

EFICIENCIA Y AHORRO ENERGÉTICO (3º GIE)	14/06/2016
Examen final (Ex_F)	Tiempo total: 2 h 30 min
Alumno: SOLUCIONES	DNI:

1) [VVL] (0,25 puntos) Explique el concepto de eficiencia energética.

La eficiencia energética es la obtención de los mismos bienes, servicios o energía, pero invirtiendo menos energía de entrada. También, se entiende que un proceso es eficiente energéticamente cuando la energía empleada es menor sin comprometer el nivel de calidad de vida, disminuyendo las emisiones contaminantes y la inversión económica respecto al método de producción tradicional.

2) [VVL] (0,5 puntos) Indique y explique brevemente las fases de una auditoría energética.

Preparación.- Contacto con el cliente estableciendo objetivos y alcance del estudio.
Recopilación de documentación y planificación de la posterior visita y campaña de medidas.

Visita a las instalaciones e inspección.- Instalación de aparatos de medida, revisión e inventariado de los elementos implicados en el consumo energético.

Recopilación de datos. - Recogida de las medidas registradas y otra información.

Contabilidad energética. - Fase de análisis de los datos y la documentación recopilada; determinación del perfil de carga de consumo energético, distribución de consumos energéticos.

Propuestas de mejoras.

Redacción de un informe final. - En el que además del estudio de contabilidad energética se recojan las propuestas de mejoras, realizando un análisis de viabilidad técnica y económica de las mismas.

3) [VVL] (1,25 puntos) En la siguiente tabla, se recogen los datos de facturación de un suministro eléctrico trifásico en BT:

Tarifa 3.0A

	Pc (kW)	Pmax (kW)	Pf (kW)	Ea (kWh)	FE (EUR)	Nº días	FP (EUR)	IE (EUR)	Alquiler equipos (EUR)	IVA (EUR)	Total Factura (EUR)
Ene	20,7	4	17,595	2263	239,93	38	148,74	19,18	11,86	85,29	505,00
Feb	20,7	2	17,595	1600	169,64	26	101,69	13,40	11,85	60,36	356,93
Mar	20,7	3	17,595	1747	185,22	29	113,42	14,76	11,85	66,23	391,49
Abr	20,7	2	17,595	2067	219,15	35	137,34	17,60	11,85	78,46	464,40
May	20,7	3	17,595	1949	206,64	32	125,65	16,38	11,85	73,21	433,74
Jun	20,7	3	17,595	1706	180,87	28	109,95	14,33	11,85	64,36	381,37
Jul	20,7	5	17,595	1825	193,49	30	117,80	15,36	11,85	68,78	407,28
Ago	20,7	3	17,595	2058	218,19	33	129,58	16,79	11,50	74,92	450,99
Sep	20,7	3	17,595	1729	183,31	28	109,95	14,13	12,29	63,59	383,28
Oct	20,7	4	17,595	2015	213,63	32	125,65	16,36	11,85	73,12	440,62
Nov	20,7	7	17,595	1834	194,44	31	121,73	15,28	11,48	68,37	411,29
Dic	20,7	3	17,595	1595	169,11	24	94,24	12,69	12,36	57,37	345,76
ANUAL				22388	2373,62	366	1435,75		142,44		4972,14

Realice una revisión de la facturación proponiendo una nueva tarifa de las ofrecidas en las tablas adjuntas. Justifique el cambio y estime el ahorro anual suponiendo que el consumo es exactamente el mismo y que el cargo por el alquiler de los equipos de medida también se mantiene al mismo precio.

TABLA I: Precios de electricidad en mercado libre de EDP.

Tarifas de acceso	Colectivo de aplicación	Tp [€/((kW·año))]	Te [€/kWh]			
			Sin DH	Período 1	Período 2	Período 3
2.0A	Pc ≤ 10 kW	42,043524	0,120197			
2.0DHA	Pc ≤ 10 kW	42,043524		0,142446	0,060829	
2.1A	10 kW < Pc ≤ 15 kW	45,061920	0,145212			
2.1DHA	10 kW < Pc ≤ 15 kW	44,444844		0,173861	0,074848	

Tarifa de acceso	Colectivo de aplicación	Tp [€/((kW·año))]			Te [€/kWh]		
		Período 1	Período 2	Período 3	Período 1	Período 2	Período 3
3.0A	Pc > 15 kW	40,728885	24,43733	16,291555	0,125362	0,106022	0,08082

TABLA II: Impuestos aplicables

Impuestos eléctrico: $4,864\%[(FP+FE+FER)\times 1,05113]$

IVA general: 21 %

EFICIENCIA Y AHORRO ENERGÉTICO (3º GIE)	14/06/2016
Examen final (Ex_F)	Tiempo total: 2 h 30 min
Alumno: SOLUCIONES	DNI:

Potencias eléctricas normalizadas [kW]				
Intensidad [A]	Monofásicos		Trifásicos	
	220 V	230 V	3*220/380 V	3*230/400 V
1,5	0,330	0,345	0,987	1,039
3	0,660	0,690	1,975	2,078
3,5	0,770	0,805	2,304	2,425
5	1,100	1,150	3,291	3,464
7,5	1,650	1,725	4,936	5,196
10	2,200	2,300	6,582	6,928
15	3,300	3,450	9,873	10,392
20	4,400	4,600	13,164	13,856
25	5,500	5,750	16,454	17,321
30	6,600	6,900	19,745	20,785
35	7,700	8,050	23,036	24,249
40	8,800	9,200	26,327	27,713
45	9,900	10,350	29,618	31,177
50	11,000	11,500	32,909	34,641
63	13,860	14,490	41,465	43,648

Con derecho al PVPC

Fig. 1: Potencias normalizadas

A la vista de los datos del año 2015, la potencia contratada está sobredimensionada. Se observa que para todos los meses los máximos registrados por el máxímetro están muy por debajo del $0,85 \cdot P_c = 17,595$ kW.

Se plantea como alternativa contratar una tarifa por debajo de los 10 kW por lo que habría que pasar de la 3.OA a una 2.OA o 2.ODHA. Teniendo en cuenta que desconocemos el consumo distribuido entre los periodos punta (p_1) y valle (p_2), se va a considerar finalmente una tarifa de tipo 2.OA descartando la de discriminación horaria (2.ODHA).

No se han valorado las tarifas 2.1 por tener precios superiores y no ser necesaria una potencia entre 10 y 15 kW.

Las potencias normalizadas trifásicas por debajo de 10 kW que podríamos contratar según la Fig. 1 son 6,982 kW; 5,196 kW o 3,464 kW. No se estudiarán potencias inferiores porque prácticamente todos los meses las potencias máximas registradas están por encima de 3 kW.

El estudio de potencia contratada se podría haber realizado con la herramienta SOLVER de Excel®, pero al no estar disponible, simplemente se puede calcular la suma anual de potencias facturadas $\sum P_f$, y determinar para qué opción este valor es menor.

P_c (kW) =	6,928	5,196	3,464
$\sum P_f$ (kW) =	71,78	59,25	54,79
Ahorro anual (EUR) =	1056,43	1112,09	1129,7
Término de potencia (EUR) =	252,23	208,467	194,628

El cálculo para la mejor opción se resume en la tabla de la página siguiente.

	Tarifa actual	Pc (kW)	Pmax (kW)	Pf (kW)	Ea (kWh)	FE (EUR)	Nº días	FP (EUR)	IE (EUR)	Alquiler equipos (EUR)	IVA (EUR)	Total Factura (EUR)
Enero	3.0	3,464	4	4,7256	2263	272,01	38	20,68	14,96	11,86	67,10	386,61
Febrero	3.0	3,464	2	2,9444	1600	192,32	26	8,82	10,28	11,85	46,89	270,15
Marzo	3.0	3,464	3	3	1747	209,98	29	10,02	11,25	11,85	51,05	294,16
Abril	3.0	3,464	2	2,9444	2067	248,45	35	11,87	13,31	11,85	59,95	345,43
Mayo	3.0	3,464	3	3	1949	234,26	32	11,06	12,54	11,85	56,64	326,35
Junio	3.0	3,464	3	3	1706	205,06	28	9,68	10,98	11,85	49,89	287,45
Julio	3.0	3,464	5	7,7256	1825	219,36	30	26,70	12,58	11,85	56,80	327,29
Agosto	3.0	3,464	3	3	2058	247,37	33	11,40	13,23	11,50	59,53	343,03
Septiembre	3.0	3,464	3	3	1729	207,82	28	9,68	11,12	12,29	50,59	291,50
Octubre	3.0	3,464	4	4,7256	2015	242,20	32	17,42	13,27	11,85	59,80	344,53
Noviembre	3.0	3,464	7	13,7256	1834	220,44	31	49,01	13,78	11,48	61,89	356,60
Diciembre	3.0	3,464	3	3	1595	191,71	24	8,29	10,23	12,36	46,74	269,34
ANUAL				54,7912	22388	2690,97	366	194,63	147,53	142,44	666,87	3842,44

b) Calcule el rendimiento de la lámpara y el rendimiento de la luminaria.

$$\text{Rendimiento de la lámpara: } \varepsilon = \frac{\Phi}{P} = \frac{11700}{163} = 71,78 \text{ lm/W}$$

$$\text{Rendimiento de la luminaria: } \eta = \frac{\Phi_{\text{luminaria}}}{\Phi_{\text{lámparas}}} = \frac{8424}{11700} = 0,72$$

c) Calcule el VEEI y compruebe si cumplen con los límites marcados por el CTE-DB-HE3.

$$\text{VEEI} = \frac{15 \cdot 163}{8,5 \cdot 18 \cdot \frac{709}{100}} = \frac{2445}{153 \cdot 7,09} = 2,25 \text{ W/m}^2 \text{ por cada 100 lux}$$

5) [CFR] (2 puntos) Para un local, en invierno, en el que la pérdida de calor al exterior es de 7 kW y la actividad y presencia humana en su interior supone un aporte de 1,1 g/s de vapor a 30 °C, con un caudal mínimo de reposición de oxígeno y ventilación de 1,6 kg_a/s, y utilizando el diagrama de Mollier adjunto (debe entregarse con los puntos utilizados identificados):

a) (0,75 puntos) Determinad las condiciones que debe tener el aire a la entrada del local, si las condiciones del local son de 21 °C de temperatura y 45 % de humedad relativa, sin factor de realimentación y si se utiliza un factor de realimentación $r = 60\%$.

Local Leído del Grafico: $w_s = 7 \text{ g/kg}$ $h_s = 38,5 \text{ kJ/kg}$

Del balance de energía y humedad en el local:

$$r=0 \quad w_e = 6,5 \text{ g/kg} \quad h_e = 41,5 \text{ kJ/kg}$$

$$r=60\% \quad w_e = 6,8 \text{ g/kg} \quad h_e = 40,0 \text{ kJ/kg}$$

b) (0,75 puntos) Dibujad sobre el diagrama de Mollier, de forma razonada, la forma de los ciclos termodinámicas de la UTA necesaria en ambos casos, si el humidificador utiliza agua líquida a 5 °C, en las peores condiciones del ambiente exterior de 0 °C de temperatura y 30 % de humedad relativa.

Exterior Leído del Grafico: $w_a = 1,2 \text{ g/kg}$ $h_a = 3,0 \text{ kJ/kg}$

Del balance de energía y humedad en el Humidificador:

$$r=0 \quad w_e = 6,5 \text{ g/kg} \quad h_e = 41,5 \text{ kJ/kg}$$

$$r=60\% \quad w_e = 6,8 \text{ g/kg} \quad h_e = 40,0 \text{ kJ/kg}$$

c) (0,5 puntos) Determinad la potencia térmica del calentador en ambos casos.

Del balance de energía en el Calentador:

$$r=0 \quad Q_c = 62 \text{ kW}$$

$$r=60\% \quad Q_c = 62 \text{ kW}$$

Como se explicó en clase, la recirculación no afecta a la potencia ni a los caudales en la UTA. Compensan los que se producen en el local, que no cambian. Debían de salir lo mismo

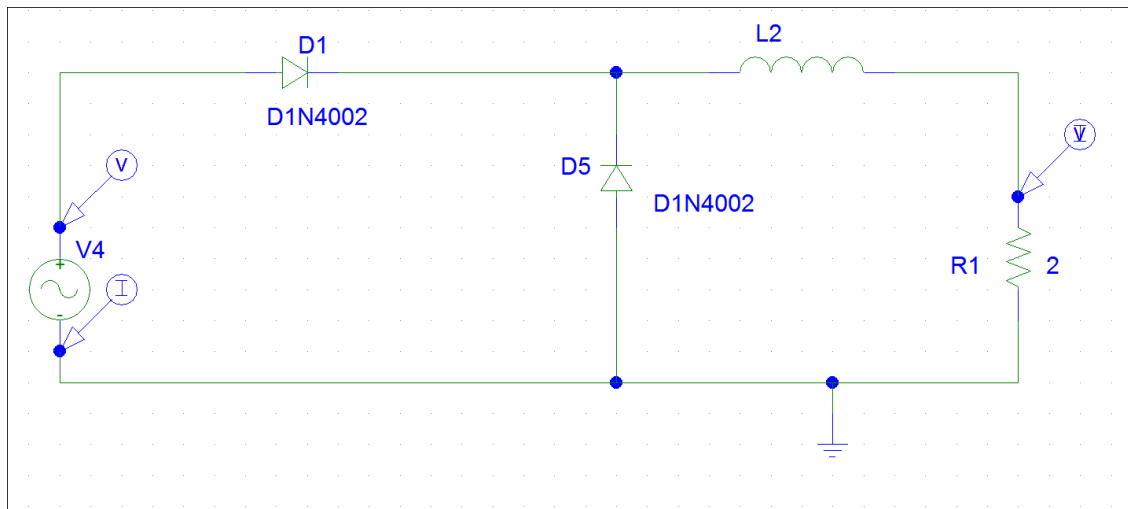
EFICIENCIA Y AHORRO ENERGÉTICO (3º GIE)	14/06/2016
Examen final (Ex_F)	Tiempo total: 2 h 30 min
Alumno: SOLUCIONES	DNI:

NOTA: Los valores para los cálculos pueden extraerse directamente del diagrama de Mollier (adjunto en la última página) GRÁFICO DE LA ÚLTIMA PÁGINA

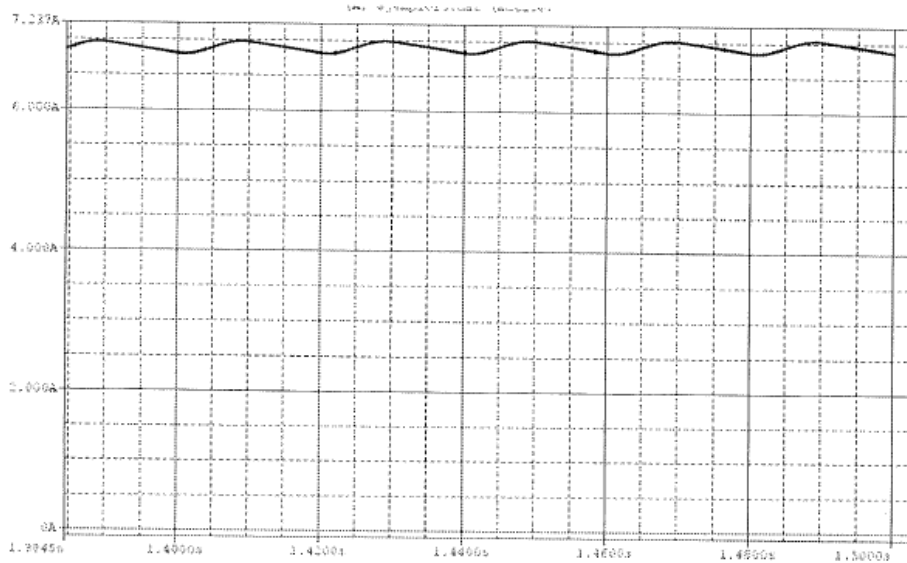
- 6) [CFR] (0,75 puntos) La presencia de una Integración (polo en el origen) en el modelo de un proceso, ¿garantiza la anulación del “error de posición al seguimiento de la consigna” y del “error de posición debido a la perturbación”?

Conclusión: No, solo el de seguimiento de la consigna. El de perturbación depende de la entrada de la perturbación.

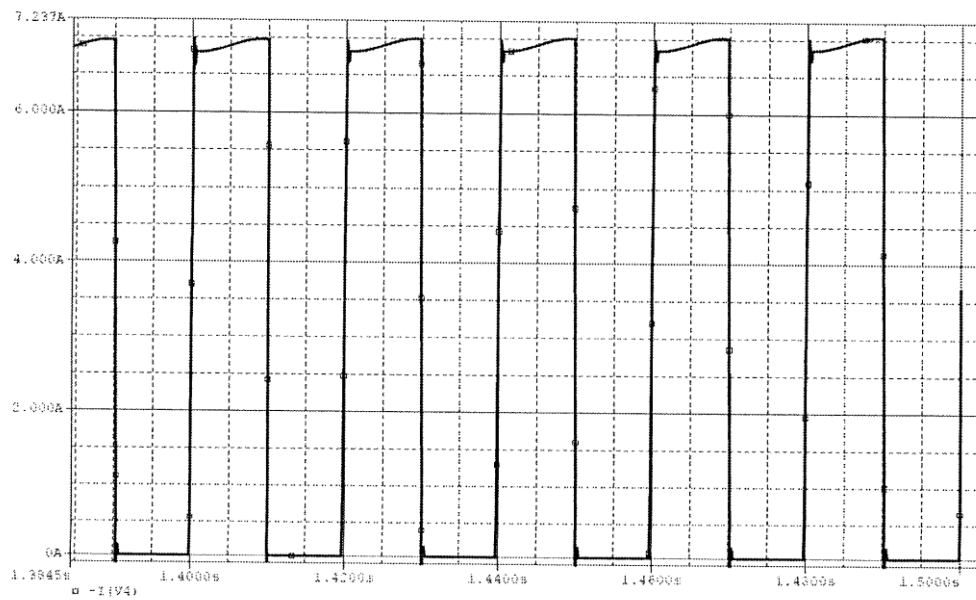
- 7) [PRP] Si la resistencia R2 de la figura se alimenta por medio del circuito de la figura. Dibujar la forma de onda de corriente que atravesará la resistencia R2 y la forma de onda de la corriente en el lado de alterna. La fuente de alimentación es una fuente de tensión a 50 Hz. (0.5p). Nota: suponed que L2 es muy grande



Corriente en la resistencia R2:



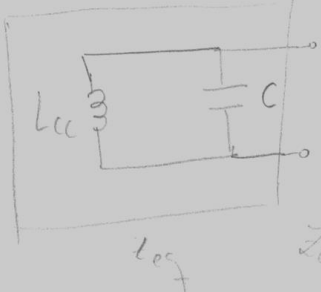
Corriente en el lado de la red:



- 8) [PRP] Una instalación industrial se conecta a una red de 400 V. Se sabe que el valor de la impedancia equivalente de la red es $X_{cc} = 0.1 \text{ j}$, a frecuencia de 50 Hz. Con el fin de compensar potencia reactiva de la instalación, se ha dispuesto una batería de condensadores en estrella, con una capacidad de $330 \text{ }\mu\text{F}$ cada condensador.
- Determinar el valor de la frecuencia de resonancia entre la red y la batería de condensadores. (0.25 p)
Si se sabe que la corriente que demanda la instalación tiene un contenido en armónicos impares (5, 7, 11, ...)
 - Determinar la relación que existe entre el módulo de la corriente que circula por los condensadores y la del armónico de corriente más cercano a la frecuencia de resonancia del sistema, red y batería de condensadores (I_{cond}/I_k). (0.25p)

EFICIENCIA Y AHORRO ENERGÉTICO (3º GIE)	14/06/2016
Examen final (Ex _F)	Tiempo total: 2 h 30 min
Alumno: SOLUCIONES	DNI:

a) Circuito equivalente para el cálculo de la resonancia red-condensadores



$$\frac{1}{Z_{og}} = C \omega_{res}^j + \frac{1}{L_c \omega_{res}^j}$$

$$Z_{og} = \frac{L_c \omega_{res}^j}{1 - C L_c \omega_{res}^2}$$

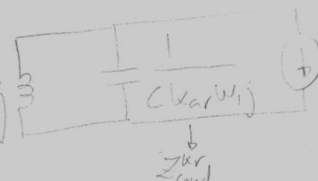
$$L_{cc} = \frac{|X_{cc}|}{2\pi \cdot 50 \text{Hz}} = 3,173 \cdot 10^{-4} \text{H}$$

Resonancia si $1 - L_c C \omega_{res}^2 = 0 \rightarrow \omega_{res} = \frac{1}{\sqrt{C L_{cc}}} = 2\pi f_{res}$

$$f_{res} = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{1}{\sqrt{C \cdot L_{cc}}} = 49,1 \text{ Hz}$$

Orden del armónico mas cercano $k = \frac{f_{res}}{50 \text{Hz}} = 9,82$

El armónico mas cercano será $K_{ar} = 11$



$$Z_{cc}^{kr} = K_{ar} L_{cc} \omega_j^j$$

$$Z_{cond}^{kr} = \frac{1}{C K_{ar} \omega_j^j}$$

$$I_{cond}^{kr} = I_{11} \cdot \frac{Z_{cc}^{kr}}{Z_{cc}^{kr} + Z_{cond}^{kr}} \quad \text{divisor de corriente}$$

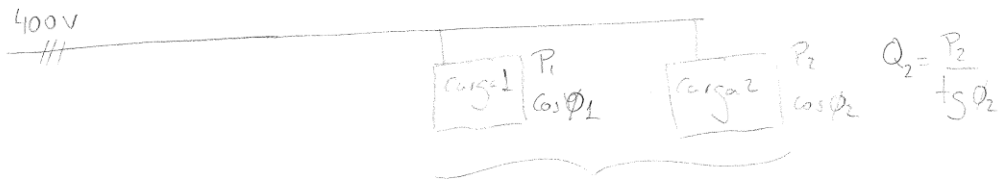
$$\frac{I_{cond}^{kr}}{I_{11}} = \frac{|Z_{cc}^{kr}|}{|Z_{cc}^{kr} + Z_{cond}^{kr}|} = 4,93$$

$$Z_{cc}^{kr} = 1,1j ; Z_{cond}^{kr} = -0,8769j$$

9) [PRP] En una instalación industrial, con una acometida en trifásica de 400 V, se puede modelizar por dos demandas eléctricas, una de 500 kW y $\cos\phi = 0,7$ y otra de 250 kW y $\cos\phi = 0,8$. Para compensar el factor de potencia se tiene, en paralelo con la carga, un conjunto de 15 baterías de condensadores, cada una configurada en estrella en estrella. Los condensadores que componen cada batería tienen una capacidad de 1250 μF cada uno. Si se dispone de un TCR [bobinas controladas con tiristores] (configuración en estrella), con una inductancia real por fase de $L = 8$ mH. Determinar el número de baterías de condensadores a conectar y el ángulo de disparo de los tiristores, del TCR, para compensar totalmente el factor de potencia. (1.5p). Nota: tomar de valor inicial del ángulo de disparo 1.6 radianes.

Nota 1: El ángulo de disparo está entre $\pi/2$ y π .

$$I_1 = \frac{2V_f}{\omega\pi L} \left(\pi - \alpha + \frac{\text{sen}(2\alpha)}{2} \right)$$



$$P = 750 \text{ kW} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \cos \phi = 0,732$$

$$Q = 697,6 \text{ kVAr}$$

Carga $P = P_1 + P_2$
 $Q = Q_1 + Q_2$

$$Q_1 = 510,3 \text{ kVAr}$$

$$Q_2 = 187,5 \text{ kVAr}$$

Bateria de condensadores

$$Q_c = C \omega U^2 = 62,83 \text{ kVAr}$$

$$k = \frac{Q}{Q_c} = 11,1 \Rightarrow \text{n}^\circ \text{ Baterias} = 12$$

$$Q_{ct} = 12 \times Q_c = 753,98 \text{ kVAr}$$

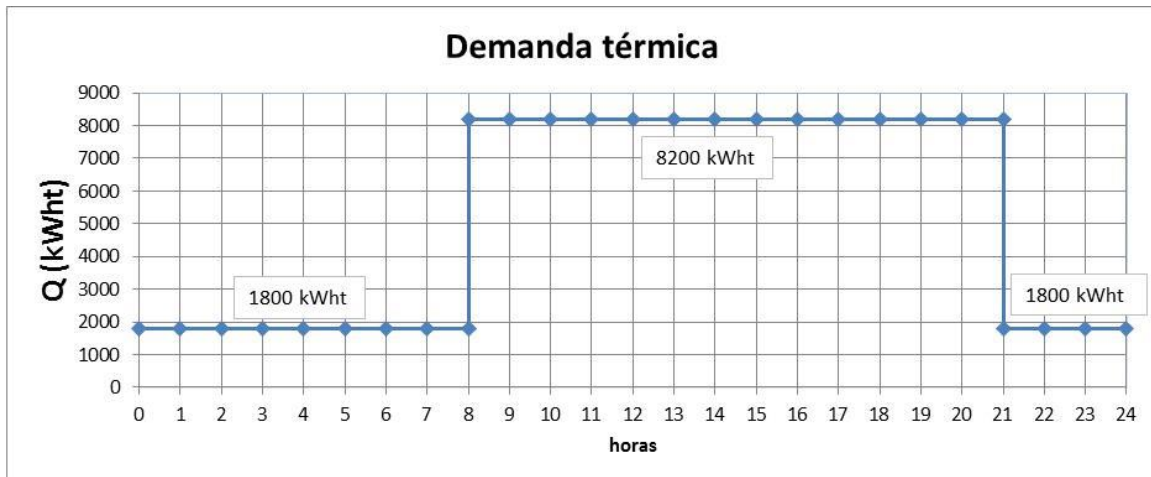
$$Q_r = Q - Q_{ct} = -56,38 \text{ kVAr} \rightarrow \text{Sobrecorregida.}$$

TCR $L_\alpha = \frac{\pi L}{2(\pi - \alpha + \frac{\sin(2\alpha)}{2})} \rightarrow Q_{L_\alpha} = \frac{U^2}{L_\alpha \cdot \omega} = |Q_r|$

$$\alpha = 95,16^\circ \approx 1,66 \text{ rad}$$

EFICIENCIA Y AHORRO ENERGÉTICO (3° GIE)	14/06/2016
Examen final (Ex_F)	Tiempo total: 2 h 30 min
Alumno: SOLUCIONES	DNI:

10) [ECL] Una industria tiene el siguiente patrón diario de necesidades caloríficas durante todo el año:



Para ayudar a cubrir las necesidades térmicas parcialmente, se instaló una cogeneración a base de motor de gas natural de potencia eléctrica nominal 5000 kW y rendimiento eléctrico 35%. El gas natural que llega de la red a la industria tiene un poder calorífico PCI= 9600 kcal/m³. El calor contenido en los gases de escape y los circuitos de refrigeración y lubricación del motor se puede aprovechar para obtener calor en forma de vapor/agua caliente para cubrir parcialmente la demanda en hora punta de la industria, de modo que se tiene al motor trabajando a plena carga en horas punta. Para ayudar a cubrir la demanda de horas punta se tiene una caldera de 90% de rendimiento. El consumo total de gas que registra la industria en hora punta es de 1468 m³/h y el 12,7% lo consume la caldera. Calcule:

- Suponiendo que la cogeneración sólo trabajara en horas punta, calcule la demanda térmica de la industria que satisface la cogeneración en horas punta, y el ahorro de energía primaria porcentual y en kWh al año, si los valores de referencia (según directiva para su año y lugar de instalación) para producción por separado de calor y electricidad son 0,9 y 0,51 respectivamente. (1p)
- Dada la demanda tan baja de la industria en horas valle, los técnicos han decidido que durante la noche el motor de cogeneración trabaje a media carga ($P_e = P_N/2$). Suponiendo que a media carga el rendimiento eléctrico de la cogeneración es un 2% más bajo que a potencia nominal, y que la cogeneración sola es capaz de cubrir la demanda térmica entera (sin necesidad de caldera), determine cuantas horas al año podría funcionar la cogeneración a media carga si se quiere cumplir un rendimiento global medio anual mínimo del 75%. (1p)

Nota: si la cogeneración bajase de ese rendimiento global, los técnicos dejarían de usar la cogeneración en horas valle y cubrirían toda su demanda térmica con la caldera.

a) $P_w = 5000 \text{ kW}$ $\eta_{\text{cog}} = 0.35$

negot calder = $0.127 \times 1468 = 186.436 \text{ m}^3/\text{h} \Rightarrow \text{m}^3_{\text{comb cog}} = 1281.564 \text{ m}^3/\text{h}$

$P_{\text{comb cog}} = 1281.564 \text{ m}^3/\text{h} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ seg}} \times 9600 \times 4.18 = 14285.16 \text{ kW}$

$\dot{Q}_{\text{ucog}} = 8200 - 186.436 \text{ m}^3/\text{h} \times \frac{1}{3600} \times 9600 \times 4.18 \times 0.9 = 6329.67 \text{ kW} \Rightarrow \eta_{\text{fcg}} = 0.4431$

$\eta = \frac{0.4431}{0.35} = 1.266$

$AE = E_{\text{cog}} \left(\frac{1}{\eta_e} + \frac{R}{\eta_f} - \frac{1}{\eta_{\text{cog}}} \right) = 5000 \times \frac{13}{24} \times 8760 \times \left(\frac{1}{0.51} + \frac{1.266}{0.9} - \frac{1}{0.35} \right) = 12107.06 \text{ MWh}$

$PES(\%) = \left(1 - \frac{1}{\frac{\eta_{\text{cog}}}{\eta_e} + \frac{\eta_{\text{fcg}}}{\eta_f}} \right) \times 100 = \left(1 - \frac{1}{\frac{0.35}{0.51} + \frac{0.4431}{0.9}} \right) \times 100 = 15.15\%$

b) $\eta_{\text{cogv}} = \eta_{\text{cogp}} - 0.02 = 0.33$

$h_p = 8760 \times \frac{13}{24} = 4745 \text{ h}$

(hv?)

$P_{\text{cogp}} = 5000 \text{ kW}$ $P_{\text{cogv}} = 2500 \text{ kW}$

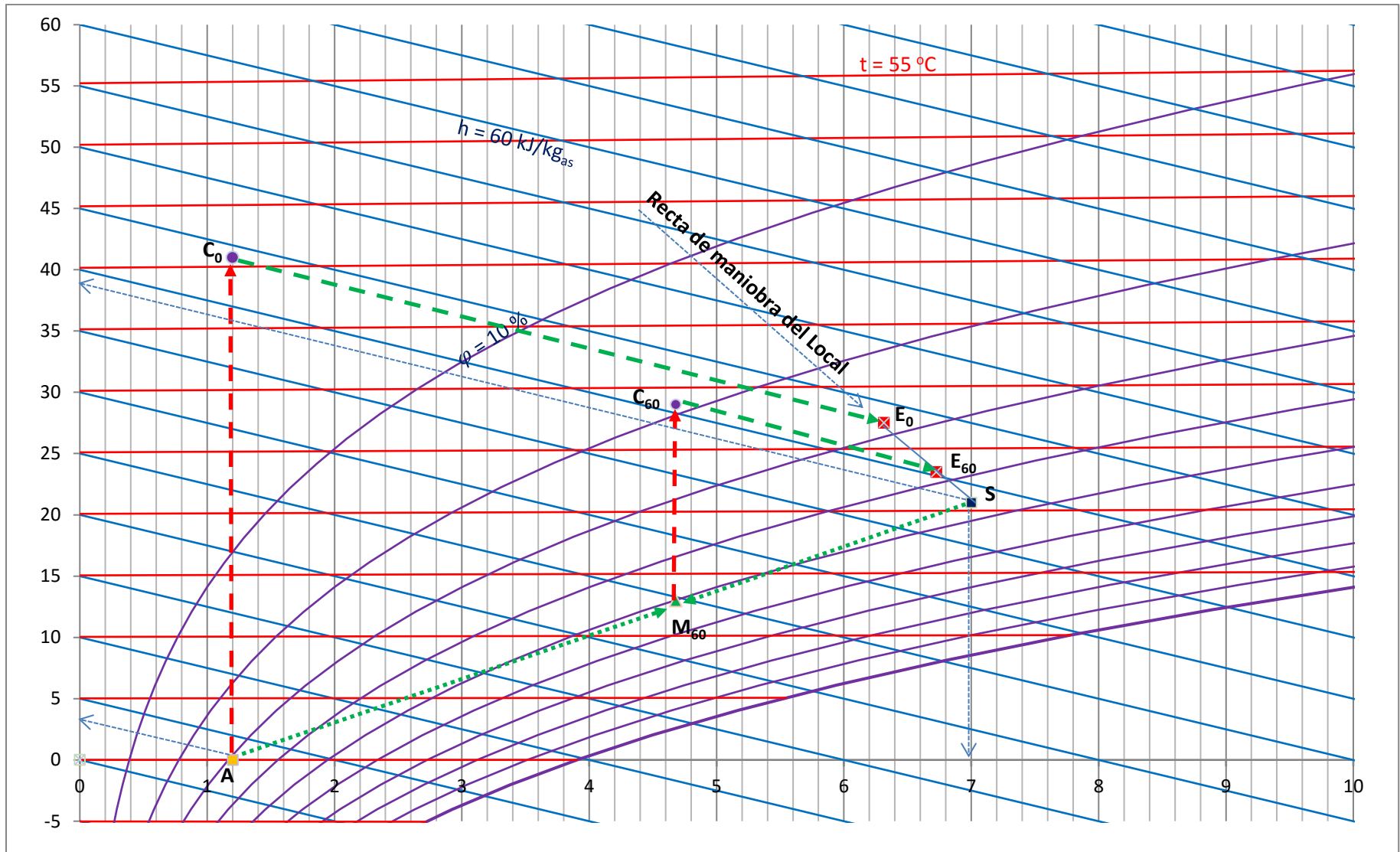
$P_{\text{ucogp}} = 6329.67 \text{ kW}$ $P_{\text{ucogv}} = 1800$

$P_{\text{comb p}} = 14285.16 \text{ kW}$ $P_{\text{comb v}} = \frac{2500}{0.33} = 7575.75 \text{ kW}$

$\eta_{\text{cog}} = \frac{E_{\text{cog}} + Q_{\text{cog}}}{E_{\text{cog}}} = 0.25 = \frac{(5000 \times 4745 + 2500 \times h_v) + (6329.67 \times 4745 + 1800 \times h_v)}{(14285.16 \times 4745 + 7575.75 \times h_v)}$

$5083731.15 + 5681.8125 h_v = 23725000 + 2500 h_v + 30034284.15 + 1800 h_v$

$1381.8125 h_v = 2921971 \Rightarrow h_v = 2114.59 \text{ horas valle}$



APELLIDOS _____

NOMBRE _____