").Cells(27, 3) = HSC_1
Worksheets("Datos").Cells(28, 3) = HSC_2
Worksheets("Datos").Cells(29, 3) = htes_alm

Worksheets("Datos").Cells(32, 3) = h4
Worksheets("Datos").Cells(33, 3) = h4_1
Worksheets("Datos").Cells(34, 3) = h4_2
Worksheets("Datos").Cells(35, 3) = Htesd
Worksheets("Datos").Cells(36, 3) = htesd_1
Worksheets("Datos").Cells(37, 3) = htesd_2

Next j

```

```

Next Contador_Hora

ahorro = 0
If Worksheets("Salida").Cells(73, 29).Value < 0 Then
ahorro = 0
Else
ahorro = Worksheets("Salida").Cells(73, 29).Value
End If

    Worksheets("Simulador").TextBox1.Value = (hora)           'Visualizacion hora/iteracion
    Worksheets("Simulador").TextBox2.Value = (dni)           'Visualizacion hora/iteracion
    Worksheets("Simulador").TextBox3.Value = POT_CS          'Visualizacion hora/iteracion
    Worksheets("Simulador").TextBox4.Value = Int((htv - 560000) * 1800 / 1000000#)
'Visualizacion hora/iteracion
    Worksheets("Simulador").TextBox5.Value = Int(pot)         'visualizacion
hora/iteracion
    Worksheets("Simulador").TextBox6.Value = Int(Abs((hcs - 560000) * 1800 / 1000000# -
(htv - 560000) * 1800 / 1000000#)) - Int(POT_desenfoque)    'visualizacion
hora/iteracion
    Worksheets("Simulador").TextBox7.Value = Int(POT_desenfoque)
    Worksheets("Simulador").TextBox8.Value = Int(htes_alm)    'visualizacion
hora/iteracion
    Worksheets("Simulador").TextBox11.Value = Round(Worksheets("Salida").Cells(73,
27).Value, 2)
    Worksheets("Simulador").TextBox12.Value = Round(ahorro, 2)

If Contador_Hora = 23 Then
MsgBox "Día finalizado. Compruebe datos de salida y reinicie"
End If

End Sub

```

Código de programación de pulsador “Sin sales”

```

Private Sub Simulación_sin_sales_Click()

Dim Contador_Hora As Integer                                'Contador del paso de horas

Dim num_horas As Integer                                    'Numero de horas que equivale a1
numero de interacciones
Dim hora As Integer                                         'Hora de simulacion

Dim dni                                                      'Variables del CS
Dim Hex1, Hex_1, Hex_2 As Double

Dim POW_TSF As Double                                       'Energia tanque sales frias
Dim POW_TSF_NOR As Double                                   'Energia tanque sales frias
normalizada (0-1)

'Potencias
Dim POT_CS As Integer                                       'Potencias

'Tanque de sales calientes
Dim Masa_TES_max, E_carga, E_descar As Double

Dim Modo As Integer                                         'Modo de operacion
Dim pmax As Boolean

Contador_Hora = worksheets("Datos").Cells(2, 3)
Masa_TES_max = 3520000000000# / 10000000000#

'Adquisicion datos

worksheets("Datos").Cells(3, 3) = 23                        'num_horas = 23
worksheets("Datos").Cells(4, 3) = 4                        'num_cuartos = 4
worksheets("Datos").Cells(5, 3) = 760000                   'h_max = 760000
worksheets("Datos").Cells(6, 3) = 560000                   'h_max = 760000
'FT DNI-Hcampo
worksheets("Datos").Cells(7, 3) = 0                         'dni = 0
worksheets("Datos").Cells(8, 3) = 0                         'dni_1 = 0
worksheets("Datos").Cells(9, 3) = 0                         'dni_2 = 0
worksheets("Datos").Cells(10, 3) = 700000                   'hcs = 700000
worksheets("Datos").Cells(11, 3) = 700000                   'hcs_1 = 700000
worksheets("Datos").Cells(12, 3) = 700000                   'hcs_2 = 700000
'FT H-HTF-PottTV
worksheets("Datos").Cells(15, 3) = 559000                   'htv = 700000
worksheets("Datos").Cells(16, 3) = 559000                   'htv_1 = 700000
worksheets("Datos").Cells(17, 3) = 559000                   'htv_2 = 700000
worksheets("Datos").Cells(18, 3) = 0                         'Pot = 0
worksheets("Datos").Cells(19, 3) = 0                         'Pot_1 = 0
worksheets("Datos").Cells(20, 3) = 0                         'Pot_2 = 0
'FT HEX-HSC-Carga
worksheets("Datos").Cells(23, 3) = 0                         'Hex = 0
worksheets("Datos").Cells(24, 3) = 0                         'Hex_1 = 0
worksheets("Datos").Cells(25, 3) = 0                         'Hex_2 = 0
worksheets("Datos").Cells(26, 3) = 0                         'HSC = 0
worksheets("Datos").Cells(27, 3) = 0                         'HSC_1 = 0
worksheets("Datos").Cells(28, 3) = 0                         'HSC_2 = 0
worksheets("Datos").Cells(29, 3) = 0                         'htes_alm = 0
'FT HEX-HSC-Descarga
worksheets("Datos").Cells(32, 3) = 760000                   'h4 = 0
worksheets("Datos").Cells(33, 3) = 760000                   'h4_1 = 0
worksheets("Datos").Cells(34, 3) = 760000                   'h4_2 = 0
worksheets("Datos").Cells(35, 3) = 930000                   'htesd = 0
worksheets("Datos").Cells(36, 3) = 930000                   'htesd_1 = 0
worksheets("Datos").Cells(37, 3) = 930000                   'htesd_2 = 0

'cont = 0
,
,
,
'h_max = 767832.8457
,
'h_1 = 0
'h_2 = 0
'pot_1 = 0
'pot_2 = 0
'h3_1 = 0
'h3_2 = 0
'h4 = 0
'h4_1 = 687832.8

```

```

'h4_2 = 687832.8
'htes = 0
'htes_1 = 0
'htes_2 = 0
'htesd = 900000
'htesd_1 = 900000
'htesd_2 = 900000
'htes_alm = 0

For Contador_Hora = 0 To 23
num_horas = Worksheets("Datos").Cells(3, 3)
num_cuartos = Worksheets("Datos").Cells(4, 3)
h_max = Worksheets("Datos").Cells(5, 3)
h_min = Worksheets("Datos").Cells(6, 3)
hora = Worksheets("Entrada").Cells(3 + Contador_Hora, 2)
actual Cells(Fila,Columna)
Call colector1(Contador_Hora)

For j = 1 To num_cuartos
'Coger valores de la base de datos
dni = Worksheets("Datos").Cells(7, 3)
dni_1 = Worksheets("Datos").Cells(8, 3)
dni_2 = Worksheets("Datos").Cells(9, 3)

hcs = Worksheets("Datos").Cells(10, 3)
hcs_1 = Worksheets("Datos").Cells(11, 3)
hcs_2 = Worksheets("Datos").Cells(12, 3)

htv = Worksheets("Datos").Cells(15, 3)
htv_1 = Worksheets("Datos").Cells(16, 3)
htv_2 = Worksheets("Datos").Cells(17, 3)

pot = Worksheets("Datos").Cells(18, 3)
pot_1 = Worksheets("Datos").Cells(19, 3)
pot_2 = Worksheets("Datos").Cells(20, 3)

Hex1 = Worksheets("Datos").Cells(23, 3)
Hex_1 = Worksheets("Datos").Cells(24, 3)
Hex_2 = Worksheets("Datos").Cells(25, 3)

HSC = Worksheets("Datos").Cells(26, 3)
HSC_1 = Worksheets("Datos").Cells(27, 3)
HSC_2 = Worksheets("Datos").Cells(28, 3)
htes_alm = Worksheets("Datos").Cells(29, 3)

h4 = Worksheets("Datos").Cells(32, 3)
h4_1 = Worksheets("Datos").Cells(33, 3)
h4_2 = Worksheets("Datos").Cells(34, 3)

Htesd = Worksheets("Datos").Cells(35, 3)
htesd_1 = Worksheets("Datos").Cells(36, 3)
htesd_2 = Worksheets("Datos").Cells(37, 3)

'FT campo solar
dni_2 = Worksheets("Datos").Cells(8, 3)
anterior
dni_1 = Worksheets("Datos").Cells(7, 3)
anterior
dni = Worksheets("Entrada").Cells(3 + Contador_Hora, 3)
DNI
hcs_2 = Worksheets("Datos").Cells(11, 3)
anterior
hcs_1 = Worksheets("Datos").Cells(10, 3)
anterior
Call camposolar_bajada(dni, dni_1, dni_2, hcs, hcs_1, hcs_2, t)
hcs
hcs = Application.Max(hcs, hmin)
POT_CS = Int((hcs - h_min) * 1800 / 1000000#)
salida del campo solar en MW POW=Ah*q

h3 = 0
h4 = 760000
Modo = 1
If dni = 0 And htes_alm = 0 Then
Modo = 5
End If

'FT H_HTF-PotTV
htv_2 = Worksheets("Datos").Cells(16, 3)
htv_1 = Worksheets("Datos").Cells(15, 3)
'htv = hcs + h4
htv = hcs
htv = Application.Min(htv, h_max)

'num_horas
'num_cuartos
'h_max = 0
'h_min = 0
'Hora/iteracion

```

```

pot_2 = worksheets("Datos").Cells(19, 3)          'Pot_2 = 0
pot_1 = worksheets("Datos").Cells(18, 3)          'Pot_1 = 0
'pot = worksheets("Datos").Cells(18, 3)           'calcular
If htv >= htv_1 Then
    Call bop_subida(htv, htv_1, htv_2, pot, pot_1, pot_2, t, pmax)
ElseIf htv < htv_1 Then
    htv_1 = (htv + htv_2) / 2
    Call bop_bajada(htv, htv_1, htv_2, pot, pot_1, pot_2, t, pmax)
End If

POT_desenfoque = 0
If POT_CS >= 360 And htes_alm >= 3520 Then
    If Modo = 3 Then
        POT_desenfoque = 0
    Else
        POT_desenfoque = POT_CS - 360
        POT_CS = 360
        Modo = 1
    End If
End If

'Visualization tabla
worksheets("Salida").Cells(2, 2 + j + Contador_Hora * 4) = dni
worksheets("Salida").Cells(3, 2 + j + Contador_Hora * 4) = hcs
worksheets("Salida").Cells(4, 2 + j + Contador_Hora * 4) = pot
worksheets("Salida").Cells(5, 2 + j + Contador_Hora * 4) = htes_alm
worksheets("Salida").Cells(6, 2 + j + Contador_Hora * 4) = POT_CS
worksheets("Salida").Cells(7, 2 + j + Contador_Hora * 4) = POT_desenfoque
worksheets("Salida").Cells(8, 2 + j + Contador_Hora * 4) = Int((htv - 560000) * 1800 /
1000000#)
worksheets("Salida").Cells(9, 2 + j + Contador_Hora * 4) = Int(Abs((hcs - 560000) *
1800 / 1000000# - (htv - 560000) * 1800 / 1000000#))
worksheets("Salida").Cells(10, 2 + j + Contador_Hora * 4) = POW_S_TSF

worksheets("Simulador").tankc.Picture = worksheets("Simulador").tank10no.Picture
worksheets("Simulador").tankf.Picture = worksheets("Simulador").tank100no.Picture

If Modo = 1 Then
    Call Modo11(pot)
ElseIf Modo = 5 Then
    Call Modo51
End If

worksheets("Datos").Cells(7, 3) = dni
worksheets("Datos").Cells(8, 3) = dni_1
worksheets("Datos").Cells(9, 3) = dni_2
worksheets("Datos").Cells(10, 3) = hcs
worksheets("Datos").Cells(11, 3) = hcs_1
worksheets("Datos").Cells(12, 3) = hcs_2

worksheets("Datos").Cells(15, 3) = htv
worksheets("Datos").Cells(16, 3) = htv_1
worksheets("Datos").Cells(17, 3) = htv_2
worksheets("Datos").Cells(18, 3) = pot
worksheets("Datos").Cells(19, 3) = pot_1
worksheets("Datos").Cells(20, 3) = pot_2

worksheets("Datos").Cells(23, 3) = Hex1
worksheets("Datos").Cells(24, 3) = Hex_1
worksheets("Datos").Cells(25, 3) = Hex_2
worksheets("Datos").Cells(26, 3) = HSC
worksheets("Datos").Cells(27, 3) = HSC_1
worksheets("Datos").Cells(28, 3) = HSC_2
worksheets("Datos").Cells(29, 3) = htes_alm

worksheets("Datos").Cells(32, 3) = h4
worksheets("Datos").Cells(33, 3) = h4_1
worksheets("Datos").Cells(34, 3) = h4_2
worksheets("Datos").Cells(35, 3) = Htesd
worksheets("Datos").Cells(36, 3) = htesd_1
worksheets("Datos").Cells(37, 3) = htesd_2

Next j

Next Contador_Hora

worksheets("Simulador").TextBox1.Value = (hora)          'Visualizacion hora/iteracion
worksheets("Simulador").TextBox2.Value = (dni)          'Visualizacion hora/iteracion
worksheets("Simulador").TextBox3.Value = POT_CS         'Visualizacion hora/iteracion
worksheets("Simulador").TextBox4.Value = Int((htv - 560000) * 1800 / 1000000#)
'Visualizacion hora/iteracion

```

```

    worksheets("Simulador").TextBox5.Value = Int(pot)           'visualizacion
hora/iteracion
    worksheets("Simulador").TextBox6.Value = Int(Abs((hcs - 560000) * 1800 / 1000000# -
(htv - 560000) * 1800 / 1000000#)) - Int(POT_desenfoque)       'visualizacion
hora/iteracion
    worksheets("Simulador").TextBox7.Value = Int(POT_desenfoque)
    worksheets("Simulador").TextBox8.Value = Int(htes_alm)      'visualizacion
hora/iteracion
    worksheets("Simulador").TextBox11.Value = Round(worksheets("Salida").Cells(73,
27).Value, 2)
    worksheets("Salida").Cells(73, 28).Value = worksheets("Salida").Cells(73, 27).Value

If Contador_Hora = 23 Then
MsgBox "Día finalizado. Compruebe datos de salida y reinicie"
End If

End Sub

```

Código de programación de pulsador “Paso a paso”

```

Private Sub CommandButton1_Click()
Dim Contador_Hora As Integer                                'Contador del paso de horas

Dim num_horas As Integer                                    'Numero de horas que equivale a l
numero de interacciones
Dim hora As Integer                                         'Hora de simulacion

Dim dni                                                     'Variables del CS
Dim Hex1, Hex_1, Hex_2 As Double

Dim POW_TSF As Double                                       'Energia tanque sales frias
Dim POW_TSF_NOR As Double                                   'Energia tanque sales frias
normalizada (0-1)

'Potencias
Dim POT_CS As Integer                                       'Potencias
Dim POT_desenfoque As Integer

'Tanque de sales calientes
Dim Masa_TES_max, E_carga, E_descar As Double

Dim Modo As Integer                                         'Modo de operacion
Dim pmax As Boolean

Contador_Hora = worksheets("Datos").Cells(2, 3)
Masa_TES_max = 3520000000000# / 10000000000#

'Iniciallizacion de los datos
If Contador_Hora = 0 Then
    'MsgBox "inicianado"
    worksheets("Datos").Cells(3, 3) = 23                    'num_horas = 23
    worksheets("Datos").Cells(4, 3) = 4                     'num_cuartos = 4
    worksheets("Datos").Cells(5, 3) = 760000                 'h_max = 760000
    worksheets("Datos").Cells(6, 3) = 560000                 'h_max = 760000
    'FT DNI-Hcampo
    worksheets("Datos").Cells(7, 3) = 0                       'dni = 0
    worksheets("Datos").Cells(8, 3) = 0                       'dni_1 = 0
    worksheets("Datos").Cells(9, 3) = 0                       'dni_2 = 0
    worksheets("Datos").Cells(10, 3) = 700000                 'hcs = 700000
    worksheets("Datos").Cells(11, 3) = 700000                 'hcs_1 = 700000
    worksheets("Datos").Cells(12, 3) = 700000                 'hcs_2 = 700000
    'FT H-HTF-PottTV
    worksheets("Datos").Cells(15, 3) = 559000                 'htv = 700000
    worksheets("Datos").Cells(16, 3) = 559000                 'htv_1 = 700000
    worksheets("Datos").Cells(17, 3) = 559000                 'htv_2 = 700000
    worksheets("Datos").Cells(18, 3) = 0                       'Pot = 0
    worksheets("Datos").Cells(19, 3) = 0                       'Pot_1 = 0
    worksheets("Datos").Cells(20, 3) = 0                       'Pot_2 = 0
    'FT HEX-HSC-Carga
    worksheets("Datos").Cells(23, 3) = 0                       'Hex = 0
    worksheets("Datos").Cells(24, 3) = 0                       'Hex_1 = 0
    worksheets("Datos").Cells(25, 3) = 0                       'Hex_2 = 0
    worksheets("Datos").Cells(26, 3) = 0                       'HSC = 0
    worksheets("Datos").Cells(27, 3) = 0                       'HSC_1 = 0
    worksheets("Datos").Cells(28, 3) = 0                       'HSC_2 = 0
    worksheets("Datos").Cells(29, 3) = 0                       'htes_alm = 0
    'FT HEX-HSC-Descarga
    worksheets("Datos").Cells(32, 3) = 760000                 'h4 = 0
    worksheets("Datos").Cells(33, 3) = 760000                 'h4_1 = 0
    worksheets("Datos").Cells(34, 3) = 760000                 'h4_2 = 0
    worksheets("Datos").Cells(35, 3) = 930000                 'htesd = 0
    worksheets("Datos").Cells(36, 3) = 930000                 'htesd_1 = 0
    worksheets("Datos").Cells(37, 3) = 930000                 'htesd_2 = 0
End If

Call colector1(Contador_Hora)

If Contador_Hora < 24 Then
    num_horas = worksheets("Datos").Cells(3, 3)              'num_horas
    num_cuartos = worksheets("Datos").Cells(4, 3)             'num_cuartos
    h_max = worksheets("Datos").Cells(5, 3)                   'h_max = 0
    h_min = worksheets("Datos").Cells(6, 3)                   'h_max = 0
    hora = worksheets("Entrada").Cells(3 + Contador_Hora, 2)  'Hora/iteracion
    actual Cells(Fila,Columna)

    For j = 1 To num_cuartos
        'Coger valores de la base de datos
        dni = worksheets("Datos").Cells(7, 3)                'dni = 0
        dni_1 = worksheets("Datos").Cells(8, 3)               'dni_1 = 0
    
```

```

dni_2 = worksheets("Datos").Cells(9, 3)      'dni_2 = 0
hcs = worksheets("Datos").Cells(10, 3)      'hcs = 0
hcs_1 = worksheets("Datos").Cells(11, 3)    'hcs_1 = 0
hcs_2 = worksheets("Datos").Cells(12, 3)    'hcs_2 = 0

htv = worksheets("Datos").Cells(15, 3)      'htv = 0
htv_1 = worksheets("Datos").Cells(16, 3)    'htv_1 = 0
htv_2 = worksheets("Datos").Cells(17, 3)    'htv_2 = 0

pot = worksheets("Datos").Cells(18, 3)      'Pot = 0
pot_1 = worksheets("Datos").Cells(19, 3)    'Pot_1 = 0
pot_2 = worksheets("Datos").Cells(20, 3)    'Pot_2 = 0

Hex1 = worksheets("Datos").Cells(23, 3)     'Hex = 0
Hex_1 = worksheets("Datos").Cells(24, 3)    'Hex_1 = 0
Hex_2 = worksheets("Datos").Cells(25, 3)    'Hex_2 = 0

HSC = worksheets("Datos").Cells(26, 3)      'HSC = 0
HSC_1 = worksheets("Datos").Cells(27, 3)    'HSC_1 = 0
HSC_2 = worksheets("Datos").Cells(28, 3)    'HSC_2 = 0
htes_alm = worksheets("Datos").Cells(29, 3) 'htes_alm = 0

h4 = worksheets("Datos").Cells(32, 3)       'h4 = 0
h4_1 = worksheets("Datos").Cells(33, 3)    'h4_1 = 0
h4_2 = worksheets("Datos").Cells(34, 3)    'h4_2 = 0

htesd = worksheets("Datos").Cells(35, 3)    'htesd = 0
htesd_1 = worksheets("Datos").Cells(36, 3) 'htesd_1 = 0
htesd_2 = worksheets("Datos").Cells(37, 3) 'htesd_2 = 0

'FT campo solar
dni_2 = worksheets("Datos").Cells(8, 3)      'dni_1
anterior
dni_1 = worksheets("Datos").Cells(7, 3)      'dni
anterior
dni = worksheets("Entrada").Cells(3 + Contador_Hora, 3) 'tabla del
DNI
hcs_2 = worksheets("Datos").Cells(11, 3)     'hcs_1
anterior
hcs_1 = worksheets("Datos").Cells(10, 3)     'hcs_1
anterior
Call camposolar_bajada(dni, dni_1, dni_2, hcs, hcs_1, hcs_2, t) 'calcular
hcs
hcs = Application.Max(hcs, hmin)              'limite hcs
POT_CS = Int((hcs - h_min) * 1800 / 1000000#) 'Potencia de
salida del campo solar en MW POW=Ah*q

If (POT_CS >= 360) Then                        'sobra energia
    'If (hcs > h_max) Then                    'sobra energia
        Hex_2 = worksheets("Datos").Cells(24, 3) 'Hex_2 = 0
        Hex_1 = worksheets("Datos").Cells(23, 3) 'Hex_1 = 0
        Hex1 = hcs 'hcs - h_max ' calculo incorrecto
        HSC_2 = worksheets("Datos").Cells(27, 3) 'HSC_2 = 0
        HSC_1 = worksheets("Datos").Cells(26, 3) 'HSC_1 = 0
        Call tes_c_bajada(Hex1, Hex_1, Hex_2, HSC, HSC_1, HSC_2, t, htes_alm)
        Pot_cs_exc = POT_CS - 360
        Pot_cs_max = Int(350 * 2 * (hcs - h_min) / 1000000#)
        E_carga = HSC * 60 * 15 * 900 * Pot_cs_exc / (Pot_cs_max * 1000000000#)
        htes_alm = htes_alm + E_carga 'calculo del % de caudal de sales en funcion de la
dif de entalpias
        'q = (hcs - htv) * 1800 / (hcs - 560000)
        htes_alm = Application.Min(htes_alm, Masa_TES_max)
        h4 = 760000
        Modo = 2
    ElseIf (POT_CS < 360) And (htes_alm > 0.01) Then
        h4_2 = worksheets("Datos").Cells(33, 3)
        h4_1 = worksheets("Datos").Cells(32, 3)
        htesd_2 = worksheets("Datos").Cells(36, 3)
        htesd_1 = worksheets("Datos").Cells(35, 3)
        Htesd = 930000 'hcs / h_max * 900000
        Call tes_d_bajada(Htesd, htesd_1, htesd_2, h4, h4_1, h4_2, t, htes_alm)
        Pot_tes_exc = 360 - POT_CS
        Pot_tes_max = Int(1800 * (h_max - h_min) / 1000000#)
        E_descar = Htesd * 60 * 15 * 400 * Pot_tes_exc / (Pot_tes_max * 1000000000#)
        htes_alm = htes_alm - E_descar 'calculo del % de caudal de sales en funcion de la
dif de entalpias
        htes_alm = Application.Max(htes_alm, 0)
        If dni = 0 And htes_alm > 0 Then
            Modo = 4
        Else
            Modo = 3
        End If
    Else
        h3 = 0
        h4 = 760000

```

```

    Modo = 1
End If
If dni = 0 And htes_alm = 0 Then
    Modo = 5
End If

'FT H_HTF-PotTV
htv_2 = worksheets("Datos").Cells(16, 3)          'htv_2 = 0
htv_1 = worksheets("Datos").Cells(15, 3)          'htv_1 = 0
'htv = hcs + h4
If (Modo = 3 Or Modo = 4) Then
    htv = Application.Max(hcs, h4)
Else
    htv = hcs
End If
htv = Application.Min(htv, h_max)
pot_2 = worksheets("Datos").Cells(19, 3)          'Pot_2 = 0
pot_1 = worksheets("Datos").Cells(18, 3)          'Pot_1 = 0
'pot = worksheets("Datos").Cells(18, 3)          'calcular
If htv >= htv_1 Then
    Call bop_subida(htv, htv_1, htv_2, pot, pot_1, pot_2, t, pmax)
ElseIf htv < htv_1 Then
    htv_1 = (htv + htv_2) / 2
    Call bop_bajada(htv, htv_1, htv_2, pot, pot_1, pot_2, t, pmax)
End If

    POT_desenfoque = 0
    If POT_CS >= 360 And htes_alm >= 3520 Then
        If Modo = 3 Then
            POT_desenfoque = 0
        Else
            POT_desenfoque = POT_CS - 360
        End If
        POT_CS = 360
        Modo = 1
    End If
End If

'Visualizacion tabla
worksheets("Salida").Cells(2, 2 + j + Contador_Hora * 4) = dni
worksheets("Salida").Cells(3, 2 + j + Contador_Hora * 4) = hcs
worksheets("Salida").Cells(4, 2 + j + Contador_Hora * 4) = pot
worksheets("Salida").Cells(5, 2 + j + Contador_Hora * 4) = htes_alm
worksheets("Salida").Cells(6, 2 + j + Contador_Hora * 4) = POT_CS
worksheets("Salida").Cells(7, 2 + j + Contador_Hora * 4) = POT_desenfoque
worksheets("Salida").Cells(8, 2 + j + Contador_Hora * 4) = Int((htv - 560000) * 1800 /
1000000#)

    worksheets("Salida").Cells(9, 2 + j + Contador_Hora * 4) = Int(Abs((hcs - 560000) *
1800 / 1000000# - (htv - 560000) * 1800 / 1000000#))
    worksheets("Salida").Cells(10, 2 + j + Contador_Hora * 4) = POW_S_TSF

, tanquecaliente = htes_alm / 3520

'Tanque sales calientes
Select Case tanquecaliente
Case 0 To 0.09
    worksheets("Simulador").tankc.Picture = worksheets("Simulador").tank10.Picture
Case 0.1 To 0.19
    worksheets("Simulador").tankc.Picture = worksheets("Simulador").tank20.Picture
Case 0.2 To 0.29
    worksheets("Simulador").tankc.Picture = worksheets("Simulador").tank30.Picture
Case 0.3 To 0.39
    worksheets("Simulador").tankc.Picture = worksheets("Simulador").tank40.Picture
Case 0.4 To 0.49
    worksheets("Simulador").tankc.Picture = worksheets("Simulador").tank50.Picture
Case 0.5 To 0.59
    worksheets("Simulador").tankc.Picture = worksheets("Simulador").tank60.Picture
Case 0.6 To 0.69
    worksheets("Simulador").tankc.Picture = worksheets("Simulador").tank70.Picture
Case 0.7 To 0.79
    worksheets("Simulador").tankc.Picture = worksheets("Simulador").tank80.Picture
Case 0.8 To 0.89
    worksheets("Simulador").tankc.Picture = worksheets("Simulador").tank90.Picture
Case 0.9 To 1
    worksheets("Simulador").tankc.Picture = worksheets("Simulador").tank100.Picture
End Select

tanquefrio = 1 - tanquecaliente

'Tanque sales frias
Select Case tanquefrio
Case 0 To 0.09
    worksheets("Simulador").tankf.Picture = worksheets("Simulador").tank10.Picture
Case 0.1 To 0.19

```

```

        Worksheets("Simulador").tankf.Picture = Worksheets("Simulador").tank20.Picture
    Case 0.2 To 0.29
        Worksheets("Simulador").tankf.Picture = Worksheets("Simulador").tank30.Picture
    Case 0.3 To 0.39
        Worksheets("Simulador").tankf.Picture = Worksheets("Simulador").tank40.Picture
    Case 0.4 To 0.49
        Worksheets("Simulador").tankf.Picture = Worksheets("Simulador").tank50.Picture
    Case 0.5 To 0.59
        Worksheets("Simulador").tankf.Picture = Worksheets("Simulador").tank60.Picture
    Case 0.6 To 0.69
        Worksheets("Simulador").tankf.Picture = Worksheets("Simulador").tank70.Picture
    Case 0.7 To 0.79
        Worksheets("Simulador").tankf.Picture = Worksheets("Simulador").tank80.Picture
    Case 0.8 To 0.89
        Worksheets("Simulador").tankf.Picture = Worksheets("Simulador").tank90.Picture
    Case 0.9 To 1
        Worksheets("Simulador").tankf.Picture = Worksheets("Simulador").tank100.Picture
End Select

If Modo = 1 Then
    Call Modo11(pot)
ElseIf Modo = 2 Then
    Call Modo21
ElseIf Modo = 3 Then
    Call Modo31
ElseIf Modo = 4 Then
    Call Modo41
ElseIf Modo = 5 Then
    Call Modo51
End If

Worksheets("Datos").Cells(7, 3) = dni
Worksheets("Datos").Cells(8, 3) = dni_1
Worksheets("Datos").Cells(9, 3) = dni_2
Worksheets("Datos").Cells(10, 3) = hcs
Worksheets("Datos").Cells(11, 3) = hcs_1
Worksheets("Datos").Cells(12, 3) = hcs_2

Worksheets("Datos").Cells(15, 3) = htv
Worksheets("Datos").Cells(16, 3) = htv_1
Worksheets("Datos").Cells(17, 3) = htv_2
Worksheets("Datos").Cells(18, 3) = pot
Worksheets("Datos").Cells(19, 3) = pot_1
Worksheets("Datos").Cells(20, 3) = pot_2

Worksheets("Datos").Cells(23, 3) = Hex1
Worksheets("Datos").Cells(24, 3) = Hex_1
Worksheets("Datos").Cells(25, 3) = Hex_2
Worksheets("Datos").Cells(26, 3) = HSC
Worksheets("Datos").Cells(27, 3) = HSC_1
Worksheets("Datos").Cells(28, 3) = HSC_2
Worksheets("Datos").Cells(29, 3) = htes_alm

Worksheets("Datos").Cells(32, 3) = h4
Worksheets("Datos").Cells(33, 3) = h4_1
Worksheets("Datos").Cells(34, 3) = h4_2
Worksheets("Datos").Cells(35, 3) = Htesd
Worksheets("Datos").Cells(36, 3) = htesd_1
Worksheets("Datos").Cells(37, 3) = htesd_2

Next j

Worksheets("Datos").Cells(2, 3) = Contador_Hora + 1

ahorro = 0
If Worksheets("Salida").Cells(73, 29).Value < 0 Then
    ahorro = 0
Else
    ahorro = Worksheets("Salida").Cells(73, 29).Value
End If

    Worksheets("Simulador").TextBox1.Value = (hora)           'Visualizacion hora/iteracion
    Worksheets("Simulador").TextBox2.Value = (dni)           'Visualizacion hora/iteracion
    Worksheets("Simulador").TextBox3.Value = POT_CS           'Visualizacion hora/iteracion
    Worksheets("Simulador").TextBox4.Value = Int((htv - 560000) * 1800 / 1000000#)
'Visualizacion hora/iteracion
    Worksheets("Simulador").TextBox5.Value = Int(pot)           'visualizacion
hora/iteracion
    Worksheets("Simulador").TextBox6.Value = Int(Abs((hcs - 560000) * 1800 / 1000000# -
(htv - 560000) * 1800 / 1000000#)) - Int(POT_desenfoque)     'visualizacion
hora/iteracion
    Worksheets("Simulador").TextBox7.Value = Int(POT_desenfoque)
    Worksheets("Simulador").TextBox8.Value = Int(htes_alm)     'visualizacion
hora/iteracion

```

```
    Worksheets("Simulador").TextBox11.Value = Round(Worksheets("Salida").Cells(73,  
27).Value, 2)  
    Worksheets("Simulador").TextBox12.Value = Round(ahorro, 2)  
  
Else  
MsgBox "Día finalizado. Compruebe datos de salida y reinicie"  
End If  
  
End Sub
```

Código de programación de pulsador “Reinicio”

```
Private Sub CommandButton2_Click()
Application.ScreenUpdating = False
worksheets("Datos").Cells(2, 3) = 0
Sheets("Salida").Select
worksheets("Salida").Range("C2:CU10").Select
worksheets("Salida").Range("CU10").Activate
Selection.ClearContents
Sheets("Simulador").Select

hora = "-"
dni = "-"
hcs = "-"
htv = "-"
pot = "-"
Hex1 = "-"
HSC = "-"
htes_alm = "-"
mes = "-"
dia = "-"
POT_desenfoque = "-"
euros = "-"
euros2 = "-"

worksheets("Simulador").TextBox1.Value = hora           'visualizacion hora/iteracion
worksheets("Simulador").TextBox2.Value = dni           'visualizacion hora/iteracion
worksheets("Simulador").TextBox3.Value = hcs           'visualizacion hora/iteracion
worksheets("Simulador").TextBox4.Value = htv           'visualizacion hora/iteracion
worksheets("Simulador").TextBox5.Value = pot           'visualizacion hora/iteracion
worksheets("Simulador").TextBox6.Value = Hex1           'visualizacion hora/iteracion
worksheets("Simulador").TextBox7.Value = POT_desenfoque
worksheets("Simulador").TextBox8.Value = htes_alm       'visualizacion hora/iteracion
worksheets("Simulador").TextBox9.Value = mes           'visualizacion hora/iteracion
worksheets("Simulador").TextBox10.Value = dia           'visualizacion hora/iteracion
worksheets("Simulador").TextBox11.Value = euros
worksheets("Simulador").TextBox12.Value = euros2

Call Modo51
Call sinsol1
worksheets("Simulador").tankc.Picture = worksheets("Simulador").tank10.Picture
worksheets("Simulador").tankf.Picture = worksheets("Simulador").tank100.Picture
worksheets("Simulador").cin_1.Picture = worksheets("Simulador").c_0.Picture
worksheets("Simulador").cin_2.Picture = worksheets("Simulador").c_0.Picture
worksheets("Simulador").cin_3.Picture = worksheets("Simulador").c_0.Picture
worksheets("Simulador").cin_4.Picture = worksheets("Simulador").c_0.Picture
Sheets("Simulador").Select
Range("P100").Select
End Sub
```

Código de programación de pulsador “Calcular DNI”

```

Sub Macro1()
'
' Macro1 Macro
'
'
Application.ScreenUpdating = False
Dim mes As Integer
Dim mes2 As Integer
Dim dia As Integer
Dim dia2 As Integer
Dim i As Integer
Dim j As Integer
Dim k As Integer
Dim l As Integer
Dim rep As Integer

Sheets("Simulador").Select
'Sheets("Calculo_DNI").Select
'Range("P2").Select
'mes = ActiveCell.Value
'Range("P3").Select
'dia = ActiveCell.Value
'Cells(4, 2).Select

mes = Worksheets("Simulador").TextBox9.Value
dia = Worksheets("Simulador").TextBox10.Value

Sheets("Entrada").Select
Cells(29, 5).Value = mes
Cells(29, 6).Value = dia

i = 4
k = 0
l = 0
rep = 0

For i = 4 To 8764
    Sheets("Calculo_DNI").Select
    Cells(i, 2).Select
    mes2 = ActiveCell.Value
    If mes2 = mes And rep = 0 Then
        For j = i To j + 744 * 12
            Sheets("Calculo_DNI").Select
            Cells(j, 3).Select
            dia2 = ActiveCell.Value
            If dia2 = dia Then

                For k = 0 To k = 23
                    Sheets("Calculo_DNI").Select
                    Cells(j + k, 4).Select
                    Selection.Copy
                    Sheets("Entrada").Select
                    Cells(l + 3, 2).Select
                    ActiveSheet.Paste
                    Sheets("Calculo_DNI").Select
                    Cells(j + k, 5).Select
                    Selection.Copy
                    Sheets("Entrada").Select
                    Cells(l + 3, 3).Select
                    ActiveSheet.Paste
                    l = l + 1
                Next

                End If
            rep = 1
        Next
    End If
Next
    Sheets("Entrada").Select
    Range("B27:C308").Select
    Application.CutCopyMode = False
    Selection.ClearContents
    Range("B2").Select
    Sheets("Entrada").Select

'
End Sub

```

Código de programación de pulsador “Ayuda”

```
Public Sub ayuda()  
MsgBox " -Paso 1: Escriba el mes y el día." & vbNewLine & " -Paso 2: Haga click en  
Calcular DNI y vuelva a esta página. " & vbNewLine & " -Paso 3: Haga click en  
Automático, Sin sales o Paso a paso según el modo que desee." & vbNewLine & " -Paso 4:  
Si se desea reiniciar el ensayo, pulsar Reinicio" & vbNewLine & "" & vbNewLine & " Hay  
que tener en cuenta que el modo paso a paso se debe pinchar varias veces, ya que avanza  
hora a hora." & vbNewLine & "" & vbNewLine & " Si se desea saber el ahorro, primero  
ejecutar el modo Sin sales y luego el modo Automático o Paso a paso."  
  
End Sub
```

Código de programación: Cálculo del DNI

```
Public Sub camposolar_bajada(dni, dni_1, dni_2, h, h_1, h_2, t)
    Dim yo, t1, t2, td, k As Double
    yo = -213000
    t1 = 0.13272
    t2 = 0.006241
    td = 0.046
    k = 88.7
    t = 0.02
    dt = t

    If (dni <= 350) Then
        h = 400 * dni + 560000
    Else
        h = (((dni + (t1 * dni_1 / dt) + (2 * t2 * dni_1 / dt ^ 2) - (t2 * dni_2 / dt ^ 2)) /
        (1 + (t1 / dt) + (t2 / dt ^ 2))) * k + (td * h_1 / dt)) / (1 + td / dt) - yo
    End If
End Sub

Public Sub camposolar_subida(dni, dni_1, dni_2, h, h_1, h_2, t)
    Dim yo, t1, t2, td, k As Double
    yo = -113000
    t1 = 0.24744658
    t2 = 0.0215708
    td = 0.07692
    k = 470
    t = 0.02
    dt = t

    h_2 = h_1
    h_1 = h
    h = (((dni + (t1 * dni_1 / dt) + (2 * t2 * dni_1 / dt ^ 2) - (t2 * dni_2 / dt ^ 2)) /
    (1 + (t1 / dt) + (t2 / dt ^ 2))) * k + (td * h_1 / dt)) / (1 + td / dt) - yo
    'h = DMax(h, 700000)
End Sub
```

Código de programación: Cálculo de carga y descarga de sales

```

Public Sub tes_c_bajada(h3, h3_1, h3_2, htes, htes_1, htes_2, t, htes_alm)
    Dim yo, t1, t2, td, k As Double
    yo = -402000
    t1 = 0.04457991
    t2 = 0.00067387
    td = 0.0091
    k = 0.443764
    t = 0.02
    dt = t

    htes = (((h3 + (t1 * h3_1 / dt) + (2 * t2 * h3_1 / dt ^ 2) - (t2 * h3_2 / dt ^ 2)) /
    (1 + (t1 / dt) + (t2 / dt ^ 2))) * k + (td * htes_1 / dt)) / (1 + td / dt) - yo

End Sub

Public Sub tes_c_subida(h3, h3_1, h3_2, htes, htes_1, htes_2, t)
    Dim yo, t1, t2, td, k As Double
    yo = -311300
    t1 = 0.04598396
    t2 = 0.00054648
    td = 0.01306
    k = 0.534996
    t = 0.02
    dt = t

    htes_2 = htes_1
    htes_1 = htes
    htes = (((h3 + (t1 * h3_1 / dt) + (2 * t2 * h3_1 / dt ^ 2) - (t2 * h3_2 / dt ^ 2)) /
    (1 + (t1 / dt) + (t2 / dt ^ 2))) * k + (td * htes_1 / dt)) / (1 + td / dt) - yo
    'htes = DMax(htes, 700000)

End Sub

Public Sub tes_d_bajada(htes, htes_1, htes_2, h3, h3_1, h3_2, t, htes_alm)
    Dim yo, t1, t2, td, k As Double
    yo = 215000
    t1 = 0.03937302
    t2 = 0.00040526
    td = 0.00907
    k = 1.108328
    t = 0.02
    dt = t

    'h3_2 = h3_1
    'h3_1 = h3
    h3 = (((htes + (t1 * htes_1 / dt) + (2 * t2 * htes_1 / dt ^ 2) - (t2 * htes_2 / dt ^
    2)) / (1 + (t1 / dt) + (t2 / dt ^ 2))) * k + (td * h3_1 / dt)) / (1 + td / dt) - yo
    'htes_alm = htes_alm - (htes * 450) * 60 * 15

End Sub

Public Sub tes_d_subida(htes, htes_1, htes_2, h3, h3_1, h3_2, t)
    Dim yo, t1, t2, td, k As Double
    yo = 96000
    t1 = 0.03119602
    t2 = 0.00085896
    td = 0.02539
    k = 1.0042308
    t = 0.02
    dt = t

    h3_2 = h3_1
    h3_1 = h3
    h3 = (((htes + (t1 * htes_1 / dt) + (2 * t2 * htes_1 / dt ^ 2) - (t2 * htes_2 / dt ^
    2)) / (1 + (t1 / dt) + (t2 / dt ^ 2))) * k + (td * h3_1 / dt)) / (1 + td / dt) - yo
    'h = DMax(h, 700000)

End Sub

```

Código de programación: Cálculo de la potencia eléctrica

```

Public Sub bop_bajada(h2, h2_1, h2_2, pot, pot_1, pot_2, t, pmax)
    Dim yo, t1, t2, td, k As Double
    yo = 92.2
    t1 = 0.12356006
    t2 = 0.00789272
    td = 0
    k = 0.00023916
    t = 0.02
    dt = t

    'pot_2 = pot_1
    'pot_1 = pot
    pot = (((h2 + (t1 * h2_1 / dt) + (2 * t2 * h2_1 / dt ^ 2) - (t2 * h2_2 / dt ^ 2)) / (1
+ (t1 / dt) + (t2 / dt ^ 2))) * k + (td * pot_1 / dt)) / (1 + td / dt)) - yo
    If pot < 76 Then
        pot = 0
    ElseIf pot < 80 Then
        pot = 80 / 4 * pot - 76 * 80 / 4
    End If
    pot = Application.Max(pot, 0)
    pot = Application.Min(pot, 90)
    If pot = 90 Then
        pmax = True
    Else
        pmax = False
    End If
End Sub

Public Sub bop_subida(h2, h2_1, h2_2, pot, pot_1, pot_2, t, pmax)
    Dim yo, t1, t2, td, k As Double
    yo = 66.8
    t1 = 0.1137826
    t2 = 0.00498394
    td = 0.03038
    k = 0.00034088
    t = 0.02
    dt = t

    'pot_2 = pot_1
    'pot_1 = pot
    pot = (((h2 + (t1 * h2_1 / dt) + (2 * t2 * h2_1 / dt ^ 2) - (t2 * h2_2 / dt ^ 2)) / (1
+ (t1 / dt) + (t2 / dt ^ 2))) * k + (td * pot_1 / dt)) / (1 + td / dt)) - yo
    If pot < 29 Then
        pot = 0
    ElseIf pot > 30 And pot < 34 Then
        pot = 34 / 4 * pot - 30 * 34 / 4
    End If
    pot = Application.Max(pot, 0)
    pot = Application.Min(pot, 90)
    If pot = 90 Then
        pmax = True
    Else
        pmax = False
    End If
End Sub

```

Código de programación: Modo 1

```
Public Sub Modo11(pot)
'válvulas modo 1
Sheets("Simulador").Select

ActiveSheet.V_11.Picture = ActiveSheet.VHV_1.Picture
ActiveSheet.V_21.Picture = ActiveSheet.VHR_1.Picture
ActiveSheet.V_31.Picture = ActiveSheet.VVV_1.Picture
ActiveSheet.V_41.Picture = ActiveSheet.VVR_1.Picture
ActiveSheet.V_51.Picture = ActiveSheet.VVV_1.Picture

ActiveSheet.bomba1.Picture = ActiveSheet.bomba_v.Picture

    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("campo_solar")).Select
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.RGB = RGB(0, 176, 80)
        .Transparency = 0
    End With

'Conductos modo 1
    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_1")).Select
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.RGB = RGB(0, 176, 80)
        .Transparency = 0
        .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadNone
        .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .EndArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .EndArrowheadStyle = msoArrowheadOpen
    End With

    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_2")).Select
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.RGB = RGB(0, 0, 0)
        .Transparency = 0
        .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadNone
        .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .EndArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .EndArrowheadStyle = msoArrowheadNone
    End With

    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_3")).Select
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.RGB = RGB(0, 176, 80)
        .Transparency = 0
        .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadOpen
        .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .EndArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .EndArrowheadStyle = msoArrowheadNone
    End With

    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_4")).Select
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.RGB = RGB(0, 176, 80)
        .Transparency = 0
        .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadOpen
        .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .EndArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .EndArrowheadStyle = msoArrowheadNone
    End With

    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_5")).Select
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.RGB = RGB(0, 176, 80)
        .Transparency = 0
        .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadOpen
        .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
```

```

        .EndArrowheadWidth = msoArrowheadwidthMedium
        .EndArrowheadStyle = msoArrowheadNone
    End With

    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_6")).Select
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.RGB = RGB(0, 0, 0)
        .Transparency = 0
        .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadwidthMedium
        .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadNone
        .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .EndArrowheadWidth = msoArrowheadwidthMedium
        .EndArrowheadStyle = msoArrowheadNone
    End With

    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_7")).Select
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.RGB = RGB(0, 0, 0)
        .Transparency = 0
        .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadwidthMedium
        .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadNone
        .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .EndArrowheadWidth = msoArrowheadwidthMedium
        .EndArrowheadStyle = msoArrowheadNone
    End With

    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_8")).Select
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.RGB = RGB(0, 176, 80)
        .Transparency = 0
        .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadwidthMedium
        .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadNone
        .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .EndArrowheadWidth = msoArrowheadwidthMedium
        .EndArrowheadStyle = msoArrowheadOpen
    End With

    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_9")).Select
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.RGB = RGB(0, 0, 0)
        .Transparency = 0
        .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadwidthMedium
        .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadNone
        .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .EndArrowheadWidth = msoArrowheadwidthMedium
        .EndArrowheadStyle = msoArrowheadNone
    End With

    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_10")).Select
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.RGB = RGB(0, 0, 0)
        .Transparency = 0
        .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadwidthMedium
        .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadNone
        .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .EndArrowheadWidth = msoArrowheadwidthMedium
        .EndArrowheadStyle = msoArrowheadNone
    End With

    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_11")).Select
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.RGB = RGB(0, 0, 0)
        .Transparency = 0
        .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadwidthMedium
        .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadNone
        .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .EndArrowheadWidth = msoArrowheadwidthMedium
        .EndArrowheadStyle = msoArrowheadNone
    End With

    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_12")).Select
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.RGB = RGB(0, 176, 80)

```

```

        .Transparency = 0
        .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .EndArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .EndArrowheadStyle = msoArrowheadOpen
    End With
    If pot > 0 Then
        ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_13")).Select
        With Selection.ShapeRange.Line
            .Visible = msoTrue
            .ForeColor.RGB = RGB(255, 192, 0)
            .Transparency = 0
            .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
            .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
            .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadOpen
            .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
            .EndArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
            .EndArrowheadStyle = msoArrowheadNone
        End With

        ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_14")).Select
        With Selection.ShapeRange.Line
            .Visible = msoTrue
            .ForeColor.RGB = RGB(255, 192, 0)
            .Transparency = 0
            .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
            .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
            .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadNone
            .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
            .EndArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
            .EndArrowheadStyle = msoArrowheadOpen
        End With

        ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_15")).Select
        With Selection.ShapeRange.Line
            .Visible = msoTrue
            .ForeColor.RGB = RGB(255, 192, 0)
            .Transparency = 0
            .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
            .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
            .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadNone
            .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
            .EndArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
            .EndArrowheadStyle = msoArrowheadOpen
        End With

        ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_16")).Select
        With Selection.ShapeRange.Line
            .Visible = msoTrue
            .ForeColor.RGB = RGB(255, 192, 0)
            .Transparency = 0
            .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
            .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
            .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadOpen
            .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
            .EndArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
            .EndArrowheadStyle = msoArrowheadNone
        End With

        ActiveSheet.Shapes.Range(Array("turbina")).Select
        With Selection.ShapeRange.Line
            .Visible = msoTrue
            .ForeColor.RGB = RGB(255, 102, 0)
            .Transparency = 0
        End With
        With Selection.ShapeRange.Line
            .Visible = msoTrue
            .Weight = 1.5
        End With
        ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_aux")).Select
        ActiveSheet.bomba2.Picture = ActiveSheet.bomba_v.Picture
    Else
        ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_13")).Select
        With Selection.ShapeRange.Line
            .Visible = msoTrue
            .ForeColor.RGB = RGB(0, 0, 0)
            .Transparency = 0
            .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
            .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
            .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadNone
            .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
            .EndArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
            .EndArrowheadStyle = msoArrowheadNone
        End With

        ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_14")).Select
        With Selection.ShapeRange.Line

```

```

        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.RGB = RGB(0, 0, 0)
        .Transparency = 0
        .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadNone
        .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .EndArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .EndArrowheadStyle = msoArrowheadNone
    End With

    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_15")).Select
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.RGB = RGB(0, 0, 0)
        .Transparency = 0
        .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadNone
        .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .EndArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .EndArrowheadStyle = msoArrowheadNone
    End With

    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_16")).Select
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.RGB = RGB(0, 0, 0)
        .Transparency = 0
        .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadNone
        .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .EndArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .EndArrowheadStyle = msoArrowheadNone
    End With

    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("turbina")).Select
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.RGB = RGB(0, 0, 0)
        .Transparency = 0
    End With
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Visible = msoTrue
        .Weight = 0.75
    End With

    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_aux")).Select
End If
End Sub

```

Código de programación: Modo 2

```
Public Sub Modo21()
'válvulas modo 2
Sheets("Simulador").Select
ActiveSheet.V_11.Picture = ActiveSheet.VHV_1.Picture
ActiveSheet.V_21.Picture = ActiveSheet.VHR_1.Picture
ActiveSheet.V_31.Picture = ActiveSheet.VVV_1.Picture
ActiveSheet.V_41.Picture = ActiveSheet.VVV_1.Picture
ActiveSheet.V_51.Picture = ActiveSheet.VVV_1.Picture

ActiveSheet.bomba1.Picture = ActiveSheet.bomba_v.Picture
ActiveSheet.bomba1.Picture = ActiveSheet.bomba_v.Picture

    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("campo_solar")).Select
    with Selection.ShapeRange.Line
        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.RGB = RGB(0, 176, 80)
        .Transparency = 0
    End With

'Conductos modo 2
ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_1")).Select
with Selection.ShapeRange.Line
    .Visible = msoTrue
    .ForeColor.RGB = RGB(0, 176, 80)
    .Transparency = 0
    .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
    .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadwidthMedium
    .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadNone
    .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
    .EndArrowheadWidth = msoArrowheadwidthMedium
    .EndArrowheadStyle = msoArrowheadOpen
End With

ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_2")).Select
with Selection.ShapeRange.Line
    .Visible = msoTrue
    .ForeColor.RGB = RGB(0, 0, 0)
    .Transparency = 0
    .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
    .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadwidthMedium
    .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadNone
    .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
    .EndArrowheadWidth = msoArrowheadwidthMedium
    .EndArrowheadStyle = msoArrowheadNone
End With

ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_3")).Select
with Selection.ShapeRange.Line
    .Visible = msoTrue
    .ForeColor.RGB = RGB(0, 176, 80)
    .Transparency = 0
    .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
    .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadwidthMedium
    .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadOpen
    .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
    .EndArrowheadWidth = msoArrowheadwidthMedium
    .EndArrowheadStyle = msoArrowheadNone
End With

ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_4")).Select
with Selection.ShapeRange.Line
    .Visible = msoTrue
    .ForeColor.RGB = RGB(0, 176, 80)
    .Transparency = 0
    .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
    .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadwidthMedium
    .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadOpen
    .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
    .EndArrowheadWidth = msoArrowheadwidthMedium
    .EndArrowheadStyle = msoArrowheadNone
End With

ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_5")).Select
with Selection.ShapeRange.Line
    .Visible = msoTrue
    .ForeColor.RGB = RGB(0, 176, 80)
    .Transparency = 0
    .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
    .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadwidthMedium
    .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadOpen
    .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
    .EndArrowheadWidth = msoArrowheadwidthMedium
```

```

        .EndArrowheadStyle = msoArrowheadNone
    End With

    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_6")).Select
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.RGB = RGB(0, 176, 80)
        .Transparency = 0
        .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadNone
        .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .EndArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .EndArrowheadStyle = msoArrowheadOpen
    End With

    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_7")).Select
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.RGB = RGB(0, 176, 80)
        .Transparency = 0
        .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadNone
        .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .EndArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .EndArrowheadStyle = msoArrowheadOpen
    End With

    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_8")).Select
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.RGB = RGB(0, 176, 80)
        .Transparency = 0
        .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadNone
        .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .EndArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .EndArrowheadStyle = msoArrowheadOpen
    End With

    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_9")).Select
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.RGB = RGB(0, 112, 192)
        .Transparency = 0
        .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadOpen
        .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .EndArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .EndArrowheadStyle = msoArrowheadNone
    End With

    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_10")).Select
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.RGB = RGB(0, 112, 192)
        .Transparency = 0
        .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadNone
        .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .EndArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .EndArrowheadStyle = msoArrowheadOpen
    End With

    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_11")).Select
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.RGB = RGB(0, 112, 192)
        .Transparency = 0
        .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadNone
        .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .EndArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .EndArrowheadStyle = msoArrowheadOpen
    End With

    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_12")).Select
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.RGB = RGB(0, 176, 80)
        .Transparency = 0
    
```

```

        .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .EndArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .EndArrowheadStyle = msoArrowheadOpen
    End With

    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_13")).Select
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.RGB = RGB(255, 192, 0)
        .Transparency = 0
        .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadOpen
        .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .EndArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .EndArrowheadStyle = msoArrowheadNone
    End With

    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_14")).Select
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.RGB = RGB(255, 192, 0)
        .Transparency = 0
        .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadNone
        .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .EndArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .EndArrowheadStyle = msoArrowheadOpen
    End With

    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_15")).Select
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.RGB = RGB(255, 192, 0)
        .Transparency = 0
        .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadNone
        .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .EndArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .EndArrowheadStyle = msoArrowheadOpen
    End With

    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_16")).Select
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.RGB = RGB(255, 192, 0)
        .Transparency = 0
        .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadOpen
        .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .EndArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .EndArrowheadStyle = msoArrowheadNone
    End With

    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("turbina")).Select
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.RGB = RGB(255, 102, 0)
        .Transparency = 0
    End With
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Visible = msoTrue
        .Weight = 1.5
    End With
    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_aux")).Select
End Sub

```

Código de programación: Modo 3

```
Public Sub Modo31()
'válvulas modo 3
Sheets("Simulador").Select
ActiveSheet.V_11.Picture = ActiveSheet.VHV_1.Picture
ActiveSheet.V_21.Picture = ActiveSheet.VHV_1.Picture
ActiveSheet.V_31.Picture = ActiveSheet.VVV_1.Picture
ActiveSheet.V_41.Picture = ActiveSheet.VVV_1.Picture
ActiveSheet.V_51.Picture = ActiveSheet.VVR_1.Picture

ActiveSheet.bomba1.Picture = ActiveSheet.bomba_v.Picture
ActiveSheet.bomba1.Picture = ActiveSheet.bomba_v.Picture

    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("campo_solar")).Select
    with Selection.ShapeRange.Line
        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.RGB = RGB(0, 176, 80)
        .Transparency = 0
    End With

'Conductos modo 3
ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_1")).Select
with Selection.ShapeRange.Line
    .Visible = msoTrue
    .ForeColor.RGB = RGB(0, 176, 80)
    .Transparency = 0
    .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
    .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadwidthMedium
    .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadNone
    .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
    .EndArrowheadWidth = msoArrowheadwidthMedium
    .EndArrowheadStyle = msoArrowheadOpen
End With

ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_2")).Select
with Selection.ShapeRange.Line
    .Visible = msoTrue
    .ForeColor.RGB = RGB(0, 176, 80)
    .Transparency = 0
    .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
    .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadwidthMedium
    .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadNone
    .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
    .EndArrowheadWidth = msoArrowheadwidthMedium
    .EndArrowheadStyle = msoArrowheadOpen
End With

ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_3")).Select
with Selection.ShapeRange.Line
    .Visible = msoTrue
    .ForeColor.RGB = RGB(0, 176, 80)
    .Transparency = 0
    .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
    .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadwidthMedium
    .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadOpen
    .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
    .EndArrowheadWidth = msoArrowheadwidthMedium
    .EndArrowheadStyle = msoArrowheadNone
End With

ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_4")).Select
with Selection.ShapeRange.Line
    .Visible = msoTrue
    .ForeColor.RGB = RGB(0, 176, 80)
    .Transparency = 0
    .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
    .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadwidthMedium
    .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadOpen
    .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
    .EndArrowheadWidth = msoArrowheadwidthMedium
    .EndArrowheadStyle = msoArrowheadNone
End With

ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_5")).Select
with Selection.ShapeRange.Line
    .Visible = msoTrue
    .ForeColor.RGB = RGB(0, 176, 80)
    .Transparency = 0
    .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
    .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadwidthMedium
    .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadOpen
    .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
    .EndArrowheadWidth = msoArrowheadwidthMedium
```

```

        .EndArrowheadStyle = msoArrowheadNone
    End With

    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_6")).Select
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.RGB = RGB(0, 176, 80)
        .Transparency = 0
        .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadOpen
        .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .EndArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .EndArrowheadStyle = msoArrowheadNone
    End With

    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_7")).Select
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.RGB = RGB(0, 0, 0)
        .Transparency = 0
        .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadNone
        .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .EndArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .EndArrowheadStyle = msoArrowheadNone
    End With

    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_8")).Select
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.RGB = RGB(0, 176, 80)
        .Transparency = 0
        .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadNone
        .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .EndArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .EndArrowheadStyle = msoArrowheadOpen
    End With

    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_9")).Select
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.RGB = RGB(0, 112, 192)
        .Transparency = 0
        .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadNone
        .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .EndArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .EndArrowheadStyle = msoArrowheadOpen
    End With

    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_10")).Select
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.RGB = RGB(0, 112, 192)
        .Transparency = 0
        .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadOpen
        .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .EndArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .EndArrowheadStyle = msoArrowheadNone
    End With

    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_11")).Select
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.RGB = RGB(0, 112, 192)
        .Transparency = 0
        .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadOpen
        .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .EndArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .EndArrowheadStyle = msoArrowheadNone
    End With

    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_12")).Select
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.RGB = RGB(0, 176, 80)
        .Transparency = 0
    
```

```

        .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .EndArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .EndArrowheadStyle = msoArrowheadOpen
    End With

    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_13")).Select
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.RGB = RGB(255, 192, 0)
        .Transparency = 0
        .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadOpen
        .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .EndArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .EndArrowheadStyle = msoArrowheadNone
    End With

    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_14")).Select
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.RGB = RGB(255, 192, 0)
        .Transparency = 0
        .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadNone
        .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .EndArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .EndArrowheadStyle = msoArrowheadOpen
    End With

    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_15")).Select
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.RGB = RGB(255, 192, 0)
        .Transparency = 0
        .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadNone
        .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .EndArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .EndArrowheadStyle = msoArrowheadOpen
    End With

    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_16")).Select
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.RGB = RGB(255, 192, 0)
        .Transparency = 0
        .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadOpen
        .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .EndArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .EndArrowheadStyle = msoArrowheadNone
    End With

    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("turbina")).Select
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.RGB = RGB(255, 102, 0)
        .Transparency = 0
    End With
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Visible = msoTrue
        .Weight = 1.5
    End With

    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_aux")).Select
End Sub

```

Código de programación: Modo 4

```
Public Sub Modo41()
'válvulas modo 4
Sheets("Simulador").Select
ActiveSheet.V_11.Picture = ActiveSheet.VHR_1.Picture
ActiveSheet.V_21.Picture = ActiveSheet.VHV_1.Picture
ActiveSheet.V_31.Picture = ActiveSheet.VVR_1.Picture
ActiveSheet.V_41.Picture = ActiveSheet.VVV_1.Picture
ActiveSheet.V_51.Picture = ActiveSheet.VVR_1.Picture

ActiveSheet.bomba1.Picture = ActiveSheet.bomba_v.Picture
ActiveSheet.bomba1.Picture = ActiveSheet.bomba_v.Picture

    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("campo_solar")).Select
    with Selection.ShapeRange.Line
        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.RGB = RGB(0, 0, 0)
        .Transparency = 0
    End With

'Conductos modo 4
ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_1")).Select
with Selection.ShapeRange.Line
    .Visible = msoTrue
    .ForeColor.RGB = RGB(0, 0, 0)
    .Transparency = 0
    .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
    .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadwidthMedium
    .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadNone
    .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
    .EndArrowheadWidth = msoArrowheadwidthMedium
    .EndArrowheadStyle = msoArrowheadNone
End With

ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_2")).Select
with Selection.ShapeRange.Line
    .Visible = msoTrue
    .ForeColor.RGB = RGB(0, 176, 80)
    .Transparency = 0
    .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
    .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadwidthMedium
    .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadNone
    .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
    .EndArrowheadWidth = msoArrowheadwidthMedium
    .EndArrowheadStyle = msoArrowheadOpen
End With

ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_3")).Select
with Selection.ShapeRange.Line
    .Visible = msoTrue
    .ForeColor.RGB = RGB(0, 176, 80)
    .Transparency = 0
    .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
    .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadwidthMedium
    .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadOpen
    .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
    .EndArrowheadWidth = msoArrowheadwidthMedium
    .EndArrowheadStyle = msoArrowheadNone
End With

ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_4")).Select
with Selection.ShapeRange.Line
    .Visible = msoTrue
    .ForeColor.RGB = RGB(0, 0, 0)
    .Transparency = 0
    .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
    .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadwidthMedium
    .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadNone
    .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
    .EndArrowheadWidth = msoArrowheadwidthMedium
    .EndArrowheadStyle = msoArrowheadNone
End With

ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_5")).Select
with Selection.ShapeRange.Line
    .Visible = msoTrue
    .ForeColor.RGB = RGB(0, 176, 80)
    .Transparency = 0
    .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
    .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadwidthMedium
    .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadOpen
    .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
    .EndArrowheadWidth = msoArrowheadwidthMedium
```

```

        .EndArrowheadStyle = msoArrowheadNone
    End With

    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_6")).Select
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.RGB = RGB(0, 176, 80)
        .Transparency = 0
        .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadOpen
        .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .EndArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .EndArrowheadStyle = msoArrowheadNone
    End With

    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_7")).Select
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.RGB = RGB(0, 0, 0)
        .Transparency = 0
        .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadNone
        .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .EndArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .EndArrowheadStyle = msoArrowheadNone
    End With

    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_8")).Select
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.RGB = RGB(0, 176, 80)
        .Transparency = 0
        .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadNone
        .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .EndArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .EndArrowheadStyle = msoArrowheadOpen
    End With

    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_9")).Select
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.RGB = RGB(0, 112, 192)
        .Transparency = 0
        .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadNone
        .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .EndArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .EndArrowheadStyle = msoArrowheadOpen
    End With

    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_10")).Select
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.RGB = RGB(0, 112, 192)
        .Transparency = 0
        .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadOpen
        .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .EndArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .EndArrowheadStyle = msoArrowheadNone
    End With

    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_11")).Select
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.RGB = RGB(0, 112, 192)
        .Transparency = 0
        .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadOpen
        .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .EndArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .EndArrowheadStyle = msoArrowheadNone
    End With

    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_12")).Select
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.RGB = RGB(0, 176, 80)
        .Transparency = 0
    
```

```

        .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .EndArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .EndArrowheadStyle = msoArrowheadOpen
    End With

    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_13")).Select
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.RGB = RGB(255, 192, 0)
        .Transparency = 0
        .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadOpen
        .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .EndArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .EndArrowheadStyle = msoArrowheadNone
    End With

    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_14")).Select
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.RGB = RGB(255, 192, 0)
        .Transparency = 0
        .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadNone
        .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .EndArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .EndArrowheadStyle = msoArrowheadOpen
    End With

    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_15")).Select
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.RGB = RGB(255, 192, 0)
        .Transparency = 0
        .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadNone
        .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .EndArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .EndArrowheadStyle = msoArrowheadOpen
    End With

    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_16")).Select
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.RGB = RGB(255, 192, 0)
        .Transparency = 0
        .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadOpen
        .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .EndArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .EndArrowheadStyle = msoArrowheadNone
    End With

    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("turbina")).Select
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.RGB = RGB(255, 102, 0)
        .Transparency = 0
    End With
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Visible = msoTrue
        .Weight = 1.5
    End With

    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_aux")).Select
End Sub

```

Código de programación: Modo apagado

```
Public Sub Modo51()
'válvulas modo 5
Sheets("Simulador").Select
ActiveSheet.V_11.Picture = ActiveSheet.VHR_1.Picture
ActiveSheet.V_21.Picture = ActiveSheet.VHR_1.Picture
ActiveSheet.V_31.Picture = ActiveSheet.VVR_1.Picture
ActiveSheet.V_41.Picture = ActiveSheet.VVR_1.Picture
ActiveSheet.V_51.Picture = ActiveSheet.VVR_1.Picture

ActiveSheet.bomba1.Picture = ActiveSheet.bomba_r.Picture
ActiveSheet.bomba2.Picture = ActiveSheet.bomba_r.Picture

    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("campo_solar")).Select
    with Selection.ShapeRange.Line
        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.RGB = RGB(0, 0, 0)
        .Transparency = 0
    End With

'Conductos modo 5
ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_1")).Select
with Selection.ShapeRange.Line
    .Visible = msoTrue
    .ForeColor.RGB = RGB(0, 0, 0)
    .Transparency = 0
    .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
    .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
    .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadNone
    .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
    .EndArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
    .EndArrowheadStyle = msoArrowheadNone
End With

ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_2")).Select
with Selection.ShapeRange.Line
    .Visible = msoTrue
    .ForeColor.RGB = RGB(0, 0, 0)
    .Transparency = 0
    .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
    .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
    .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadNone
    .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
    .EndArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
    .EndArrowheadStyle = msoArrowheadNone
End With

ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_3")).Select
with Selection.ShapeRange.Line
    .Visible = msoTrue
    .ForeColor.RGB = RGB(0, 0, 0)
    .Transparency = 0
    .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
    .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
    .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadNone
    .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
    .EndArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
    .EndArrowheadStyle = msoArrowheadNone
End With

ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_4")).Select
with Selection.ShapeRange.Line
    .Visible = msoTrue
    .ForeColor.RGB = RGB(0, 0, 0)
    .Transparency = 0
    .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
    .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
    .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadNone
    .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
    .EndArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
    .EndArrowheadStyle = msoArrowheadNone
End With

ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_5")).Select
with Selection.ShapeRange.Line
    .Visible = msoTrue
    .ForeColor.RGB = RGB(0, 0, 0)
    .Transparency = 0
    .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
    .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
    .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadNone
    .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
    .EndArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
    .EndArrowheadStyle = msoArrowheadNone
End With
```

```

        .EndArrowheadStyle = msoArrowheadNone
    End With

    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_6")).Select
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.RGB = RGB(0, 0, 0)
        .Transparency = 0
        .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadNone
        .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .EndArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .EndArrowheadStyle = msoArrowheadNone
    End With

    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_7")).Select
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.RGB = RGB(0, 0, 0)
        .Transparency = 0
        .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadNone
        .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .EndArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .EndArrowheadStyle = msoArrowheadNone
    End With

    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_8")).Select
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.RGB = RGB(0, 0, 0)
        .Transparency = 0
        .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadNone
        .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .EndArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .EndArrowheadStyle = msoArrowheadNone
    End With

    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_9")).Select
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.RGB = RGB(0, 0, 0)
        .Transparency = 0
        .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadNone
        .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .EndArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .EndArrowheadStyle = msoArrowheadNone
    End With

    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_10")).Select
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.RGB = RGB(0, 0, 0)
        .Transparency = 0
        .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadNone
        .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .EndArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .EndArrowheadStyle = msoArrowheadNone
    End With

    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_11")).Select
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.RGB = RGB(0, 0, 0)
        .Transparency = 0
        .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadNone
        .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .EndArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .EndArrowheadStyle = msoArrowheadNone
    End With

    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_12")).Select
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Visible = msoTrue
        .ForeColor.RGB = RGB(0, 0, 0)
        .Transparency = 0
    
```

```

        .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadNone
        .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
        .EndArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
        .EndArrowheadStyle = msoArrowheadNone
    End With

    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_13")).Select
With Selection.ShapeRange.Line
    .Visible = msoTrue
    .ForeColor.RGB = RGB(0, 0, 0)
    .Transparency = 0
    .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
    .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
    .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadNone
    .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
    .EndArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
    .EndArrowheadStyle = msoArrowheadNone
End With

ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_14")).Select
With Selection.ShapeRange.Line
    .Visible = msoTrue
    .ForeColor.RGB = RGB(0, 0, 0)
    .Transparency = 0
    .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
    .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
    .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadNone
    .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
    .EndArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
    .EndArrowheadStyle = msoArrowheadNone
End With

ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_15")).Select
With Selection.ShapeRange.Line
    .Visible = msoTrue
    .ForeColor.RGB = RGB(0, 0, 0)
    .Transparency = 0
    .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
    .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
    .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadNone
    .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
    .EndArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
    .EndArrowheadStyle = msoArrowheadNone
End With

ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_16")).Select
With Selection.ShapeRange.Line
    .Visible = msoTrue
    .ForeColor.RGB = RGB(0, 0, 0)
    .Transparency = 0
    .BeginArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
    .BeginArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
    .BeginArrowheadStyle = msoArrowheadNone
    .EndArrowheadLength = msoArrowheadLengthMedium
    .EndArrowheadWidth = msoArrowheadWidthMedium
    .EndArrowheadStyle = msoArrowheadNone
End With

    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("turbina")).Select
With Selection.ShapeRange.Line
    .Visible = msoTrue
    .ForeColor.RGB = RGB(0, 0, 0)
    .Transparency = 0
End With
With Selection.ShapeRange.Line
    .Visible = msoTrue
    .Weight = 0.75
End With

ActiveSheet.Shapes.Range(Array("L_aux")).Select
End Sub

```

155

[illegible]

End If
End Sub

Código de programación: Ejemplo de posición solar nula

```
Sub sinsol1()
    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("sol_0")).Select
    With Selection.ShapeRange.Fill
        .Transparency = 1
    End With
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Transparency = 1
    End With
    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("sol_15")).Select
    With Selection.ShapeRange.Fill
        .Transparency = 1
    End With
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Transparency = 1
    End With
    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("sol_30")).Select
    With Selection.ShapeRange.Fill
        .Transparency = 1
    End With
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Transparency = 1
    End With
    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("sol_45")).Select
    With Selection.ShapeRange.Fill
        .Transparency = 1
    End With
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Transparency = 1
    End With
    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("sol_60")).Select
    With Selection.ShapeRange.Fill
        .Transparency = 1
    End With
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Transparency = 1
    End With
    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("sol_75")).Select
    With Selection.ShapeRange.Fill
        .Transparency = 1
    End With
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Transparency = 1
    End With
    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("sol_90")).Select
    With Selection.ShapeRange.Fill
        .Transparency = 1
    End With
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Transparency = 1
    End With
    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("sol_105")).Select
    With Selection.ShapeRange.Fill
        .Transparency = 1
    End With
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Transparency = 1
    End With
    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("sol_120")).Select
    With Selection.ShapeRange.Fill
        .Transparency = 1
    End With
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Transparency = 1
    End With
    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("sol_135")).Select
    With Selection.ShapeRange.Fill
        .Transparency = 1
    End With
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Transparency = 1
    End With
    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("sol_150")).Select
    With Selection.ShapeRange.Fill
        .Transparency = 1
    End With
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Transparency = 1
    End With
    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("sol_165")).Select
```

```
with Selection.ShapeRange.Fill
    .Transparency = 1
End With
with Selection.ShapeRange.Line
    .Transparency = 1
End With
ActiveSheet.Shapes.Range(Array("sol_180")).Select
with Selection.ShapeRange.Fill
    .Transparency = 1
End With
with Selection.ShapeRange.Line
    .Transparency = 1
End With
End Sub
```

Código de programación: Ejemplo de posición solar a 90º

```
Public Sub sol901()
    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("sol_0")).Select
    With Selection.ShapeRange.Fill
        .Transparency = 1
    End With
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Transparency = 1
    End With
    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("sol_15")).Select
    With Selection.ShapeRange.Fill
        .Transparency = 1
    End With
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Transparency = 1
    End With
    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("sol_30")).Select
    With Selection.ShapeRange.Fill
        .Transparency = 1
    End With
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Transparency = 1
    End With
    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("sol_45")).Select
    With Selection.ShapeRange.Fill
        .Transparency = 1
    End With
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Transparency = 1
    End With
    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("sol_60")).Select
    With Selection.ShapeRange.Fill
        .Transparency = 1
    End With
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Transparency = 1
    End With
    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("sol_75")).Select
    With Selection.ShapeRange.Fill
        .Transparency = 1
    End With
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Transparency = 1
    End With
    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("sol_90")).Select
    With Selection.ShapeRange.Fill
        .Transparency = 0
    End With
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Transparency = 0
    End With
    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("sol_105")).Select
    With Selection.ShapeRange.Fill
        .Transparency = 1
    End With
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Transparency = 1
    End With
    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("sol_120")).Select
    With Selection.ShapeRange.Fill
        .Transparency = 1
    End With
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Transparency = 1
    End With
    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("sol_135")).Select
    With Selection.ShapeRange.Fill
        .Transparency = 1
    End With
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Transparency = 1
    End With
    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("sol_150")).Select
    With Selection.ShapeRange.Fill
        .Transparency = 1
    End With
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Transparency = 1
    End With
    ActiveSheet.Shapes.Range(Array("sol_165")).Select
    With Selection.ShapeRange.Fill
        .Transparency = 1
    End With
    With Selection.ShapeRange.Line
        .Transparency = 1
    End With
End Sub
```

```
End With
With Selection.ShapeRange.Line
    .Transparency = 1
End With
ActiveSheet.Shapes.Range(Array("sol_180")).Select
With Selection.ShapeRange.Fill
    .Transparency = 1
End With
With Selection.ShapeRange.Line
    .Transparency = 1
End With
End Sub
```

7. BIBLIOGRAFÍA

Referencias documentales:

- [1] Renewables 2015 – Global status report
- [2] “Chinese Wind Energy Association’s Wind Energy, Special Edition 2015”.
- [3] Recursos y presentaciones de **Tecnatom S. A.**
- [4] Prieto, C., et al. (2016). "Review of technology: Thermochemical energy storage for concentrated solar power plants." Renewable and Sustainable Energy Reviews **60**: 909-929.
- [5] Reddy, R. G. (2011). "Molten Salts: Thermal Energy Storage and Heat Transfer Media." Journal of Phase Equilibria and Diffusion **32**(4): 269-270.
- [6] Abutayeh, M., et al. (2013). "Solar thermal power plant simulation." Environmental Progress & Sustainable Energy **32**(2): 417-424.
- [7] Bauer, P., et al. (2015). "The quiet revolution of numerical weather prediction." Nature **525**(7567): 47-55.

Páginas web:

www.psa.es/es/instalaciones/parabolicos/gas.php

www.nervionindustries.com

<http://mapsontheweb.zoom-maps.com/post/83907154436/solar-irradiation-map-of-europe>

<http://www.yesinc.com/products/data/tsi440/>

https://www.thermoflow.com/combinedcycle_TFX.html

<http://www.energias-renovables.com/articulo/renovetec-desarrolla-un-plan-de-mantenimiento-para>

http://www.cec.uchile.cl/~roroman/cap_08/cic-vapor.htm

