

ANEXOS

Análisis, almacenamiento de energía de aire
comprimido

Energy storage analysis of compressed air

Autor:

Javier del Corte Revuelta

Director:

Luis Miguel Romeo Giménez

Universidad de Zaragoza

2019

ANEXO 1.1.1: PRIMER ESQUEMA. CÁLCULO VOLUMEN CAVERNA. COMPRESIÓN**Datos**

$$T_1 = 25$$

$$T_3 = 100$$

Presiones

$$P_1 = 1 \text{ bar salida ambiente}$$

$$P_{\text{cavern,max}} = 60$$

$$P_{\text{cavern,min}} = 40$$

$$P_{\text{cavern}} = 60 \text{ bar presión mini caes, no muy alta}$$

$$P_3 = P_2 \cdot 0,99$$

$$P_3 = P_{\text{cavern}} \text{ bar}$$

Rendimientos

$$\text{Rend}_{\text{iso;c}} = 0,95$$

Fujo másico

$$M_c = 10 \text{ kg/s Flujo másico antes de entrar en la caverna}$$

Constante de los gases

$$R = 8,31 \text{ Kj/kmolK}$$

Masa molar aire

$$\text{Masa}_{\text{molar}} = \text{MolarMass} [\text{Air}]$$

Cálculo volumen de la cavidad compresión 8 horas

$$\text{Masa} = M_c \cdot 3600 \cdot 8 \text{ Kg Masa= flujo masico compresor * 8 horas *3600 segundos incremento de masa}$$

$$N = \frac{\text{Masa}}{\text{Masa}_{\text{molar}}}$$

$$N_i = \frac{M_i}{\text{Masa}_{\text{molar}}}$$

$$M_f = M_i + \text{Masa}$$

$$N_f = N + N_i$$

$$V_{\text{cavern}} = N_f \cdot R \cdot \left[\frac{T_3 + 273}{P_{\text{cavern,max}} \cdot 100} \right]$$

$$V_{\text{cavern}} = N_i \cdot R \cdot \left[\frac{T_3 + 273}{P_{\text{cavern,min}} \cdot 100} \right]$$

BALANCES DE ENERGÍA

$$h_1 = h [\text{Air}; T = T_1]$$

$$h_3 = h [\text{Air}; T = T_3]$$

Rendimiento isoentropico compresor

$$\text{Rend}_{\text{iso;c}} = \frac{W_{\text{iso;c}}}{W_c}$$

$$W_c = M_c \cdot [h_2 - h_1] \text{ KJ/s}$$

$$W_{\text{iso;c}} = M_c \cdot [h_{2s} - h_1] \text{ KJ/s}$$

$$s_1 = s [\text{Air}; T = T_1; P = P_1]$$

$$h_{2s} = h [\text{Air}; s = s_1; P = P_2]$$

$$T_2 = T [\text{Air}; h = h_2]$$

Calor refrigerador

$$Q_{\text{refri}} = M_c \cdot [h_2 - h_3] \text{ KJ/s}$$

SOLUTION

Unit Settings: SI C bar kJ mass deg

$$h_1 = 298,6 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$h_{2s} = 956,5 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$\text{Masa} = 288000 \text{ [Kg]}$$

$$M_c = 10 \text{ [Kg/s]}$$

$$M_i = 576000 \text{ [Kg]}$$

$$N_f = 29827 \text{ [kmol/kg]}$$

$$P_1 = 1 \text{ [bar]}$$

$$P_3 = 60 \text{ [bar]}$$

$$P_{\text{cavern,max}} = 60 \text{ [bar]}$$

$$Q_{\text{refri}} = 6170 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$\text{Rend}_{\text{iso;c}} = 0,95$$

$$T_1 = 25 \text{ [C]}$$

$$T_3 = 100 \text{ [C]}$$

$$W_c = 6926 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$h_2 = 991,1 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$h_3 = 374,1 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$\text{Masa}_{\text{molar}} = 28,97 \text{ [kg/kmol]}$$

$$M_f = 864000 \text{ [Kg]}$$

$$N = 9942 \text{ [kmol/kg]}$$

$$N_i = 19885 \text{ [kmol/kg]}$$

$$P_2 = 60,61 \text{ [bar]}$$

$$P_{\text{cavern}} = 60 \text{ [bar]}$$

$$P_{\text{cavern,min}} = 40 \text{ [bar]}$$

$$R = 8,31$$

$$s_1 = 5,699 \text{ [kJ/kg-K]}$$

$$T_2 = 678,3 \text{ [C]}$$

$$V_{\text{cavern}} = 15409 \text{ [kmol/kg]}$$

$$W_{\text{iso;c}} = 6579 \text{ [KJ/Kg]}$$

8 potential unit problems were detected.

EES suggested units (shown in purple) for h_2 h_2s h_3 Masa_molar M_f M_i .

ANEXO 1.1.2: PRIMER ESQUEMA. EXPANSIÓN.**Datos**

$$T_4 = 100$$

$$T_5 = 1100$$

Presiones

$$P_{\text{cavern,max}} = 60$$

$$P_{\text{cavern,min}} = 40$$

$$P_{\text{cavern}} = 60 \text{ bar } \textit{presion mini caes, no muy alta}$$

$$P_6 = 1 \text{ bar}$$

$$P_4 = P_{\text{cavern}} \text{ bar } \textit{la misma que en la caverna}$$

$$P_5 = 0,99 \cdot P_4 \textit{ suponemos una perdida de presion del 1 \% en los equipos}$$

Rendimiento isoentrópico turbina

$$\text{rend}_{\text{iso,T}} = 0,95$$

Fujo másico

$$M_t = 20 \text{ kg/s } \textit{Fujo másico despues de entrar en la caverna}$$

Constante de los gases

$$R = 8,31 \text{ KJ/kmolK}$$

Masa molar aire

$$\text{Masa}_{\text{molar}} = \text{MolarMass} [\text{Air}]$$

Masa gas natural

$$\text{PCI}_{\text{GN}} = 39900 \text{ KJ/kg}$$

$$\text{PCI}_{\text{GN}} \cdot M_{\text{gn}} = Q_{\text{cc}} \textit{ Mgn= flujo másico gas natural en la cámara de combustión}$$

$$M_{\text{tgn}} = M_t + M_{\text{gn}} \textit{ M}_{\text{tgn}} = \textit{flujo másico a la salida de la caverna + flujo masico de gas natural en la cámara de combustión}$$

BALANCES DE ENERGÍA

$$h_4 = h [\text{Air}; T = T_4]$$

$$h_5 = h [\text{Air}; T = T_5]$$

calor camara de combustion

$$Q_{\text{cc}} = M_{\text{tgn}} \cdot [h_5 - h_4] \text{ KJ/s}$$

rendimiento isoentropico turbina

$$\text{rend}_{\text{iso},T} = \frac{W_t}{W_{\text{iso},t}}$$

$$W_t = M_{\text{tgn}} \cdot [h_5 - h_6] \quad \text{KJ/s}$$

$$W_{\text{iso},t} = M_{\text{tgn}} \cdot [h_5 - h_{6s}] \quad \text{KJ/s}$$

$$s_5 = \mathbf{s} [\text{Air}; T = T_5; P = P_5]$$

$$h_{6s} = \mathbf{h} [\text{Air}; s = s_5; P = P_6]$$

$$T_6 = \mathbf{T} [\text{Air}; h = h_6]$$

SOLUTION

Unit Settings: SI C bar kJ mass deg

$$h_4 = 374,1 \quad \text{[KJ/Kg]}$$

$$h_6 = 527,5 \quad \text{[KJ/Kg]}$$

$$\text{Masa}_{\text{molar}} = 28,97 \quad \text{[kg/kmol]}$$

$$M_t = 20 \quad \text{[Kg/s]}$$

$$P_{\text{IGN}} = 39900 \quad \text{[KJ/Kg]}$$

$$P_5 = 59,4 \quad \text{[bar]}$$

$$P_{\text{cavern}} = 60 \quad \text{[bar]}$$

$$P_{\text{cavern,min}} = 40 \quad \text{[bar]}$$

$$R = 8,31 \quad \text{[KJ/kmolK]}$$

$$s_5 = 6,169 \quad \text{[KJ/C]}$$

$$T_5 = 1100 \quad \text{[C]}$$

$$W_{\text{iso},t} = 20699 \quad \text{[KJ/s]}$$

$$h_5 = 1483 \quad \text{[KJ/Kg]}$$

$$h_{6s} = 477,2 \quad \text{[KJ/Kg]}$$

$$M_{\text{gn}} = 0,5719 \quad \text{[Kg/s]}$$

$$M_{\text{tgn}} = 20,57 \quad \text{[Kg/s]}$$

$$P_4 = 60 \quad \text{[bar]}$$

$$P_6 = 1 \quad \text{[bar]}$$

$$P_{\text{cavern,max}} = 60 \quad \text{[bar]}$$

$$Q_{\text{cc}} = 22819 \quad \text{[KJ/Kg]}$$

$$\text{rend}_{\text{iso},T} = 0,95$$

$$T_4 = 100 \quad \text{[C]}$$

$$T_6 = 250,3 \quad \text{[C]}$$

$$W_t = 19664 \quad \text{[KJ/s]}$$

3 potential unit problems were detected.

EES suggested units (shown in purple) for h_5 h_6 h_6s Masa_molar Mgn M_tgn .

*ANEXO 1.1.3: Primer esquema. Simulación de la compresión.**Datos*

$$T_1 = 25$$

$$T_3 = 100$$

Presiones

Se supones ciertas presiones

$$P_1 = 1 \text{ bar salida ambiente}$$

$$P_{\text{cavern,max}} = 60$$

$$P_{\text{cavern,min}} = 40$$

$$P_3 = P_2 \cdot 0,99$$

$$P_3 = P_{\text{cavern}} \text{ bar}$$

Rendimientos

$$\text{Rend}_{\text{iso;c}} = 0,87 + \frac{H}{100}$$

$$\text{Rend}_{\text{iso;c}\%} = \left[0,87 + \frac{H}{100} \right] \cdot 100$$

Fujos máxicos

$$M_c = 10 \text{ kg/s}$$

Constante de los gases

$$R = 8,31 \text{ Kj/kmolK}$$

Masa molar aire

$$\text{Masa}_{\text{molar}} = \text{MolarMass} [\text{Air}]$$

Cálculo Masa inicial, incremento de masa, P_{cavern}

$$V_{\text{cavern}} = 15409$$

Compresion

$$\text{Masa} = M_c \cdot 3600 \cdot H \text{ Masa} = \text{flujo masico compresor} * H \text{ horas} * 3600 \text{ segundos}$$

$$N = \frac{\text{Masa}}{\text{Masa}_{\text{molar}}}$$

$$N_i = \frac{M_i}{\text{Masa}_{\text{molar}}}$$

$$N_h = \frac{M_i + \text{Masa}}{\text{Masa}_{\text{molar}}}$$

$$M_f = M_i + \text{Masa}$$

$$V_{\text{cavern}} = [N_i + N] \cdot R \cdot \left[\frac{T_3 + 273}{P_{\text{cavern}} \cdot 100} \right]$$

$$V_{\text{cavern}} = N_f \cdot R \cdot \left[\frac{T_3 + 273}{P_{\text{cavern,max}} \cdot 100} \right]$$

$$V_{\text{cavern}} = N_i \cdot R \cdot \left[\frac{T_3 + 273}{P_{\text{cavern,min}} \cdot 100} \right]$$

BALANCES DE ENERGÍA

$$h_1 = h [\text{Air}; T = T_1]$$

$$h_3 = h [\text{Air}; T = T_3]$$

rendimiento isoentropico compresor

$$\text{Rend}_{\text{iso;c}} = \frac{W_{\text{iso;c}}}{W_c}$$

$$W_c = M_c \cdot [h_2 - h_1] \text{ KJ/s}$$

$$W_{\text{iso;c}} = M_c \cdot [h_{2s} - h_1] \text{ KJ/s}$$

$$s_1 = s [\text{Air}; T = T_1; P = P_1]$$

$$h_{2s} = h [\text{Air}; s = s_1; P = P_2]$$

$$T_2 = T [\text{Air}; h = h_2]$$

calor refrigerador

$$Q_{\text{refri}} = M_c \cdot [h_2 - h_3] \text{ KJ/s}$$

Parametric Table: Compresión por horas.

	H	P _{cavern}	M _i	Masa	M _f	W _c	Q _{refri}	Rend _{iso;c} %
	[H]	[bar]	[Kg]	[Kg]	[Kg]	[KJ/s]	[KJ/s]	[%]
Run 1	0,0001	40	576005	3,6	576009	6393	5637	87
Run 2	1	42,5	576005	36000	612005	6485	5730	88
Run 3	2	45	576005	72000	648005	6569	5813	89
Run 4	3	47,5	576005	108000	684005	6644	5889	90
Run 5	4	50	576005	144000	720005	6713	5957	91
Run 6	5	52,5	576005	180000	756005	6774	6019	92
Run 7	6	55	576005	216000	792005	6830	6075	93
Run 8	7	57,5	576005	252000	828005	6880	6125	94
Run 9	8	60	576005	288000	864005	6925	6170	95

*ANEXO 1.1.4: Primer esquema. Simulación de la expansión.**Datos*

$$T_4 = 100$$

$$T_5 = 1100$$

Presiones

$$P_{\text{cavern,max}} = 60$$

$$P_{\text{cavern,min}} = 40$$

$$P_6 = 1 \text{ bar salida ambiente}$$

$$P_4 = P_{\text{cavern}} \text{ bar la misma que en la caverna}$$

$$P_5 = 0,99 \cdot P_4 \text{ suponemos una perdida de presion del 1 \% en los equipos}$$

Rendimientos

$$\text{rend}_{\text{iso,T}} = 0,91 + \frac{H}{100}$$

$$\text{Rend}_{\text{iso,T}\%} = \left[0,91 + \frac{H}{100} \right] \cdot 100$$

Fujos máscicos

$$M_t = 20 \text{ kg/s}$$

Constante de los gases

$$R = 8,31 \text{ Kj/kmolK}$$

Masa molar aire

$$\text{Masa}_{\text{molar}} = \text{MolarMass} [\text{Air}]$$

Masa gas natural

$$\text{PCI}_{\text{GN}} = 39900 \text{ Kj/kg}$$

$$\text{PCI}_{\text{GN}} \cdot \text{Mgn} = Q_{\text{cc}} \text{ Mgn= flujo máscico gas natural en la cámara de combustión}$$

$$M_{\text{tgn}} = M_t + \text{Mgn} \text{ } M_{\text{tgn}} = \text{flujo máscico a la salida de la caverna} + \text{flujo masico de gas natural en la cámara de combustión}$$

Cálculo Masa inicial, incremento de masa, P_{cavern}

$$V_{\text{cavern}} = 15409$$

$$\text{Masa} = M_{\text{tgn}} \cdot 3600 \cdot H$$

$$N = \frac{\text{Masa}}{\text{Masa}_{\text{molar}}}$$

$$N_i = \frac{M_i}{\text{Masa}_{\text{molar}}}$$

$$N_h = \frac{M_i + \text{Masa}}{\text{Masa}_{\text{molar}}}$$

$$M_f = M_i - \text{Masa}$$

$$V_{\text{cavern}} = [N_i - N] \cdot R \cdot \left[\frac{T_4 + 273}{P_{\text{cavern}} \cdot 100} \right]$$

$$V_{\text{cavern}} = N_i \cdot R \cdot \left[\frac{T_4 + 273}{P_{\text{cavern,max}} \cdot 100} \right]$$

$$V_{\text{cavern}} = N_f \cdot R \cdot \left[\frac{T_4 + 273}{P_{\text{cavern,min}} \cdot 100} \right]$$

BALANCES DE ENERGÍA

$$h_4 = h [\text{Air}; T = T_4]$$

$$h_5 = h [\text{Air}; T = T_5]$$

Calor camara de combustion

$$Q_{\text{cc}} = M_{\text{tgn}} \cdot [h_5 - h_4] \text{ KJ/s}$$

Rendimiento isoentropico turbina

$$\text{rend}_{\text{iso},T} = \frac{W_t}{W_{\text{iso},t}} \text{ KJ/s}$$

$$W_t = M_{\text{tgn}} \cdot [h_5 - h_6] \text{ KJ/s}$$

$$W_{\text{iso},t} = M_{\text{tgn}} \cdot [h_5 - h_{6s}] \text{ KJ/s}$$

$$s_5 = s [\text{Air}; T = T_5; P = P_5]$$

$$h_{6s} = h [\text{Air}; s = s_5; P = P_6]$$

$$T_6 = T [\text{Air}; h = h_6]$$

Parametric Table: Expansión por horas.

	H	P _{cavern}	M _i	Masa	M _f	W _t	Q _{cc}	Rend _{iso,T%}
	[H]	[Bar]	[Kg]	[Kg]	[Kg]	[KJ/Kg]	[KJ/Kg]	[%]
Run 1	0,0001	60	864008	7,406	864001	18836	22819	91
Run 2	1	54,86	864008	74059	789949	18809	22819	92
Run 3	2	49,71	864008	148118	715890	18746	22819	93
Run 4	3	44,57	864008	222177	641832	18639	22819	94
Run 5	4	39,43	864008	296236	567773	18476	22819	95

ANEXO 1.2.1: SEGUNDO Y TERCER ESQUEMA COMPRESIÓN.**Datos****temperaturas**

$$T_1 = 25$$

$$T_3 = 100$$

$$T_5 = 100$$

Presiones

$$P_{\text{cavern,max}} = 60$$

$$P_{\text{cavern,min}} = 40$$

$$P_1 = 1 \text{ bar} \text{ porque tiene que ser lineal con la presión de la caverna}$$

$$P_{\text{cavern}} = 60 \text{ bar} \text{ presión mini caes, no muy alta}$$

$$P_5 = P_{\text{cavern}} \text{ bar} \text{ la misma que en la caverna}$$

$$P_4 \cdot 0,99 = P_5$$

$$P_2 \cdot 0,99 = P_3 \text{ suponemos una pérdida de presión del 1 \% en los equipos}$$

$$P_2 = \sqrt{P_{\text{cavern}}} \text{ bar} \text{ porque tiene que ser lineal con la presión de la caverna}$$

Rendimientos

$$\text{Rend}_{\text{iso;c1}} = 0,95$$

$$\text{Rend}_{\text{iso;c2}} = 0,95$$

Fujo másico

$$M_c = 10 \text{ kg/s} \text{ Flujo másico antes de entrar en la caverna}$$

Constante de los gases

$$R = 8,31 \text{ KJ/kmolK}$$

Masa molar aire

$$\text{Masa}_{\text{molar}} = \text{MolarMass} [\text{Air}]$$

Cálculo volumen de la cavidad compresión 8 horas

$$\text{Masa} = M_c \cdot 3600 \cdot 8 \text{ Masa= flujo masico compresor * 8 horas *3600 segundos}$$

$$N = \frac{\text{Masa}}{\text{Masa}_{\text{molar}}}$$

$$N_i = \frac{M_i}{\text{Masa}_{\text{molar}}}$$

$$M_f = M_i + \text{Masa}$$

$$N_f = N_i + N$$

$$V_{\text{cavern}} = N_f \cdot R \cdot \left[\frac{T_5 + 273}{P_{\text{cavern,max}} \cdot 100} \right]$$

$$V_{\text{cavern}} = N_i \cdot R \cdot \left[\frac{T_5 + 273}{P_{\text{cavern,min}} \cdot 100} \right]$$

BALANCES DE ENERGÍA

$$h_1 = h [\text{Air} ; T = T_1]$$

$$h_3 = h [\text{Air} ; T = T_3]$$

$$h_5 = h [\text{Air} ; T = T_5]$$

$$h_{100} = h [\text{Air} ; T = 100]$$

$$h_{150} = h [\text{Air} ; T = 150]$$

$$h_{200} = h [\text{Air} ; T = 200]$$

$$h_{250} = h [\text{Air} ; T = 250]$$

$$h_{300} = h [\text{Air} ; T = 300]$$

$$h_{350} = h [\text{Air} ; T = 350]$$

Rendimiento isoentropico compresor 1

$$\text{Rend}_{\text{iso;c1}} = \frac{W_{\text{iso;c1}}}{W_{\text{c1}}}$$

$$W_{\text{c1}} = Mc \cdot [h_2 - h_1] \text{ KJ/s}$$

$$W_{\text{iso;c1}} = Mc \cdot [h_{2s} - h_1] \text{ KJ/s}$$

$$s_1 = s [\text{Air} ; T = T_1 ; P = P_1]$$

$$h_{2s} = h [\text{Air} ; s = s_1 ; P = P_2]$$

$$t_2 = T [\text{Air} ; h = h_2]$$

Rendimiento isoentropico compresor 2

$$\text{Rend}_{\text{iso;c2}} = \frac{W_{\text{iso;c2}}}{W_{\text{c2}}}$$

$$W_{\text{c2}} = Mc \cdot [h_4 - h_3] \text{ KJ/s}$$

$$W_{\text{iso;c2}} = Mc \cdot [h_{4s} - h_3] \text{ KJ/s}$$

$$s_3 = s [\text{Air} ; T = T_3 ; P = P_3]$$

$$h_{4s} = h [\text{Air} ; s = s_3 ; P = P_4]$$

$$t_4 = T [\text{Air} ; h = h_4]$$

Intercambiadores

Calor intercooler

$$Q_{\text{intercooler}} = Mc \cdot [h_2 - h_3] \text{ KJ/s}$$

$$Q_{\text{Ap;intercooler}} = Mc \cdot [h_2 - h_{150}] \text{ KJ/s}$$

calor aftercooler

$$Q_{\text{aftercooler}} = Mc \cdot [h_4 - h_5] \text{ KJ/s}$$

$$Q_{\text{Ap;aftercooler}} = Mc \cdot [h_4 - h_{200}] \text{ KJ/s}$$

Calor intercambiador 1

$$Q_{\text{Ap;intercooler}} + Q_{\text{Ap;aftercooler}} = Q_{\text{int1}}$$

SOLUTION

Unit Settings: SI C bar kJ mass deg

$$h_1 = 298,6 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$h_{150} = 424,8 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$h_{200} = 475,8 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$h_{2s} = 536,4 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$h_{300} = 579,2 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$h_4 = 690,3 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$h_5 = 374,1 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$\text{Masa}_{\text{molar}} = 28,97 \text{ [kg/kmol]}$$

$$M_f = 864000 \text{ [Kg]}$$

$$N = 9942 \text{ [kmol/kg]}$$

$$N_i = 19885 \text{ [kmol/kg]}$$

$$P_2 = 7,746 \text{ [bar]}$$

$$P_4 = 60,61 \text{ [bar]}$$

$$P_{\text{cavern}} = 60 \text{ [bar]}$$

$$P_{\text{cavern,min}} = 40 \text{ [bar]}$$

$$Q_{\text{Ap,aftercooler}} = 2146 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$Q_{\text{int1}} = 3388 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$R = 8,31 \text{ [KJ/kmolK]}$$

$$\text{Rend}_{\text{iso,c2}} = 0,95$$

$$s_3 = 5,34 \text{ [KJ/KgC]}$$

$$t_2 = 271 \text{ [C]}$$

$$t_4 = 405,2 \text{ [C]}$$

$$V_{\text{cavern}} = 15409 \text{ [m}^3\text{]}$$

$$W_{c2} = 3162 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$W_{\text{iso,c2}} = 3004 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$h_{100} = 374,1 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$h_2 = 548,9 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$h_{250} = 527,2 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$h_3 = 374,1 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$h_{350} = 631,7 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$h_{4s} = 674,5 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$\text{Masa} = 288000 \text{ [Kg]}$$

$$Mc = 10 \text{ [Kg/s]}$$

$$M_i = 576000 \text{ [Kg]}$$

$$N_f = 29827 \text{ [kmol/kg]}$$

$$P_1 = 1 \text{ [bar]}$$

$$P_3 = 7,669 \text{ [bar]}$$

$$P_5 = 60 \text{ [bar]}$$

$$P_{\text{cavern,max}} = 60 \text{ [bar]}$$

$$Q_{\text{aftercooler}} = 3162 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$Q_{\text{Ap,intercooler}} = 1242 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$Q_{\text{intercooler}} = 1748 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$\text{Rend}_{\text{iso,c1}} = 0,95$$

$$s_1 = 5,699 \text{ [KJ/KgC]}$$

$$T_1 = 25 \text{ [C]}$$

$$T_3 = 100 \text{ [C]}$$

$$T_5 = 100 \text{ [C]}$$

$$W_{c1} = 2504 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$W_{\text{iso,c1}} = 2378 \text{ [KJ/Kg]}$$

24 potential unit problems were detected.

EES suggested units (shown in purple) for h_150 h_2 h_200 h_2s h_3 h_4 .

ANEXO 1.2.2: SEGUNDO ESQUEMA. EXPANSIÓN.**Datos****Temperaturas**

$$T_6 = 100$$

$$T_9 = 1100 \text{ aporte de calor camara combustion}$$

$$T_{11} = 310$$

Presiones

$$P_{\text{cavern,max}} = 60$$

$$P_{\text{cavern,min}} = 40$$

$$P_{\text{cavern}} = 60 \text{ bar presión mini caes, no muy alta}$$

$$P_6 = P_{\text{cavern}}$$

$$P_7 = 0,99 \cdot P_6 \text{ bar suponemos una pérdida de presión del 1 \% en los equipos}$$

$$P_8 = 0,99 \cdot P_7 \text{ suponemos una pérdida de presión del 1 \% en los equipos}$$

$$P_9 = 0,99 \cdot P_8 \text{ suponemos una pérdida de presión del 1 \% en los equipos}$$

$$P_{11} = 1 \text{ bar salida}$$

$$P_{11} = P_{10} \cdot 0,99$$

Rendimientos

$$\text{rend}_{\text{iso,T}} = 0,95$$

Fujo másico

$$M_t = 20 \text{ kg/s Fujo másico despues de entrar en la caverna}$$

Constante de los gases

$$R = 8,31 \text{ KJ/kmolK}$$

Masa molar aire

$$M_{\text{molar}} = \text{MolarMass} [\text{Air}]$$

Masa gas natural

$$PCI_{\text{GN}} = 39900 \text{ KJ/kg}$$

$$PCI_{\text{GN}} \cdot M_{\text{gn}} = Q_{\text{cc}} \text{ } M_{\text{gn}} = \text{fujo másico gas natural en la cámara de combustión}$$

$$M_{\text{tgn}} = M_t + M_{\text{gn}} \text{ } M_{\text{tgn}} = \text{flujo másico a la salida de la caverna + fujo masico de gas natural en la cámara de combustión}$$

BALANCES DE ENERGÍA

$$h_6 = h [\text{Air}; T = T_6]$$

$$h_9 = h [\text{Air} ; T = T_9]$$

$$h_{11} = h [\text{Air} ; T = T_{11}]$$

$$h_{100} = h [\text{Air} ; T = 100]$$

$$h_{150} = h [\text{Air} ; T = 150]$$

$$h_{200} = h [\text{Air} ; T = 200]$$

$$h_{250} = h [\text{Air} ; T = 250]$$

$$h_{300} = h [\text{Air} ; T = 300]$$

$$h_{350} = h [\text{Air} ; T = 350]$$

Rendimiento isoentropico turbina

$$\text{rend}_{\text{iso},T} = \frac{W_t}{W_{\text{iso},t}}$$

$$W_t = M_{\text{tgn}} \cdot [h_9 - h_{10}] \text{ KJ/s}$$

$$W_{\text{iso},t} = M_{\text{tgn}} \cdot [h_9 - h_{10s}] \text{ KJ/s}$$

$$s_9 = s [\text{Air} ; T = T_9 ; P = P_9]$$

$$h_{10s} = h [\text{Air} ; s = s_9 ; P = P_{10}]$$

$$T_{10} = T [\text{Air} ; h = h_{10}]$$

Intercambiadores

$$Q_{\text{int1}} = 3388$$

$$Q_{\text{int1}} = M_t \cdot [h_7 - h_6] \text{ KJ/s}$$

$$T_7 = T [\text{Air} ; h = h_7]$$

Calor intercambiador 2

$$Q_{\text{int2}} = Q_{\text{int3}}$$

$$Q_{\text{int2}} = M_t \cdot [h_8 - h_7] \text{ KJ/s}$$

$$T_8 = T [\text{Air} ; h = h_8]$$

Balance intercambiador 3

$$Q_{\text{int3}} = M_{\text{tgn}} \cdot [h_{11} - h_{10}] \text{ KJ/s}$$

Cámara de combustión

$$Q_{\text{cc}} = M_{\text{tgn}} \cdot [h_9 - h_8] \text{ KJ/s}$$

SOLUTION

Unit Settings: SI C bar kJ mass deg

$h_{10} = 531,4$ [kJ/Kg]	$h_{100} = 374,1$ [kJ/Kg]
$h_{10s} = 481,3$ [kJ/Kg]	$h_{11} = 589,6$ [kJ/Kg]
$h_{150} = 424,8$ [kJ/Kg]	$h_{200} = 475,8$ [kJ/Kg]
$h_{250} = 527,2$ [kJ/Kg]	$h_{300} = 579,2$ [kJ/Kg]
$h_{350} = 631,7$ [kJ/Kg]	$h_6 = 374,1$ [kJ/kg]
$h_7 = 543,5$ [kJ/kg]	$h_8 = 603$ [kJ/Kg]
$h_9 = 1483$ [kJ/Kg]	$M_{\text{amolar}} = 28,97$ [kg/kmol]
$M_{\text{gn}} = 0,4512$ [Kg]	$M_t = 20$ [Kg]
$M_{\text{tgn}} = 20,45$ [Kg/s]	$PCl_{\text{GN}} = 39900$ [kJ/kg]
$P_{10} = 1,01$ [bar]	$P_{11} = 1$ [bar]
$P_6 = 60$ [bar]	$P_7 = 59,4$ [bar]
$P_8 = 58,81$ [bar]	$P_9 = 58,22$ [bar]
$P_{\text{cavern}} = 60$ [bar]	$P_{\text{cavern,max}} = 60$ [bar]
$P_{\text{cavern,min}} = 40$ [bar]	$Q_{\text{cc}} = 18004$ [kJ]
$Q_{\text{int1}} = 3388$ [Kg]	$Q_{\text{int2}} = 1191$ [Kg]
$Q_{\text{int3}} = 1191$ [Kg/s]	$R = 8,31$ [kJ/kmolK]
$rend_{\text{iso,T}} = 0,95$ [Kg/KJ]	$s_9 = 6,175$ [kJ/kg-K]
$T_{10} = 254,1$ [C]	$T_{11} = 310$ [C]
$T_6 = 100$ [C]	$T_7 = 265,7$ [C]
$T_8 = 322,8$ [C]	$T_9 = 1100$ [C]
$W_{\text{iso,t}} = 20493$ [kJ/s]	$W_t = 19468$ [Kg/s]

12 potential unit problems were detected.

EES suggested units (shown in purple) for h_{10s} h_{11} h_6 h_7 h_8 h_9 .

ANEXO 1.2.3: SEGUNDO Y TERCER ESQUEMA. SIMULACIÓN COMPRESIÓN.**Datos****Temperaturas**

$$T_1 = 25$$

$$T_3 = 100$$

$$T_5 = 100$$

Presiones

$$P_{\text{cavern,max}} = 60$$

$$P_{\text{cavern,min}} = 40$$

$$P_5 = P_{\text{cavern}} \quad \text{bar} \quad \text{la misma que en la caverna}$$

$$P_4 \cdot 0,99 = P_5$$

$$P_2 \cdot 0,99 = P_3 \quad \text{suponemos una pérdida de presión del 1 % en los equipos}$$

$$P_2 = \sqrt{P_{\text{cavern}}} \quad \text{bar} \quad \text{porque tiene que ser lineal con la presión de la caverna}$$

$$P_1 = 1 \quad \text{bar} \quad \text{porque tiene que ser lineal con la presión de la caverna}$$

Rendimientos

$$\text{Rend}_{\text{iso;c1}} = 0,87 + \frac{H}{100}$$

$$\text{Rend}_{\text{iso;c2}} = 0,87 + \frac{H}{100}$$

$$\text{Rend}_{\text{iso;c\%}} = \left[0,87 + \frac{H}{100} \right] \cdot 100$$

Fujo másico

$$M_c = 10 \quad \text{kg/s} \quad \text{Flujo másico antes de entrar en la caverna}$$

Constante de los gases

$$R = 8,31 \quad \text{Kj/kmolK}$$

Masa molar aire

$$\text{Masa}_{\text{molar}} = \text{MolarMass} [\text{Air}]$$

Cálculo Masa inicial, incremento de masa, P_{cavern}

$$V_{\text{cavern}} = 15409$$

$$\text{Masa} = M_c \cdot 3600 \cdot H \quad \text{flujo masico compresor * 8 horas * 3600 segundos}$$

$$N = \frac{\text{Masa}}{\text{Masa}_{\text{molar}}}$$

$$N_i = \frac{M_i}{\text{Masa}_{\text{molar}}}$$

$$N_h = \frac{M_i + \text{Masa}}{\text{Masa}_{\text{molar}}}$$

$$M_f = M_i + \text{Masa}$$

$$V_{\text{cavern}} = [N_i + N] \cdot R \cdot \left[\frac{T_5 + 273}{P_{\text{cavern}} \cdot 100} \right]$$

$$V_{\text{cavern}} = N_f \cdot R \cdot \left[\frac{T_5 + 273}{P_{\text{cavern,max}} \cdot 100} \right]$$

$$V_{\text{cavern}} = N_i \cdot R \cdot \left[\frac{T_5 + 273}{P_{\text{cavern,min}} \cdot 100} \right]$$

BALANCES DE ENERGÍA

$$h_1 = h [\text{Air}; T = T_1]$$

$$h_3 = h [\text{Air}; T = T_3]$$

$$h_5 = h [\text{Air}; T = T_5]$$

$$h_{100} = h [\text{Air}; T = 100]$$

$$h_{150} = h [\text{Air}; T = 150]$$

$$h_{200} = h [\text{Air}; T = 200]$$

$$h_{250} = h [\text{Air}; T = 250]$$

$$h_{300} = h [\text{Air}; T = 300]$$

$$h_{350} = h [\text{Air}; T = 350]$$

Rendimiento isoentropico compresor 1

$$\text{Rend}_{\text{iso;c1}} = \frac{W_{\text{iso;c1}}}{W_{\text{c1}}}$$

$$W_{\text{c1}} = Mc \cdot [h_2 - h_1] \text{ KJ/s}$$

$$W_{\text{iso;c1}} = Mc \cdot [h_{2s} - h_1] \text{ KJ/s}$$

$$s_1 = s [\text{Air}; T = T_1; P = P_1]$$

$$h_{2s} = h [\text{Air}; s = s_1; P = P_2]$$

$$t_2 = T [\text{Air}; h = h_2]$$

Rendimiento isoentropico compresor 2

$$\text{Rend}_{\text{iso;c2}} = \frac{W_{\text{iso;c2}}}{W_{\text{c2}}}$$

$$W_{c2} = Mc \cdot [h_4 - h_3] \text{ KJ/s}$$

$$W_{iso;c2} = Mc \cdot [h_{4s} - h_3] \text{ KJ/s}$$

$$s_3 = s [\text{Air}; T = T_3; P = P_3]$$

$$h_{4s} = h [\text{Air}; s = s_3; P = P_4]$$

$$t_4 = T [\text{Air}; h = h_4]$$

$$W_{tot;comp} = W_{c2} + W_{c1}$$

Intercambiadores

Calor intercooler

$$Q_{intercooler} = Mc \cdot [h_2 - h_3] \text{ KJ/s}$$

$$Q_{Ap;intercooler} = Mc \cdot [h_2 - h_{200}] \text{ KJ/s}$$

$$Q_{Nap;intercooler} = Mc \cdot [h_{150} - h_{100}] \cdot 8$$

Calor aftercooler

$$Q_{aftercooler} = Mc \cdot [h_4 - h_5] \text{ KJ/s}$$

$$Q_{Ap;aftercooler} = Mc \cdot [h_4 - h_{350}] \text{ KJ/s}$$

$$Q_{Nap;aftercooler} = Mc \cdot [h_{200} - h_{100}] \cdot 8$$

Calor intercambiador 1

$$Q_{Ap;intercooler} + Q_{Ap;aftercooler} = Q_{int1}$$

Parametric Table: Table 1

	H [H]	P _{cavern} [bar]	M _i [Kg]	Masa [Kg]	M _f [Kg]	W _{c1} [KJ/Kg]	W _{c2} [KJ/Kg]	W _{tot;comp} [KJ/Kg]	Q _{intercooler} [KJ/Kg]
Run 1	0,0001	40	576005	3,6	576009	2387	3021	5409	1632
Run 2	1	42,5	576005	36000	612005	2410	3049	5460	1655
Run 3	2	45	576005	72000	648005	2430	3074	5504	1675
Run 4	3	47,5	576005	108000	684005	2447	3095	5542	1692
Run 5	4	50	576005	144000	720005	2462	3113	5575	1707
Run 6	5	52,5	576005	180000	756005	2475	3129	5604	1720
Run 7	6	55	576005	216000	792005	2486	3142	5628	1731
Run 8	7	57,5	576005	252000	828005	2496	3153	5649	1740
Run 9	8	60	576005	288000	864005	2504	3162	5666	1748

Parametric Table: Table 1

	Q _{aftercooler} [KJ/Kg]	Q _{int1} [KJ/Kg]	Q _{Nap;intercooler} [KJ/Kg]	Q _{Nap;aftercooler} [KJ/Kg]	Rend _{iso;c%} [%]
Run 1	3021	1061	4052	8133	87
Run 2	3049	1112	4052	8133	88
Run 3	3074	1156	4052	8133	89

Parametric Table: Table 1

	$Q_{\text{aftercooler}}$ [KJ/Kg]	Q_{int1} [KJ/Kg]	$Q_{\text{Nap;intercooler}}$ [KJ/Kg]	$Q_{\text{Nap;aftercooler}}$ [KJ/Kg]	$\text{Rend}_{\text{iso;c\%}}$ [%]
Run 4	3095	1194	4052	8133	90
Run 5	3113	1228	4052	8133	91
Run 6	3129	1256	4052	8133	92
Run 7	3142	1280	4052	8133	93
Run 8	3153	1301	4052	8133	94
Run 9	3162	1318	4052	8133	95

ANEXOS 1.2.4: SEGUNDO ESQUEMA. SIMULACIÓN EXPANSIÓN.**Datos****temperaturas**

$$T_6 = 100$$

$$T_9 = 1100 \text{ aporte de calor camara combustion}$$

$$T_{11} = 310$$

Presiones

$$P_{\text{cavern,max}} = 60$$

$$P_{\text{cavern,min}} = 40$$

$$P_6 = P_{\text{cavern}}$$

$$P_7 = 0,99 \cdot P_6 \text{ bar suponemos una pérdida de presión del 1 \% en los equipos}$$

$$P_8 = 0,99 \cdot P_7 \text{ suponemos una pérdida de presión del 1 \% en los equipos}$$

$$P_9 = 0,99 \cdot P_8 \text{ suponemos una pérdida de presión del 1 \% en los equipos}$$

$$P_{11} = 1 \text{ bar salida}$$

$$P_{11} = P_{10} \cdot 0,99$$

Rendimientos

$$\text{rend}_{\text{iso,T}} = 0,91 + \frac{H}{100}$$

$$\text{Rend}_{\text{iso,T\%}} = \left[0,91 + \frac{H}{100} \right] \cdot 100$$

Fujo másico

$$M_t = 20 \text{ kg/s Fujo másico despues de entrar en la caverna}$$

Constante de los gases

$$R = 8,31 \text{ KJ/kmolK}$$

Masa molar aire

$$M_{\text{molar}} = \text{MolarMass} [\text{Air}]$$

$$P_{\text{CIGN}} = 39900 \text{ KJ/kg}$$

$$P_{\text{CIGN}} \cdot M_{\text{gn}} = Q_{\text{cc}} \text{ } M_{\text{gn}} = \text{fujo másico gas natural en la cámara de combustión}$$

$$M_{\text{tgn}} = M_t + M_{\text{gn}} \text{ } M_{\text{tgn}} = \text{flujo másico a la salida de la caverna + flujo masico de gas natural en la cámara de combustión}$$

Cálculo Masa inicial, incremento de masa, P_{cavern}

$$V_{\text{cavern}} = 15409$$

expansion

$$\text{Masa} = M_{\text{tgn}} \cdot 3600 \cdot H$$

$$N = \frac{\text{Masa}}{\text{Masa}_{\text{molar}}}$$

$$N_i = \frac{M_i}{\text{Masa}_{\text{molar}}}$$

$$N_h = \frac{M_i + \text{Masa}}{\text{Masa}_{\text{molar}}}$$

$$M_f = M_i - \text{Masa}$$

$$V_{\text{cavern}} = [N_i - N] \cdot R \cdot \left[\frac{T_6 + 273}{P_{\text{cavern}} \cdot 100} \right]$$

$$V_{\text{cavern}} = N_i \cdot R \cdot \left[\frac{T_6 + 273}{P_{\text{cavern,max}} \cdot 100} \right]$$

$$V_{\text{cavern}} = N_f \cdot R \cdot \left[\frac{T_6 + 273}{P_{\text{cavern,min}} \cdot 100} \right]$$

BALANCES DE ENERGÍA

$$h_6 = h [\text{Air} ; T = T_6]$$

$$h_9 = h [\text{Air} ; T = T_9]$$

$$h_{11} = h [\text{Air} ; T = T_{11}]$$

Rendimiento isoentropico turbina

$$\text{rend}_{\text{iso,T}} = \frac{W_t}{W_{\text{iso,t}}}$$

$$W_t = M_{\text{tgn}} \cdot [h_9 - h_{10}] \text{ KJ/s}$$

$$W_{\text{iso,t}} = M_{\text{tgn}} \cdot [h_9 - h_{10s}] \text{ KJ/s}$$

$$s_9 = s [\text{Air} ; T = T_9 ; P = P_9]$$

$$h_{10s} = h [\text{Air} ; s = s_9 ; P = P_{10}]$$

$$T_{10} = T [\text{Air} ; h = h_{10}]$$

Intercambiadores

Calor intercambiador 1

$$Q_{\text{int1}} = 3388$$

$$Q_{\text{int1}} = M_t \cdot [h_7 - h_6] \text{ KJ/s}$$

$$T_7 = T [\text{Air} ; h = h_7]$$

Calor intercambiador 2

$$Q_{int2} = Q_{int3}$$

$$Q_{int2} = M_t \cdot [h_8 - h_7] \text{ KJ/s}$$

$$T_8 = T [\text{Air ; } h = h_8]$$

Balance intercambiador 3

$$Q_{int3} = M_{tgn} \cdot [h_{11} - h_{10}] \text{ KJ/s}$$

Cámara de combustión

$$Q_{cc} = M_{tgn} \cdot [h_9 - h_8] \text{ KJ/s}$$

Rendimiento

$$W_{tot;turb} = W_t$$

Parametric Table: Expansión por horas.

	H [H]	P _{cavern} [bar]	M _i [Kg]	Masa [Kg]	M _f [Kg]	W _t [KJ/Kg]	Q _{cc} [KJ/Kg]	Q _{int2} [KJ/Kg]	Q _{int3} [KJ/Kg]
Run 1	0,0001	60	864008	7,37	864001	18668	18861	371,3	371,3
Run 2	1	54,88	864008	73704	790304	18640	18891	342,5	342,5
Run 3	2	49,76	864008	147421	716587	18578	18958	278,6	278,6
Run 4	3	44,64	864008	221162	642846	18472	19071	170,9	170,9
Run 5	4	39,52	864008	294945	569063	18312	19243	7,136	7,136

Parametric Table: Expansión por horas.

	Rend _{iso;T%} [%]
Run 1	91
Run 2	92
Run 3	93
Run 4	94
Run 5	95

ANEXO 1.3.1: TERCER ESQUEMA. EXPANSIÓN.**Datos****Temperaturas**

$$T_6 = 100$$

$$T_9 = 1100$$

$$T_{11} = 1100$$

$$T_{13} = 600$$

Presiones

$$P_{\text{cavern};\text{max}} = 60$$

$$P_{\text{cavern};\text{min}} = 40$$

$$P_{\text{cavern}} = 60 \text{ bar } \textit{presion mini caes, no muy alta}$$

$$P_6 = P_{\text{cavern}}$$

$$P_7 = 0,99 \cdot P_6 \text{ bar } \textit{suponemos una pérdida de presión del 1 \% en los equipos}$$

$$P_8 = 0,99 \cdot P_7 \text{ suponemos una pérdida de presión del 1 \% en los equipos}$$

$$P_9 = 0,99 \cdot P_8 \text{ supuesta}$$

$$P_{11} = 0,99 \cdot P_{10}$$

$$P_{13} = 1 \text{ salida}$$

$$P_{13} = P_{12} \cdot 0,99$$

$$P_{10} = \sqrt{P_{\text{cavern}}} \text{ misma relación de presiones que en la compresión}$$

Rendimientos

$$\text{rend}_{\text{iso};\text{Thp}} = 0,95$$

$$\text{rend}_{\text{iso};\text{Tlp}} = 0,95$$

Fujo másico

$$M_t = 20 \text{ kg/s } \textit{Fujo másico despues de entrar en la caverna}$$

Constante de los gases

$$R = 8,31 \text{ KJ/kmolK}$$

Masa molar aire

$$\text{Masa}_{\text{molar}} = \text{MolarMass} [\text{Air}]$$

Fujo másico Gas Natural

$$\text{PCI}_{\text{GN1}} = 39900 \text{ KJ/kg}$$

$$PCI_{GN1} \cdot M_{gn1} = Q_{cc1} \quad \text{Mgn= flujo másico gas natural en la primera cámara de combustión}$$

$$M_{tgn1} = M_t + M_{gn1} \quad \text{M}_{tgn} = \text{flujo másico a la salida de la caverna + flujo masico de gas natural en la primera cámara de combustión}$$

$$PCI_{GN2} = 39900 \quad \text{Kj/kg}$$

$$PCI_{GN2} \cdot M_{gn2} = Q_{cc2} \quad \text{Mgn= flujo másico gas natural en la segunda cámara de combustión}$$

$$M_{tgn2} = M_{tgn1} + M_{gn2} \quad \text{M}_{tgn} = \text{flujo másico a la salida de la caverna + flujo masico de gas natural en la segunda cámara de combustión}$$

BALANCES DE ENERGÍA

$$h_6 = h [\text{Air} ; T = T_6]$$

$$h_9 = h [\text{Air} ; T = T_9]$$

$$h_{11} = h [\text{Air} ; T = T_{11}]$$

$$h_{13} = h [\text{Air} ; T = T_{13}]$$

Rendimiento isoentropico turbina baja presion

$$\text{rend}_{\text{iso;Tlp}} = \frac{W_{\text{tlp}}}{W_{\text{iso;tlp}}}$$

$$W_{\text{tlp}} = M_{tgn1} \cdot [h_9 - h_{10}] \quad \text{KJ/s}$$

$$W_{\text{iso;tlp}} = M_{tgn1} \cdot [h_9 - h_{10s}] \quad \text{KJ/s}$$

$$s_9 = s [\text{Air} ; T = T_9 ; P = P_9]$$

$$h_{10s} = h [\text{Air} ; P = P_{10} ; s = s_9]$$

$$T_{10} = T [\text{Air} ; h = h_{10}]$$

Rendimiento isoentropico turbina alta presion

$$\text{rend}_{\text{iso;Thp}} = \frac{W_{\text{thp}}}{W_{\text{iso;thp}}}$$

$$W_{\text{thp}} = M_{tgn2} \cdot [h_{11} - h_{12}] \quad \text{KJ/s}$$

$$W_{\text{iso;thp}} = M_{tgn2} \cdot [h_{11} - h_{12s}] \quad \text{KJ/s}$$

$$s_{11} = s [\text{Air} ; T = T_{11} ; P = P_{11}]$$

$$h_{12s} = h [\text{Air} ; s = s_{11} ; P = P_{12}]$$

$$T_{12} = T [\text{Air} ; h = h_{12}]$$

Intercambiadores

Calor intercambiador 1

$$Q_{\text{int1}} = 1843$$

$$Q_{\text{int1}} = M_t \cdot [h_7 - h_6] \text{ KJ/s}$$

$$T_7 = T [\text{Air}; h = h_7]$$

Calor intercambiador 2

$$Q_{\text{int2}} = Q_{\text{int3}}$$

$$Q_{\text{int2}} = M_t \cdot [h_8 - h_7] \text{ KJ/s}$$

$$T_8 = T [\text{Air}; h = h_8]$$

Calor intercambiador 3

$$Q_{\text{int3}} = M_{\text{tgn2}} \cdot [h_{13} - h_{12}] \text{ KJ/s}$$

Balances cámaras de combustión

calor cámara combustion 1

$$Q_{\text{cc1}} = M_{\text{tgn1}} \cdot [h_9 - h_8] \text{ KJ/s}$$

calor cámara combustion 2

$$Q_{\text{cc2}} = M_{\text{tgn2}} \cdot [h_{11} - h_{10}] \text{ KJ/s}$$

Rendimiento

$$W_{\text{tot,turb}} = W_{\text{thp}} + W_{\text{tlp}}$$

$$Q_{\text{tot}} = Q_{\text{cc1}} + Q_{\text{cc2}}$$

SOLUTION

Unit Settings: SI C bar kJ mass deg

$$h_{10} = 887,4 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$h_{11} = 1483 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$h_{12s} = 853,7 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$h_6 = 374,1 \text{ [kJ/kg]}$$

$$h_8 = 485 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$M_{\text{amolar}} = 28,97 \text{ [kg/kmol]}$$

$$M_{\text{gn2}} = 0,311 \text{ [Kg]}$$

$$M_{\text{tgn1}} = 20,51 \text{ [Kg/s]}$$

$$P_{\text{ClGN1}} = 39900 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$P_{10} = 7,746 \text{ [bar]}$$

$$P_{12} = 1,01 \text{ [bar]}$$

$$P_6 = 60 \text{ [bar]}$$

$$P_8 = 58,81 \text{ [bar]}$$

$$P_{\text{cavern}} = 60 \text{ [bar]}$$

$$P_{\text{cavern,min}} = 40 \text{ [bar]}$$

$$Q_{\text{cc2}} = 12410 \text{ [KJ]}$$

$$Q_{\text{int2}} = 375,8 \text{ [Kg/s]}$$

$$Q_{\text{tot}} = 32888$$

$$\text{rend}_{\text{iso,Thp}} = 0,95$$

$$s_{11} = 6,757 \text{ [kJ/kg-K]}$$

$$T_{10} = 585,8 \text{ [C]}$$

$$h_{10s} = 856,1 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$h_{12} = 885,2 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$h_{13} = 903,2 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$h_7 = 466,3 \text{ [kJ/kg]}$$

$$h_9 = 1483 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$M_{\text{gn1}} = 0,5132 \text{ [Kg/s]}$$

$$M_t = 20 \text{ [Kg/s]}$$

$$M_{\text{tgn2}} = 20,82 \text{ [Kg/s]}$$

$$P_{\text{ClGN2}} = 39900 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$P_{11} = 7,669 \text{ [bar]}$$

$$P_{13} = 1 \text{ [bar]}$$

$$P_7 = 59,4 \text{ [bar]}$$

$$P_9 = 58,22 \text{ [bar]}$$

$$P_{\text{cavern,max}} = 60 \text{ [bar]}$$

$$Q_{\text{cc1}} = 20479 \text{ [KJ/Kg]}$$

$$Q_{\text{int1}} = 1843 \text{ [Kg/s]}$$

$$Q_{\text{int3}} = 375,8 \text{ [Kg/s]}$$

$$R = 8,31 \text{ [KJ/kmolK]}$$

$$\text{rend}_{\text{iso,Tlp}} = 0,95 \text{ [Kg/KJ]}$$

$$s_9 = 6,175 \text{ [kJ/kg-K]}$$

$$T_{11} = 1100 \text{ [C]}$$

$$T_{12} = 583,8 \text{ [C]}$$

$$T_6 = 100 \text{ [C]}$$

$$T_8 = 209 \text{ [C]}$$

$$W_{\text{iso,thp}} = 13113 \text{ [KJ/s]}$$

$$W_{\text{thp}} = 12457 \text{ [KJ/s]}$$

$$W_{\text{tot,turb}} = 24681$$

$$T_{13} = 600 \text{ [C]}$$

$$T_7 = 190,7 \text{ [C]}$$

$$T_9 = 1100 \text{ [C]}$$

$$W_{\text{iso,tip}} = 12868 \text{ [KJ/s]}$$

$$W_{\text{tip}} = 12224 \text{ [Kg/s]}$$

10 potential unit problems were detected.

EES suggested units (shown in purple) for h_10s h_12 h_12s h_13 h_6 h_7 .

ANEXO 1.3.2: TERCER ESQUEMA. SIMULACIÓN EXPANSIÓN.**Datos****Temperaturas**

$$T_6 = 100$$

$$T_9 = 1100$$

$$T_{11} = 1100$$

$$T_{13} = 630$$

Presiones

$$P_{\text{cavern};\text{max}} = 60$$

$$P_{\text{cavern};\text{min}} = 40$$

$$P_6 = P_{\text{cavern}}$$

$$P_7 = 0,99 \cdot P_6 \text{ bar } \textit{suponemos una pérdida de presión del 1 \% en los equipos}$$

$$P_8 = 0,99 \cdot P_7 \text{ suponemos una pérdida de presión del 1 \% en los equipos}$$

$$P_9 = 0,99 \cdot P_8 \text{ supuesta}$$

$$P_{11} = 0,99 \cdot P_{10}$$

$$P_{13} = 1 \text{ salida}$$

$$P_{13} = P_{12} \cdot 0,99$$

$$P_{10} = \sqrt{P_{\text{cavern}}} \text{ misma relación de presiones que en la compresión}$$

Rendimientos

$$\text{rend}_{\text{iso};\text{Thp}} = 0,95$$

$$\text{rend}_{\text{iso};\text{Tlp}} = 0,95$$

Fujo másico

$$M_t = 20 \text{ kg/s } \textit{Fujo másico después de entrar en la caverna}$$

Constante de los gases

$$R = 8,31 \text{ Kj/kmolK}$$

Masa molar aire

$$M_{\text{molar}} = \text{MolarMass} [\text{Air}]$$

Fujo másico Gas Natural

$$PCI_{\text{GN1}} = 39900 \text{ Kj/kg}$$

$$PCI_{\text{GN1}} \cdot M_{\text{gn1}} = Q_{\text{cc1}} \text{ Mgn= fujo másico gas natural en la primera cámara de combustión}$$

$$M_{tgn1} = M_t + M_{gn1}$$

M_{tgn} = flujo másico a la salida de la caverna + flujo masico de gas natural en la primera cámara de combustión

$$PCI_{GN2} = 39900 \text{ KJ/kg}$$

$$PCI_{GN2} \cdot M_{gn2} = Q_{cc2} \quad M_{gn} = \text{fujo másico gas natural en la segunda cámara de combustión}$$

$$M_{tgn2} = M_{tgn1} + M_{gn2}$$

M_{tgn} = flujo másico a la salida de la caverna + fujo masico de gas natural en la segunda cámara de combustión

Cálculo Masa inicial, incremento de masa, P_{cavern}

$$V_{cavern} = 15409$$

$$\text{Masa} = M_{tgn2} \cdot 3600 \cdot H$$

$$N = \frac{\text{Masa}}{\text{Masa}_{\text{molar}}}$$

$$N_i = \frac{M_i}{\text{Masa}_{\text{molar}}}$$

$$N_h = \frac{M_i + \text{Masa}}{\text{Masa}_{\text{molar}}}$$

$$M_f = M_i - \text{Masa}$$

$$V_{cavern} = [N_i - N] \cdot R \cdot \left[\frac{T_6 + 273}{P_{cavern} \cdot 100} \right]$$

$$V_{cavern} = N_i \cdot R \cdot \left[\frac{T_6 + 273}{P_{cavern,max} \cdot 100} \right]$$

$$V_{cavern} = N_f \cdot R \cdot \left[\frac{T_6 + 273}{P_{cavern,min} \cdot 100} \right]$$

BALANCES DE ENERGÍA

entalpías

$$h_6 = h [\text{Air}; T = T_6]$$

$$h_9 = h [\text{Air}; T = T_9]$$

$$h_{11} = h [\text{Air}; T = T_{11}]$$

$$h_{13} = h [\text{Air}; T = T_{13}]$$

Rendimiento isoentropico turbina baja presion

$$\text{rend}_{\text{iso;Tlp}} = \frac{W_{\text{tip}}}{W_{\text{iso;tip}}}$$

$$W_{\text{tip}} = M_{tgn1} \cdot [h_9 - h_{10}] \text{ KJ/s}$$

$$W_{\text{iso;tlp}} = M_{\text{tgn1}} \cdot [h_9 - h_{10s}] \quad \text{KJ/s}$$

$$s_9 = s [\text{Air}; T = T_9; P = P_9]$$

$$h_{10s} = h [\text{Air}; P = P_{10}; s = s_9]$$

$$T_{10} = T [\text{Air}; h = h_{10}]$$

Rendimiento isoentropico turbina alta presion

$$\text{rend}_{\text{iso;Thp}} = \frac{W_{\text{thp}}}{W_{\text{iso;thp}}}$$

$$W_{\text{thp}} = M_{\text{tgn2}} \cdot [h_{11} - h_{12}] \quad \text{KJ/s}$$

$$W_{\text{iso;thp}} = M_{\text{tgn2}} \cdot [h_{11} - h_{12s}] \quad \text{KJ/s}$$

$$s_{11} = s [\text{Air}; T = T_{11}; P = P_{11}]$$

$$h_{12s} = h [\text{Air}; s = s_{11}; P = P_{12}]$$

$$T_{12} = T [\text{Air}; h = h_{12}]$$

Intercambiadores

Calor intercambiador 1

$$Q_{\text{int1}} = 3388$$

$$Q_{\text{int1}} = M_t \cdot [h_7 - h_6] \quad \text{KJ/s}$$

$$T_7 = T [\text{Air}; h = h_7]$$

Calor intercambiador 2

$$Q_{\text{int2}} = Q_{\text{int3}}$$

$$Q_{\text{int2}} = M_t \cdot [h_8 - h_7] \quad \text{KJ/s}$$

$$T_8 = T [\text{Air}; h = h_8]$$

Calon intercambiador 3

$$Q_{\text{int3}} = M_{\text{tgn2}} \cdot [h_{13} - h_{12}] \quad \text{KJ/s}$$

Balances cámaras de combustión

Calor cámara combustion 1

$$Q_{\text{cc1}} = M_{\text{tgn1}} \cdot [h_9 - h_8] \quad \text{KJ/s}$$

Calor cámara combustion 2

$$Q_{\text{cc2}} = M_{\text{tgn2}} \cdot [h_{11} - h_{10}] \quad \text{KJ/s}$$

Rendimiento

$$W_{\text{tot;turb}} = W_{\text{thp}} + W_{\text{tlp}}$$

$$Q_{\text{tot}} = Q_{\text{cc1}} + Q_{\text{cc2}}$$

Parametric Table: Expansión por horas.

	H [H]	P _{cavern} [bar]	M _i [Kg]	Masa [Kg]	M _f [Kg]	W _{tip} [KJ/Kg]	W _{thp} [KJ/Kg]	W _{tot;turb} [KJ/Kg]	Q _{cc1} [KJ/Kg]
Run 1	0,0001	60	864008	7,475	864001	12189	12421	24610	18128
Run 2	1	54,81	864008	74753	789255	11982	12208	24190	18352
Run 3	2	49,62	864008	149508	714500	11750	11970	23721	18601
Run 4	3	44,43	864008	224265	639743	11490	11703	23193	18881
Run 5	4	39,23	864008	299025	564983	11192	11398	22590	19201

Parametric Table: Expansión por horas.

	Q _{cc2} [KJ/Kg]	Q _{tot} [KJ/Kg]	Q _{int2} [KJ/Kg]	Q _{int3} [KJ/Kg]
Run 1	12374	30502	1071	1071
Run 2	12160	30512	857,8	857,8
Run 3	11922	30523	620,2	620,2
Run 4	11654	30535	352,6	352,6
Run 5	11348	30549	47,09	47,09

ANEXO 2.1: RESULTADOS EES TODOS LOS ESQUEMAS

COMPRESIÓN						
Primer Esquema						
H (h)	p_cavern (bar)	Mi (Kg)	ΔM (Kg)	Mf (Kg)	Wc (KJ/s)	Qrefri (KJ/s)
1	42,5	576005	36000	612005	6485	5730
2	45	576005	72000	648005	6569	5813
3	47,5	576005	108000	684005	6644	5889
4	50	576005	144000	720005	6713	5957
5	52,5	576005	180000	756005	6774	6019
6	55	576005	216000	792005	6830	6075
7	57,5	576005	252000	828005	6880	6125
8	60	576005	288000	864005	6925	6170

EXPANSIÓN						
Primer Esquema						
H (h)	p_cavern (bar)	Mi (Kg)	ΔM (Kg)	Mf (Kg)	WT (KJ/s)	Qcc (KJ/s)
1	54,86	864008	74059	789949	18809	22819
2	49,71	864008	148118	715890	18746	22819
3	44,57	864008	222177	641832	18639	22819
4	39,43	864008	296236	567773	18476	22819

ANEXO 2.1: RESULTADOS EES TODOS LOS ESQUEMAS

COMPRESIÓN					
Segundo esquema					
H (h)	p_cavern (bar)	Mi (Kg)	ΔM (Kg)	Mf (Kg)	Wc1 (KJ/s)
1	42,5	576005	36000	612005	2410
2	45	576005	72000	648005	2430
3	47,5	576005	108000	684005	2447
4	50	576005	144000	720005	2462
5	52,5	576005	180000	756005	2475
6	55	576005	216000	792005	2486
7	57,5	576005	252000	828005	2496
8	60	576005	288000	864005	2504

COMPRESIÓN				
Segundo esquema				
Wc2 (KJ/s)	Wc_tot (KJ/s)	Qint (KJ/s)	Qaft (KJ/s)	Qint1 (KJ/s)
3049	5460	1655	3049	1112
3074	5504	1675	3074	1156
3095	5542	1692	3095	1194
3113	5575	1707	3113	1228
3129	5604	1720	3129	1256
3142	5628	1731	3142	1280
3153	5649	1740	3153	1301
3162	5666	1748	3162	1318

EXPANSIÓN					
Segundo Esquema					
H (h)	p_cavern (bar)	Mi (Kg)	ΔM (Kg)	Mf (Kg)	WT (KJ/s)
1	54,88	864008	73704	790304	18640
2	49,76	864008	147421	716587	18578
3	44,64	864008	221162	642846	18472
4	39,52	864008	294945	569063	18312

EXPANSIÓN		
Segundo Esquema		
Qcc (KJ/s)	Qint2 (KJ/s)	Qint3 (KJ/s)
18891	342,5	342,5
18958	278,6	278,6
19071	170,9	170,9
19243	7,136	7,136

ANEXO 2.1: RESULTADOS EES TODOS LOS ESQUEMAS

COMPRESIÓN					
Tercer Esquema					
H (h)	P_cavern (bar)	Mi (Kg)	ΔM (Kg)	Mf (Kg)	Wc1 (KJ/s)
1	42,5	576005	36000	612005	2410
2	45	576005	72000	648005	2430
3	47,5	576005	108000	684005	2447
4	50	576005	144000	720005	2462
5	52,5	576005	180000	756005	2475
6	55	576005	216000	792005	2486
7	57,5	576005	252000	828005	2496
8	60	576005	288000	864005	2504

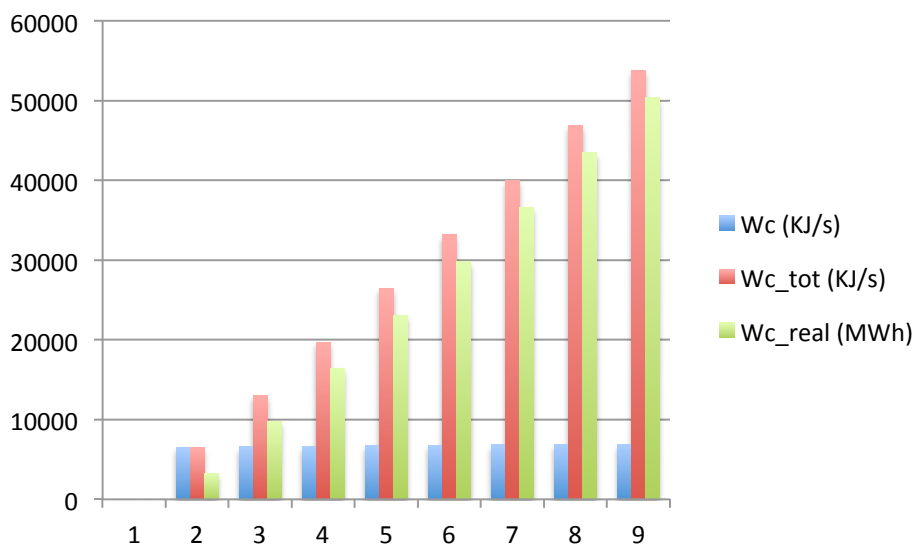
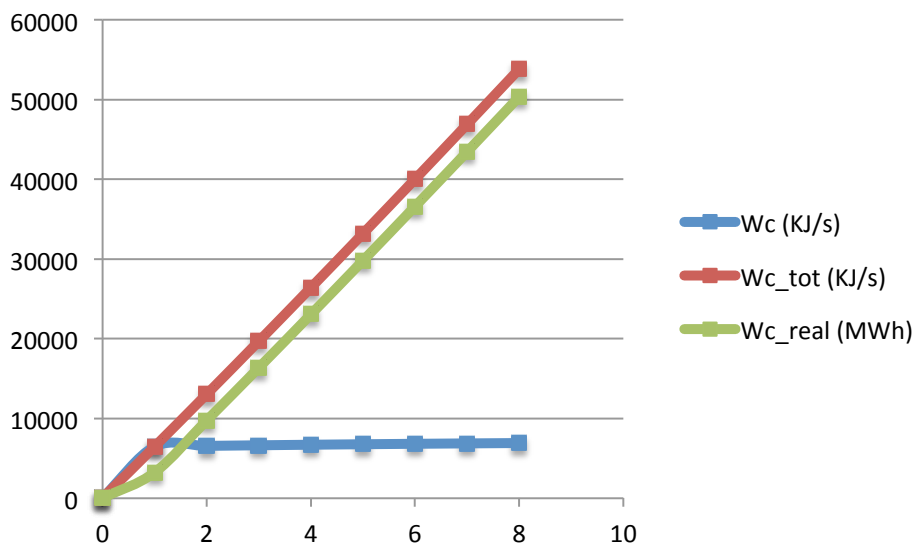
COMPRESIÓN				
Tercer Esquema				
Wc2 (KJ/s)	Wc_tot (KJ/s)	Qint (KJ/s)	Qaft (KJ/s)	Qint1 (KJ/s)
3049	5460	1655	3049	1112
3074	5504	1675	3074	1156
3095	5542	1692	3095	1194
3113	5575	1707	3113	1228
3129	5604	1720	3129	1256
3142	5628	1731	3142	1280
3153	5649	1740	3153	1301
3162	5666	1748	3162	1318

EXPANSIÓN					
Tercer Esquema					
H (h)	P_cavern (bar)	Mi (Kg)	ΔM (Kg)	Mf (Kg)	Wt_lp (KJ/s)
1	54,81	864008	74753	789255	11982
2	49,62	864008	149508	714500	11750
3	44,43	864008	224265	639743	11490
4	39,23	864008	299025	564983	11192

EXPANSIÓN					
Tercer Esquema					
Wt_hp (KJ/s)	Wt_tot (KJ/s)	Qcc1 (KJ/s)	Qcc2 (KJ/s)	Qtot (KJ/s)	Qint2 (KJ/s)
12208	24190	18352	12160	30512	857,8
11970	23721	18601	11922	30523	620,2
11703	23193	18881	11654	30535	352,6
11398	22590	19201	11348	30549	47,09

ANEXO 2.2: ENERGÍA REAL COMPRESIÓN Y EXPANSIÓN.

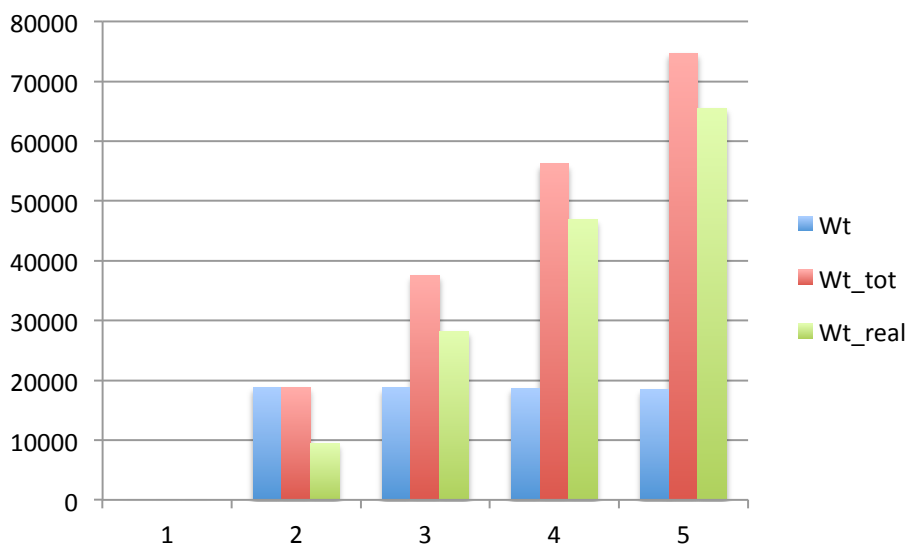
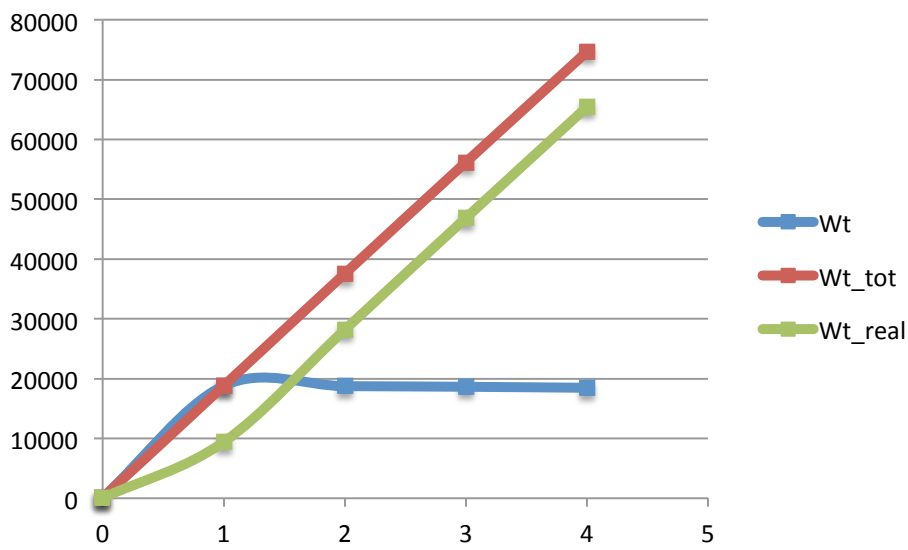
primer esquema			
Compresión			
Horas	Wc (KJ/s)	Wc_tot (KJ/s)	Wc_real (MWh)
0	0	0	0
1	6485	6485	3242,5
2	6569	13054	9769,5
3	6644	19698	16376
4	6713	26411	23054,5
5	6774	33185	29798
6	6830	40015	36600
7	6880	46895	43455
8	6925	53820	50357,5



ANEXO 2.2: ENERGÍA REAL COMPRESIÓN Y EXPANSIÓN.

primer esquema

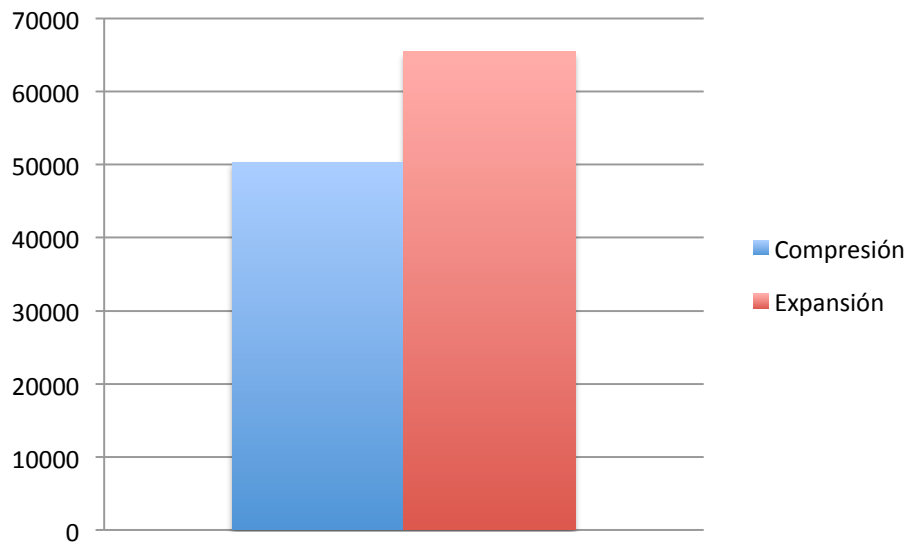
Expansión			
Horas	Wt	Wt_tot	Wt_real
0	0	0	0
1	18809	18809	9404,5
2	18746	37555	28182
3	18639	56194	46874,5
4	18476	74670	65432



ANEXO 2.2: ENERGÍA REAL COMPRESIÓN Y EXPANSIÓN.

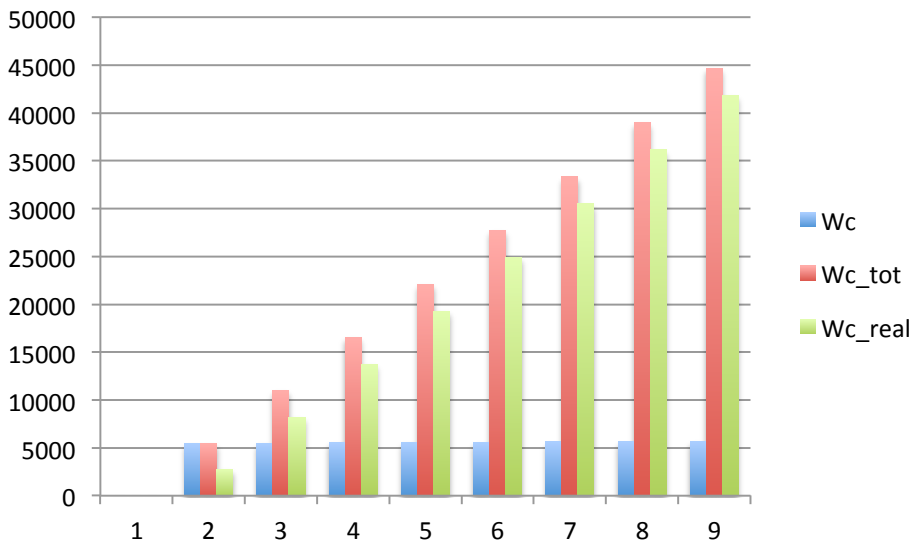
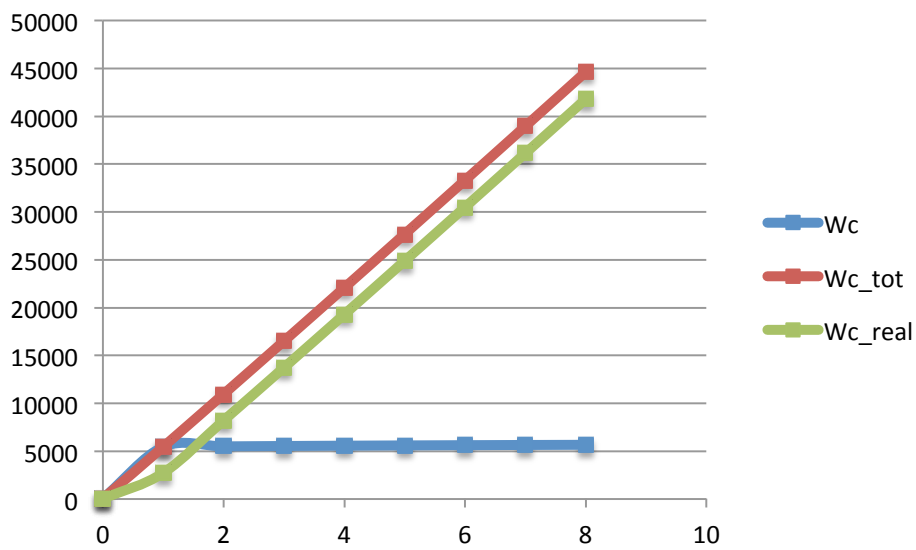
primer esquema

	Compresión	Expansión
Energía	50357,5	65432



ANEXO 2.2: ENERGÍA REAL COMPRESIÓN Y EXPANSIÓN.

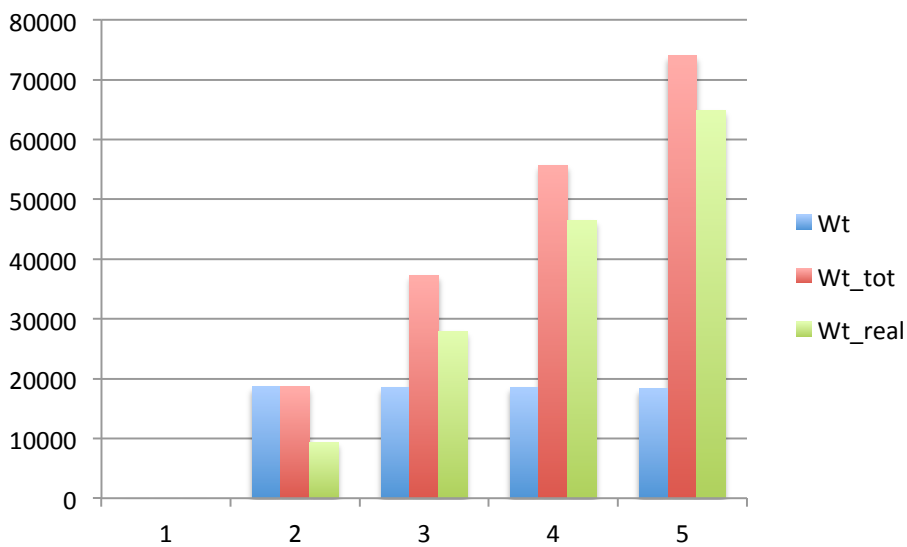
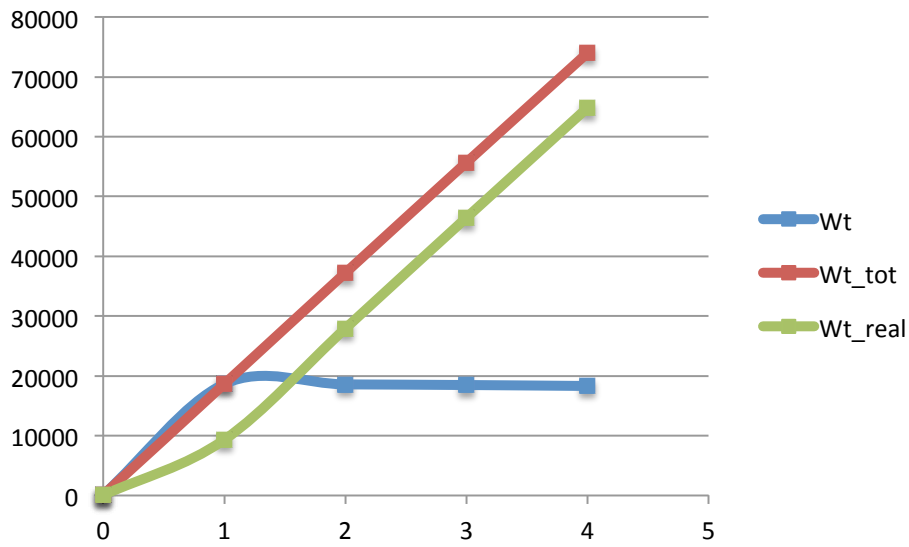
Segundo esquema			
Compresión			
Horas	Wc	Wc_tot	Wc_real
0	0	0	0
1	5460	5460	2730
2	5504	10964	8212
3	5542	16506	13735
4	5575	22081	19293,5
5	5604	27685	24883
6	5628	33313	30499
7	5649	38962	36137,5
8	5666	44628	41795



ANEXO 2.2: ENERGÍA REAL COMPRESIÓN Y EXPANSIÓN.

Segundo esquema

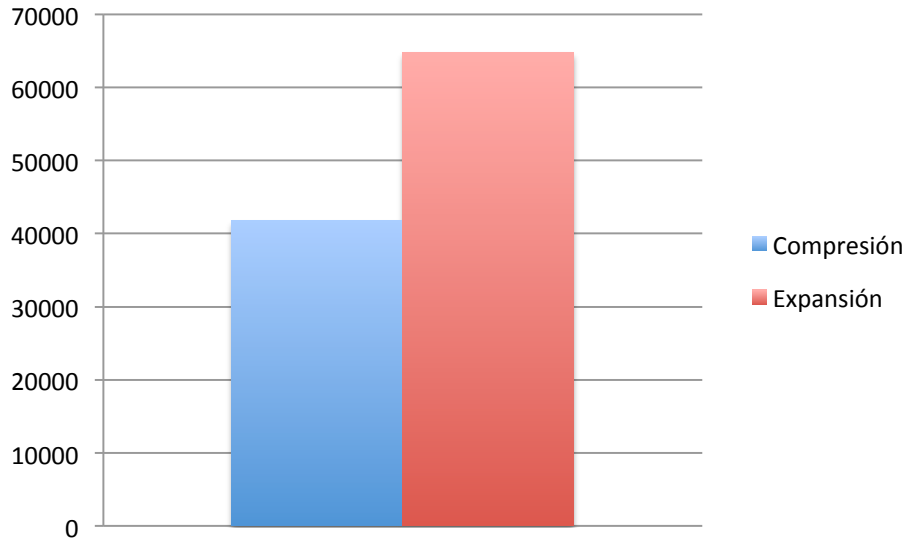
Expansión			
Horas	Wt	Wt_tot	Wt_real
0	0	0	0
1	18640	18640	9320
2	18578	37218	27929
3	18472	55690	46454
4	18312	74002	64846



ANEXO 2.2: ENERGÍA REAL COMPRESIÓN Y EXPANSIÓN.

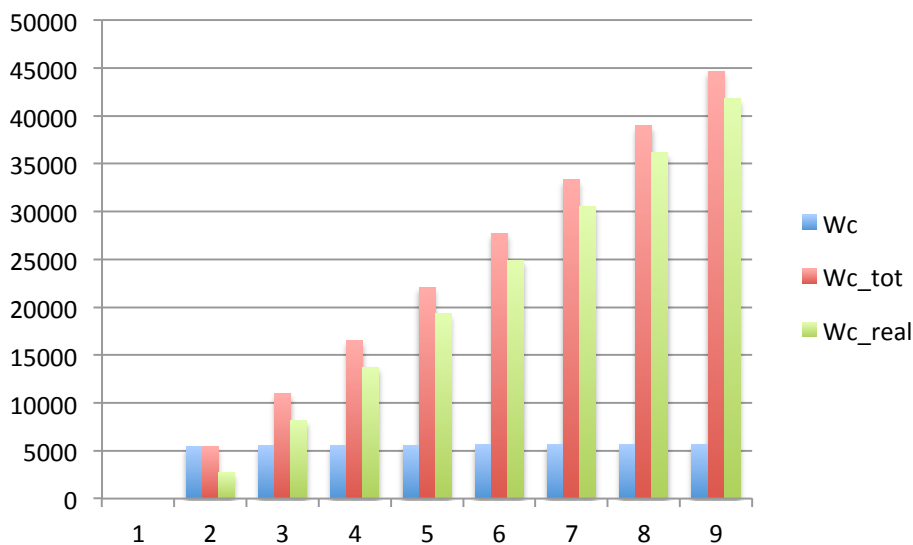
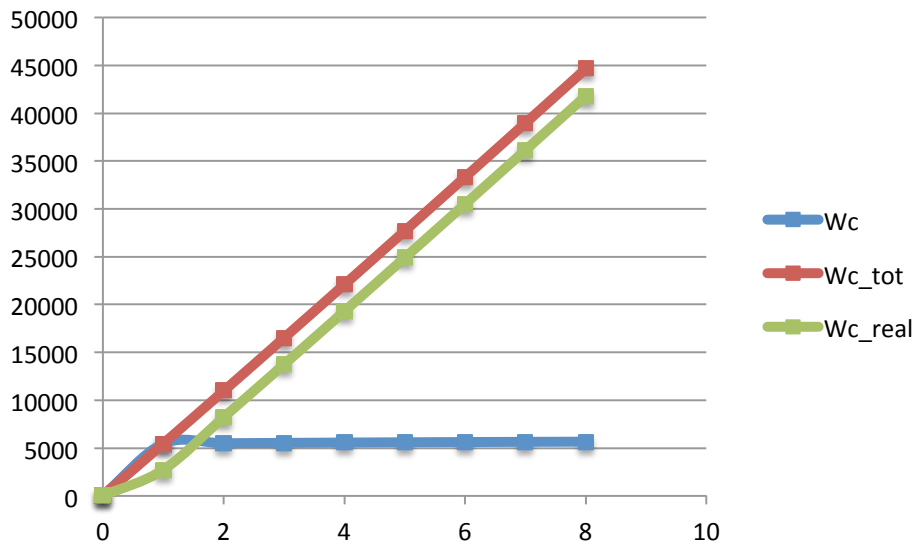
Segundo esquema

	Compresión	Expansión
Energía	41795	64846



ANEXO 2.2: ENERGÍA REAL COMPRESIÓN Y EXPANSIÓN.

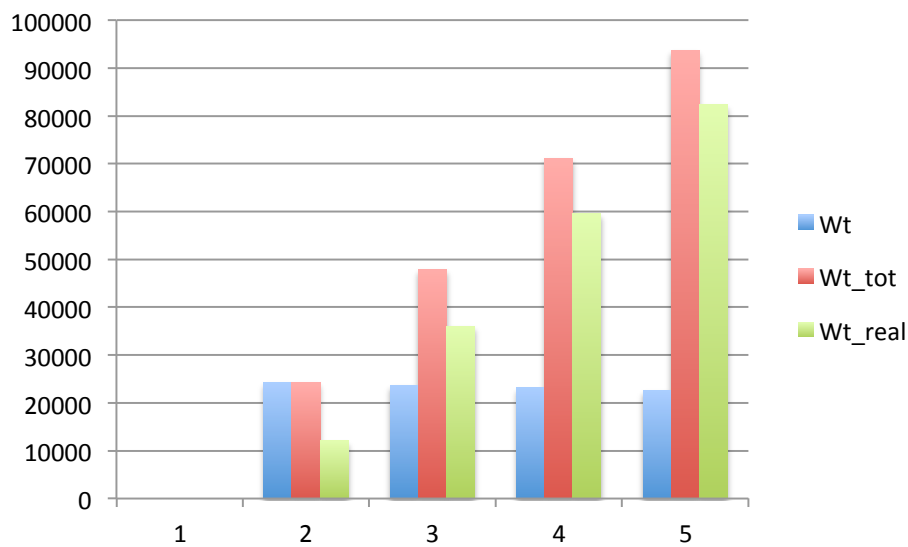
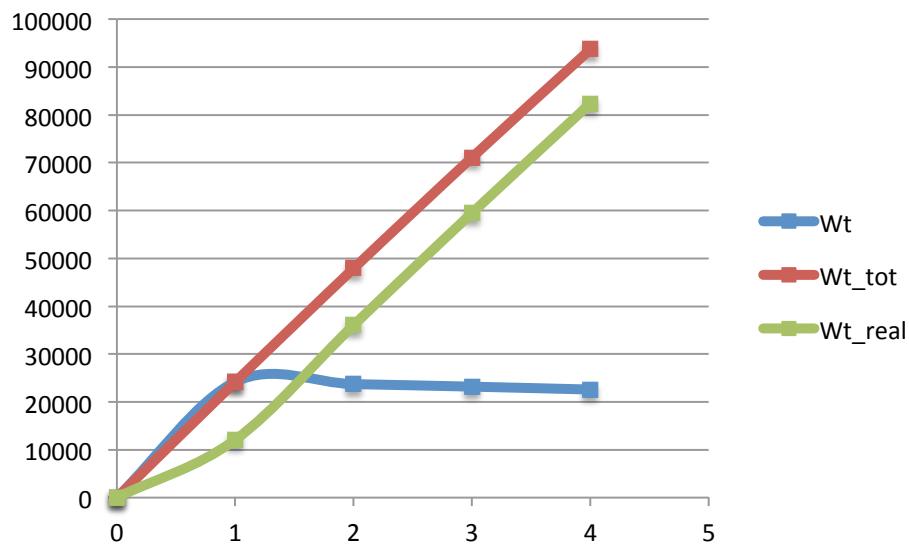
Tercer esquema			
Compresión			
Horas	Wc	Wc_tot	Wc_real
0	0	0	0
1	5460	5460	2730
2	5504	10964	8212
3	5542	16506	13735
4	5575	22081	19293,5
5	5604	27685	24883
6	5628	33313	30499
7	5649	38962	36137,5
8	5666	44628	41795



ANEXO 2.2: ENERGÍA REAL COMPRESIÓN Y EXPANSIÓN.

Tercer esquema

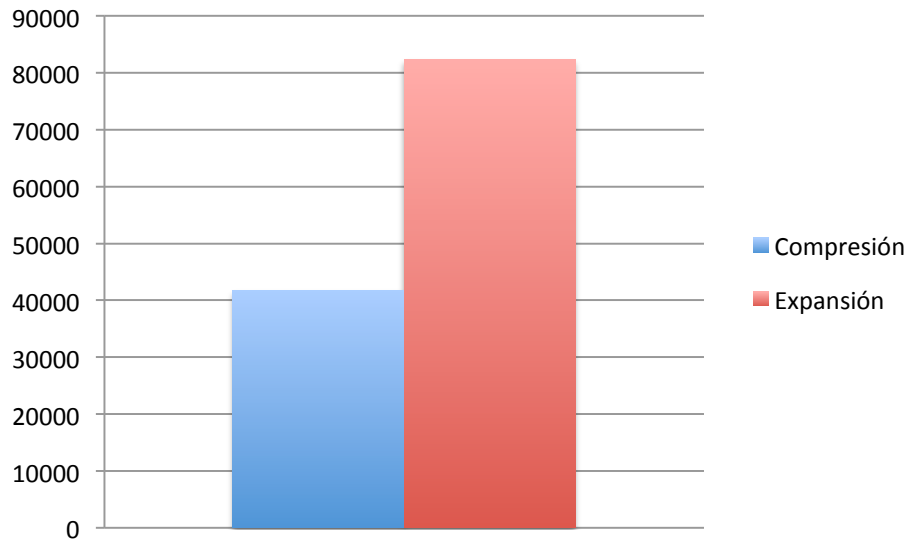
Expansión			
Horas	Wt	Wt_tot	Wt_real
0	0	0	0
1	24190	24190	12095
2	23721	47911	36050,5
3	23193	71104	59507,5
4	22590	93694	82399



ANEXO 2.2: ENERGÍA REAL COMPRESIÓN Y EXPANSIÓN.

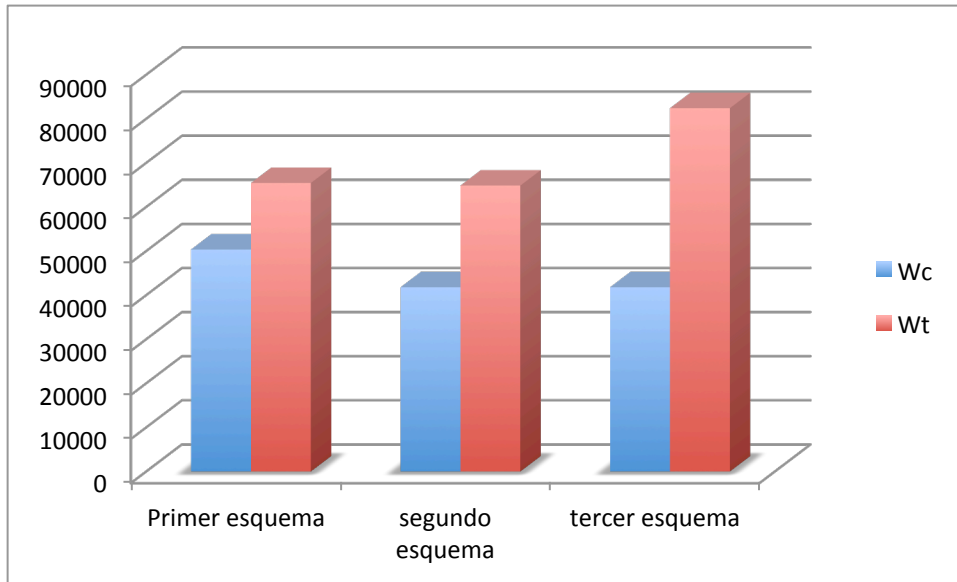
Tercer esquema

	Compresión	Expansión
Energía	41795	82399



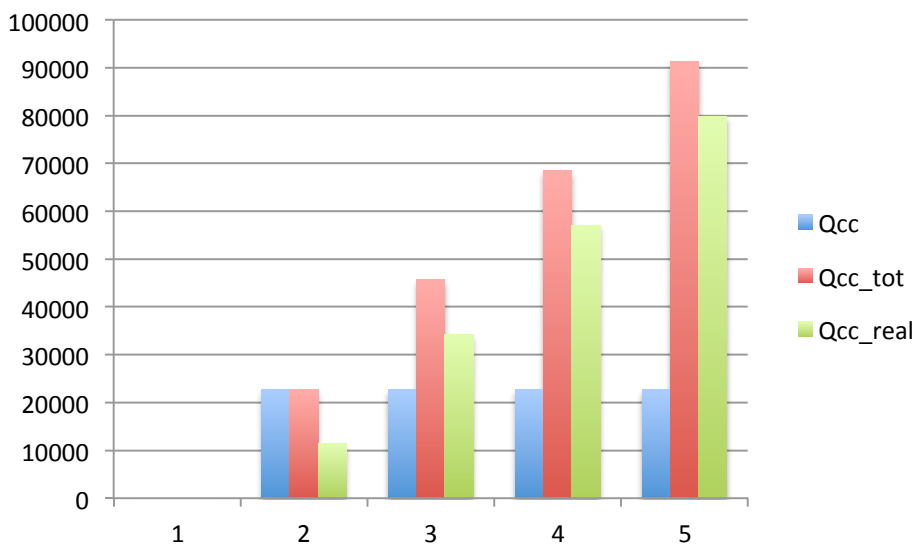
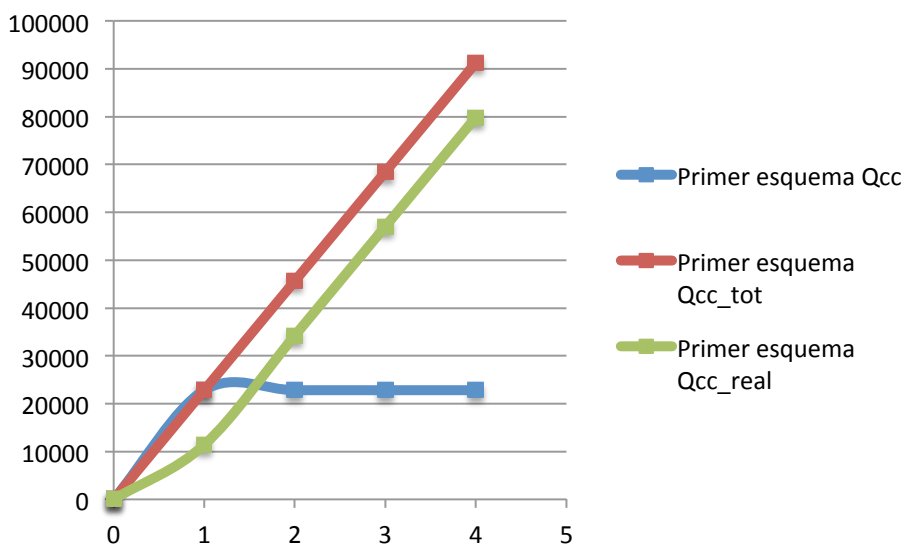
ANEXO 2.2: ENERGÍA REAL COMPRESIÓN Y EXPANSIÓN.

	Primer esquema	segundo esquema	tercer esquema
Energía Compresión	50357,5	41795	41795
Energía Expansión	65432	64846	82399



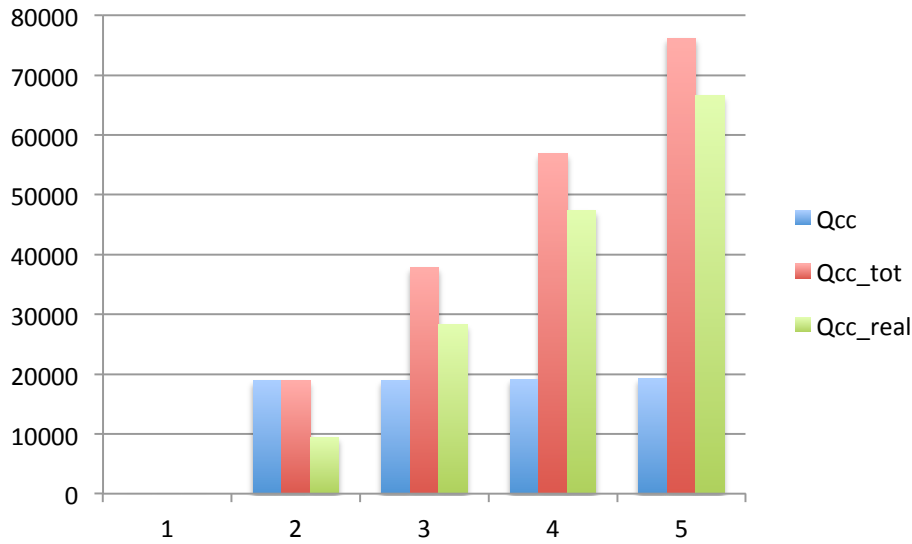
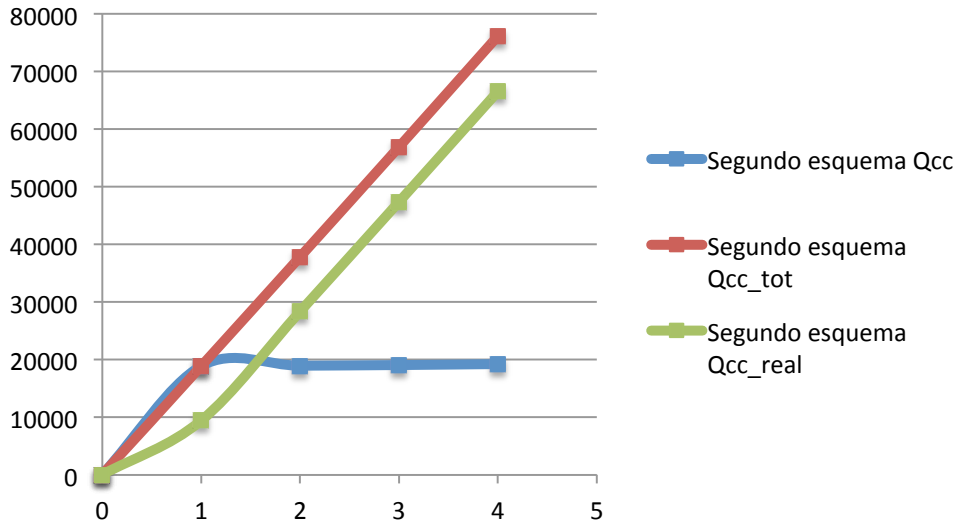
ANEXO 2.3: ENERGÍA REAL CALOR COMBUSTIÓN

Primer esquema			
H	Qcc	Qcc_tot	Qcc_real
0	0	0	0
1	22819	22819	11409,5
2	22819	45638	34228,5
3	22819	68457	57047,5
4	22819	91276	79866,5



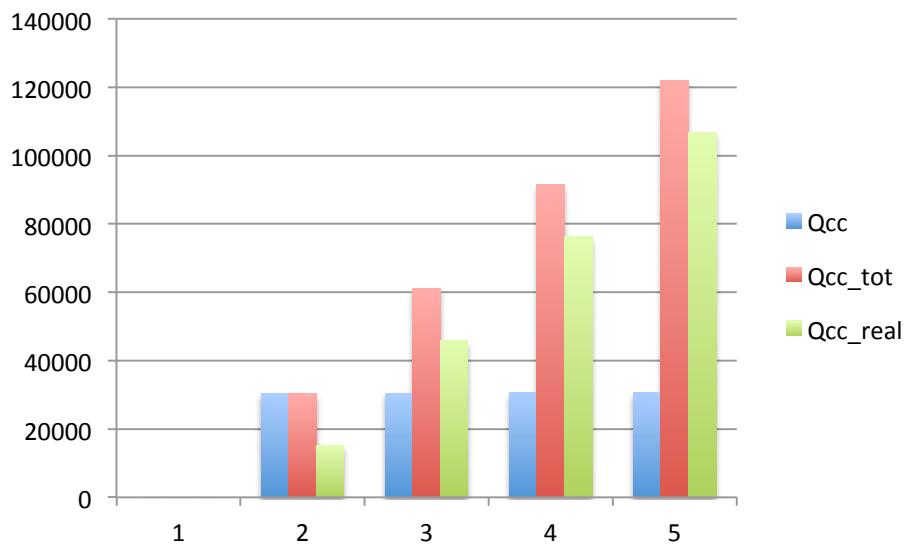
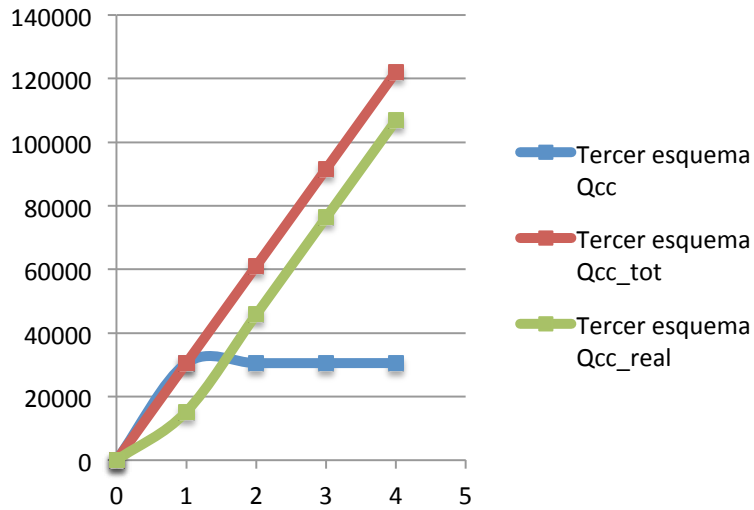
ANEXO 2.3: ENERGÍA REAL CALOR COMBUSTIÓN

Segundo esquema			
H	Qcc	Qcc_tot	Qcc_real
0	0	0	0
1	18891	18891	9445,5
2	18958	37849	28370
3	19071	56920	47384,5
4	19243	76163	66541,5



ANEXO 2.3: ENERGÍA REAL CALOR COMBUSTIÓN

Tercer esquema			
H	Qcc	Qcc_tot	Qcc_real
0	0	0	0
1	30512	30512	15256
2	30523	61035	45773,5
3	30535	91570	76302,5
4	30549	122119	106844,5



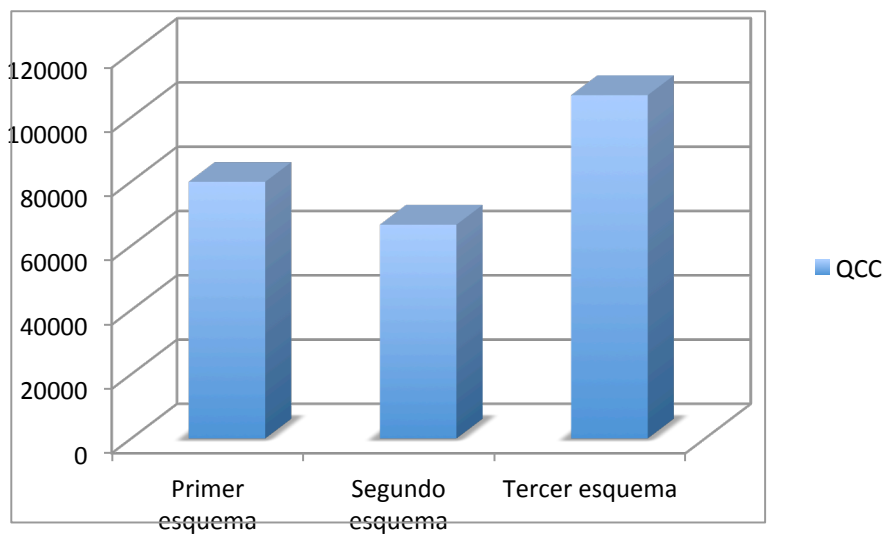
ANEXO 2.3: ENERGÍA REAL CALOR COMBUSTIÓN

Primer esquema	KJ/s
QCC	79866,5

Segundo esquema	KJ/s
QCC	66541,5

Tercer esquema	KJ/s
QCCT	106844,5

	Primer esquema	Segundo esquema	Tercer esquema
QCC	79866,5	66541,5	106844,5



ANEXO 2.3: CALOR APROVECHADO Y NO APROVECHADO INT1 Y CALOR INTERCAMBIADOR 2 Y 3

calor aprovechado no aprovechado intercambiador 1			
H	Qint1	Qint1_total	Qint1_real
0	0	0	0
1	1112	1112	556
2	1156	2268	1690
3	1194	3462	2865
4	1228	4690	4076
5	1256	5946	5318
6	1280	7226	6586
7	1301	8527	7876,5
8	1318	9845	9186

calor aprovechado no aprovechado intercambiador 1			
H	Q_No_aprov_IC	Q_No_aprov_IC_total	Q_No_aprov_IC_real
0	0	0	0
1	4052	4052	2026
2	4052	8104	6078
3	4052	12156	10130
4	4052	16208	14182
5	4052	20260	18234
6	4052	24312	22286
7	4052	28364	26338
8	4052	32416	30390

calor aprovechado no aprovechado intercambiador 1			
H	Q_NO_aprov_AC	Q_NO_aprov_AC_total	Q_NO_aprov_AC_real
0	0	0	0
1	8133	8133	4066,5
2	8133	16266	12199,5
3	8133	24399	20332,5
4	8133	32532	28465,5
5	8133	40665	36598,5
6	8133	48798	44731,5
7	8133	56931	52864,5
8	8133	65064	60997,5

ANEXO 2.3: CALOR APROVECHADO Y NO APROVECHADO INT1 Y CALOR INTERCAMBIADOR 2 Y 3

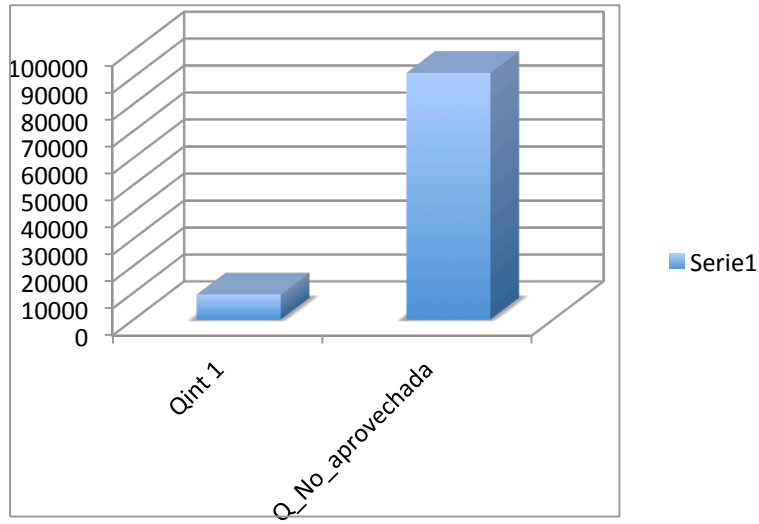
CALOR INT2 Y 3			
Segundo esquema			
Horas	Qint2 (KJ/s)	Qint2_tot (KJ/s)	Qint2_real (MWh)
0	0	0	0
1	342,5	342,5	171,25
2	278,6	621,1	481,8
3	170,9	792	706,55
4	7,136	799,136	795,568

CALOR INT2 Y 3			
Tercer esquema			
Horas	Qint2 (KJ/s)	Qint2_tot (KJ/s)	Qint2_real (MWh)
0	0	0	0
1	857,8	857,8	428,9
2	620,2	1478	1167,9
3	352,6	1830,6	1654,3
4	47,09	1877,69	1854,145

	Segundo esquema	Tercer esquema
Horas	Qint2_real (MWh)	Qint2_real (MWh)
0	0	0
1	171,25	428,9
2	481,8	1167,9
3	706,55	1654,3
4	795,568	1854,145

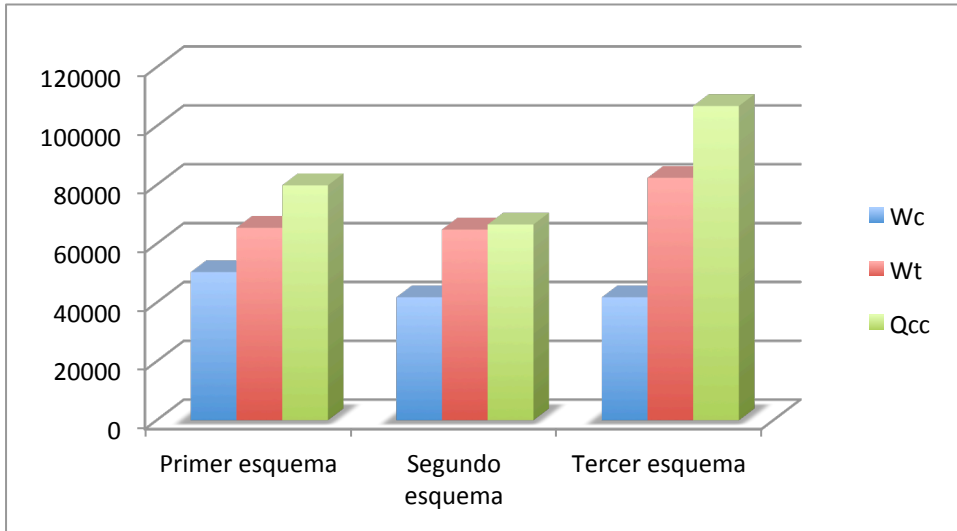
ANEXO 2.3: CALOR APROVECHADO Y NO APROVECHADO INT1 Y CALOR INTERCAMBIADOR 2 Y 3

Qint 1	Q_No_aprovechada
9186	91387,5



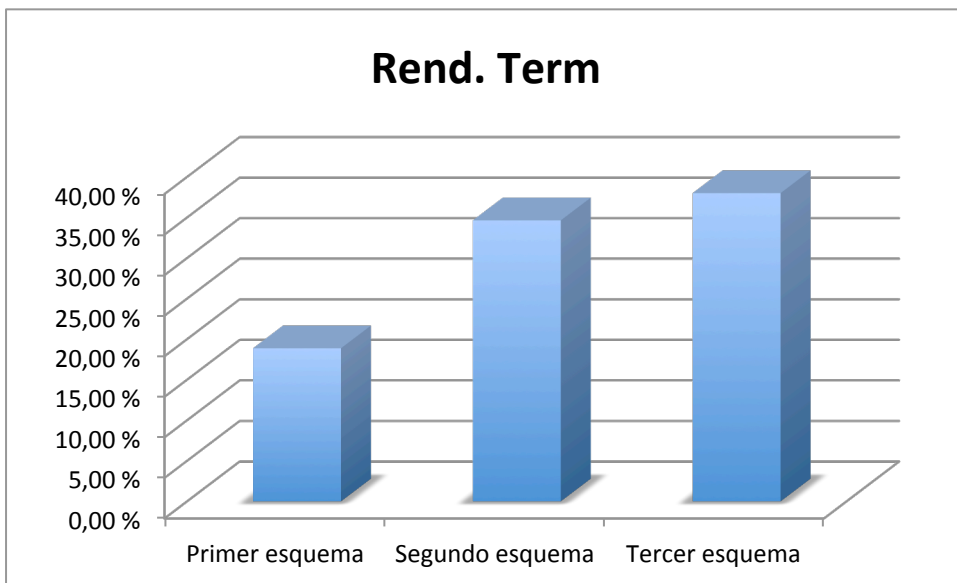
ANEXO 2.4: COMPARACIÓN ENERGÍA Y RENDIMIENTO.

COMPARACIÓN ENERGÍA			
	Primer esquema	Segundo esquema	Tercer esquema
Wcompresión (MWh)	50357,5	41795	41795
Wexpansión	65432	64846	82399
QCC (MWh)	79866,5	66541,5	106844,5
Rendimiento térmico	18,87 %	34,64 %	38,00 %



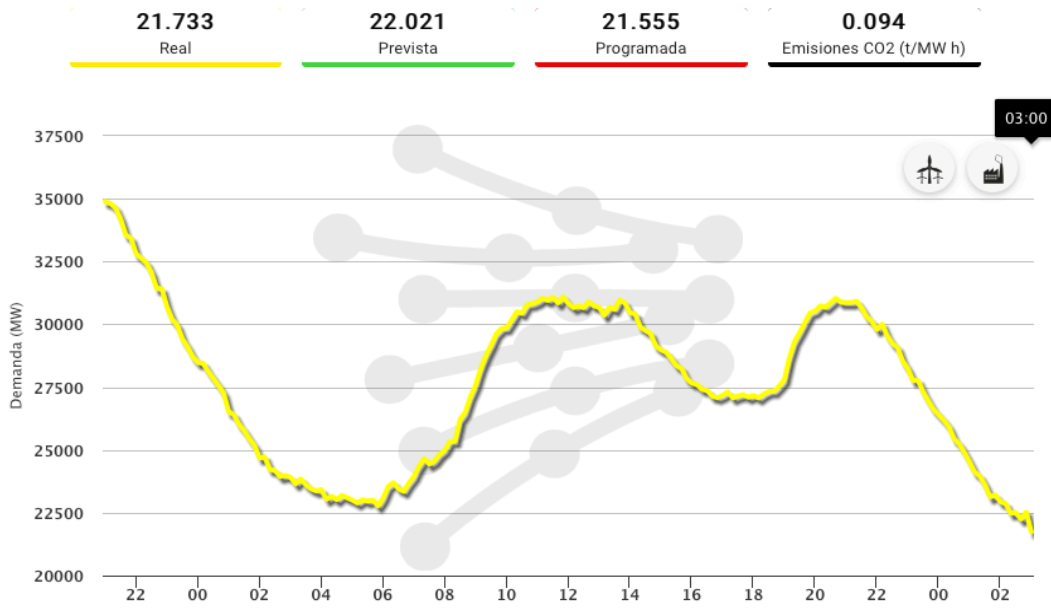
RENDIMIENTO TÉRMICO

	Primer esquema	Segundo esquema	Tercer esquema
Rendimiento térmico	18,87 %	34,64 %	38,00 %



ANEXO 3.1: DATOS PRECIO ENERGÍA

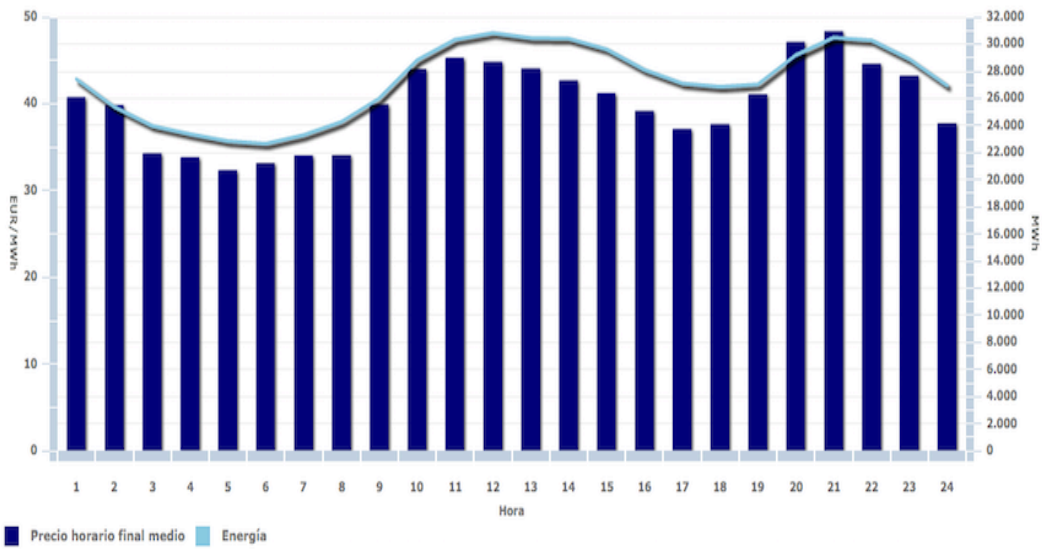
Demanda (MW) a las 03:00 - 11/03/2018



Máximo diario 31.292 a las 11:25 - 10/03/2018
Mínimo diario 22.557 a las 05:52 - 10/03/2018

< 10/03/2018 >
📅
📈
📊
🏭
🗺️

10/03/2018 - Precio final medio demanda nacional



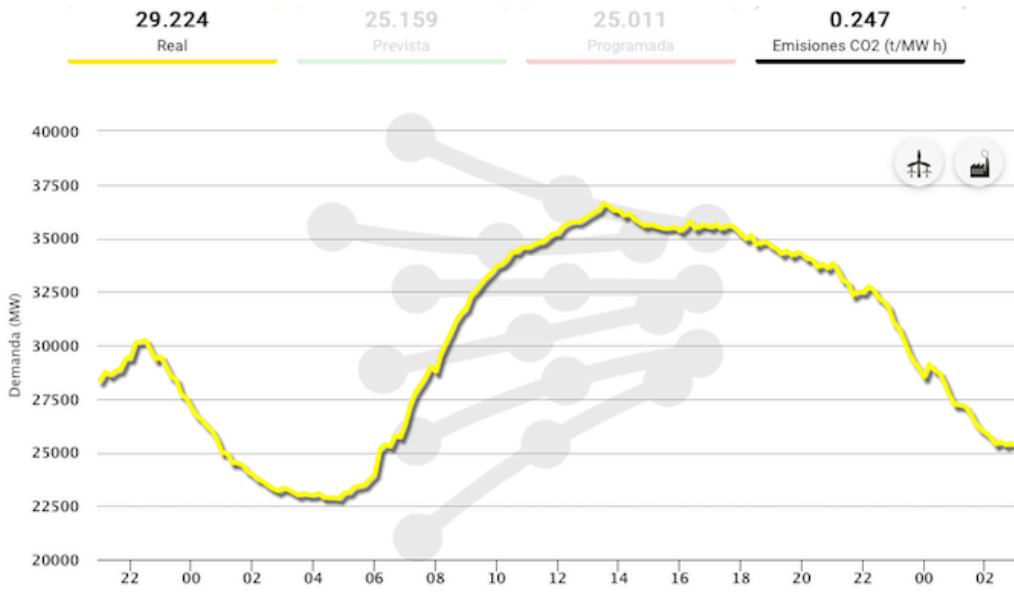
ANEXO 3.1: DATOS PRECIO ENERGÍA

03/10/2018 Primavera			
Compresión	Demanda MW	Energía MWh	Precio final medio €/MWh
2:00	24676	25368	39,83
3:00	23914	23983	34,39
4:00	23425	23352	33,81
5:00	23004	22858	32,33
6:00	23078	22654	33,18
7:00	23940	23285	34
8:00	24985	24274	34,1
9:00	24987	26012	39,94
5:52	22557		
Media	23840,66667	23973,25	35,1975

03/10/2018 Primavera			
Expansión	Demanda MW	Energía MW	Precio final medio €/MWh
11:00	30895	30342	45,28
12:00	30835	30822	44,82
13:00	30680	30468	44,09
14:00	30457	30420	42,68
11:25	31298		
Media	30833	30513	44,2175

ANEXO 3.1: DATOS PRECIO ENERGÍA

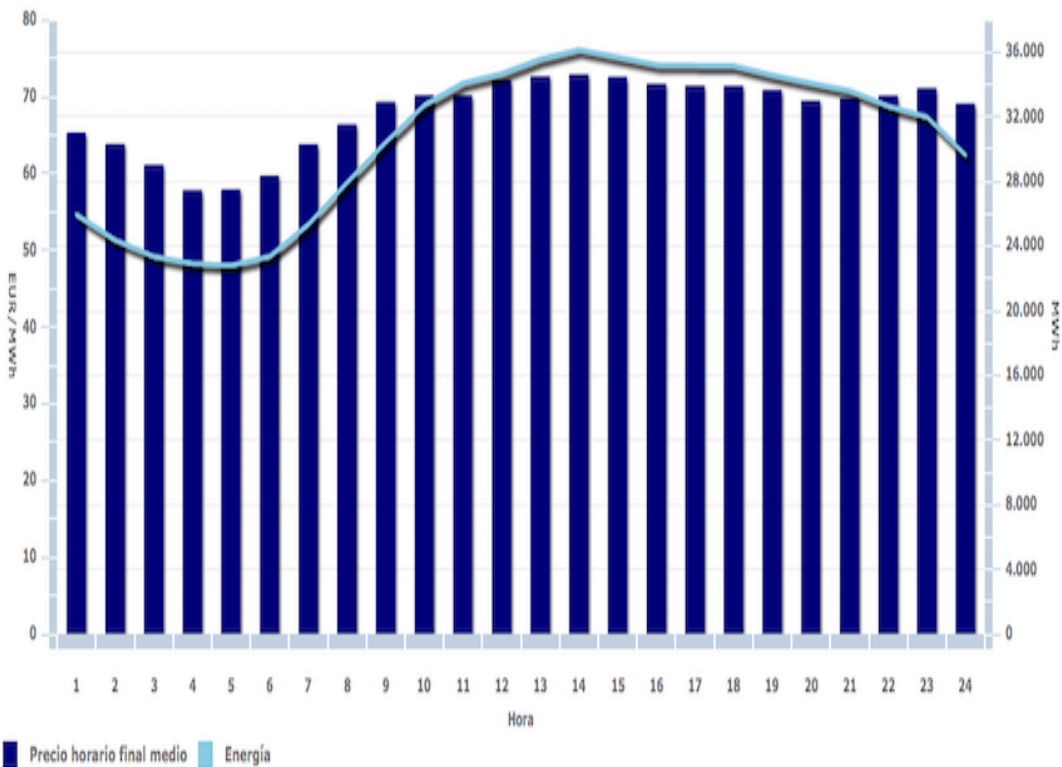
Demanda (MW) a las 23:40 - 25/06/2018



Máximo diario 36.693 a las 13:28 - 25/06/2018
Mínimo diario 22.746 a las 04:41 - 25/06/2018

< 25/06/2018 >
📅
📈
📊
🏭
🇪🇸

25/06/2018 - Precio final medio demanda nacional



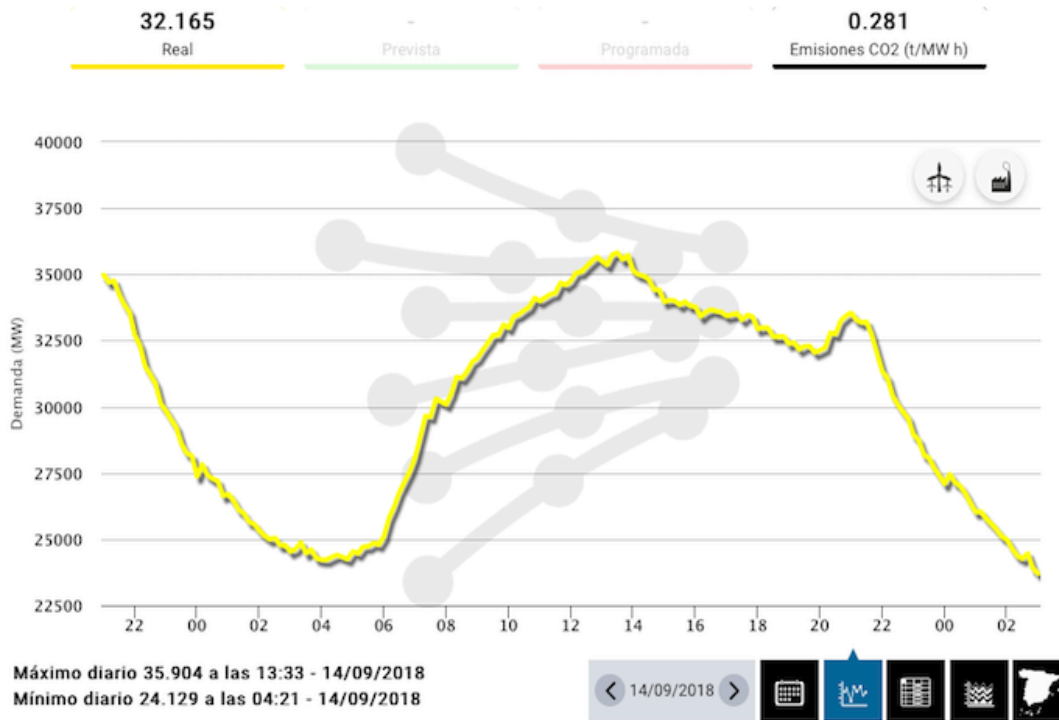
ANEXO 3.1: DATOS PRECIO ENERGÍA

06/25/2018 Verano			
Compresión	Demanda MW	Energía MWh	Precio final medio €/MWh
0:00	27094	29622	69,07
1:00	24993	25956	65,25
2:00	23973	24382	63,77
3:00	23351	23252	61,09
4:00	23026	22929	57,8
5:00	23125	22811	57,86
6:00	23994	23351	59,68
7:00	26349	25337	63,7
4:41	22746		
Media	24294,55556	24705	62,2775

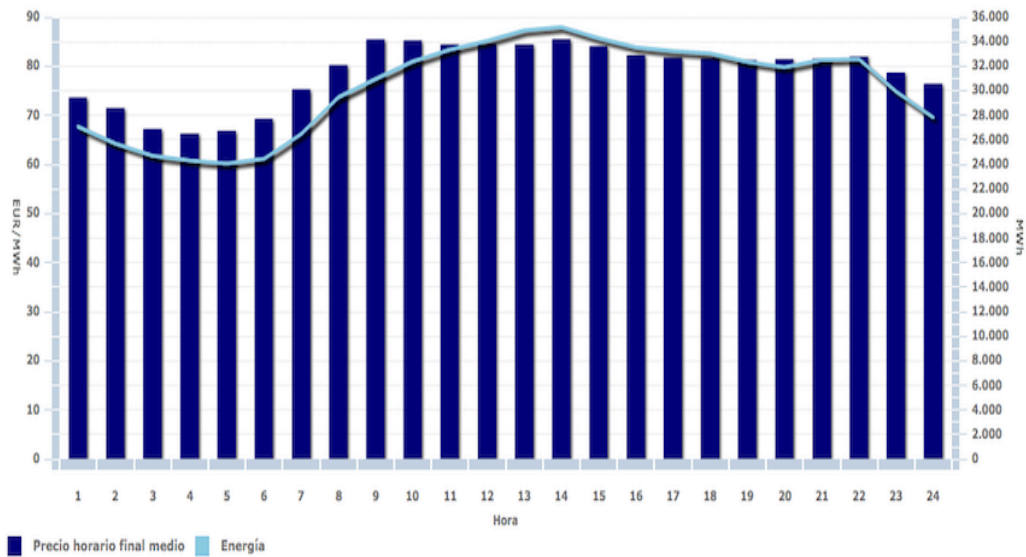
06/25/2018 Verano			
Expansión /	Demanda MW	Energía MW	Precio final medio €/MWh
13:00	36066	35565	72,66
14:00	36320	36133	72,91
15:00	36659	35663	72,52
16:00	35351	35206	71,65
13:28	36693		
Media	36217,8	35641,75	72,435

ANEXO 3.1: DATOS PRECIO ENERGÍA

Demanda (MW) a las 19:20 - 14/09/2018



14/09/2018 - Precio final medio demanda nacional



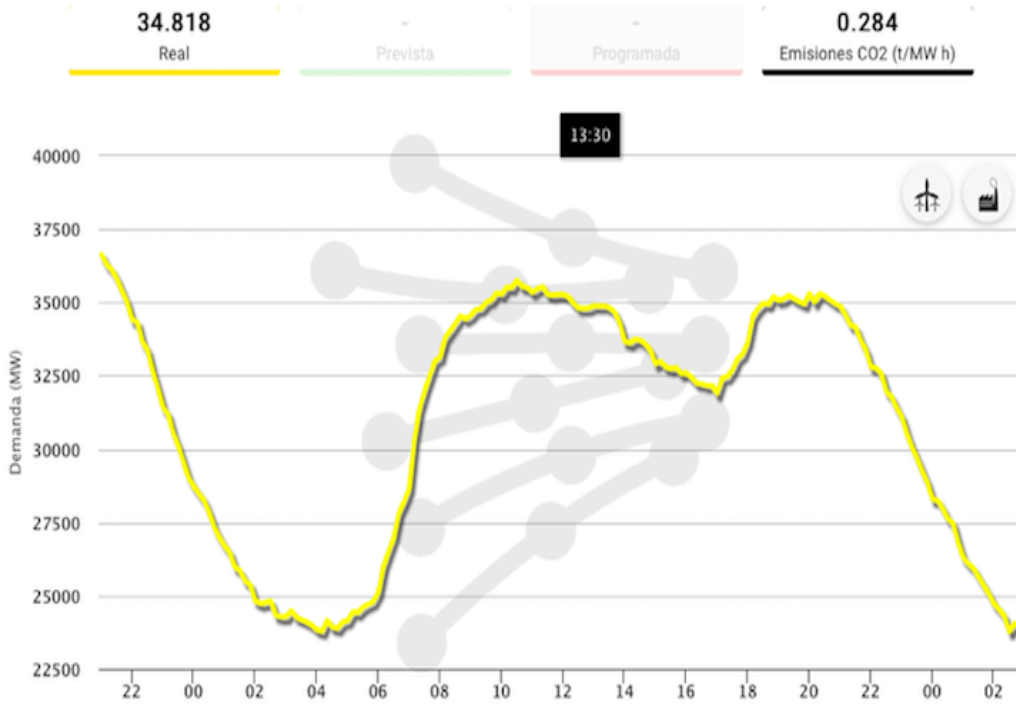
ANEXO 3.1: DATOS PRECIO ENERGÍA

09/14/2018 Otoño			
Compresión	Demanda MW	Energía MWh	Precio final medio €/MWh
0:00	27370	27812	76,41
1:00	27706	27076	73,64
2:00	25323	25719	71,5
3:00	24533	24704	67,19
4:00	24225	24341	66,35
5:00	24535	24070	66,84
6:00	25110	24480	69,27
7:00	28092	26486	75,26
4:21	24129		
Media	25669,22222	25586	70,8075

09/14/2018 Otoño			
Expansión	Demanda MW	Energía MW	Precio final medio €/MWh
12:00	34758	34079	84,56
13:00	35508	34919	84,5
14:00	35140	35202	85,52
15:00	33963	34298	84,09
13:33	35904		
Media	35054,6	34624,5	84,6675

ANEXO 3.1: DATOS PRECIO ENERGÍA

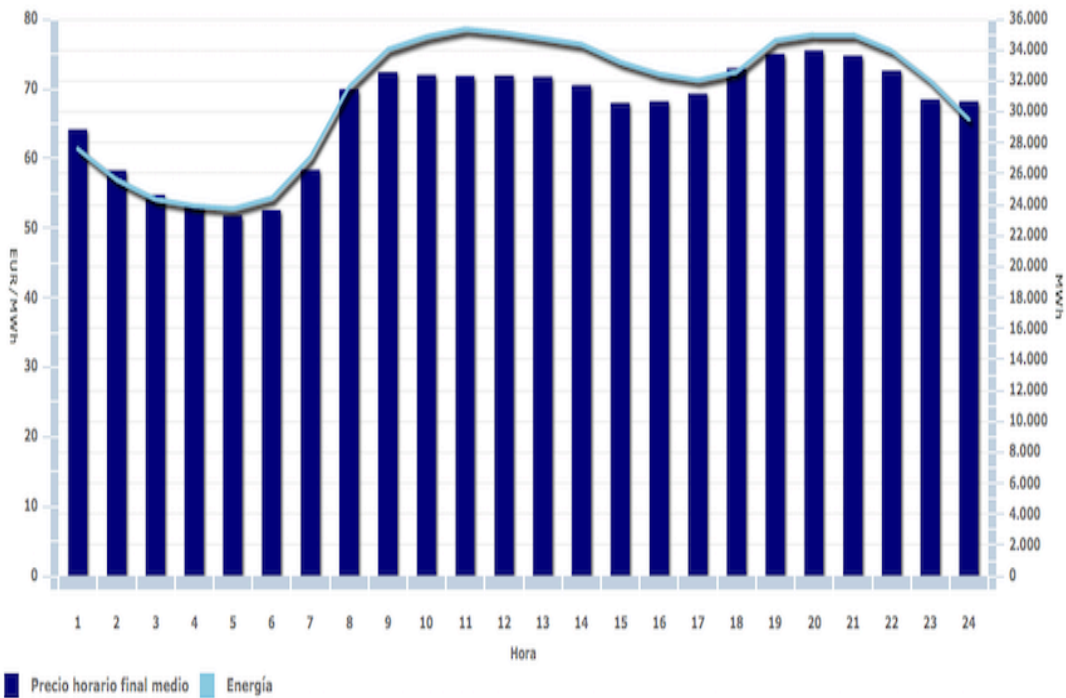
Demanda (MW) a las 13:30 - 30/11/2018



Máximo diario 35.898 a las 10:57 - 30/11/2018
 Mínimo diario 23.611 a las 04:26 - 30/11/2018

< 30/11/2018 >

30/11/2018 - Precio final medio demanda nacional



ANEXO 3.1: DATOS PRECIO ENERGÍA

11/30/2018 Invierno			
Compresión	Demanda MW	Energía MWh	Precio final medio €/MWh
0:00	26699	29502	68,2
1:00	28726	27606	64,18
2:00	24822	25628	58,28
3:00	24293	24346	54,74
4:00	23840	23948	53,31
5:00	24156	23767	51,77
6:00	25128	24442	52,54
7:00	28674	27085	58,36
4:26	23611		
Media	25549,88889	25790,5	57,6725

11/30/2018 Invierno			
Expansión	Demanda MW	Energía MW	Precio final medio €/MWh
10:00	35281	34870	71,97
11:00	35344	35367	71,8
12:00	35273	35124	71,89
13:00	34894	34750	71,72
10:57	35898		
Media	35338	35027,75	71,845

ANEXO 3.2: PRECIO COMPRESIÓN Y EXPANSIÓN

UN DÍA		
Primer esquema		
03/10/2018	Precio medio C (€/MWh)	35,1975
	Precio medio E (€/MWh)	44,2175
	Precio Compresión (€)	1772,45811
	Precio Expansión (€)	2893,23946
06/25/2018	Precio medio C (€/MWh)	62,2775
	Precio medio E (€/MWh)	72,435
	Precio Compresión (€)	3136,13921
	Precio Expansión (€)	4739,56692
09/14/2018	Precio medio C (€/MWh)	70,8075
	Precio medio E (€/MWh)	84,6675
	Precio Compresión (€)	3565,68868
	Precio Expansión (€)	5539,96386
11/30/2018	Precio medio C (€/MWh)	57,6725
	Precio medio E (€/MWh)	71,845
	Precio Compresión (€)	2904,24292
	Precio Expansión (€)	4700,96204
Segundo esquema		
03/10/2018	Precio medio C (€/MWh)	35,1975
	Precio medio E (€/MWh)	44,2175
	Precio Compresión (€)	1471,07951
	Precio Expansión (€)	2867,32801
06/25/2018	Precio medio C (€/MWh)	62,2775
	Precio medio E (€/MWh)	72,435
	Precio Compresión (€)	2602,88811
	Precio Expansión (€)	4697,12001
09/14/2018	Precio medio C (€/MWh)	70,8075
	Precio medio E (€/MWh)	84,6675
	Precio Compresión (€)	2959,39946
	Precio Expansión (€)	5490,34871
11/30/2018	Precio medio C (€/MWh)	57,6725
	Precio medio E (€/MWh)	71,845
	Precio Compresión (€)	2410,42214
	Precio Expansión (€)	4658,86087

ANEXO 3.2: PRECIO COMPRESIÓN Y EXPANSIÓN

UN DÍA

Tercer esquema		
03/10/2018	Precio medio C (€/	35,1975
	Precio medio E (€/	44,2175
	Precio Compresión	1471,079513
	Precio Expansión (3643,477783
06/25/2018	Precio medio C (€/	62,2775
	Precio medio E (€/	72,435
	Precio Compresión	2602,888113
	Precio Expansión (5968,571565
09/14/2018	Precio medio C (€/	70,8075
	Precio medio E (€/	84,6675
	Precio Compresión	2959,399463
	Precio Expansión (6976,517333
11/30/2018	Precio medio C (€/	57,6725
	Precio medio E (€/	71,845
	Precio Compresión	2410,422138
	Precio Expansión (5919,956155

ANEXO 3.2: PRECIO COMPRESIÓN Y EXPANSIÓN

TODA LA ESTACIÓN		
Primer esquema		
Primavera	Días	90
	Precio Compresión (€)	159521,23
	Precio Expansión (€)	260391,551
Verano	Días	94
	Precio Compresión (€)	294797,085
	Precio Expansión (€)	445519,29
Otoño	Días	92
	Precio Compresión (€)	328043,359
	Precio Expansión (€)	509676,675
Invierno	Días	90
	Precio Compresión (€)	261381,863
	Precio Expansión (€)	423086,584
Segundo esquema		
Primavera	Días	90
	Precio Compresión	132397,156
	Precio Expansión	258059,52
Verano	Días	94
	Precio Compresión (€)	244671,483
	Precio Expansión (€)	441529,281
Otoño	Días	92
	Precio Compresión (€)	272264,751
	Precio Expansión (€)	505112,081
Invierno	Días	90
	Precio Compresión (€)	216937,992
	Precio Expansión (€)	419297,478

ANEXO 3.2: PRECIO COMPRESIÓN Y EXPANSIÓN

TODA LA ESTACIÓN

Tercer esquema		
Primavera	Días	90
	Precio Compresión	132397,1561
	Precio Expansión	327913,0004
Verano	Días	94
	Precio Compresión	244671,4826
	Precio Expansión	561045,7271
Otoño	Días	92
	Precio Compresión	272264,7506
	Precio Expansión	641839,5946
Invierno	Días	90
	Precio Compresión	216937,9924
	Precio Expansión	532796,054

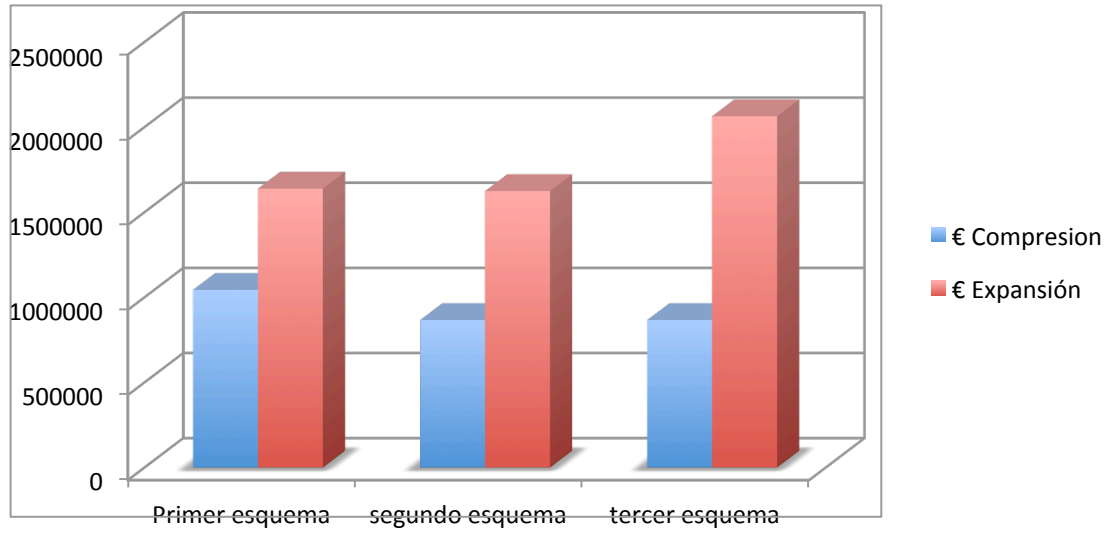
ANEXO 3.2: PRECIO COMPRESIÓN Y EXPANSIÓN

TODO EL AÑO		
Primer esquema		
Primavera	Precio Compresión (€)	159521,23
	Precio Expansión (€)	260391,551
Verano	Precio Compresión (€)	294797,085
	Precio Expansión (€)	445519,29
Otoño	Precio Compresión (€)	328043,359
	Precio Expansión (€)	509676,675
Invierno	Precio Compresión (€)	261381,863
	Precio Expansión (€)	423086,584
TOTAL	Precio Compresión (€)	1043743,54
	Precio Expansión (€)	1638674,1
Segundo esquema		
Primavera	Precio Compresión (€)	132397,156
	Precio Expansión (€)	258059,52
Verano	Precio Compresión (€)	244671,483
	Precio Expansión (€)	441529,281
Otoño	Precio Compresión (€)	272264,751
	Precio Expansión (€)	505112,081
Invierno	Precio Compresión (€)	216937,992
	Precio Expansión (€)	419297,478
TOTAL	Precio Compresión (€)	866271,382
	Precio Expansión (€)	1623998,36

Tercer esquema		
Primavera	Precio Compresión	132397,156
	Precio Expansión	327913
Verano	Precio Compresión	244671,483
	Precio Expansión	561045,727
Otoño	Precio Compresión	272264,751
	Precio Expansión	641839,595
Invierno	Precio Compresión	216937,992
	Precio Expansión	532796,054
TOTAL	Precio Compresión	866271,382
	Precio Expansión	2063594,38

ANEXO 3.2: PRECIO COMPRESIÓN Y EXPANSIÓN

	Primer esquema	segundo esquema	tercer esquema
Precio Compresión anual (€)	1043743,536	866271,3816	866271,3816
Precio Expansión anual(€)	1638674,101	1623998,361	2063594,376



ANEXO 3.3: PREGIO GAS NATURAL

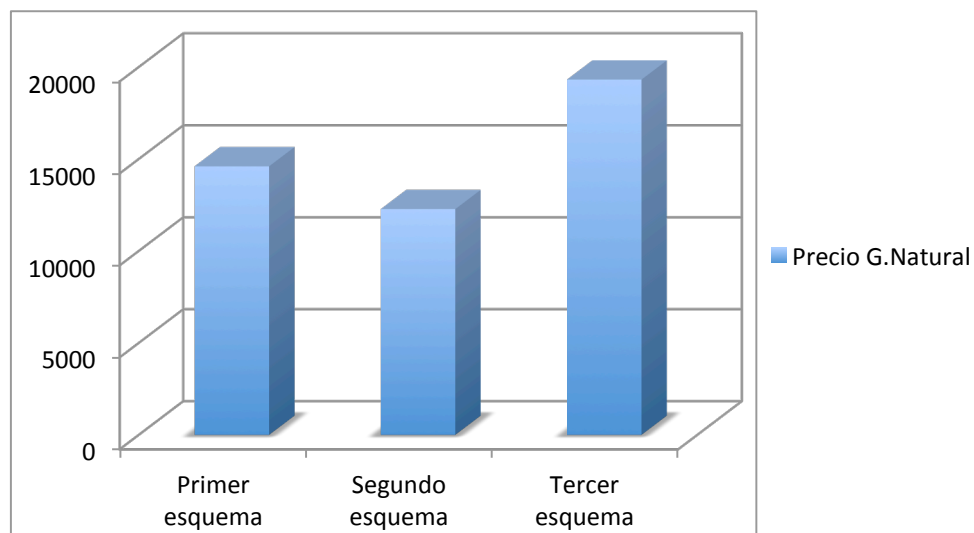
Primer esquema	KWh	KWh/año	Precio Peajes (€)	Precio Final (€)
QCCT	79866,5	29151272,5	13951,25564	14601,89564

P₁

Segundo esquema	KWh	KWh/año	Precio Peajes (€)	Precio Final (€)
QCCT	66541,5	24287647,5	11623,61537	12274,25537

Tercer esquema	KWh	KWh/año	Precio Peajes (€)	Precio Final (€)
QCCT	106844,5	38998242,5	18663,83193	19314,47193

Precio G.Natural

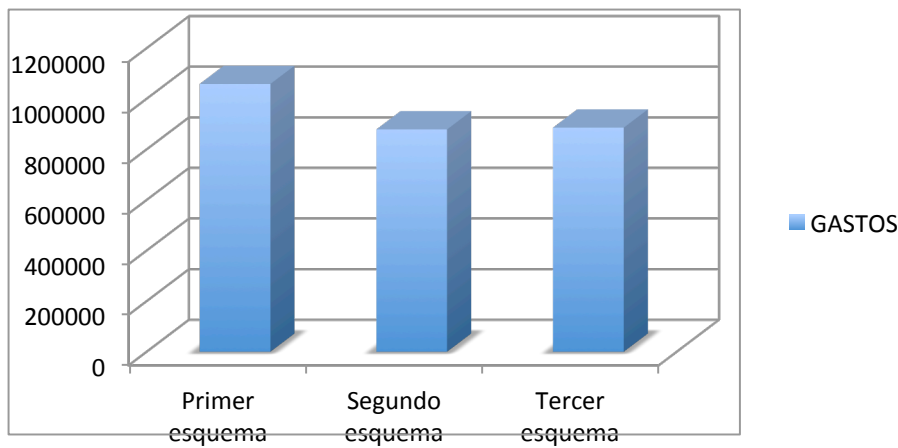


ANEXO 3.4: GASTOS Y GANACIAS.

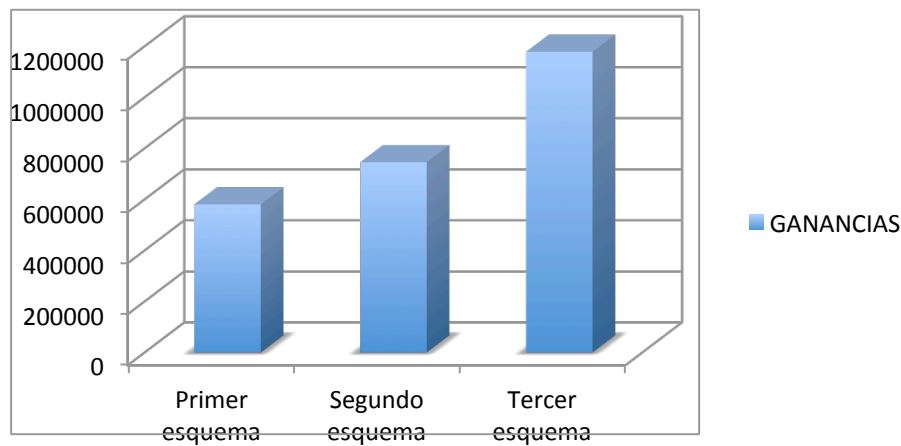
GASTOS			
	Primer esquema	Segundo esquema	Tercer esquema
Precio Compresión (€)	1043743,536	866271,3816	866271,3816
Precio Gas Natural (€)	14601,89564	12274,25537	19314,47193
Gasto Total (€)	1058345,432	878545,637	885585,8536

GANANCIAS ENERGIA			
	Primer esquema	Segundo esquema	Tercer esquema
Precio Total (€)	1058345,432	878545,637	885585,8536
Ganancia Expansión (€)	1638674,101	1623998,361	2063594,376
Ganancia total (€)	580328,6686	745452,7236	1178008,523

GASTOS



GANANCIAS



ANEXO 3.5: COMPARACIÓN TOTAL

	Primer esquema	Segundo esquema	Tercer esquema
Rendimiento Termico	18,87 %	34,64 %	38,00 %
Energía Compresión	50357,5	41795	41795
Energía Expansión	65432	64846	82399
Calor aportado	79866,5	66541,5	106844,5
Calor aprovechado	0	9186	9186
Calor no aprovechado	0	91387,5	91387,5
Gasto Total	1058345,432	878545,637	885585,8536
Ganancia Total	580328,6686	745452,7236	1178008,523