

13. DISSENY DEL PROCÉS DE COGENERACIÓ

Dins d'aquest apartat es presenta un petit estudi l'objectiu del qual, és esbrinar la dimensió més idònia de la planta de cogeneració que es vol implantar en la instal·lació de tractament de purins.

13.1. La cogeneració.

La cogeneració és la producció conjunta d'electricitat (o d'energia mecànica) i d'energia calorífica útil a partir d'una font d'energia primària que es reaprofitja posteriorment.

Una planta de cogeneració està formada bàsicament per:

- Motor.
- Alternador.
- Sistema de recuperació de calor.
- Dispositius elèctrics que controlen la distribució de l'energia i la gestió del motor.
- Sistema hidràulic per a la correcta distribució de l'energia tèrmica.

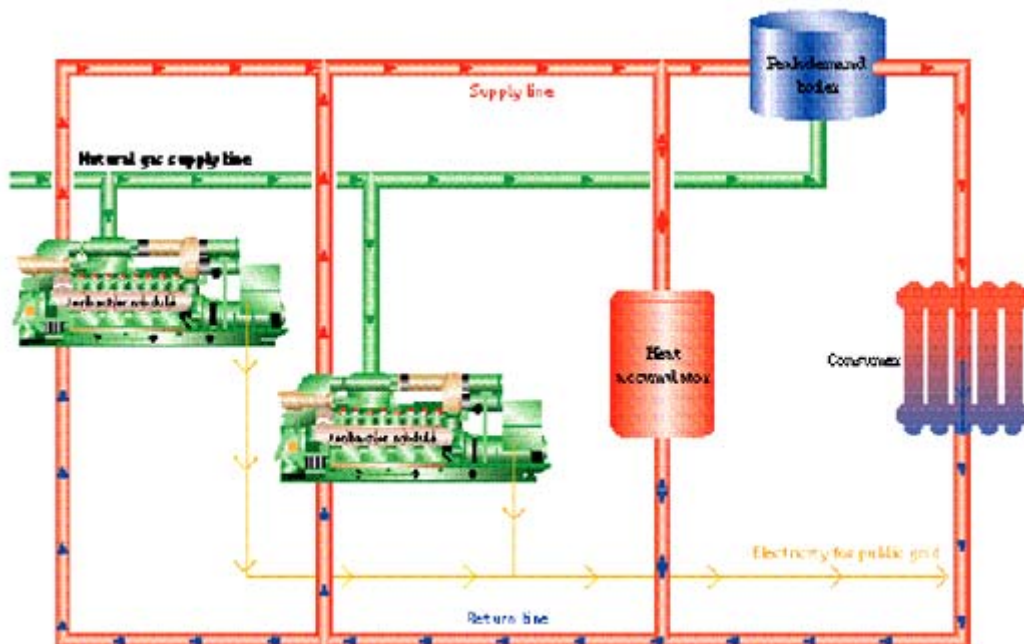


Figura 13.1. Esquema d'una planta de cogeneració.

(Font: www.gejenbacher.com)

En la majoria dels casos, l'energia primària és el gas natural però cada vegada s'utilitzen amb més freqüència el biogàs i altres gasos especials. Els motors alternatius de combustió interna utilitzen els gasos combustibles (gas natural mesclat amb biogàs) per produir energia mecànica i tèrmica. L'alternador, que està connectat al motor de combustió, transforma l'energia mecànica en electricitat part de la qual serà utilitzada per a l'autoconsum de la planta de tractament, i l'excedent es podrà vendre a la xarxa elèctrica general.

Si es fa una anàlisi econòmica comparant l'estalvi i les vendes d'electricitat amb els costos de producció energètica i els costos de manteniment, el període d'amortització d'una planta sol ser inferior a cinc anys.

13.1.1. Beneficis de la cogeneració.

- ✓ La cogeneració permet estalviar un 60% del consum d'energia primària respecte les plantes convencionals d'energia tèrmica.
- ✓ Les plantes de producció energètica centralitzada tenen pèrdues d'energia en la seva distribució. No és el cas de les plantes de cogeneració, ja que es troben situades en el mateix lloc on l'energia serà utilitzada.
- ✓ Les emissions de NO_x són un 25% menors que les generades per les centrals elèctriques convencionals. Les emissions de CO_2 d'una planta de cogeneració són entre un 30% i un 60% més baixes que les emeses a l'atmosfera per altres fonts d'energia.
- ✓ La planta de cogeneració no genera emissions de sofre.
- ✓ Les plantes de cogeneració alimentades amb biogàs o gasos especials no emeten CO_2 addicional i utilitzen el gas metà (CH_4) i el monòxid de carboni (CO) per al seu funcionament, evitant així la destrucció de la capa d'ozó.

- ✓ La inversió necessària en una planta de cogeneració amb gas natural és molt atractiva en comparació amb la inversió que requereix la instal·lació d'una planta convencional.

Una planta de cogeneració necessita una tercera part menys d'energia que un sistema separat de generació d'electricitat i calor.

$(1 - 2.50/4.33) \cdot 100 = 42\%$
 d'estalvi d'energia primària amb la cogeneració.

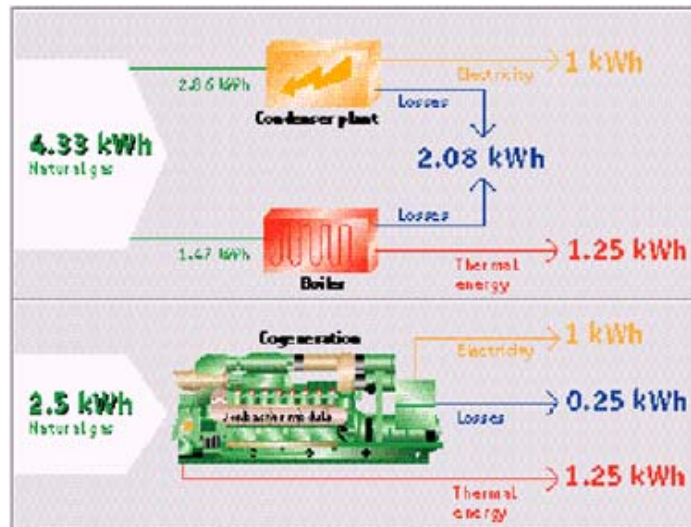


Figura 13.2. Esquema de comparació entre un sistema de cogeneració i un sistema separat condensador-caldera. (Font: www.gejenbacher.com)

El grau d'eficiència total d'un motor de cogeneració és superior al 90% (30% - 40% elèctric i més d'un 50% tèrmic).

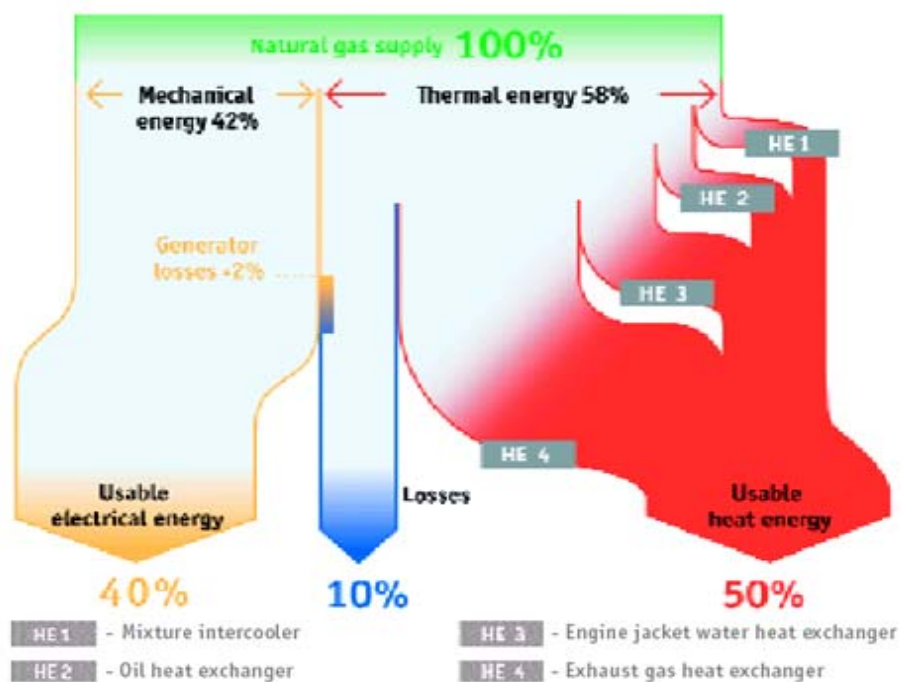


Figura 13.3. Balanç d'energia d'un mòdul de cogeneració Jenbacher. (Font: www.gejenbacher.com)

Les pèrdues causades per la transformació d'energia - aproximadament un 10% - són degudes al generador, la radiació i les pèrdues de l'intercanviador de calor i la calor romanent dels gasos d'escapament.

13.1.2. Dimensionat.

Les plantes de cogeneració són dissenyades en funció de la demanda d'energia tèrmica de l'usuari final. Per això, és necessari analitzar el requeriment de calor anual.

En general, la potència tèrmica de la planta de cogeneració hauria de cobrir entre un 30% i un 50% de la demanda màxima de calor anual. A més, cada mòdul de cogeneració hauria d'assolir com a mínim unes 4.000 hores d'operació cada any.

13.1.3. Eficiència econòmica.

Per tal de valorar l'eficiència econòmica d'una planta de cogeneració, cal comparar els estalvis i els guanys resultants de la producció d'electricitat i calor amb els costos d'inversió.

<i>Inversió en una planta de cogeneració</i>	<i>Funcionament d'una planta</i>
<p>Estalvis d'instal·lació:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Costos de connexió a la xarxa pública d'electricitat/calor 	<p>Estalvis i guanys en el funcionament:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tarifa elèctrica i costos de connexió • Costos de pèrdues d'energia evitades per un funcionament d'emergència.
<p>Costos d'inversió:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mòduls de cogeneració • Equipament elèctric • Adaptació del sistema de calor • Refredament • Ventilació • Oli lubricant • Sistema de control • Construcció, fonaments • Combustible • Acceptació final per part de les autoritats. • Posada en funcionament 	<p>Costos de funcionament:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Combustible • Oli lubricant • Servei i manteniment • Operaris • Assegurança • Inspeccions de motors

Taula 13.1. Valoració dels guanys i els costos d'una planta de cogeneració. (Font: www.gejenbacher.com)

Actualment, la utilització de la cogeneració pel tractament de purins de porc està adquirint una gran importància. La cogeneració és una alternativa a la gestió dels purins. L'energia i la calor produïdes pels motors de combustió s'utilitzen per evaporar i assecar els purins, eliminant els seus elements contaminants, i el converteixen en un compost per a la fabricació d'adobs orgànics. L'energia elèctrica sobrant es pot vendre a la xarxa elèctrica.

13.2. Estudi del procés de cogeneració en la planta projectada.

Com ja s'ha comentat, en aquest apartat es pretén elaborar un estudi de les dimensions que hauria de tenir la planta de cogeneració de la instal·lació de tractament proposada, i obtenir una sèrie de dades que ho justifiquin.

13.2.1. Càlcul dels guanys obtinguts per la venda de l'electricitat excendent.

Per trobar aquestes dades cal partir de la base: el volum anual de purins que tractarà la planta és de 150.000 m³ purins/any. A partir d'aquí, amb un full de càlcul del programa Excel podem calcular una sèrie de paràmetres en funció del número de motors de cogeneració que s'instal·lin:

Purins tractats	nº motors cogeneració
<i>m³/any</i>	<i>unitats</i>
150000	3
	4
	5
	6
	7
	8
	9
	10

Com es pot veure a la taula, per elaborar els càlculs s'ha agafat un rang de 3 a 10 motors de cogeneració.

En les següents taules es pot veure la potència elèctrica que genera cada motor i la potència instal·lada a la planta segons les unitats de cogeneració. S'ha agafat d'exemple el model JMS 620 GS-N.L de Jenbacher.

nº motors cogeneració	Potència elèctrica motor	Potència instal·lada
<i>unitats</i>	<i>kW/h</i>	<i>MW/h</i>
3	2724	8.2
4	2724	10.9
5	2724	13.6
6	2724	16.3
7	2724	19.1
8	2724	21.8
9	2724	24.5
10	2724	27.2

Seguidament, considerant un règim de treball de la planta d'unes 8000 h/any (24 h · 330 dies) obtenim la producció bruta d'electricitat:

Potència instal·lada	Producció elèctrica bruta
<i>MW/h</i>	<i>MW h/any</i>
8.2	65376.0
10.9	87168.0
13.6	108960.0
16.3	130752.0
19.1	152544.0
21.8	174336.0
24.5	196128.0
27.2	217920.0

Llegenda:

- Potència instal·lada < o = 15 MW
- 15 MW < Potència instal·lada < o = 25 MW
- Potència instal·lada > 25 MW

Sabent que l'eficiència elèctrica dels motors de cogeneració és d'un 40%, podem calcular la producció neta d'electricitat (que serà l'energia elèctrica utilitzable):

nº motors cogeneració	Producció elèctrica bruta	Producció elèctrica neta
<i>unitats</i>	<i>MW h/any</i>	<i>MW h/any</i>
3	65376.0	26150.4
4	87168.0	34867.2
5	108960.0	43584.0
6	130752.0	52300.8
7	152544.0	61017.6
8	174336.0	69734.4
9	196128.0	78451.2
10	217920.0	87168.0

Considerant un autoconsum d'electricitat per part de la planta d'uns 1091 kW/h podem calcular l'autoconsum anual i trobar finalment l'electricitat excedent que podem vendre a la xarxa general.

nº motors cogeneració	Producció elèctrica neta	Autoconsum anual	Venda Electricitat excedent	Venda
<i>unitats</i>	<i>MW h/ any</i>	<i>MW h/ any</i>	<i>MW h/ any</i>	<i>kW h/ any</i>
3	26150.4	8728	17422.4	17422400
4	34867.2	8728	26139.2	26139200
5	43584.0	8728	34856.0	34856000
6	52300.8	8728	43572.8	43572800
7	61017.6	8728	52289.6	52289600
8	69734.4	8728	61006.4	61006400
9	78451.2	8728	69723.2	69723200
10	87168.0	8728	78440.0	78440000

Per tal de donar preferència als sistemes més nets i eficients de generació energètica, en el marc normatiu es diferencia entre els *sistemes en règim ordinari* i els *sistemes en règim especial*.

Dins el grup dels sistemes de generació en règim especial hi ha tot el que són cogeneracions, o sigui sistemes que al generar electricitat aprofiten la calor residual i, per tant, són molt més eficients que no pas els simples sistemes de generació elèctrica que malgasten entre un 50% o 70% del potencial energètic. També s'inclouen dins d'aquest grup les energies renovables com la solar, l'eòlica, la geotèrmica, minihidràulica i biomassa. I, finalment, diferents mètodes d'utilització i tractament de residus per a la generació d'electricitat com a manera òptima d'aprofitar la destrucció dels diferents tipus de residus.

Amb aquesta normativa es promou l'autoproducció i es garanteix la compra de l'energia sobrera a un preu superior al del mercat si es compleixen unes certes condicions d'operació.

La instal·lació de tractament proposada estaria acollida al **Real Decret 2818/1998, de 23 de desembre, sobre producció d'energia elèctrica per instal·lacions alimentades per recursos o fonts d'energia renovables, residus i cogeneració (BOE 312)**. Concretament

es troba definida en l'**apartat d.1.** de l'**article 2** on s'exposa l'àmbit d'aplicació del Real Decret.

REAL DECRET 2818/1998	Sobre producció d'energia elèctrica en règim especial.
Article 2. Àmbit d'aplicació	Podran acollir-se al règim especial aquelles instal.lacions de producció d'energia elèctrica amb una potència elèctrica instal.lada inferior o igual a 50 MW.
Apartat d)	Instal.lacions de tractament i reducció dels residus dels sectors agrícoles, ramader i de serveis, amb una potència instal.lada igual o inferior a 25 MW.
Apartat d.1.	Instal.lacions de tractament i reducció dels purins d'explotacions porcines.

El preu de venda de l'energia elèctrica provinent de les instal.lacions de producció en règim especial serà:

Preu venda = preu horari final mig + prima +/- complement per reactiva

Les primes i els preus de venda d'electricitat produïda en règim especial es poden consultar a l'annex IV del BOE 313, de 31 de desembre de 2002.

Segons la llegenda que ja s'ha mostrat anteriorment, les primes aniran en funció de la potència de cogeneració instal.lada:

- Per instal.lacions de potència igual o inferior a 15 MW, la prima serà de 2,9450 Cèntims d'Eur/kWh.
- Per instal.lacions de potència superior a 15 MW però igual o inferior a 25 MW, la prima serà la resultant de l'aplicació de la següent fórmula:

$$Prima = \frac{e (35 - P)}{20}$$

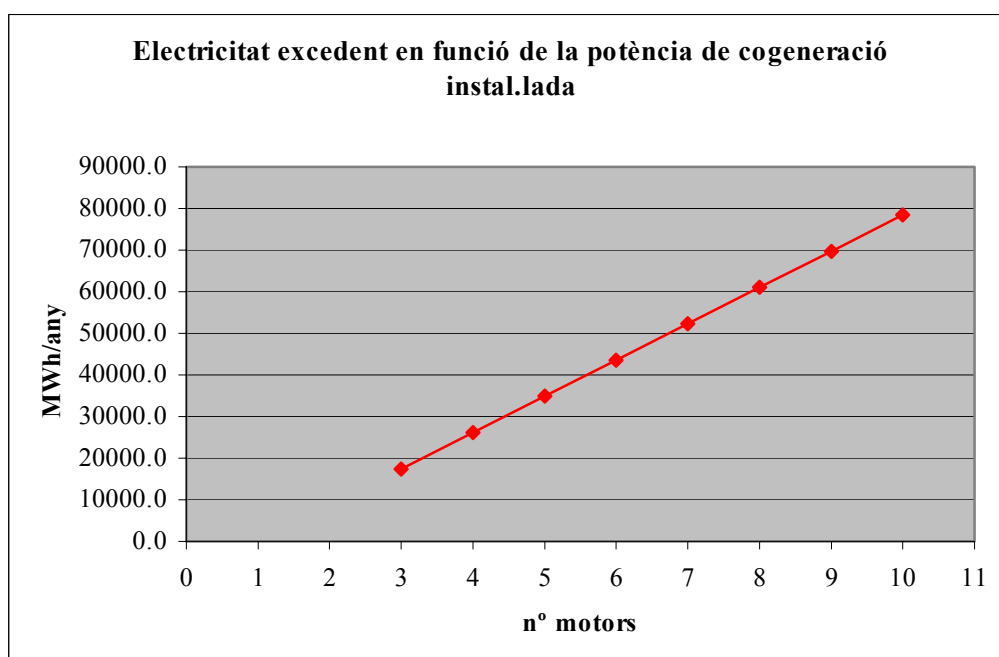
on e és la prima corresponent a les instal·lacions de potència igual o inferior a 15 MW, i P és la potència de la instal·lació expressada en MW.

Nota: La prima s'ha d'expressar mitjançant l'arrodoniment amb dues xifres decimals.

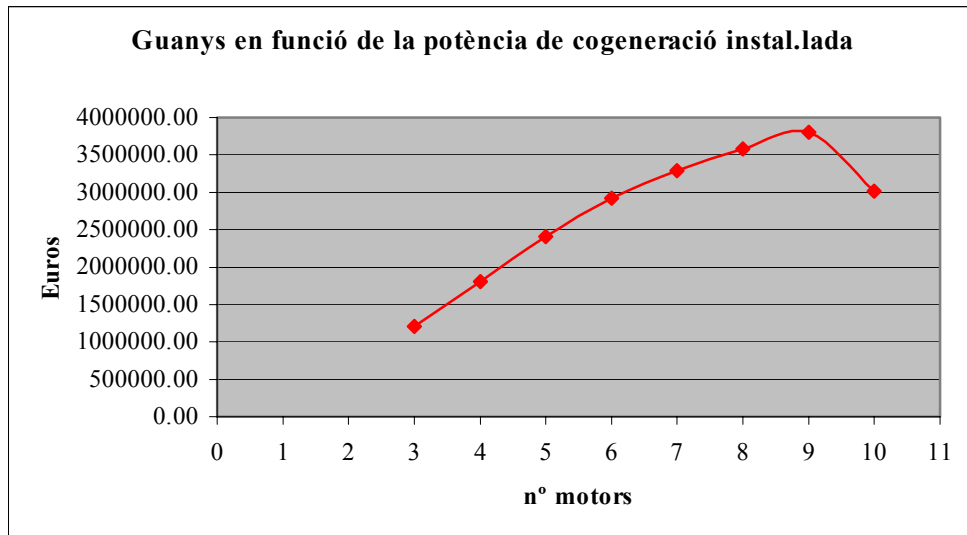
Tenint en compte tots aquests paràmetres, anem a veure els guanys que obtindrem amb la venda de l'electricitat excident:

nº motors cogeneració	Venda	Prima	Preu venda	Guany elect. venuda
<i>unitats</i>	<i>kWh/any</i>	<i>Cent Eur/kWh</i>	<i>Cent Eur/kWh</i>	<i>Eur/any</i>
3	17422400	2.9450	6.9108	1204027.22
4	26139200	2.9450	6.9108	1806427.83
5	34856000	2.9450	6.9108	2408828.45
6	43572800	2.7471	6.7050	2921547.46
7	52289600	2.3460	6.2878	3287879.32
8	61006400	1.9449	5.8707	3581486.33
9	69723200	1.5438	5.4535	3802368.49
10	78440000	0.0000	3.8480	3018371.20

Les dades calculades fins aquest punt es troben resumides de manera simple en els gràfics que tenim a continuació.



En aquest primer gràfic es representa l'electricitat que s'aconsegueix d'excident en funció de la potència de cogeneració instal·lada a la planta (número d'unitats o motors). Com ja és lògic, com més motors de cogeneració tinguem en funcionament a la planta, més electricitat es produirà d'excident.



En aquest gràfic es pot veure la relació entre les unitats de cogeneració (número de motors, potència instal·lada) i els guanyys aportats per l'electricitat excident que podem vendre degut al funcionament d'aquests motors de cogeneració. Cal destacar dos aspectes: el guany màxim que s'aconsegueix amb 9 motors i la baixada que es produeix amb 10 motors (degut a que la prima és igual a 0 en aquest últim cas).

13.2.2. Càlcul dels costos de l'energia primària.

Fins aquí s'han trobat els guanyys obtinguts gràcies als excedents d'energia elèctrica que venem a la xarxa elèctrica general. Però, per poder fer una valoració global dels beneficis que aconseguim amb el procés de cogeneració també és necessari tenir en compte els costos de l'energia primària. El combustible utilitzat pels motors de combustió interna serà el biogàs generat en el procés de digestió anaeròbia juntament amb el gas natural provinent de la xarxa de subministrament.

Per trobar el contingut de Sòlids Totals (TS) i Sòlids Volàtils (VS) dels purins tractats, s'han considerat els següents paràmetres mitjans:

$$TS = 5,5\%$$

$$VS (\% \text{ de } TS) = 75\%$$

$$\text{Producció de biogàs} = 0,375 \text{ m}^3 \text{ biogàs/ kg VS}$$

Partint del contingut de TS i VS dels purins, podem trobar la producció de biogàs.

Purins tractats	Contingut TS	Contingut VS (sobre TS)	Producció Biogàs	Producció Biogàs
<i>m³/ any</i>	<i>tn sòlids totals</i>	<i>tn sòlids volàtils</i>	<i>m³/ any</i>	<i>m³/ h</i>
150000	8250	6187.5	2320312.5	290.0

Sabent que l'eficiència elèctrica dels motors de cogeneració és del 40% i l'eficiència tèrmica és del 50%, podem calcular l'electricitat i la calor produïda a partir del biogàs:

Purins tractats	Producció Biogàs	Valor cal. biogàs	Electricitat biogàs	Calor biogàs
<i>m³/ any</i>	<i>m³/ any</i>	<i>kWh/ any</i>	<i>MWh/ any</i>	<i>MWh/ any</i>
150000	2320312.5	13844531.3	5537.8	6922.3

Per fer aquests càlculs s'han agafat de referència els valors calorífics següents:

$$\text{Valor calorífic GAS NATURAL} = 36,14 \text{ MJ/ m}^3$$

$$\text{Valor calorífic BIOGÀS} = 21,48 \text{ MJ/ m}^3$$

Pel gas natural ho farem a l'inversa. Sabent l'electricitat anual produïda a partir de gas natural calcularem els m³ de gas natural que necessitem cada any.

n° motors cogeneració	Electricitat GN	Valor cal. GN	Necessitat GN	Necessitat GN	Calor GN
<i>unitats</i>	<i>MWh/ any</i>	<i>kWh/ any</i>	<i>m³/ any</i>	<i>m³/ h</i>	<i>MWh/ any</i>
3	20612.6	51531468.8	5133184.491	641.6	25765.7
4	29329.4	73323468.8	7303942.654	913.0	36661.7
5	38046.2	95115468.8	9474700.816	1184.3	47557.7
6	46763.0	116907468.8	11645458.98	1455.7	58453.7
7	55479.8	138699468.8	13816217.14	1727.0	69349.7
8	64196.6	160491468.8	15986975.3	1998.4	80245.7
9	72913.4	182283468.8	18157733.47	2269.7	91141.7
10	81630.2	204075468.8	20328491.63	2541.1	102037.7

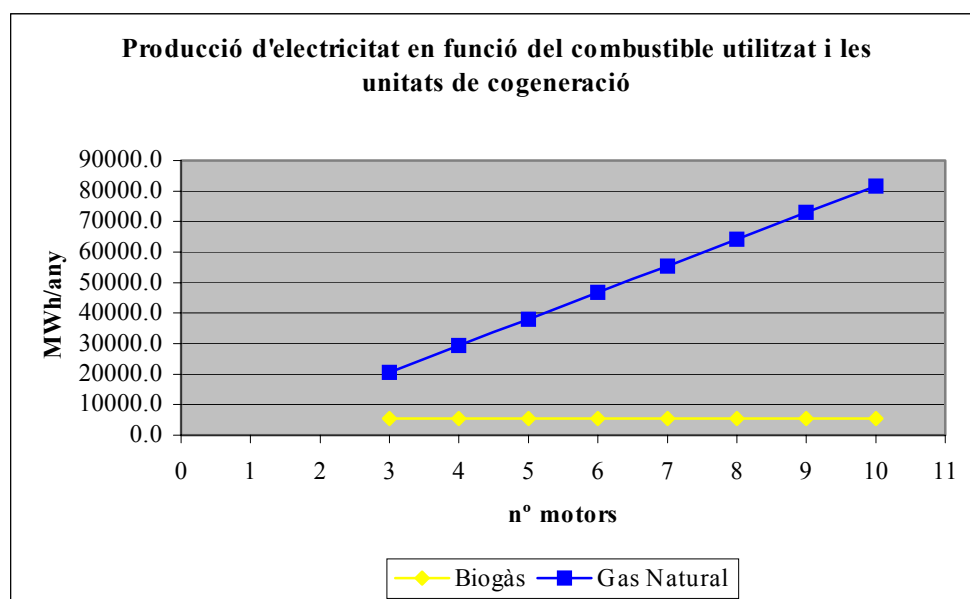
Els preus de les tarifes de subministrament de gas natural es poden consultar a l'annex del BOE 166, de 12 de juliol de 2003.

- Per elaborar aquests càlculs s'ha considerat la tarifa de gas natural amb caràcter interrompible (Grup 4), per consumidors connectats al gasoducte amb una pressió de disseny superior a 4 bar i inferior o igual a 60 bar. En aquest cas no hi ha terme fix, i el terme variable és 1,4482 Cèntims d'Eur/kWh.

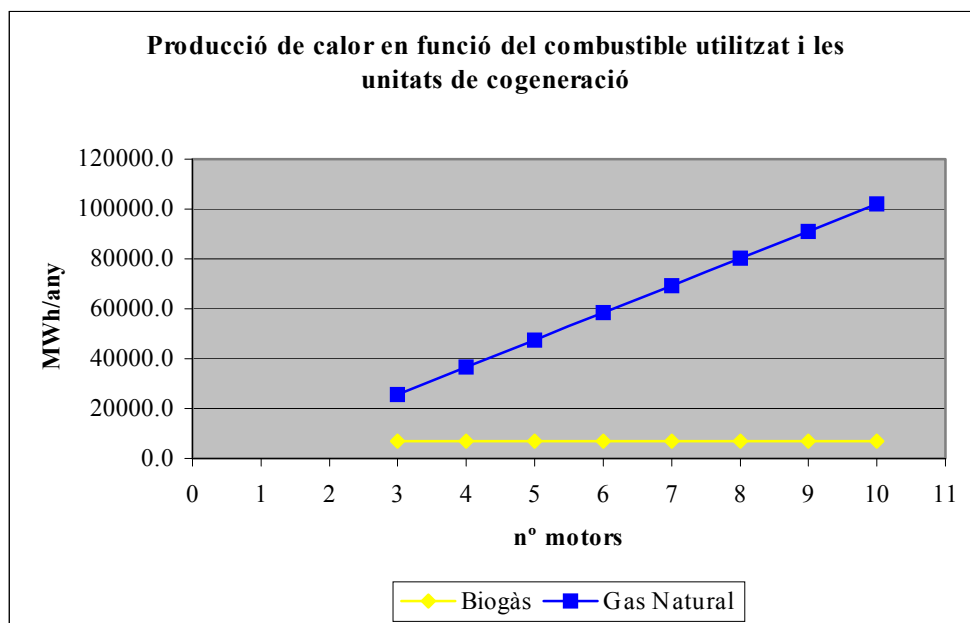
Per tant, ja podem calcular el preu de compra del gas natural que necessitarem per fer funcionar les unitats de cogeneració:

nº motors cogeneració	Valor cal. GN	Preu compra GN	Cost GN
unitats	kWh/any	Cent Eur/ kWh	Eur/ any
3	51531468.8	7.46E+07	746278.73
4	73323468.8	1.06E+08	1061870.47
5	95115468.8	1.38E+08	1377462.22
6	116907468.8	1.69E+08	1693053.96
7	138699468.8	2.01E+08	2008645.71
8	160491468.8	2.32E+08	2324237.45
9	182283468.8	2.64E+08	2639829.19
10	204075468.8	2.96E+08	2955420.94

A les següents pàgines es poden consultar els gràfics elaborats a partir d'aquestes dades.



En aquest gràfic es pot veure la producció d'electricitat que s'aconsegueix amb cada tipus de combustible, suposant el consum total del biogàs generat en la digestió anaeròbia (recollit en el gasòmetre) i el consum necessari de gas natural depenent de les unitats de cogeneració que hi hagi instal·lades a la planta de tractament. Com més motors de cogeneració hi hagi en funcionament, més energia primària (gas natural) necessitarem consumir.



En aquest gràfic es representa l'energia tèrmica o calorífica provinent de la combustió dels diferents gasos. Es suposa un consum total del biogàs produït en la digestió anaeròbia juntament amb el gas natural subministrat via gasoducte. Com més motors de cogeneració tinguem instal·lats, més energia tèrmica produïrem per a l'autoconsum de la planta.

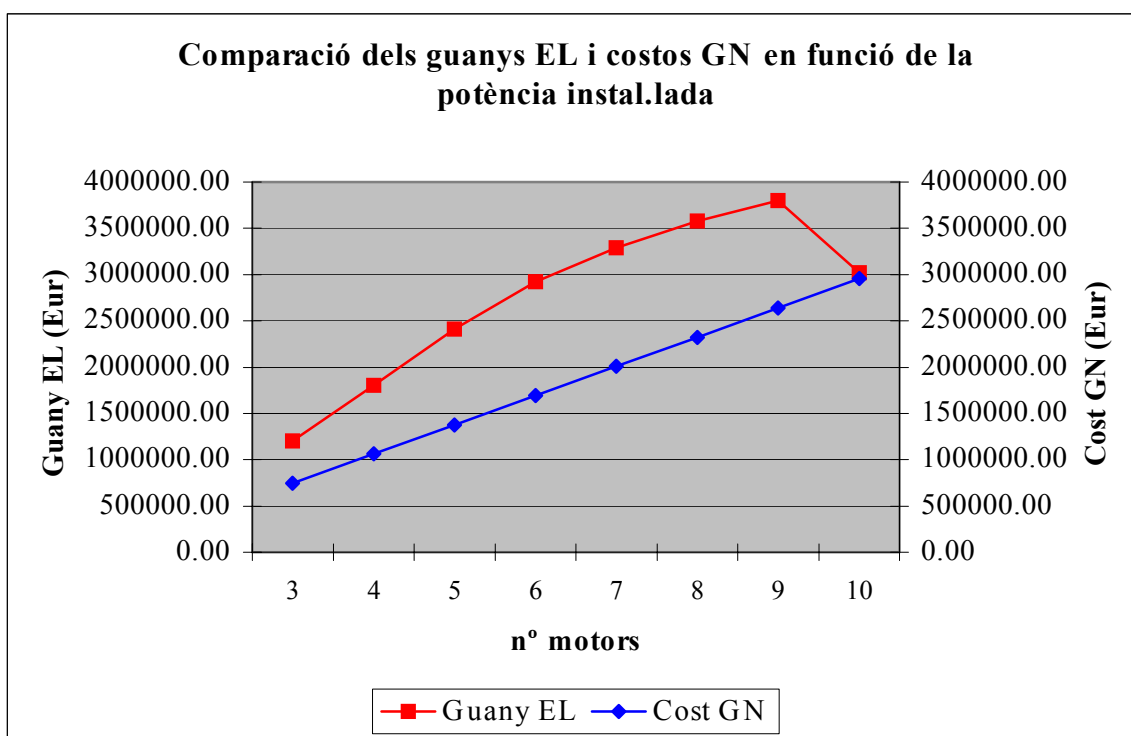
13.2.3. Càlcul del benefici resultant de la planta de cogeneració.

Per acabar, ens interessa trobar el benefici que s'obté en aquesta planta de tractament de purins amb cogeneració, i per això, cal comparar els guanys obtinguts en la venda de l'electricitat excedent a la xarxa elèctrica amb els costos de subministrament del gas natural, que és l'energia primària necessària per fer funcionar els motors de cogeneració juntament amb el biogàs obtingut en el procés de digestió anaeròbia.

n° motors cogeneració	Guany elect. venuda	Cost GN	BENEFICI
<i>unitats</i>	<i>Eur/ any</i>	<i>Eur/ any</i>	<i>Eur/ any</i>

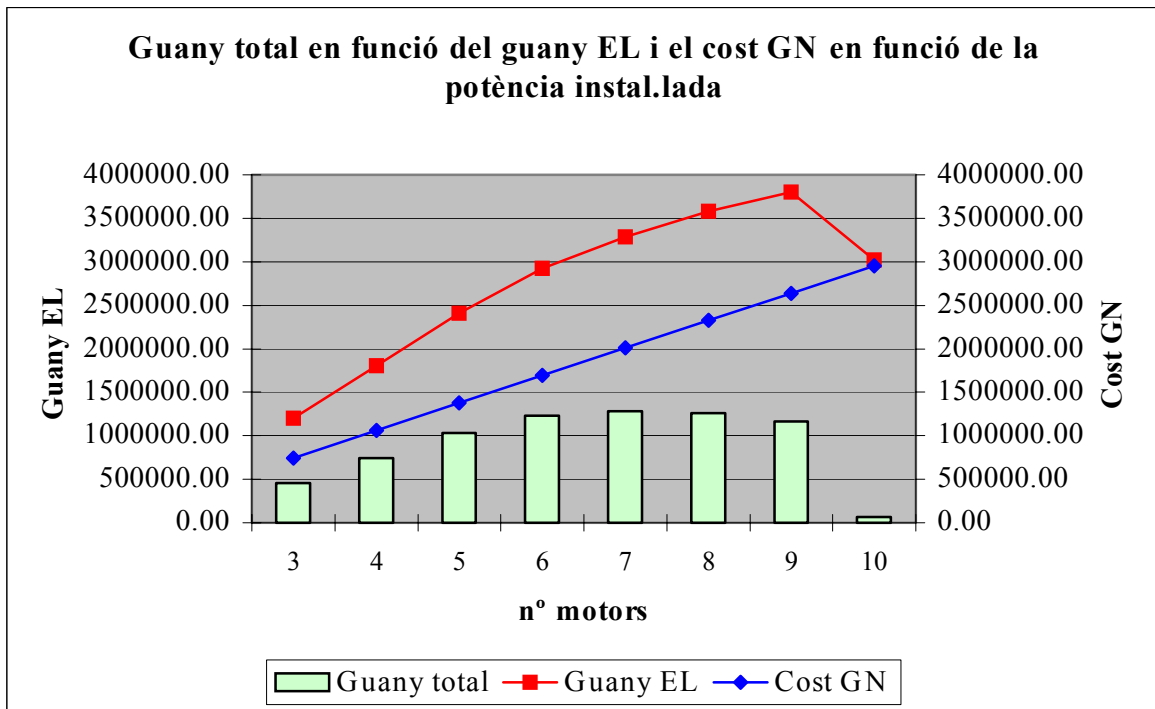
3	1204027.22	746278.73	457748.49
4	1806427.83	1061870.47	744557.36
5	2408828.45	1377462.22	1031366.23
6	2921547.46	1693053.96	1228493.49
7	3287879.32	2008645.71	1279233.61
8	3581486.33	2324237.45	1257248.88
9	3802368.49	2639829.19	1162539.29
10	3018371.20	2955420.94	62950.26

Aquests resultats s'han representat gràficament per poder treure les conclusions de l'estudi visualment:



El gràfic anterior és útil per veure la comparació entre els guanys obtinguts en la venda de l'electricitat excedent de la planta de tractament i els costos de l'energia primària (gas natural), en funció del número de motors de cogeneració que tinguem instal·lats.

S'ha elaborat el següent gràfic per veure quants motors de cogeneració són necessaris a la planta per obtenir el màxim benefici:



En aquest últim gràfic es pot veure clarament que amb 7 motors de cogeneració obtenim el màxim benefici. Aquest és el punt on es dona una major diferència entre els guanys obtinguts per la venda de l'electricitat i el cost de l'energia primària (gas natural).

Resumint:

després d'elaborar aquest estudi es pot concluir que:

- Tenint una planta amb una capacitat de tractament de **150.000 m³ purins/any**;
- Agafant de referència el motor de combustió interna model **JMS 620 GS-N.L de Jenbacher**;
- Suposant un règim de treball de la planta d'unes **8000 h/any** (24 h · 330 dies);
- Tractant purins amb un **5.5% TS**, un **75% VS** i suposant una producció de biogàs de **0.375 m³ biogàs/kg VS**;
- Prenent de referència el **valor calorífic del Gas Natural (GN) = 36.14 MJ/m³** i el **valor calorífic del Biogàs (B) = 21.48 MJ/m³**;
- Considerant una **eficiència elèctrica del 40%** i una **eficiència calorífica del 50%**;

la dimensió més idònia per aconseguir el màxim benefici d'una planta de cogeneració amb totes aquestes característiques és una instal.lació amb 7 motors combustió interna.