

Programa Iberoamericano
de Ciencia y Tecnología
para el Desarrollo

Herramientas para el diseño y la simulación de sistemas híbridos

Jorge Solórzano del Moral y Miguel Ángel Egido Aguilera

Sao Paulo (Brasil), Mayo 2011

Agenda



- **Introducción**
- **Algoritmos de simulación**
- **Cálculo del recurso energético**
- **Perfil de consumo**
- **Simulaciones**
- **Debilidades**
- **Resumen**
- **Otros programas**

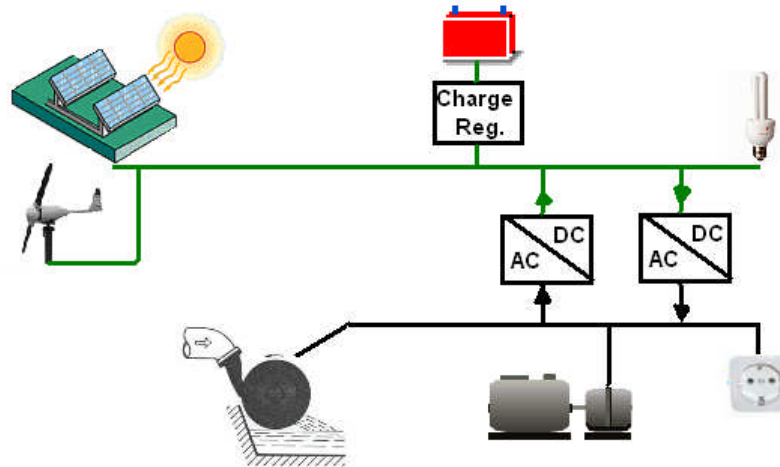
Introducción



- **HOMER**
 - NREL 1993. Gratuito hasta versión 2.69 del 2009.
- **HYBRID2**
 - RERL-MIT/NREL. 1996. Última versión: 1997.
 - Modelo de baterías KiBaM del 2004.
- **HOGA**
 - UNIZAR. Última versión: Septiembre 2010.
- **RETScreen**
 - Gobierno de Canadá. Última versión: 2010.

Objetivos

- **DIMENSIONAR:** Tamaño de cada generador en función del consumo
- **OPTIMIZAR:** Reducir el €/kWh
- **SIMULAR:** Análisis detallado del funcionamiento.



HOMER



- **RECURSO**

- Solar, eólico, hidráulico, hidrógeno, biomasa y diesel
- **VIENTO**
 - Permite medidas horarias o media mensual
 - Weibull, autocorrelación, patrón diario y velocidad max
- **SOLAR**
 - Sobre plano horizontal
 - Media horaria, media mensual o media mensual del índice de claridad
- **Hidro**
 - Media mensual(constante) o valores horarios

HOMER



- **SIMULACIÓN**

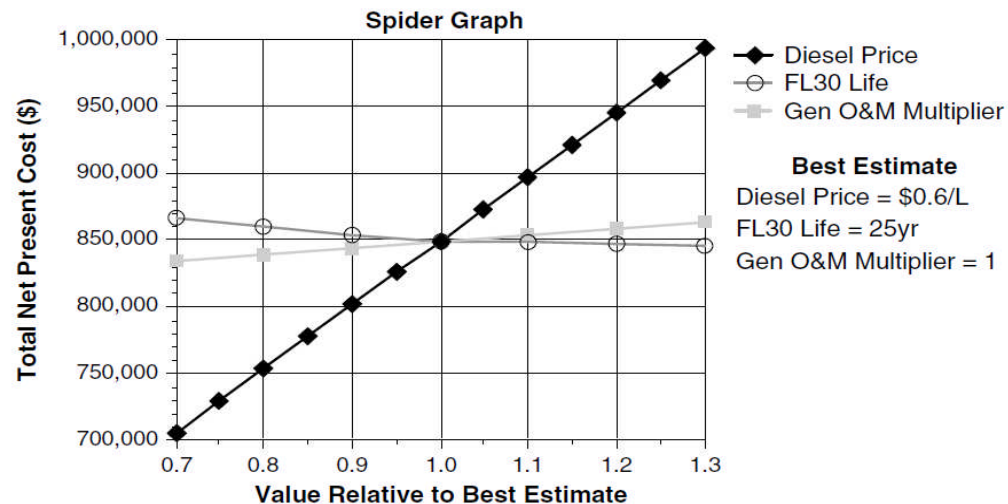
- Simulación con algoritmo enumerativo, series temporales/probabilístico
- Simula las distintas combinaciones de sistemas y estrategias de control
- Introduce análisis de sensibilidad
- Optimización Mono o Semi-Multi objetivo.
 - €, CO₂. Límites de $E_{no_servida}$ introducidos por el usuario
- Time-Step: 60 minutos
- Duración de la simulación: 1 año
- No considera degradación de ningún componente ni aumento del consumo

HOMER



• RESULTADOS

- Listado de sistemas ordenados por el coste total
- Capital inicial, coste total, €/kWh, uso de diesel, horas de generador, tamaño de cada elemento, CO₂, flujos baterías
- Resultados globales y horarios.
- Resultados de sensibilidad



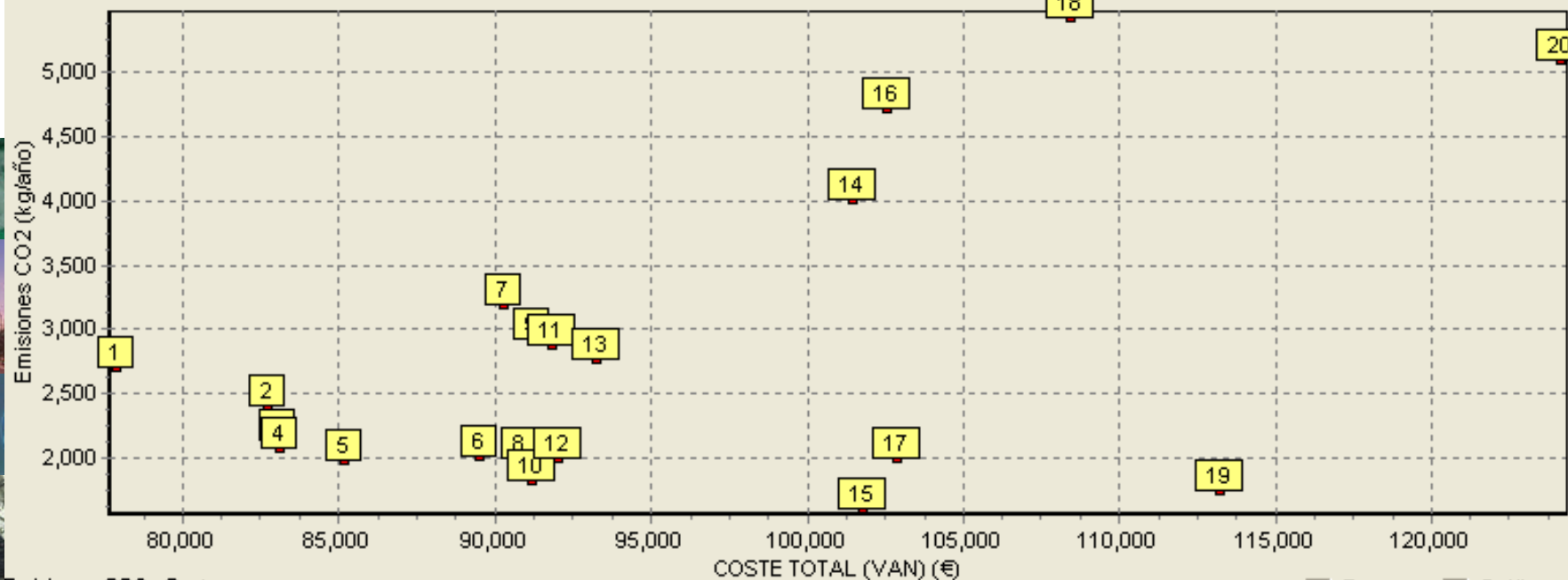
HOGA



- **RECURSO**

- Solar, eólico, hidráulico, hidrógeno, biomasa y diesel
- **VIENTO**
 - Permite medidas horarias o media mensual
 - Weibull, autocorrelación, patrón diario y velocidad max
- **SOLAR**
 - Sobre plano horizontal
 - Media horaria, media mensual o media mensual del índice de claridad
- **Hydro**
 - Media mensual(constante) o valores horarios

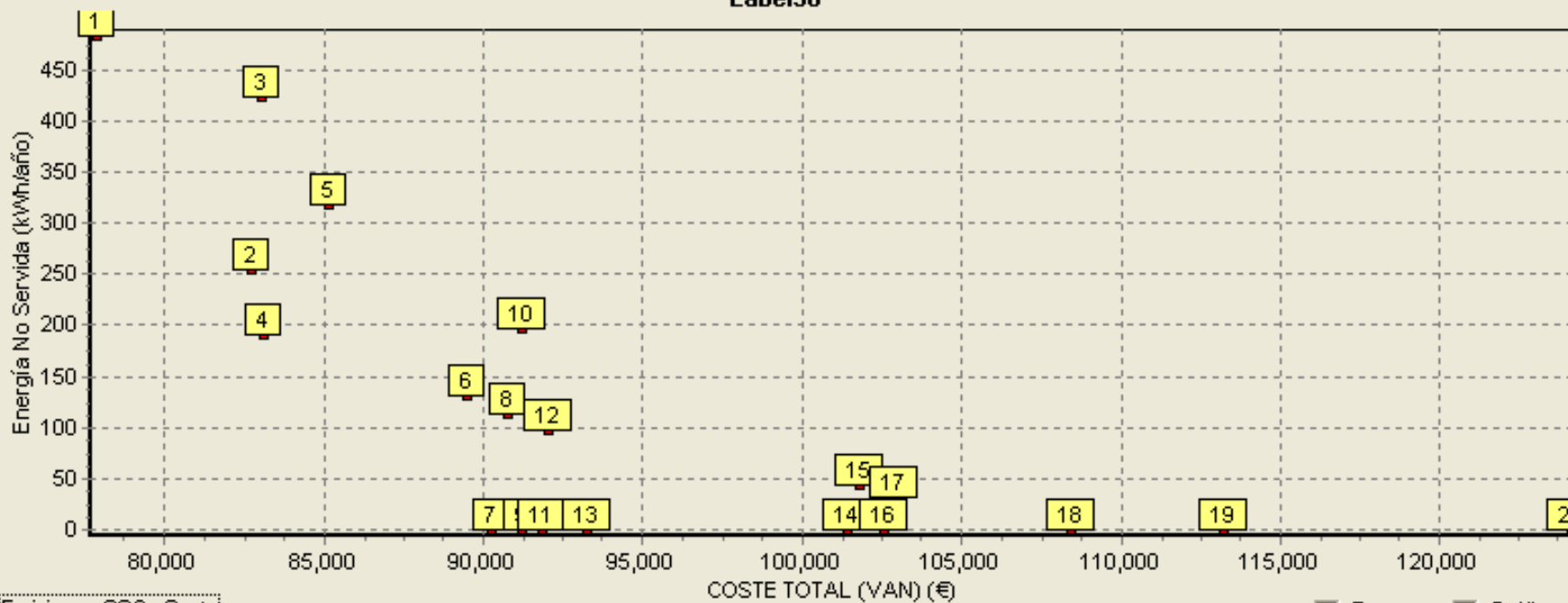
Optim. Multi-objetivo. Pareto de No Dominadas de la Generación 14. Total de casos evaluados: 801



Emissiones CO2 - Coste

Esquema Gráfica

Laberinto



Emissiones CO2 - Coste

Esquema Gráfica

HYBRID2



- **RECURSO**

- Solar, eólico y diesel
- Datos por intervalo o sintetizador de la media mensual
- **VIENTO**
 - Altura anemómetro
 - Variabilidad
 - Desviación estándar
 - Densidad del aire
- **SOLAR**
 - Irradiación horizontal
 - Temperatura ambiente
 - Latitud, longitud, inclinación, reflectividad del suelo

HYBRID2



- **SIMULACIÓN**

- Series temporales/Probabilistic.
- **Simula un solo sistema** con mucho detalle
- Simula balance eléctrico y coste de la instalación
- **Time-Step: Definible.** Recomendado entre 5min-2horas.
- **Duración de la simulación: Definible**, pero son necesarios datos para cada punto.
- No tiene en cuenta degradación de componentes

Sample Performance Summary Output

 * RESULTS OF THE SIMULATION: OVERALL PERFORMANCE

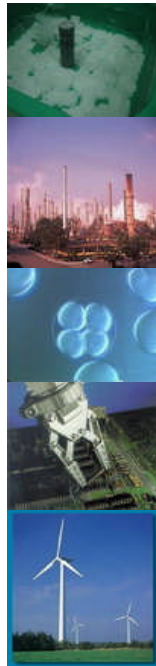
* Project
 Sample Simulation

* General
 - simulation program Hybrid2
 - date of run 03-18-1996
 - Time of run 14:24:00

* Run specifications
 - start value of the simulation period (h) 1
 - duration of the simulation period (h) 720
 - simulation time step (min) 60

* HYBRID SYSTEM

| ENERGY FLOWS | kWh | % load | | kWh | % load |
|------------------------|----------|--------|--------------------|----------|--------|
| Total production | 7802.14 | 52.8 | Total sinks | 15002.23 | 101.5 |
| Load demand | 14783.24 | 100.0 | Load coverage | 12479.76 | 84.4 |
| AC primary load | 3801.62 | 25.7 | AC primary load | 3209.26 | 21.7 |
| AC deferrable load | 3590 | 24.3 | AC deferrable load | 3030.62 | 20.5 |
| DC primary load | 3801.62 | 25.7 | DC primary load | 3209.26 | 21.7 |
| DC deferrable load | 3590 | 24.3 | DC deferrable load | 3030.62 | 20.5 |
| | | | Unmet load | 2303.47 | 15.6 |
| AC heating demand | 1005 | 100.0 | AC heating load | 750.4 | 74.7 |
| Production | | | Optional load | 0 | 0 |
| - from wind (AC) | 0 | 0 | - AC optional load | 0 | 0 |
| - from wind (DC) | 3414.98 | 23.1 | - DC optional load | 0 | 0 |
| - from PV (AC/DC) | 483.39 | 3.3 | | | |
| - from diesel (AC/DC) | 1071.37 | 7.2 | | | |
| Storage | | | Excess energy | 0 | 0 |
| - into storage | 410.53 | 2.8 | - spilled | 0 | 0 |
| - from storage | 528.92 | 3.6 | - dump load | 0 | 0 |
| | | | - excess dump load | 0 | 0 |
| Energy losses | -7391.54 | -50 | | | |
| Fuel consumed (liters) | 366.67 | | | | |



3

l

ción.



RETScreen



- **RECURSO**

- **Solar, eólico, hidráulica, olas, mareas, combustibles fósiles..... Pero solo se pueden utilizar 3**
- **Además, solo permite introducir datos del recurso para el sistema base**
- **Una gran base de datos de recurso energético, aunque el mismo programa advierte que puede no ser muy fiable**
- **Solo permite introducir datos de la tecnología primaria, el resto de producciones los calcula en función de un factor de utilización**

RETScreen



- **SIMULACIÓN**

- **Desarrollado en Excel**
- **Herramienta básica para dimensionar**
 - **Eficiencia energética, mini-redes, enfriamiento industrial...**
- **Simula solo un sistema, de máximo tres tecnologías (base, primario y para los picos) con poco detalle.**
- **No incluye simulación ni optimización**
- **No simula con series temporales**
- **Duración: 1 año**
- **No permite incluir baterías**

RETScreen

Microsoft Excel - RETScreen4-

Archivo Edición Ver Insertar Formato Herramientas Datos Ventana ? | RETScreen

Escriba una pregunta

C857 Full power capacity output

Full power capacity output

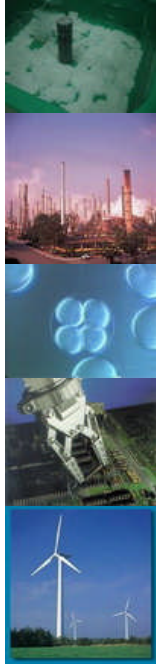
Power system exceeds minimum load of the isolated

| Used case system characteristics | Unit | Estimate | % | Incremental initial costs | System design graph |
|---------------------------------------|---------|----------------------------|-------------------------|---------------------------|---------------------|
| Base load power system | | | | | |
| Technology | | Wind turbine | | | |
| Rating strategy | | Full power capacity output | | | |
| Capacity | kW | 20 | 918.5% | | |
| Electricity delivered to load | MWh | 10 | 99.1% | | |
| Electricity exported to grid | MWh | 3 | | | |
| Intermediate load power system | | | | | |
| Technology | | Photovoltaic | | | |
| Rating strategy | | Full power capacity output | | | |
| Capacity | kW | 4 | 188.4% | | |
| Electricity delivered to load | MWh | 0 | 0.9% | | |
| Electricity exported to grid | MWh | 35 | | | |
| Peak load power system | | | | | |
| Technology | | Other | | | |
| Fuel type | | Diesel (#2 oil) - L | | | |
| Fuel rate | \$/L | | | | |
| Installed capacity | kW | 2.1 | | | |
| Capacity | kW | 2 | 103.6% | | |
| Electricity delivered to load | MWh | 0 | 0.0% | | |
| Manufacturer | | | See PQR | | |
| Unit cost | kWh/kWh | | | | |
| Backup power system (optional) | | | | | |
| Technology | | | | | |
| Capacity | kW | 0 | | | |

| Used case system summary | Fuel type | Fuel consumption - unit | Fuel consumption | Capacity (kW) | Energy delivered (MWh) |
|--------------------------|----------------|-------------------------|------------------|---------------|------------------------|
| Start | Load & Network | Energy Model | Tools | | |

Inicio HOMER - [sim3] 2 Explorador ... HOGA Microsoft Powe... Microsoft Excel... E5

Consumos



| | HOMER | HYBRID2 | HOGA | RETSCREEN |
|----------------------------|--|--|---|---------------|
| Tipo de cargas | AC, DC y Térmicas | AC o DC | AC, DC, H ₂ y H ₂ O | |
| Perfil de consumo | Media horaria mensual o valores horarios | Media horaria mensual o valores por intervalo. | Media horaria mensual o valores por hora | Media mensual |
| Aleatoriedad | SI | SI | SI | NO |
| Diferentes perfiles | SI, SEMANAL | NO | NO | NO |
| Factor de escala | SI, ANUAL | SI, MENSUAL | SI, SEMANAL | NO |
| DSM | SI | SI. 2 TIPOS | NO | NO |

Herramientas para el diseño y simulación de sistemas híbridos

Jorge Solórzano del Moral y Miguel Ángel Egido Aguilera. Sao Paulo, 2011.

Estrategias de control



•2 Tipos:

•Utiliza

•E

•Carga

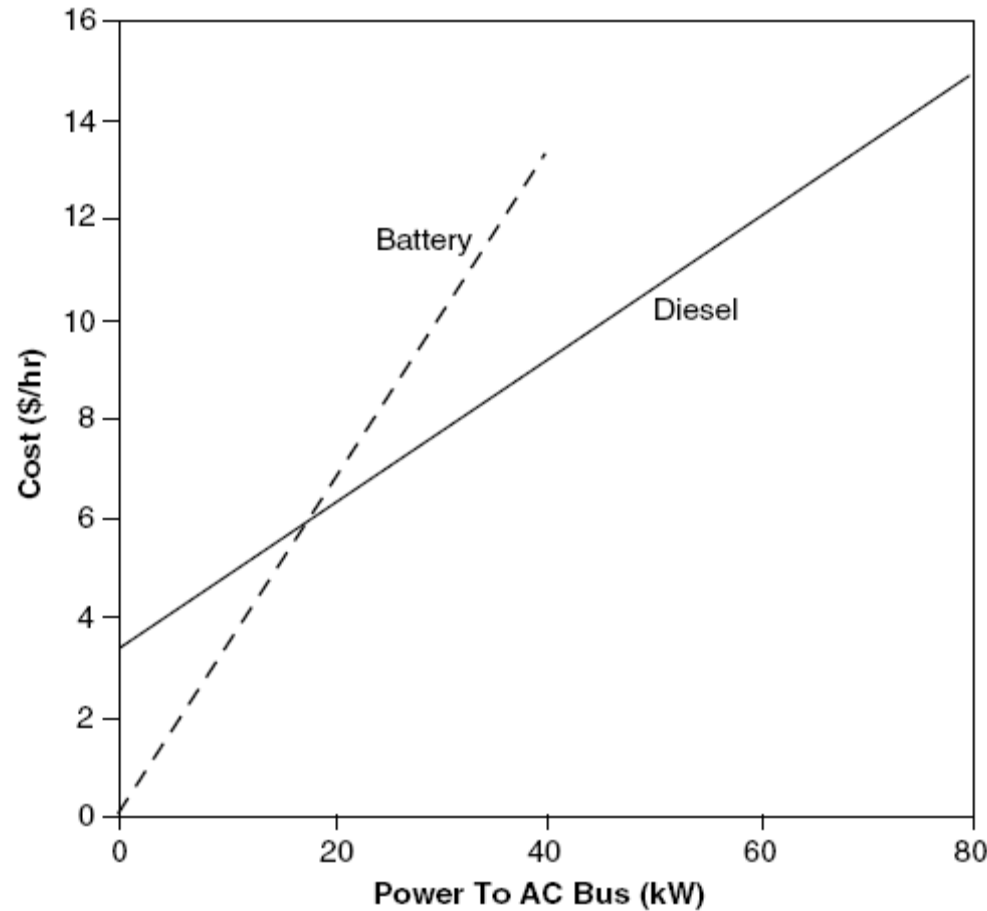
•L

•C

•N

•S

pr



ni de consumo
nteriores es,
edictiva

Herramientas para el diseño y simulación de sistemas híbridos

Jorge Solórzano del Moral y Miguel Ángel Egido Aguilera. Sao Paulo, 2011.

Probabilidad de Pérdida de Carga



- No se calcula en ningún programa

- Es necesario hacer un análisis a largo plazo

- Necesidad de series sintéticas de datos meteorológicos de varios años



Herramientas para el diseño y simulación de sistemas híbridos

Jorge Solórzano del Moral y Miguel Ángel Egido Aguilera. Sao Paulo, 2011.

Comparación entre herramientas



- **Proceso**
 - Optimización mediante HOMER y HOGA
 - Cada sistema óptimo ha sido simulado por Hybrid2 y RETScreen
- **Condiciones**
 - Mismo perfil de consumo
 - Mismo recurso energético
 - Mismo abanico de equipos disponibles

Herramientas para el diseño y simulación de sistemas híbridos

Jorge Solórzano del Moral y Miguel Ángel Egido Aguilera. Sao Paulo, 2011.

Comparación entre herramientas



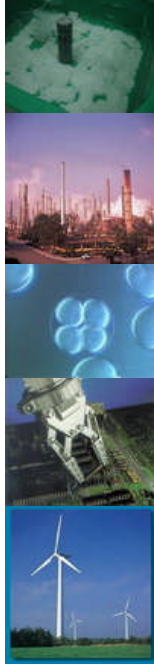
- Se observan diferencias entre HOMER y HOGA, por ejemplo:

| | HOMER | HOGA |
|-------------|--------------|-------------|
| FV | 4 kWp | 8,5 kWp |
| Eólica | 3x6,5kWp | 1x6,5kWp |
| Gen. Diesel | 1,9kWp | 1,9kWp |
| Litros | 447 | 600 |
| Baterías | 4 x 444Ah | 8 x 444Ah |
| Coste | 78.000€ | 85.000€ |

Herramientas para el diseño y simulación de sistemas híbridos

Jorge Solórzano del Moral y Miguel Ángel Egido Aguilera. Sao Paulo, 2011.

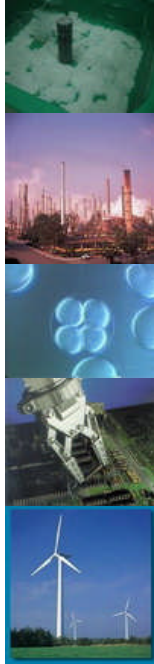
Comparación entre herramientas



- También entre HOMER y HYBRID2 y RETScreen

| | HOMER | HYBRID2 | RETScreen |
|-----------------|----------------|----------------|-----------------|
| FV | 5.058 kWh/año | 5.427 kWh/año | 9.000 kWh/año |
| Eólica | 15.406 kWh/año | 13.803 kWh/año | 13.000 kWh/año |
| Gen. Diesel | 1.072 kWh/año | 5.412 kWh/año | 0 kWh/año |
| Litros | 447 | 1.693 | 0 |
| Batería(in/out) | 1734/1343 | 101/101 | N/A |
| Consumo | 10.257 kWh/año | 10.243 kWh/año | 10.000 kWh(año) |

Comparación entre herramientas



- También entre HOMER y HYBRID2 y RETScreen

| | HOGA | HYBRID2 | RETScreen |
|-------------|----------------|----------------|----------------|
| FV | 8.820 kWh/año | 11.533 kWh/año | 12.000 kWh/año |
| Eólica | 4.492 kWh/año | 4.601 kWh/año | 17.000 kWh/año |
| Gen. Diesel | 1.686 kWh/año | 4.734 kWh/año | 0 |
| Litros | 447 | 1.466 | 0 |
| Batería | 3781/3806 | 801/801 | N/A |
| Consumo | 10.257 kWh/año | 10.243 kWh/año | 10.000kWh/año |

Herramientas para el diseño y simulación de sistemas híbridos

Jorge Solórzano del Moral y Miguel Ángel Egido Aguilera. Sao Paulo, 2011.

Limitaciones



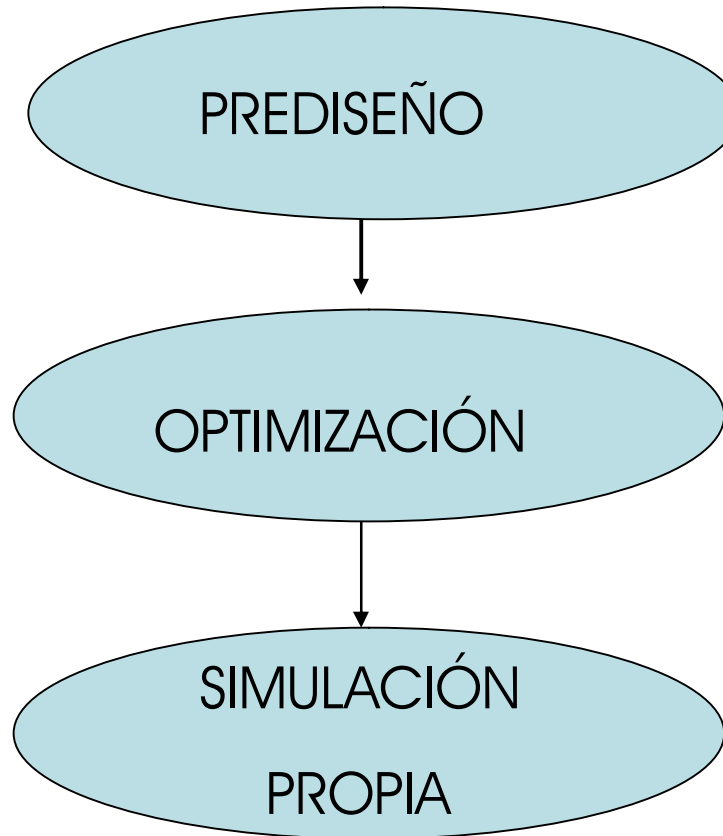
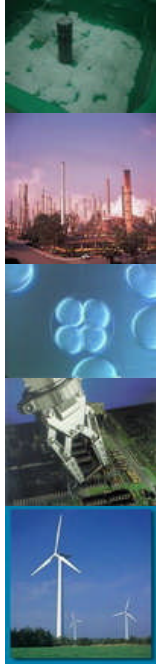
- Simulación de solo un año (**menos hybrid2**).
- No tiene en cuenta degradación ni aumento del consumo
- Cálculo muy simple de la producción FV que solo depende de G (**menos hybrid2 y HOMER**)
- Densidad del aire constante durante el año
- No permite modular la potencia de una turbina hidráulica
- Muchos fallos durante la ejecución (**solamente hybrid2**). Probablemente debidos a la antigüedad de la versión.
- Una interfaz de usuario muy pobre (**hybrid2**)
- No optimiza entre distintos sistemas (**hybrid2 y RETScreen**)

Resumen



- **Hybrid2** es la herramienta que parece más precisa en la simulación de un sistema, pero su pobre interfaz gráfica, la versión antigua y la no posibilidad de optimizar entre varios sistemas le quitan interés.
- **HOMER** y **HOGA** son un buen compromiso entre precisión de la simulación, funcionalidad y resultados obtenidos. Se podrían mejorar añadiendo modelos de degradación de componentes, mejorando los modelos de generación y aumentando el tiempo de simulación.
- **RETScreen** es un programa demasiado básico para cualquier simulación seria, aunque su facilidad de uso puede ser útil para un pre-diseño.

Consejos de uso



Herramientas para el diseño y simulación de sistemas híbridos

Jorge Solórzano del Moral y Miguel Ángel Egido Aguilera. Sao Paulo, 2011.

Otras herramientas



- **MATLAB/Simulink**
- **DYMOLA**
- **ViPOR**
- **OffGrid Pro**
- **HYSIS (CIEMAT)**

Herramientas para el diseño y simulación de sistemas híbridos

Jorge Solórzano del Moral y Miguel Ángel Egido Aguilera. Sao Paulo, 2011.

Referencias



- [1] C.D. Barley and C.B. Winn, Optimal dispatch strategy in remote hybrid power systems, *Solar Energy*, Vol. 58, pp. 165-179, 1996
- HOMER
 - <http://www.homerenergy.com/>
- HOGA
 - <http://www.unizar.es/rdufo/hoga.htm>
- HYBRID2
 - http://www.ceere.org/rerl/rerl_hybridpower.html
- RETSCREEN
 - <http://www.retscren.net/>



¡Gracias por su atención!

Herramientas para el diseño y simulación de sistemas híbridos
Jorge Solórzano del Moral y Miguel Ángel Egido Aguilera. Sao Paulo, 2011.

CYTED
CIENCIA Y TECNOLOGÍA PARA EL DESARROLLO