



 SimSEE

SimSEE 

Diseño e Implementación

12 Marzo 2026
IIE-FING-UdeLaR.

Ing. Ruben Chaer.
rchaer@simsee.org



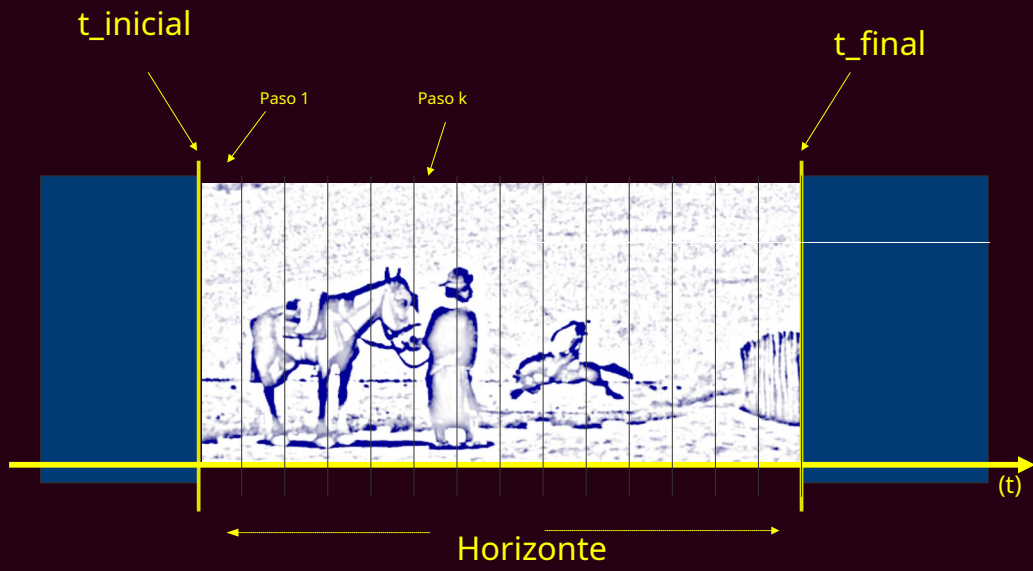
La necesidad de un modelo.

- La realidad nos resulta inalcanzable.
- Pensamos sobre modelos.

Simulador = Herramienta.
¿Por qué y para qué?



Horizonte de y Paso de tiempo



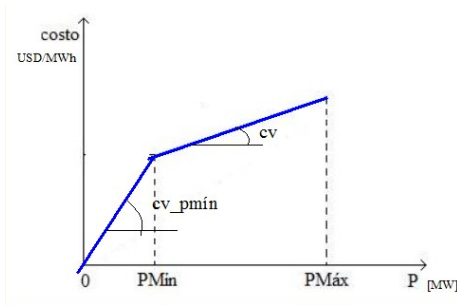


Object Oriented Modeling.

Modelado Orientado por los Objetos.

- Trauma de las correcciones.
- Es imposible no equivocarse, pero...

Modelos



- Funcionalidad
- Calibración
- Mantenimiento
- Refinamiento



Exactitud vs. Esfuerzo de cálculo.

En 1985, las máquinas tenían menos de 1MB de RAM y un micro-procesador, en 2022 es común laptops con 8 y 16GB y 8 procesadores y servidores de cálculo con 200GB de RAM y 48 procesadores.

En 1985, interconectar máquinas era costoso. En 2022 están todas interconectadas.

En 1985, los procesadores no llegaban a 100 MHz, 2022 superan los 3GHz y hay más de un procesador computadora.

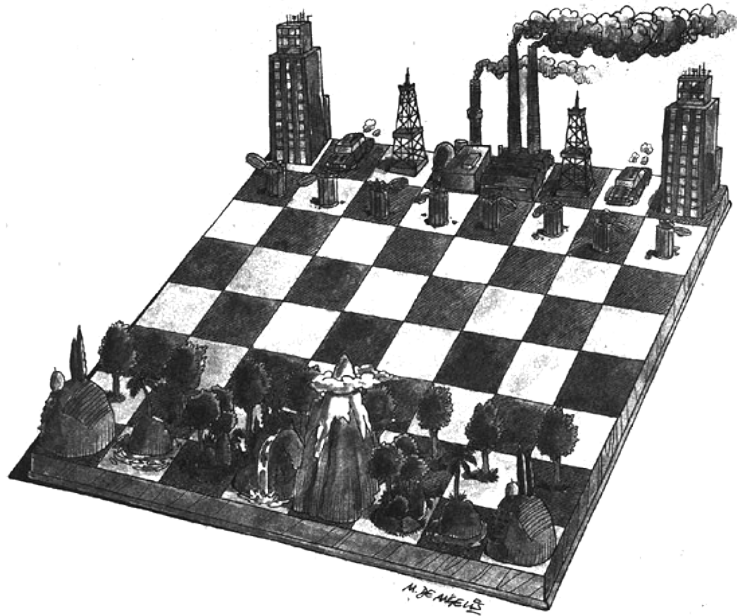
Lo más caro



Sala de Juego.



Sala con Actores.



- Generadores
- Demandas
- Nodos
- Arcos



Programación por Eventos

(mala traducción??? será SEÑALES, OCURRENCIAS??)

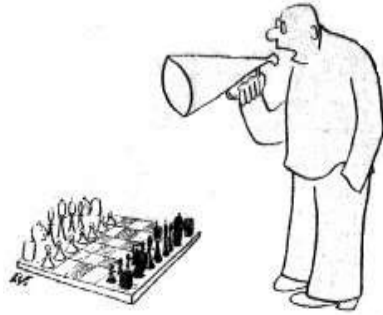
Repetir para cada paso:

<evSorteosDelPaso >

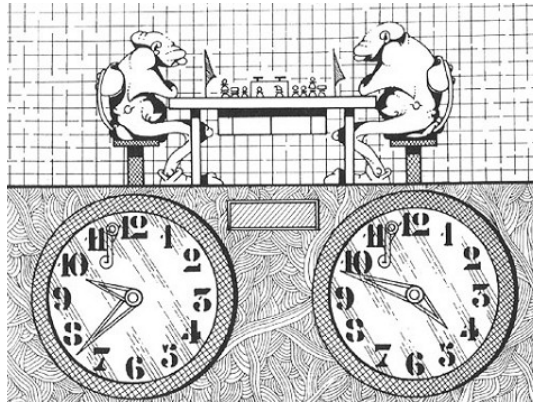
< evCargarProblema >

Resolver el despacho

< evLeerResultados >



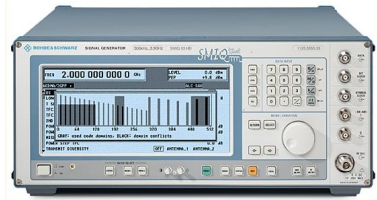
Parámetros dinámicos.



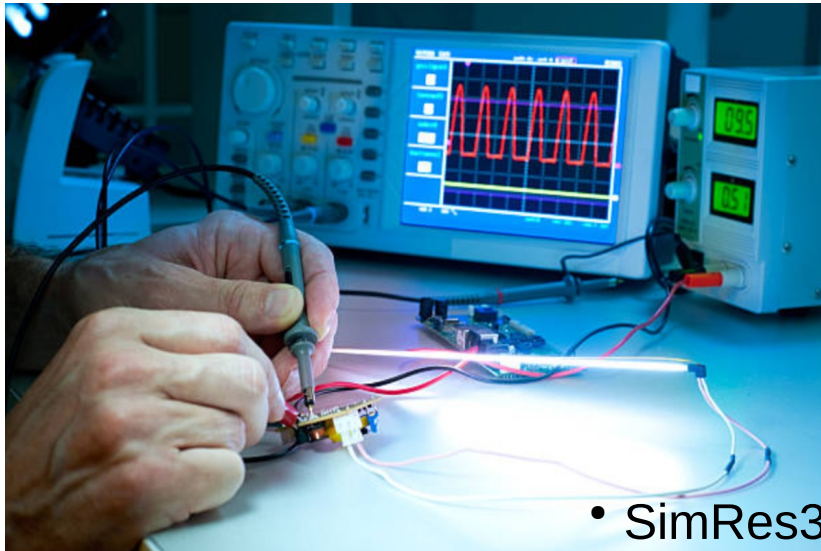
Fuentes de valores



- Constante
- Uniforme
- Gaussiana
- Weibull
- Combinación
- Producto
- CEGH



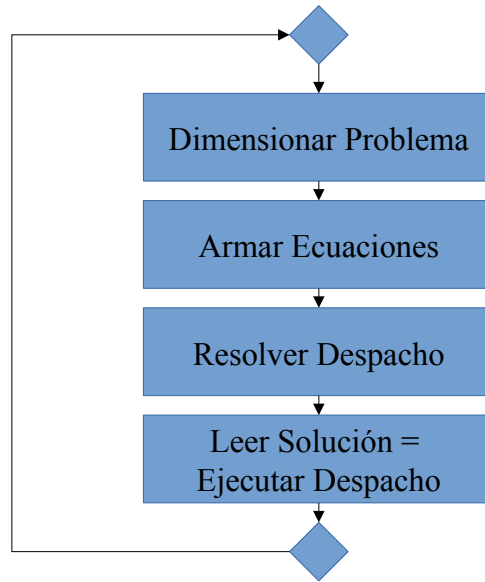
Monitores



• SimRes3

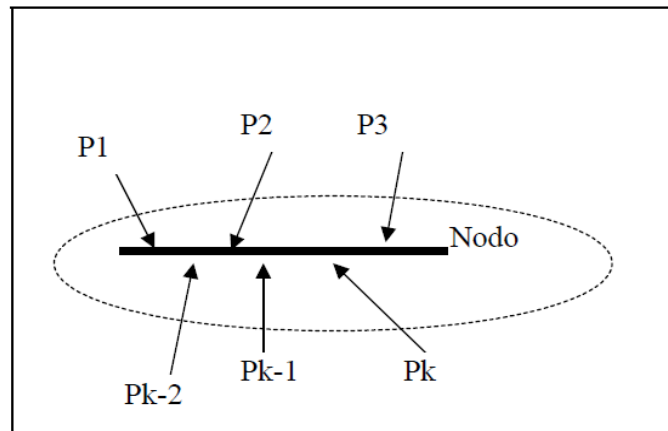
Implementación de SimSEE

En cada paso de tiempo hay que:

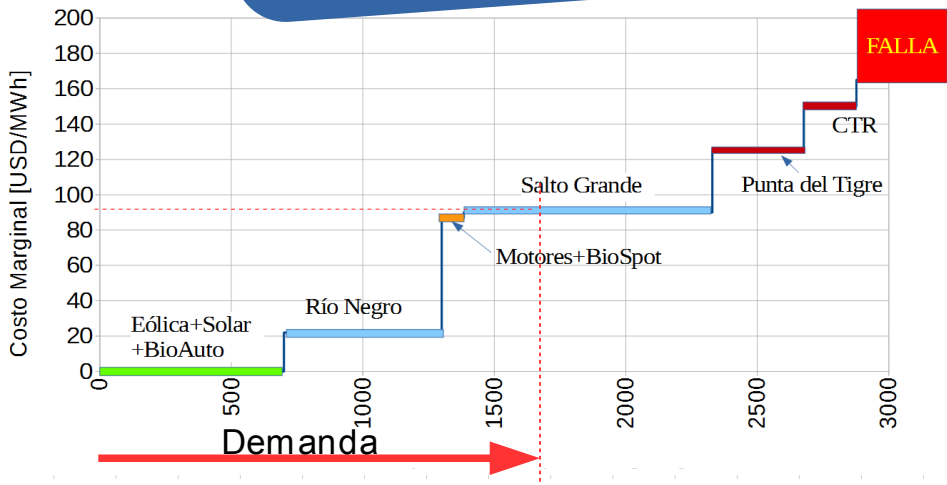


Despacho y restricciones de Nodo

$$\sum_k P_k = 0 ;$$



Orden de mérito



Despacho como problema de optimización.

$$\begin{aligned} & \text{mín} \left(\sum_k cv_k G_k \Delta t \right) \\ & @ \sum_h G_k - \sum_k D_h = 0 \end{aligned}$$

Donde:

- G_k es la potencia inyectada por el generador k en MW.
- D_h es la potencia retirada por la demanda h en el nodo en cuestión
- cv_k es el costo de generación del generador k expresado en USD/MWh cuando entrega una potencia PG_k y
- Δt es la duración del paso de tiempo en horas.

Resolución de un paso

$$\underset{x}{\text{máx}} \left(- \sum_{j=1}^{j=nv} c_j \cdot u_j \right)$$

sujeto a:

$$RD_i): \sum_{j=1}^{j=nv} a_{ij} \cdot u_j + b_i \geq 0; i = 1..NRD$$

$$RI_l): \sum_{j=1}^{j=nv} a_{lj} \cdot u_j + b_l = 0; l = 1..NRI$$

Tabla del problema.

		Variables de control					
		u1	u2	...	Unv	1	
Restricciones	R1	a11	a12	...	a1nv	b1	≥ 0
	R2	a21	a22	...	a2nv	b2	$= 0$

	RM	am1	am2	...	amnv	bm	≥ 0
	-fc	-c1	-c2	...	-cnv		

$$m = \text{NRD} + \text{NRI}$$

Tipo de restricción (Desigualdad o Igualdad).
 Restricciones de caja.



Implementación COLABORATIVA de los Actores para cargar un TSimplex.

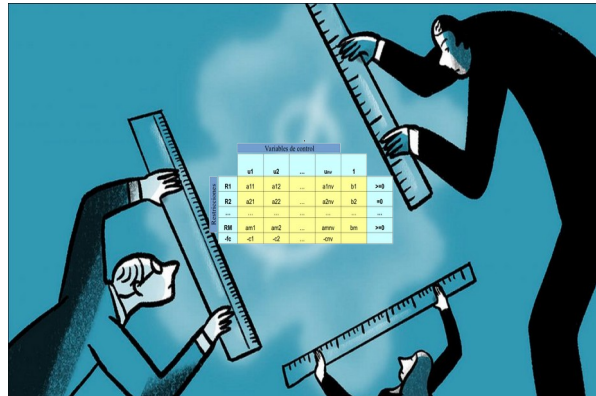
Dimensionado



Consulta a todos los actores.
Variables de control “u”, Cantidad de restricciones
(y cantidad de variables enteras).

Dimensionado del MIPSimplex

- Ponemos el índice de variables y de restricciones en UNO y llamamos a cada actor pasándole dichos índices para que cada actor guarde el valor de los mismos en el momento y que los incremente en la cantidad de variables y restricciones.
- De esa forma, además de tener la dimensión del problema, logramos que cada Actor sepa el lugar de inicio de sus variables y sus restricciones en la tabla del problema.



The illustration shows three stylized figures in black suits holding large rulers against a blue background. In the center, a table represents a linear programming problem. The table is titled 'Variables de problema' and has columns for variables x_1 , x_2 , x_3 , x_4 , and x_5 , and a right-hand side column. The rows are labeled R1, R2, R3, and A6. The table content is as follows:

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	
R1	a_{11}	a_{12}	...	b_{1n}	1	$>= b_1$
R2	a_{21}	a_{22}	...	b_{2n}	1	$>= b_2$
R3	a_{31}	a_{32}	...	b_{3n}	1	$>= b_3$
A6	$-c_1$	$-c_2$...	$-c_n$		$>= -z_0$

El código

```
ivar:= 1; // índice de variables de control
ires:= 1; // índice de restricciones adicionales
ivae:= 1; // índice de variables enteras

for k:= 0 to high(actores) do
    actores[k].opt_nvers( ivar, ivae, ires );
```

Recorrida de carga del MIPSimplex



		Variables de control					
		u1	u2	...	unv	1	
Restricciones	R1	a11	a12	...	a1nv	b1	≥ 0
	R2	a21	a22	...	a2nv	b2	$= 0$

	RM	am1	am2	...	amnv	bm	≥ 0
-fc		-c1	-c2	...	-cnv		

Acceso a la matriz del Simplex

- s.pon_e(kFil, jCol, val)
- s.acum_e(kFil, jCol, val)

		Variables de control					
		u1	u2	...	Unv	1	
Restriciones	R1	a11	a12	...	a1nv	b1	≥ 0
	R2	a21	a22	...	a2nv	b2	$= 0$

	RM	am1	am2	...	amnv	bm	≥ 0
	-fc	-c1	-c2	...	-cnv		

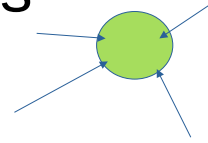
El código de carga.

- // creamos el Simplex
spx:= TMIPSimplex.Create_init(ires, ivar, ivae-1);
- // Los Actores cargan la matriz
for k:= 0 to high(actores) do
actores[k].opt_cargue(spx);
- // Los Actores cargan las restricciones de caja
for k:= 0 to high(actores) do
actores[k].opt_fijarRestriccionesDeCaja(spx);

Resolución del problema de despacho de la etapa

```
spx.resolver;
```

TNodo opt_nvers



- Variables de control = 0
- Restricciones = NPOSTES

```

procedure TNodo.opt_nvers( var ivar, ivae, ires: integer );
begin
  // el nodo no agreaga variables de control
  // no modificamos ivar, ni ivae y no necesitamos guardar sus valores

  // El NODO agrega una restricci3n por cada POSTE
  Self.ires:= ires; // guardamos el valor de ires
  ires:= ires + globs.NPostes; // incrementamos ires en la cantidad de POSTES
end;
  
```

		Variables de control					
		u1	u2	...	unv	1	
Restricciones	R1	a11	a12	...	a1nv	b1	>=0
	R2	a21	a22	...	a2nv	b2	=0

	RM	am1	am2	...	amnv	bm	>=0
	-fc	-c1	-c2	...	-cnv		

TNode opt_cargue

Cargando el problema: El nodo no carga coeficientes en la matriz del problema, pero debe indicar que las restricciones de nodo son de igualdad.

```

.
.
. 270 procedure TNode.opt_cargue(s: TSimplex);
.   begin
.     // Nada que decir.
.   end;

```

		Variables de control					
		u1	u2	...	unv	1	
Restricciones	R1	a11	a12	...	a1nv	b1	>=0
	R2	a21	a22	...	a2nv	b2	=0

	RM	am1	am2	...	amnv	bm	>=0
	-fc	-c1	-c2	...	-cnv		

TNodo

opt_fijarRestriccionesDeCaja

```

. procedure TNodo.opt_fijarRestriccionesDeCaja(s: TSimplex);
275 var
.   ip: integer;
. begin
.   for ip := 0 to globs.NPostes - 1 do
.     s.FijarRestriccionIgualdad(ires + ip);///  

280 end;

```

		Variables de control					
		u1	u2	...	unv	1	
Restricciones	R1	a11	a12	...	a1nv	b1	>=0
	R2	a21	a22	...	a2nv	b2	=0

	RM	am1	am2	...	amnv	bm	>=0
	-fc	-c1	-c2	...	-cnv		

TNode opt_LeerResultados

```

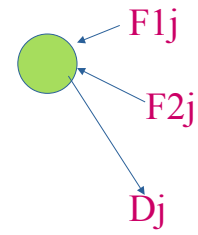
- procedure TNode.opt_leerSolucion( s: TSimplex );
-   var
-     iposte: integer;
-
-   begin
-     // no tiene variables no tiene que leer las variables.
40    // lo que podemos leer es el multiplicador de Lagrange para tener
-     // el costo marginal del nodo.
-     for iposte:= 0 to globs.NPostes-1 do
-       cmarg[iposte]:= -s.ymult( ires+ iposte ) / globs.durpos[ iposte ];
-   end;

```

		Variables de control					
		u1	u2	...	unv	1	
Restricciones	R1	a11	a12	...	a1nv	b1	>=0
	R2	a21	a22	...	a2nv	b2	=0

	RM	am1	am2	...	amnv	bm	>=0
	-fc	-c1	-c2	...	-cnv		

TDemanda opt_nvers



- Variables de control = $NF \cdot NPOSTES$
- Restricciones = 0

```

procedure TDemanda01.opt_nvers( var ivar, ivae, ires: integer );
begin
  Self.ivar:= ivar;
  // tengo para cada escalón de falla una variable por poste
  ivar:= ivar+ NEscalonesDeFalla*globs.NPostes ;
end;
  
```

		Variables de control					
		u1	u2	...	unv	1	
Restricciones	R1	a11	a12	...	a1nv	b1	≥ 0
	R2	a21	a22	...	a2nv	b2	$= 0$

	RM	am1	am2	...	amnv	bm	≥ 0
	-fc	-c1	-c2	...	-cnv		

TDemanda opt_cargue

Carga en la tabla, en cada restricción del nodo un 1 en la columna de las Fhj y Dj en el termino independiente.

```

procedure TDemanda01.opt_cargue( s: TSimplex );
var
  iposte, iescalon: integer;
  ibaseres: integer;
begin
  ibaseres:=nodo.ires;
  // Carga el término constante de las restricciones de demanda
  for iposte:= 0 to high( PPa ) do
    s.acum_e( ibaseres + iposte, s.nc, -PPa[iposte] );

  // Ahora corresponde cargar las máquinas de falla
  for iescalon:= 0 to high( falla_profundidad ) do
    for iposte:= 0 to globs.NPostes-1 do
      begin
        // cargamos la potencia en la restricción del nodo
        s.pon_e( ibaseres+iposte, ivar+iescalon*globs.NPostes+iposte, 1 );
        // cargamos el coeficiente del costo en la función objetivo
        s.pon_e( s.nf, ivar+iescalon*globs.NPostes+iposte, -falla_costo[ iescalon ]* globs.durpos[ iposte ] );
      end;
    end;
  end;
end;

```

		Variables de control					
		u1	u2	...	unv	1	
Restricciones	R1	a11	a12	...	a1nv	b1	>=0
	R2	a21	a22	...	a2nv	b2	=0

	RM	am1	am2	...	amn	bm	>=0
	-fc	-c1	-c2	...	-cnv		

TDemanda

opt_fijarRestriccionesDeCaja

```

10 procedure TDemanda01.opt_fijarRestriccionesDeCaja( s: TSimplex );
    var
        iescalon, iposte: integer;
        Fpmax: NReal;
    begin
        for iescalon:= 0 to high( falla_profundidad ) do
            // Le fijamos la potencia máxima de cada escalón en cada poste
            for iposte:= 0 to globs.NPostes-1 do
                begin
                    Fpmax:= PPa[iposte]* Self.falla_profundidad[iescalon];
                    s.cota_sup_set( ivar+iescalon*globs.NPostes+iposte, Fpmax);
                end;
            end;
        end;
    end;

```

		Variables de control					
		u1	u2	...	unv	1	
Restricciones	R1	a11	a12	...	a1nv	b1	>=0
	R2	a21	a22	...	a2nv	b2	=0

	RM	am1	am2	...	amnv	bm	>=0
	-fc	-c1	-c2	...	-cnv		

TDemanda opt_LeerSolucion

```

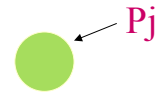
- procedure TDemanda01.opt_leerSolucion( s: TSimplex );
-   var
-     iescalon, iposte: integer;
00  begin
-     // recuperamos los valores de Potencia de cada escalón de falla en
-     // cada poste.
-     for iescalon:= 0 to high( falla_profundidad ) do
-       for iposte:= 0 to globs.NPostes-1 do
-         fallas[iescalon][iposte]:= s.xval( ivar+iescalon*globs.NPostes+iposte );
-     end;
-

```

		Variables de control					
		u1	u2	...	unv	1	
Restricciones	R1	a11	a12	...	a1nv	b1	>=0
	R2	a21	a22	...	a2nv	b2	=0

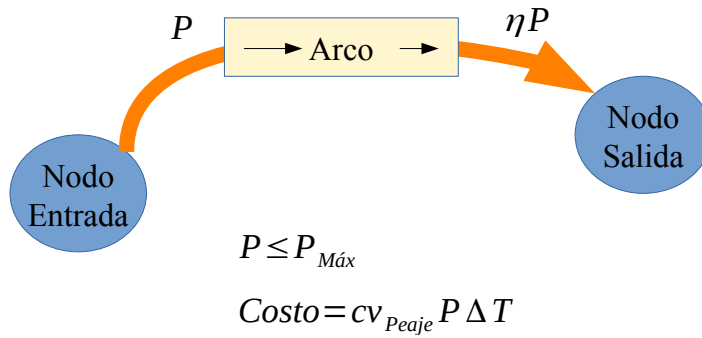
	RM	am1	am2	...	amnv	bm	>=0
	-fc	-c1	-c2	...	-cnv		

TGTer_Basico



- Variables de control = NPOSTES
- Restricciones = 0
- Variables de estado= 0
- Carga en la tabla, en cada restricción del nodo un 1 en la columna de las P_j y en la fila de costo $cv \cdot DT_j$ en cada columna de las P_j .

TArco



TArco-Parámetros

- Nombre
- Nodo de entrada
- Nodo de salida
- Cantidad de unidades (líneas)
- Parámetros dinámicos:
 - +Rendimiento
 - +Peaje [\$/MWh]
 - +Factor de disponibilidad
 - +Potencia máxima

TArco-Variables y Restricciones

- Como variable de control tenemos la potencia por el arco en cada poste.
- La restricción es la del límite máximo de potencia. $P_j < P_{\text{máx.}}$ (de caja, no adicional)
- El arco aparece como un generador para el nodo de partida de potencia $-P$ y como un generador para el nodo de llegada de potencia μP .

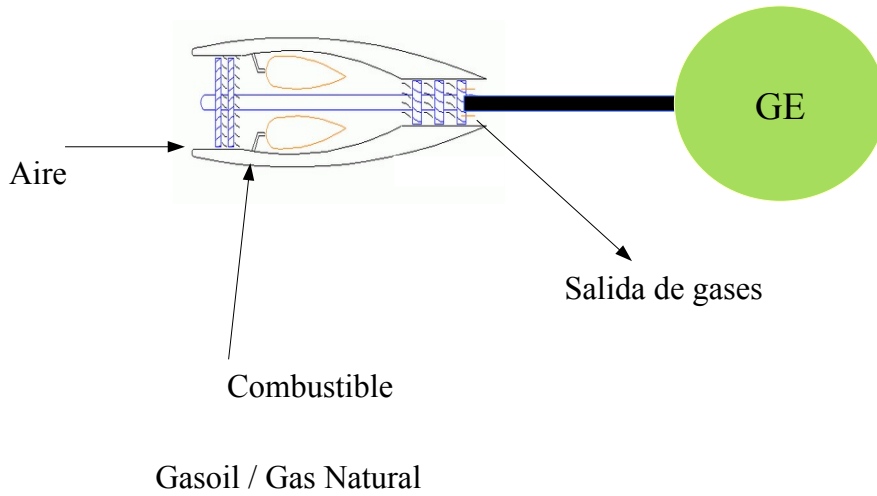
TArco-Resultados del despacho

- potencia por poste
- multiplicador de Lagrange de la restricción.

Centrales Térmicas

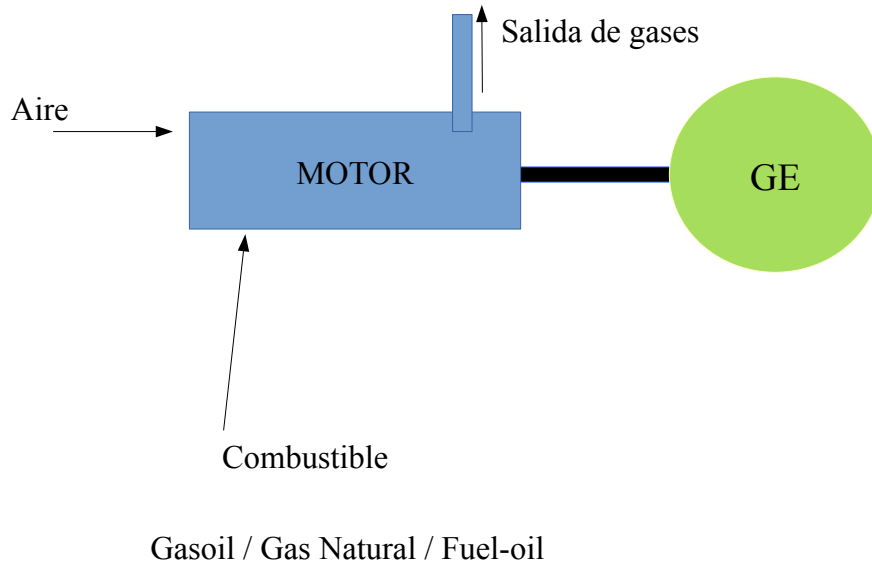
Turbina aeroderivativa

Arranque rápido, seguimiento de carga.



Moto-generador

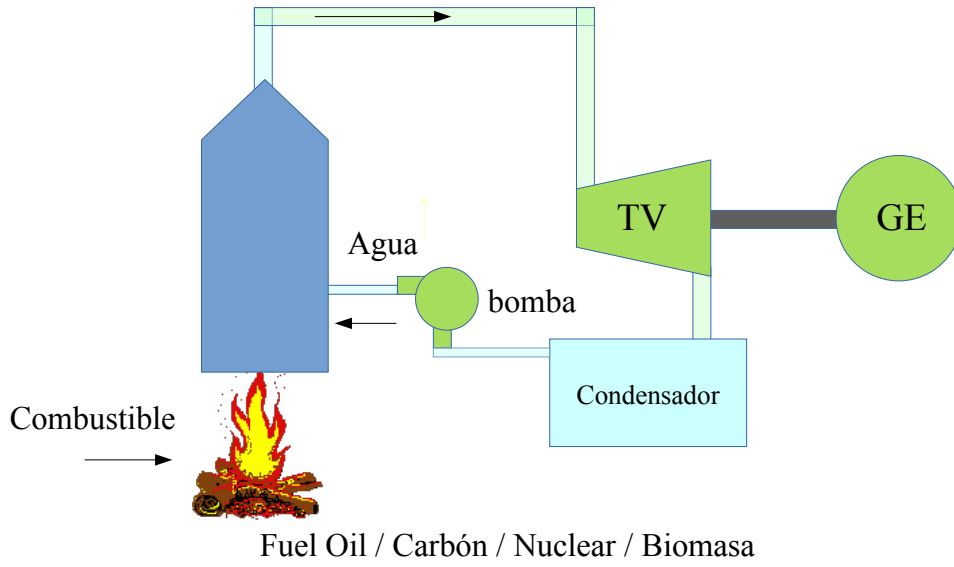
Arranque rápido, seguimiento de carga.



Turbo Vapor

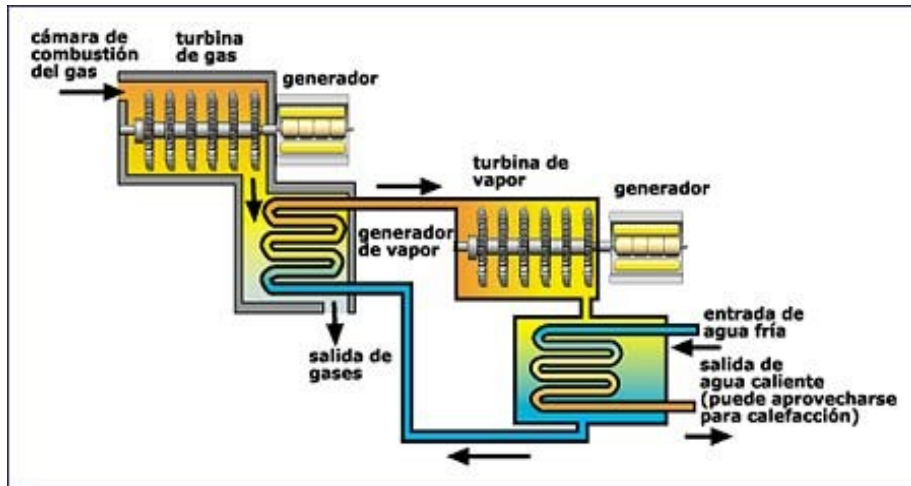
Arranque lento, central de base.

Vapor a presión



Ciclo Combinado (2TG + 1TV)

Combinado: Arranque lento, central de base.
 Los modernos son eficientes siguiendo la carga.
 En ciclo abierto, son TGs.



Gasoil / Gas Natural

Videos

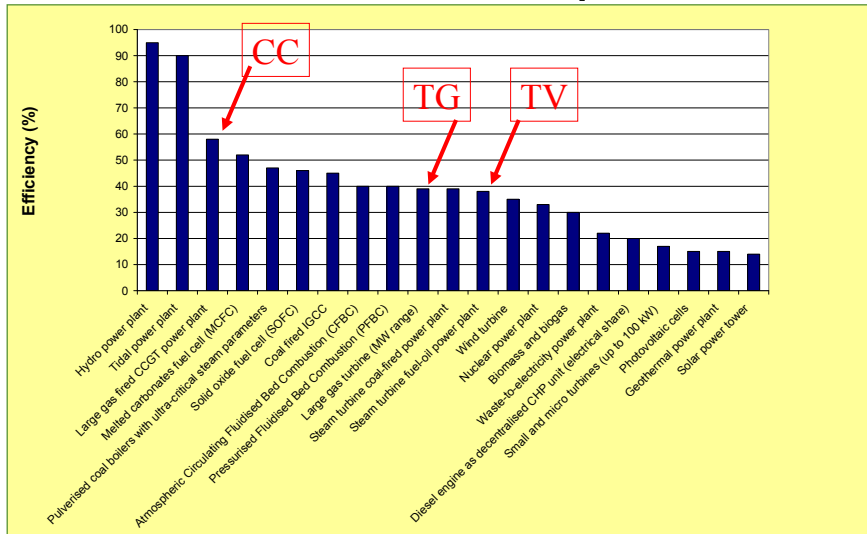


Turbina 1 <https://youtu.be/CgTCy7IUkY0>

Turbina 2: <https://youtu.be/28O6scP2IDw>

Ciclo combinado: https://youtu.be/0NFFvAUd_sc

Rendimientos comparados



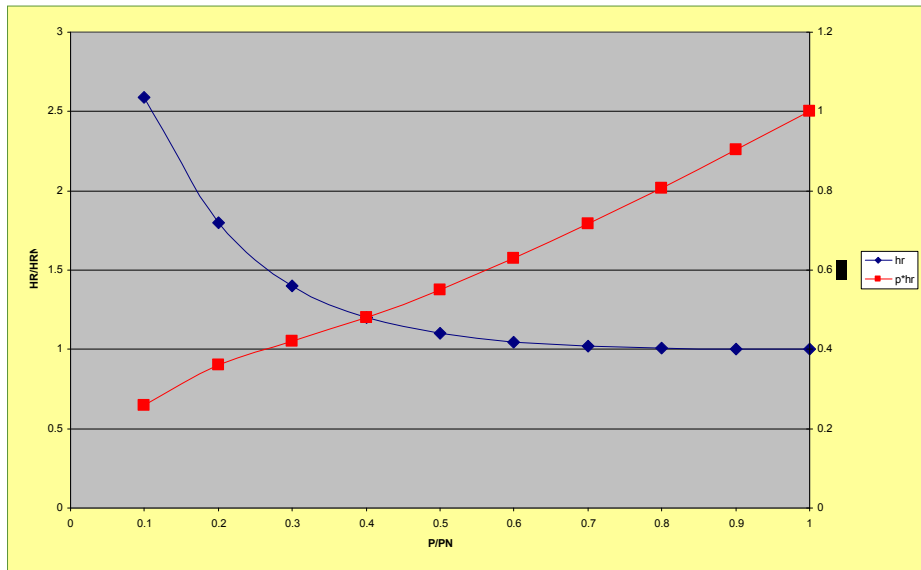
Combustibles

FUENTE	DENSIDAD	PODER CALORIFICO INFERIOR		PODER CALORIFICO SUPERIOR		FACTOR DE CONVERSION A kep (sobre PCI)			
		Kg/lit	kcal/lit	kcal/kg	kcal/lit	kcal/kg	lt a kep	kg a kep	kWh a kep
Carbón Mineral (Argentina) (*)	-	-	5900	-	6200	-	0.59		
Carbón Mineral (importado)	-	-	7200	-	7500	-	0.72		
Coque	-	-	6800	-	7500	-	0.68		
Petróleo Crudo	0.885	8850	10000	9293	10500	-	1		
Aeronaftas	0.709	7374	10400	8012	11300	0.7374	1.04		
Naftas	0.735	7607	10350	8232	11200	0.7607	1.035		
Kerosene y Comb Jets	0.808	8322	10300	8945	11070	0.8322	1.03		
Gas Oil	0.845	8619	10200	9211	10900	0.8619	1.02		
Diesel Oil	0.88	8800	10000	9416	10700	0.88	1		
Fuel Oil	0.945	9261	9800	9923	10500	0.9261	0.98		
Mezcla 70-30	0.91	8995	9885	9638	10591	0.8995	0.988		
Carbón Residual	1	-	7600	-	7900	-	0.76		
Coque de Carbón Residual	-	-	7200	-	7800	-	0.72		
Gas Residual de Petróleo	-	8500m3	-	9000m3	-	0.8500 de m3			
Gas Natural	-	8300m3	-	9300m3	-	0.8300 de m3			
Propano	0.508	5588	11000	6102	12013	-	1.1		
Butano	0.567	6180	10900	6735	11878	-	1.09		
Gas Licuado	0.537	-	10950	6418	11951	-	1.095		
Leña Blanda	-	-	1840	-	2940	-	0.184		
Leña Dura	-	-	2300	-	3500	-	0.23		
Carbón de Leña	-	-	6500	-	7500	-	0.65		
Maño de Maíz	-	-	2300	-	3000	-	0.23		
Cáscara de Arroz	-	-	2300	-	3000	-	0.23		
Bagazo	-	-	1500	-	2000	-	0.15		
Aserrín	-	-	1800	-	1995	-	0.18		
Otros Residuos Vegetales	-	-	1760	-	2310	-	0.176		
Papeles	-	-	1620	-	1796	-	0.162		
Alcohol de Quemar	0.789	6080	-	6400	-	0.608			
Gas de Alto Horno de C de Leña	-	950m3	-	1055m3	-	0.095 de m3			
Gas de Alto Horno de C de Coque	-	800m3	-	905m3	-	0.080 de m3			
Etano	1.27	14413m3	11350	15746	12399	1.4413	1.135		
Metanol	0.8	3818	4773	4345	5431	0.3818	0.477		
Etanol	0.794	5082	6400	5633	7092	0.5082	0.64		
Electricidad	-	-	860 kcal/kWh	-	-	-	-	0.086	
Lícor Negro	-	-	3600	-	-	-	-	0.36	
Corteza/chips de leña	-	-	4600	-	-	-	-	0.46	

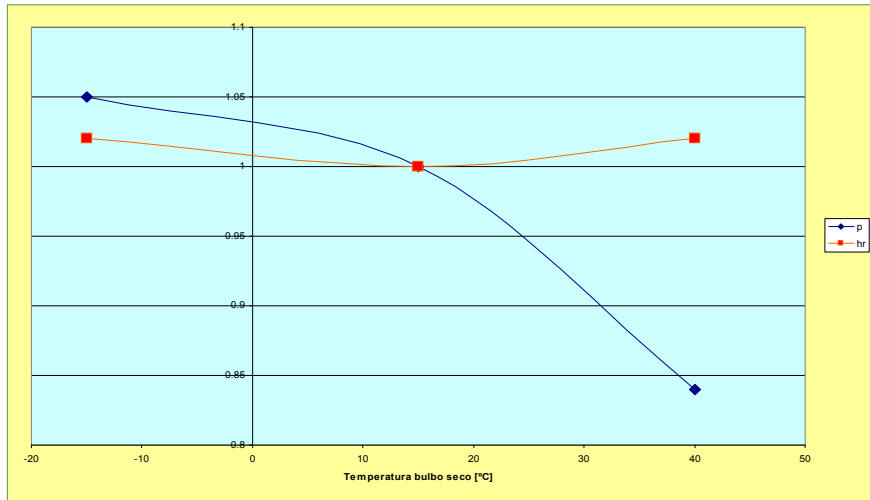
(*) Sobre base húmeda

1 kep = kilo equivalente de petróleo = 10000 kcal

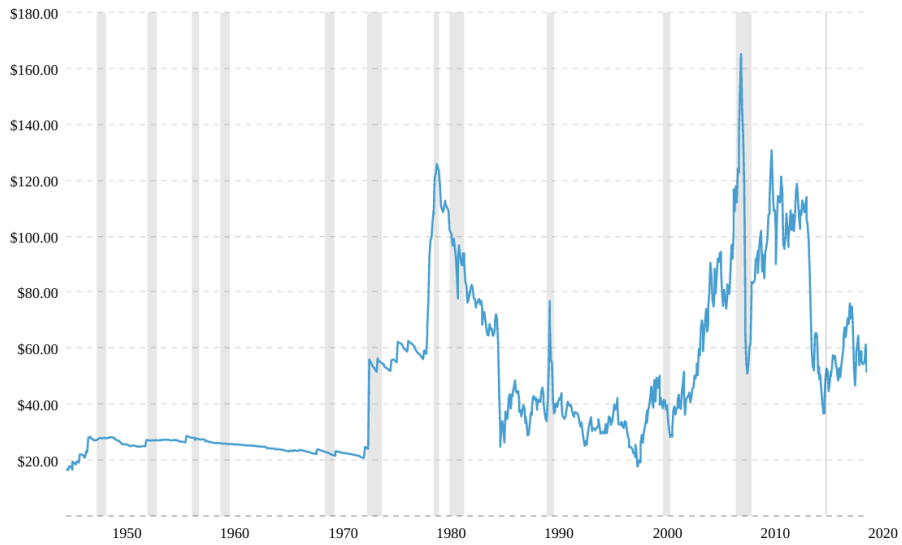
TG Carga parcial



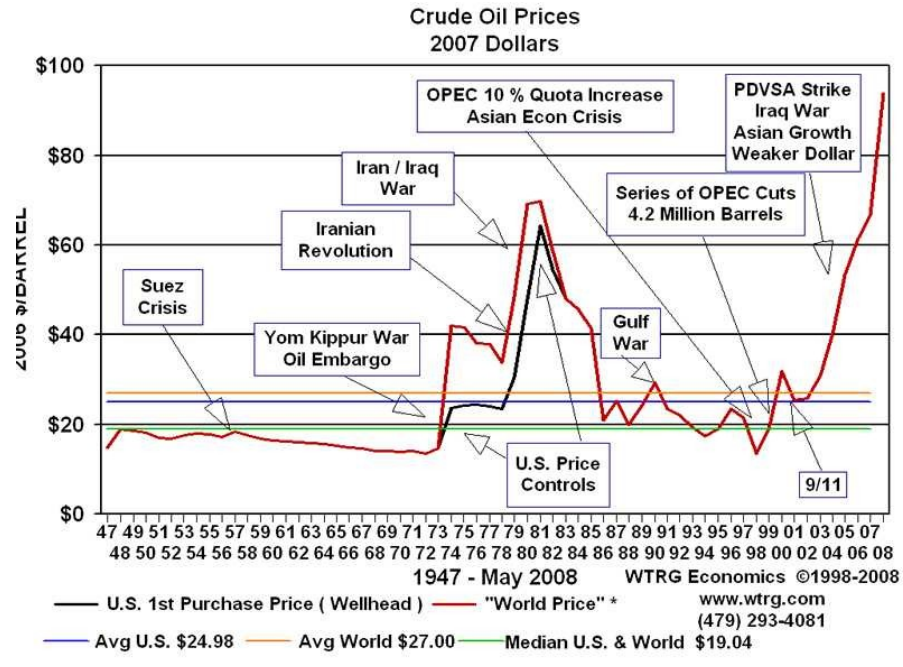
TG Temp ambiente



WTI 1946-2020 (en USD/bbl de 2020)

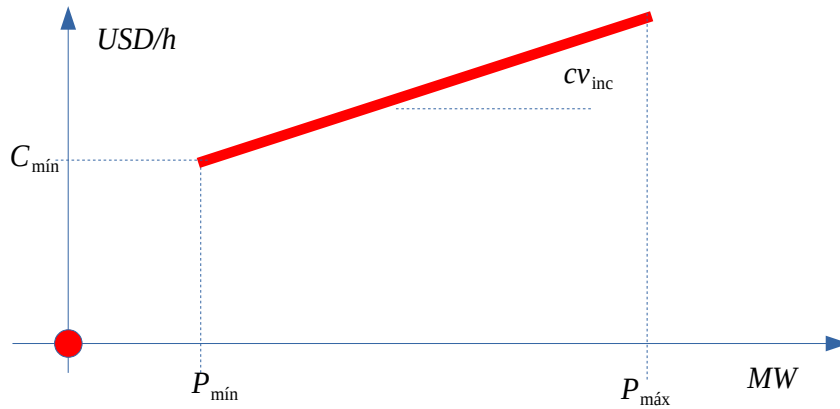


Precios del Petróleo 1998-2008.



Modelo de máquina con mínimo técnico

SimSEE



Modelo de máquina con mínimo técnico. ON/OFF por paso

VARIABLES DE CONTROL

$$A = \begin{cases} 1; ON \\ 0; OFF \end{cases}$$

$$B_j = (P_j - P_{\min})$$

$$0 \leq B_j \leq P_{\max} - P_{\min}$$

1+NPOSTES

CARGADO DE LA MATRIZ

$$P_j = B_j + P_{\min} \cdot A$$

Aporte a las restricciones del nodo

$$B_j \leq (P_{\max} - P_{\min}) \cdot A$$

Restricciones adicionales (NPOSTES)

$$c = c_0 \cdot A + \sum_j c_v \cdot B_j$$

Aporte a la función de costo

Modelo de máquina con mínimo técnico. ON/OFF por poste

Variables de control

$$A_j = \begin{cases} 1; ON \\ 0; OFF \end{cases} \quad B_j = (P - P_{\min})$$

$$0 \leq B_j \leq P_{\max} - P_{\min}$$

2*NPOSTES

Cargado de la matriz

$$P_j = B_j + P_{\min} \cdot A_j$$

Aportes a las restricciones del nodo

$$B_j \leq (P_{\max} - P_{\min}) \cdot A_j$$

Restricciones adicionales (NPOSTES)

$$c = \sum_j co \cdot A_j + \sum_j cv \cdot B_j$$

Aporte a la función de costo

FIN