



Departament d'Enginyeria Electrònica Elèctrica i Automàtica

# **Automatització del procés de càlcul de les proves de rendiment d'una central de cycle combinat amb disposició monoeix**

**TITULACIÓ:** Enginyeria Tècnica Industrial en Electricitat

**AUTOR:** Albert Font Aldaz

**DIRECTOR:** Luís Guasch Pesquer

**TUTOR:** Javier Pizarro Becué

**DATA:** Juny de 2010



Departament d'Enginyeria Electrònica Elèctrica i Automàtica

# **Automatització del procés de càlcul de les proves de rendiment d'una central de cicle combinat amb disposició monoeix**

## **1. INDEX GENERAL**

**AUTOR:** Albert Font Aldaz

**DIRECTOR:** Luís Guasch Pesquer

**TUTOR:** Javier Pizarro Becué

**DATA:** Juny del 2010

## **INDEX GENERAL**

<b>1.</b>	<b>INDEX GENERAL .....</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>MEMORIA .....</b>	<b>2</b>
<b>3.</b>	<b>ANNEXES .....</b>	<b>3</b>
<b>4.</b>	<b>PLANOLS .....</b>	<b>4</b>
<b>5.</b>	<b>PLEC DE CONDICIONS.....</b>	<b>5</b>
<b>6.</b>	<b>ESTAT D'AMIDAMENTS.....</b>	<b>6</b>
<b>7.</b>	<b>PRESSUPOST .....</b>	<b>7</b>



Departament d'Enginyeria Electrònica Elèctrica i Automàtica

# **Automatització del procés de càlcul de les proves de rendiment d'una central de cycle combinat amb disposició monoeix**

## **2. MEMÒRIA**

**AUTOR:** Albert Font Aldaz

**DIRECTOR:** Luís Guasch Pesquer

**TUTOR:** Javier Pizarro Bécue

**DATA:** Juny de 2010

## 0 FULL D'IDENTIFICACIÓ

### TÍTUL DEL PROJECTE

*Títol del projecte:* Automatització del procés de càlcul de les proves de rendiment  
d'una central de cycle combinat amb tecnologia monoeix.

*Codi d'identificació:* 015-2010AFA

*Emplaçament:* CTCC Tarragona I, Tarragona

### RAÓ SOCIAL DE LA PERSONA QUE HA ENCARREGAT EL PROJECTE

*Sol·licitant:* CTCC Tarragona I

*Representant legal:* Sr. Antonio Ruiz

*NIF:* \*\*\*\*\*

*Direcció:* Polígon industrial entrevies S/N

*Telèfon:* 977 55 00 00

*Correu electrònic:* \*\*\*\*\*

### RAÓ SOCIAL DEL AUTOR DEL PROJECTE

*Nom:* Albert Font Aldaz

*DNI:* \*\*\*\*\*

*Núm. Colegiat:* \*\*\*\*\*

*Direcció:* C/ Rambla nova núm. 4, Tarragona

*Correu electrònic:* albertfa25@gmail.com

### RAÓ SOCIAL DE LA ENTITAT QUE HA REBUT L'ENCÀRREC

*Empresa:* Enginyeria FONT S.L.

*Direcció:* C/ Vent núm 5, Riudoms

*Telèfon:* 600 48 72 66

*Correu electrònic:* albertfa25@gmail.com

**Firma del Client:**

**Firma dels autors:**

**Firma del Representant:**

**Firma de l'Entitat:**

**INDEX**

<b>1</b>	<b>OBJECTE DEL PROJECTE .....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>ABAST DEL PROJECTE.....</b>	<b>5</b>
2.1.1	<i>Procediment d'avaluació del rendiment d'una central tèrmica de cicle combinat .....</i>	5
2.1.2	<i>Automatització de les proves de rendiment:.....</i>	5
2.1.3	<i>Adquisició de dades.....</i>	6
<b>3</b>	<b>ANTECEDENTS .....</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>NORMES I REFERÈNCIES.....</b>	<b>7</b>
4.1	DISPOSICIONS LEGALS I NORMES APLICADES .....	7
4.2	BIBLIOGRAFIA I DOCUMENTACIÓ .....	7
4.3	PROGRAMES INFORMÀTICS UTILITZATS.....	7
4.3.1	<i>Pla de gestió de qualitat aplicat durant la redacció del projecte .....</i>	7
4.3.2	<i>Altres Referències.....</i>	8
<b>5</b>	<b>DEFINICIONS I ABREVIATURES.....</b>	<b>8</b>
5.1	DEFINICIONS.....	8
5.2	ABREVIATURES .....	8
<b>6</b>	<b>REQUISITS DE DISSENY.....</b>	<b>8</b>
6.1.1	<i>Tecnologia de cicle combinat.....</i>	8
6.1.1.1	<i>Descripció.....</i>	8
6.1.1.2	<i>Tecnologia Monoeix.....</i>	9
6.1.2	<i>Funcionament del cicle combinat amb disposició monoeix.....</i>	10
6.1.2.1	<i>Turbina de gas .....</i>	10
6.1.2.2	<i>Turbina de vapor.....</i>	11
6.1.3	<i>Proves de rendiment.....</i>	13
6.1.3.1	<i>Descripció.....</i>	13
6.1.3.2	<i>Realització de les proves de rendiment .....</i>	13
6.1.3.2.1	<i>Calibració dels instruments.....</i>	13
6.1.3.2.2	<i>Rentat de la turbina de gas.....</i>	14
6.1.3.2.3	<i>Identificació de les vàlvules que configuren l'aïllament del cicle ...</i>	14
6.1.3.2.4	<i>Aïllament del cicle.....</i>	14
6.1.3.2.5	<i>Presa de dades.....</i>	14
6.1.4	<i>Proves de N2 Packing .....</i>	14

6.1.4.1	Descripció.....	14
6.1.4.2	Execució de les proves del <i>N2 Packing</i> .....	15
6.2	SISTEMES DE REGULACIÓ I CONTROL.....	17
6.2.1	<i>Sistema Mark VI (MKVI)</i> .....	17
6.2.2	<i>Sistema DCS</i> .....	17
6.2.3	<i>Sistema PI</i> .....	18
6.3	INSTRUMENTACIÓ.....	18
6.4	PROCEDIMENT D' AVALUACIÓ DEL LES PROVES DE RENDIMENT.....	20
6.4.1	<i>Continguts contractuals</i> .....	20
6.4.2	<i>Continguts procedimentals</i> .....	20
6.4.2.1	Corbes de correcció per a la turbina de gas (Apèndix A).....	21
6.4.2.1.1	Llistat d'instrumentació (Apèndix B).....	24
6.4.2.2	Informe previ a les proves (Apèndix C).....	24
6.4.2.3	Llistat de vàlvules per l'aïllament (Apèndix D).....	24
6.4.2.4	Determinació del <i>Load Split</i> (Apèndix E).....	24
6.4.2.4.1	Corbes de correcció per a la turbina de vapor (Apèndix F).....	24
6.4.2.4.2	Càlcul de mostra (Apèndix G).....	26
6.4.2.4.3	Manifest C del contracte CSA (Apèndix H).....	26
6.4.2.4.4	Procediment de les mostres de gas natural.....	26
6.4.3	<i>Procediment de càlcul de les proves de rendiment</i> .....	26
6.4.3.1	Càlcul del <i>N2 Packing</i> .....	27
6.4.3.2	Determinació del <i>Load Split</i> .....	27
6.4.3.2.1	Aportació de potència de la turbina de vapor.....	27
6.4.3.2.2	<i>Load Split</i> .....	29
6.4.3.3	Corbes de correcció per a la turbina de vapor.....	31
6.4.3.4	Corbes de correcció per a la turbina de gas.....	32
6.4.3.4.1	Càlcul del HR.....	33
6.4.3.5	Resultats finals.....	33
<b>7</b>	<b>ANÀLISI DE RESULTATS.....</b>	<b>33</b>
<b>8</b>	<b>RESULTATS FINALS.....</b>	<b>34</b>
8.1	REVISIÓ DEL PROCEDIMENT D' AVALUACIÓ DEL RENDIMENT DE LA CTCC TARRAGONA I.....	34
8.1.1	<i>Revisió del procediment de càlcul de les proves de rendiment</i> .....	34
8.1.1.1	Anomalies detectades en el procediment de càlcul de les proves de rendiment revisió 1.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

8.1.1.1.1 Anomalies detectades i modificades en la revisió 2 del procediment..  
 ..... **¡Error! Marcador no definido.**

8.1.1.2 Anomalies detectades a la resta de procediment revisió 1.....**¡Error!**

**Marcador no definido.**

8.1.1.2.1 Anomalies detectades en el llistat d'instrumentació a calibrar **¡Error!**

**Marcador no definido.**

8.1.1.2.2 Expandeix C i Apèndix D:..... **¡Error! Marcador no definido.**

8.1.1.3 Anomalies detectades en el procediment de càlcul revisió 2.....**¡Error!**

**Marcador no definido.**

8.1.2 *Revisió de l'informe de resultats de la prova de rendiment realitzada el 16 de novembre del 2009.....***¡Error! Marcador no definido.**

8.2 AUTOMATITZACIÓ DE LES PROVES DE RENDIMENT ..... 34

8.2.1 *Automatització amb full de càlcul* ..... 34

8.2.1.1 Full de càlcul de la TG ..... 36

8.2.1.2 Full de càlcul de la TV ..... 39

8.2.2 *Automatització amb software* ..... 43

8.2.2.1 Full de càlcul de suport del software ..... 44

8.2.2.1.1 Entrada de dades automàticament..... 44

8.2.2.2 Software de càlcul de les proves de rendiment..... 46

8.2.2.2.1 Execució del software per a calcular unes proves de rendiment..... 47

8.2.2.2.2 Modificació de corbes de correcció ..... 52

8.2.2.2.3 Recursos i eines del software de càlcul de les proves de rendiment 54

8.3 MILLORA DE L'ADQUISICIÓ DE DADES DEL SISTEMA PI..... 55

8.3.1 *Creació de nous punts* ..... 55

8.3.2 *Modificació de les característiques dels punts utilitzats en els càlculs....* 57



## 1 Objecte del projecte

L'objectiu del present projecte és desenvolupar un sistema de càlcul automàtic capaç d'estimar el resultat de les proves de rendiment aplicades a una central tèrmica de cycle combinat (turbina de gas més turbina de vapor) amb disposició monoeix. Prèviament, revisar el procediment de càlcul d'aquestes proves.

Finalment, calcular i contrastar els resultats de les proves de rendiment realitzades el novembre del 2009.

## 2 Abast del projecte

L'abast del present projecte es presenta en els següents punts:

### 2.1.1 *Procediment d'avaluació del rendiment d'una central tèrmica de cycle combinat*

El procediment d'avaluació del rendiment d'una central tèrmica de cycle combinat és el document on s'exposa tot el que implica unes proves de rendiment. Aquest document el lliura el subministrador de les turbines i és on es determinen els càlculs matemàtics i termodinàmics que s'han de seguir per obtenir els resultats de les proves de rendiment en forma d'un valor de potència subministrada (Power Output) pel cycle i de consum específic (Heat Rate).

Abast del procediment d'avaluació del rendiment d'una central tèrmica de cycle combinat:

- Revisió del procediment d'avaluació de les proves de rendiment d'una central tèrmica de cycle combinat.
  - Detecció d'anomalies en el procediment de càlcul de les proves de rendiment.
  - Detecció d'anomalies en el la resta del procediment.
- Revisió dels informes d'anys anteriors i de la prova realitzada el Novembre del 2009.

### 2.1.2 *Automatització de les proves de rendiment:*

Per tal d'agilitzar el procés de càlcul de les proves de rendiment es desenvolupa un sistema de càlcul automàtic. D'aquesta manera s'introdueix la possibilitat de realitzar periòdicament proves de rendiment amb gran facilitat en quan al procediment de càlcul.

Abast de l'automatització de les proves de rendiment:

- Creació d'un full de càlcul automàtic de les proves de rendiment.
- Creació d'un software de càlcul de les proves de rendiment:
  - Creació del full de càlcul lligat al software.
  - Creació del software de càlcul de les proves de rendiment.
  - Posada a punt.

### 2.1.3 Adquisició de dades

El sistema d'adquisició de dades és l'element encarregat de recollir els valors al llarg del temps de les diferents variables enregistrades pels diferents instruments reparats en tota la planta.

Abast del sistema de regulació i control:

- Millora de l'adquisició de dades del sistema PI:
  - Creació de nous punts.
  - Optimització de la configuració dels punts que intervenen a la prova de rendiment.

## 3 Antecedents

Des de que es construeix la Central Tèrmica de Cicle Combinat Tarragona I i s'instal·len la turbina de gas i la turbina de vapor, es firma un contracte entre el proveïdor de les turbines i la central, que obliga a fer unes proves cada 8000 hores de producció per tal d'assegurar-se del bon funcionament d'aquestes.

Aquestes proves s'anomenen **proves de rendiment** i serveixen per detectar possibles anomalies en el sistema que són potencials elements que accelerarien el deteriorament de les instal·lacions.

Històricament no s'havia verificat, per part del propietari de les turbines de la central de cicle combinat, el procediment que determina els resultats d'aquestes proves de rendiment, ni s'havien comprovat els resultats de cap prova. Aquest fet implicava un cert risc de que s'estiguessin cometent errors en el càlcul per part de l'empresa subministradora i no detectar possibles anomalies que podrien ocasionar danys majors.

Així, sorgeix la necessitat per part de la Central Tèrmica de Cicle Combinat Tarragona I de revisar el procediment de càlcul així com la prova realitzada el 16-11-2009, la sisena des de la posada en marxa. Per consolidar el procés es decideix automatitzar el procés de càlcul de les proves de rendiment.

El present projecte aporta solucions tant en l'àmbit de revisió i correcció del procediment d'avaluació del rendiment del cicle, com en la implantació d'un sistema de càlcul automàtic que agilitza molt considerablement els càlculs dels resultats d'aquestes proves de rendiment, passant de 15 a 24 hores de càlculs en condicions normals (tenint coneixements previs del procediment de càlcul) a l'obtenció dels resultats pràcticament online. Aquests resultats ens possibilitaran diagnosticar l'estat de les instal·lacions en qualsevol moment.

Aquest projecte ha estat realitzat a partir de la proposta del cap de manteniment elèctric de la Central Tèrmica de Cicle Combinat Tarragona I, Javier Pizarro Bécue, que també ha sigut el tutor del mateix. Ha estat la persona que ha facilitat els requisits de disseny del projecte, així com els requeriments tècnics necessaris pel desenvolupament de l'aplicatiu informàtic desenvolupat i la seva comunicació amb els instruments de mesura. El seu suport ha estat continuat i imprescindible per dur a terme aquest treball.

## 4 Normes i referències

### 4.1 Disposicions Legals i Normes Aplicades

A continuació es mostra una relació de normes que s'han considerat en el present projecte:

- UNE 157.001 “Criterios generales para la elaboración de proyectos”
- ASME PTC-22 (1997)
- ASME PTC-6 (1996)
- ASME PTC-6.2
- GEK 107751
- GEK107046
- AGA Rpt 3
- AGA Rpt 8
- ASTM D 3588 – 91

### 4.2 Bibliografia i Documentació

- [1] Procediment de càlcul de les proves de rendiment: “STAG 109 FA Periodic Thermal Performance Combined Equipment Evaluation Procedure, Revision 2”, 2004.
- [2] Procediment de càlcul de les proves de rendiment: “STAG 109 FA Periodic Thermal Performance Combined Equipment Evaluation Procedure, Revision 2”, 2009.
- [3] Càlcul del vapor de segellament *N2 Packing*: Marcus B. Caudill i Roland D. Griebenow, P.E, “Analysis of Leakage Between HP and IP Turbines Using PEPSE”, 1992.

### 4.3 Programes informàtics utilitzats

- Curve Expert
- Microsoft Office Excel
- Visual Basic
- GE Systems Toolbox
- Steam Tab
- Process Portal B 1.2
- PI OSISOFT

#### 4.3.1 *Pla de gestió de qualitat aplicat durant la redacció del projecte*

Durant el desenvolupament s'han revisat els diferents elements de que consta el present projecte:

- La revisió dels diferents documents de que consta el projecte l'ha dut a terme el director del projecte Luís Guasch Pesquer, a través de visites programades, i el tutor, Javier Pizarro Bécue. Els dos s'han encarregat de revisar el projecte perquè en tot moment es complissin les reglamentacions vigents en tots els àmbits que l'afecten.

### 4.3.2 *Altres Referències*

Aquest apartat no és d'aplicació en aquest projecte.

## 5 **Definicions i abreviatures**

### 5.1 **Definicions**

Al llarg del document es parla del **procediment de càlcul de els proves de rendiment**. Aquest fa referència als diferents apartats, inclosos en el procediment d'avaluació del rendiment d'una central de cycle combinat, que exposen els passos que s'han de donar per calcular els resultats de les proves de rendiment.

### 5.2 **Abreviatures**

C.T.C.C. Central Tèrmica de Cycle Combinat  
PI: Històric de planta, adquisició de dades (OSISOFT)  
DCS: Sistema de control de planta (ABB)  
MKVI: Sistema de control de turbines (GE)  
PO: Power Output (Potència de sortida)  
HR: Heat Rate (Consum específic)  
TG: Turbina de Gas  
TV: Turbina de Vapor  
PR: Proves de Rendiment  
TAG: Nom d'una senyal de la planta  
TAP: Turbina d'Alta Pressió  
TMP: Turbina Mitja Pressió  
TBP: Turbina de Baixa Pressió  
MS: Main Steam (vapor d'alta pressió)  
CRH: Cold Reheat (vapor d'escapament de la TAP)  
HRH: Hot Reheat (vapor que entra TMP)

## 6 **Requisits de disseny**

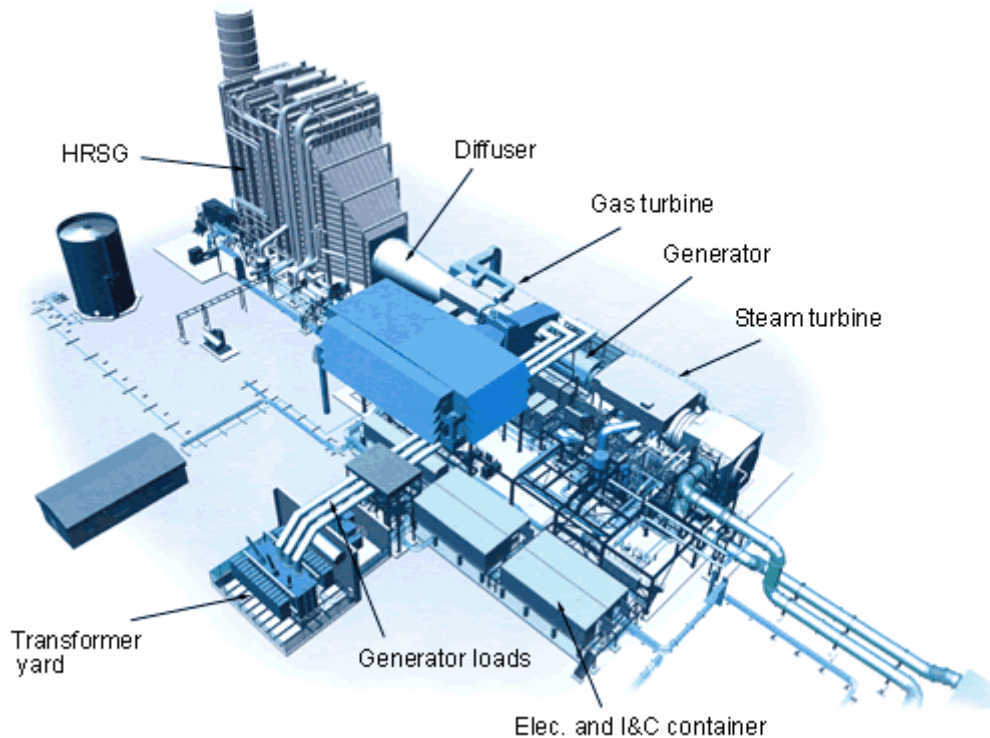
### 6.1.1 *Tecnologia de cycle combinat*

#### 6.1.1.1 Descripció

Una central tèrmica de cycle combinat integra una turbina de gas de cycle Bryton amb una turbina convencional de vapor, de manera que s'aprofita l'energia que resta en els gasos d'escapament a alta temperatura de la turbina de gas per escalfar aigua que es convertirà en vapor i accionarà la turbina de vapor i aquesta al generador. La turbina de gas també està connectada a un generador i sol aportar més de la meitat del total de la producció del cycle, depenent de la configuració de la planta (en la CTCC Tarragona I aporta 2/3 parts de la potència). En la configuració monoeix la turbina de gas, la turbina de vapor i el generador estan units en un únic eix, que és el cas de la CTCC Tarragona I.

El gir d'aquest és solidari i no hi ha possibilitat de separar TG i TV. Alguns models de configuracions monoeix tenen un acoblament que sí permet aquesta separació.

La turbina de gas té les següents parts principals: entrada d'aire, on trobem els filtres d'aire, un compressor que eleva la pressió i la temperatura de l'aire i, cambra de combustió i etapa d'àleps. En la cambra de combustió és on s'injecta el gas i es produeix la reacció per posteriorment expandir-se en un seguit d'etapes d'àleps que és on l'energia cinètica del gas passa a ser moviment rotatiu que impulsa un generador.



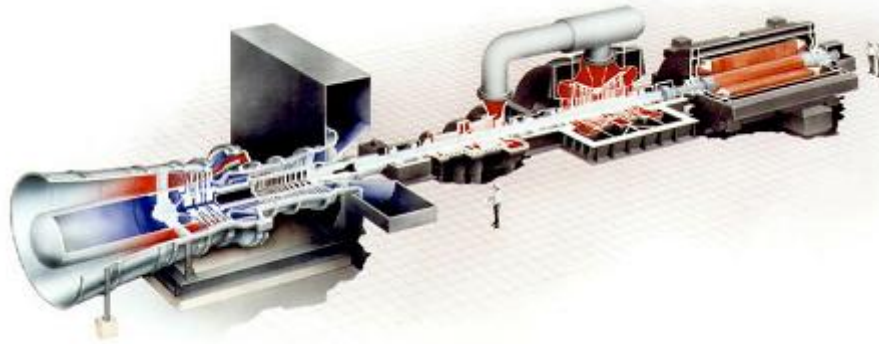
*Figura 1: Configuració d'una central de cicle combinat*

A la sortida dels gasos calents hi ha col·locada una caldera (HRSG, Hot Recovery Steam Generator), on s'escalfen una col·lecció de tubs dels diferents circuits d'economització i evaporació de l'aigua i sobreescalfament del vapor. Aquest vapor es divideix en vapor d'alta, de mitja i de baixa pressió. Cada tipus de vapor genera treball en la corresponent turbina (d'alta, mitja o baixa pressió).

El conjunt del sistema de la turbina de vapor està compost pels calderins d'alta, mitja i baixa pressió (situats en molt casos damunt del HRSG), que és on s'acumula l'aigua i el vapor abans de passar pels seus corresponents sub processos (evaporació i sobreescalfament respectivament), el grup de turbines de vapor (alta, mitja i baixa pressió) i el condensador.

#### 6.1.1.2 Tecnologia Monoeix

La Central Tèrmica de Cicle Combinat Tarragona I està equipada amb **disposició monoeix**. Això significa que les dues turbines que componen el cicle (una turbina de gas i una turbina de vapor) estan acoblades al mateix eix. Aquesta disposició respecte a la de doble eix presenta l'avantatge que és més econòmica al tenir un sol generador, ocupa menys espai i té una major eficiència. Com a desavantatge trobem que és un sistema amb menys flexibilitat.



**Figura 2:** Representació de la configuració de les turbinas de gas (dreta) i vapor (centre) i generador (esquerra) d'un cicle combinat amb disposició mono-eix.

El factor d'una menor flexibilitat s'explica perquè la disposició mono-eix ha d'esperar a que el conjunt de les dues turbinas estiguin preparades per augmentar la carga. La turbina de vapor, a l'ésser un equip molt més robust, triga més en poder treballar a carga base, ja que el seu escalfament és més lent que la turbina de gas. Això implica que la turbina de gas no pot augmentar de potència tot el que podria sinó que s'ha d'adaptar a l'augment de carga més lent de la turbina de vapor. Altrament, amb dos eixos simples, la turbina de gas pot augmentar la potència fins a carga base sense haver d'esperar la plena operabilitat de la turbina de vapor.

### 6.1.2 Funcionament del cicle combinat amb disposició mono-eix

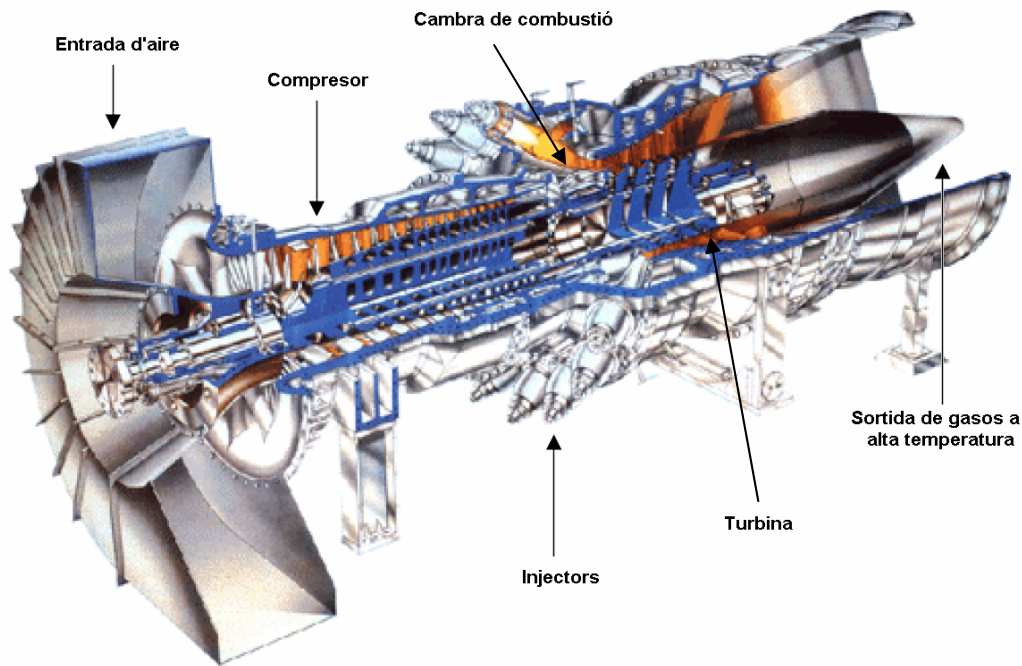
En un cicle combinat amb disposició mono-eix les dues turbinas, gas i vapor, són altament dependents. Tot i això, cadascuna té un cicle de funcionament ben diferenciat.

#### 6.1.2.1 Turbina de gas

En una turbina de gas el fluid sobre el que s'opera és aire. En una primera etapa l'aire, un cop filtrat a la caseta de filtres, entra al compressor, accionat per l'eix de del conjunt del cicle, on augmenta la seva pressió. Seguidament, passa a la cambra de combustió, on s'injecta el combustible i es produeix la reacció química de combustió. Normalment acostuma a ser gas natural el combustible cremat, però, en el cas de la turbina de la CTCC Tarragona I també pot ser gasoil, ja que també està preparada per cremar aquest combustible. No obstant, no és recomanable que s'operi gaire temps perquè existeix un major deteriorament de la turbina i un menor rendiment.

Un cop injectat el combustible, es passa a la ultima fase del cicle Bryton, la expansió, on els gasos de la combustió surten a alta velocitat i temperatura. L'energia cinètica del gas d'escapament es transforma en moviment en el grup d'àleps de la zona posterior a la cambra de combustió. Aquesta energia transmesa a l'eix del cicle, representa una mica menys de 2/3 parts del total d'energia produïda pel cicle (en la CTCC Tarragona I).

El gas, ja a una velocitat molt inferior, però a molt alta temperatura, entra a la caldera on s'escalfa l'aigua, i es generen i sobreescalfen els vapors dels diferents circuits (vegi's plànol 1).



*Figura 3: Turbina de gas d'una central de cicle combinat*

#### 6.1.2.2 Turbina de vapor

El cicle de la turbina de vapor comença als calderins, on entra l'aigua desmineralitzada pre-escalfada a l'economitzador. Aquest, augmenta la temperatura de l'aigua però sense que arribi a la temperatura d'evaporació després d'haver extret l'aire. En cadascun dels tres calderins (de baixa, mitja i alta pressió) hi ha dos circuits més, a part de l'economitzador: l'evaporador i el sobreescalfador. L'evaporador s'encarrega de fer el canvi de fase de l'aigua, del líquid al sortir del calderí al gasós al tornar a entrar. És llavors quan aquest vapor és sobreescalfat i s'optimitzen les seves propietats per ser turbinat.

En primer lloc, el vapor procedent del calderí d'alta pressió i sobreescalfat es sotmet a dues fases de sobreescalfament més. Abans de l'última fase de sobreescalfament, és on s'atempera el vapor, de tal manera que la temperatura al final de l'últim tram de sobreescalfament és igual o molt propera a la temperatura de consigna (565,5°C en el cas de la CTCC Tarragona I). Aquest vapor s'anomena vapor d'alta pressió (MS, main steam) i és injectat a la turbina d'alta pressió (TAP), on cedeix l'energia cinètica als àleps que mouen el rotor.

Un cop el vapor passa per l'última etapa d'àleps, passa a anomenar-se vapor recalentat fred (CRH, cold reheat steam). Aquest vapor, amb baixa energia cinètica, viatja fins unir-se amb l'aportació de vapor que entrega el calderí de mitja pressió. A continuació, passen dos trams on s'eleva la temperatura del vapor, anomenats rescalfadors. Igual que en el cas del MS, entre aquests dos trams hi ha l'atemperació d'aquest vapor per aconseguir una temperatura propera o igual a la temperatura de consigna (igualment 565,5° C).



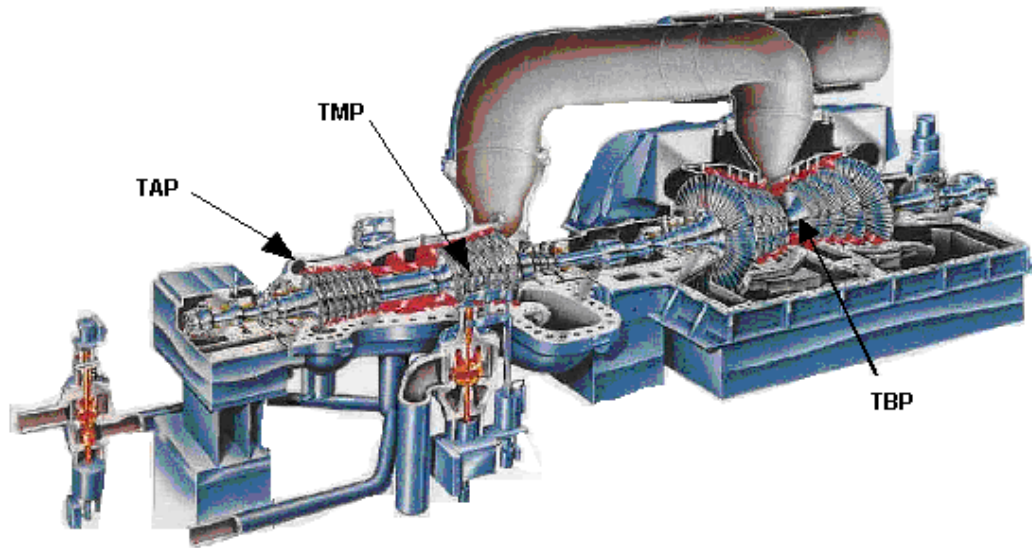


Figura 4: Turbina de vapor de tres etapes

El vapor resultant d'aquest segon procés s'anomena vapor recalentat calent (HRH, Hot Reheat Steam) i és turbinat en la turbina de mitja pressió (TMP). Després de la última etapa d'aleps d'aquesta turbina és on hi ha l'aportació del vapor de baixa pressió. La mescla de vapors circula pel crossover, que uneix la turbina de mitja i la de baixa pressió, i passa per l'última fase de treball abans de ser condensat. Un cop el vapor ha alliberat en la turbina de baixa pressió (TBP) gran part de la seva energia per generar treball, és refrigerat a molt baixa pressió, el que provoca la seva condensació. L'aigua resultant, un cop desairejada, torna a començar el cicle.

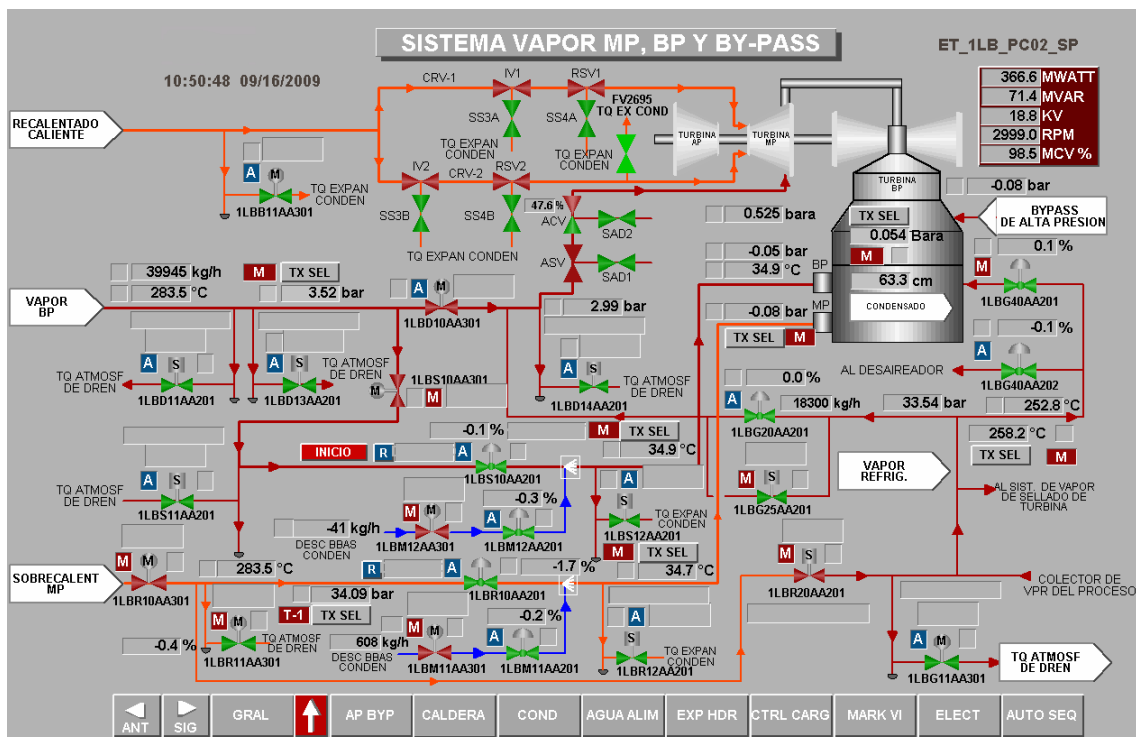


Figura 5: Sistema de vapor de mitja i baixa pressió i condensació



### 6.1.3 Proves de rendiment

#### 6.1.3.1 Descripció

Les proves de rendiment d'una central pretenen avaluar quina és la eficiència del conjunt d'equips que ens permeten generar energia elèctrica. A més, ens permeten detectar possibles anomalies en el sistema, que són potencials elements que accelerarien el deteriorament de les instal·lacions.

Normalment, s'avalua el rendiment sense tenir en compte el consum dels equips auxiliars, com bombes de circulació o motors de refrigeració d'equips, ni les pèrdues als transformadors. El test contempla des de l'entrada del vapor condensat al circuit d'aigua d'alimentació dels calderins, fins a les barres del generador, incloent l'excitació d'aquest últim.

Es considera que el circuit és autònom, tot i que té petites pèrdues degut a purgues del sistema i petites fuites de vapor. Aquestes pèrdues en cap cas podran superar el 0,25% del volum d'aigua processat en el condensador en una hora. En el cas de ser així es donarien com a invàlides les proves o prova amb majors pèrdues i s'investigaria el cas.

Els resultats de les proves de rendiment s'expressen fonamentalment en dos valors:

**Power Output (PO):** És la potència neta del cycle calculada en un període de temps determinat (normalment d'una hora de durada). S'entén com a potència neta, la mitja de la potència aportada en barres del generador sostraint l'energia d'excitació d'aquest últim. S'expressa en kW.

**Heat Rate (HR):** És el consum d'energia primària en kJ per a produir un kW d'energia elèctrica (consum específic). S'expressa en kJ/kW.

A partir de la comparació d'aquests dos valors amb els valors esperats per aquests factors, que varien en funció del número d'hores de funcionament de la turbina, podem estimar si la central es troba en bones condicions o no.

Si obtenim un Power Output superior al valor esperat i un Heat Rate inferior al seu corresponent valor esperat, podem certificar que el conjunt de les turbines es troba en un bon estat. En el cas contrari, potser és signe de que algun dels elements del cycle no està treballant correctament, el que portaria a investigar les anomalies que poden estar accelerant el deteriorament de les turbines i/o de les instal·lacions.

#### 6.1.3.2 Realització de les proves de rendiment

Les proves de rendiment oficials (realitzades pel subministrador de les turbines) s'efectuen cada cert període de temps que fixa el subministrador, aproximadament un any. En el cas de la CTCC Tarragona I són cada 8.000 hores de funcionament fins la primera inspecció major. Després són cada 24.000 hores.

L'estructura que segueixen és la següent:

##### 6.1.3.2.1 Calibració dels instruments

El valor final de les proves de rendiment passa pel tractament d'un seguit de valors d'un conjunt de variables. Per tal d'assegurar-nos un resultat precís és requereix que es calibrin els instruments de mesura de les diferents variables (vegi's apartat 6.3).

Els instruments que són calibrats són aquells que serviran per efectuar els càlculs de les proves de rendiment. Tot i això, el llistat d'instruments dels quals es prendrà registre durant les proves és molt més extens. Els registres d'altres variables que no

s'utilitzen directament en els càlculs serviran per detectar possibles anomalies en el sistema en cas que els resultats fossin adversos.

#### *6.1.3.2.2 Rentat de la turbina de gas*

El subministrador de les turbines fixa que abans d'una prova de rendiment s'ha de fer un rentat de la turbina de gas. Els rentats de turbina es fan per netejar la brutícia i impureses que queden incrustats al cos de la turbina, així com als àleps del compressor de la turbina de gas. El rentat es fa amb aigua i detergent i sol durar uns 15 minuts. Després d'un rentat la turbina té una millor eficiència.

#### *6.1.3.2.3 Identificació de les vàlvules que configuren l'aïllament del cicle*

En el moment de les proves de rendiment es tanquen un seguit de vàlvules per aconseguir que el sistema sigui el més estanc possible, ja que les fuites d'aigua o vapor representen escapament d'energia que ens conclouria a resultats erronis o poc precisos. Així, el primer que cal fer és revisar i comprovar que el llistat de vàlvules que configuren l'aïllament del cicle realment siguin les més adequades.

Els processos que s'intenten excloure del cicle són bàsicament les purgues d'aigua i les purgues de vapor. En els casos en que existeix exportació de vapor del cicle fora de la planta (com en el cas de la CTCC de Tarragona I), s'ha de parar durant el transcurs de les proves.

#### *6.1.3.2.4 Aïllament del cicle*

L'aïllament del cicle s'executa prèviament al inici del registre de dades per les proves de rendiment. Posteriorment es comprova que cap vàlvula tingui fuites, per aconseguir el més bon aïllament possible. En cas de fuites, s'intenta tancar vàlvules manuals properes per tal d'aconseguir la màxima estanquitat possible.

#### *6.1.3.2.5 Presa de dades*

La presa de dades s'inicia un cop es considera que el sistema s'ha estabilitzat treballant a carga base (condicions nominals de les instal·lacions). L'estabilització del sistema acostuma a durar aproximadament de dues a tres hores. Les proves de rendiment consten de tres registres d'una hora de durada, de cada un dels quals en sortiran les dades que serviran per determinar el resultat final.

És molt important que durant el transcurs del registre de dades el sistema estigui estable. Del contrari es podrien invalidar les proves o prova afectada per la inestabilització, degut a que el cicle no està treballant en les seves condicions nominals.

Un altre fet a comprovar és que el nivell d'aigua en el condensador no baixi per sota dels nivells màxims establerts pel subministrador del cicle durant les tres hores de registre. Tenir més pèrdues que les marcades per les proves de rendiment significa que s'invaliden les proves o prova on hi hagi hagut més pèrdues, donat que es considera que s'ha perdut massa energia (en forma de vapor o aigua a alta temperatura).

### **6.1.4 Proves de N2 Packing**

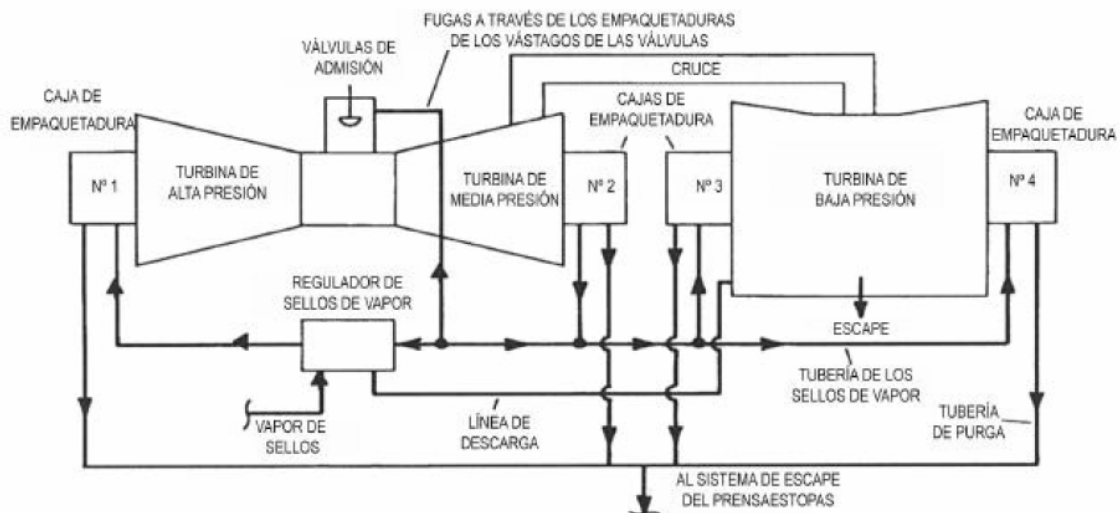
#### *6.1.4.1 Descripció*

Les proves de *N2 Packing* serveixen per determinar el cabal de vapor que és enviat a través dels segells d'una turbina cap a l'altre. El vapor de segellament minimitza les pèrdues de pressió i vapor en els extrems on es troba l'acoblament giratori de les turbi-

nes de vapor i evita que entri aire al condensador que implicaria la pèrdua del buit parcial.

Explicat resumidament, el sistema de segellat neix en les fuites que té la turbina de vapor d'alta pressió. Aquest vapor és enviat majoritàriament al cos de mitja pressió on és turbinat i també al de baixa pressió per evitar que el vapor del qual volem extreure energia, es perdi.

En concret el *N2 Packing* és el vapor de segellament que s'extreu entre la primera etapa d'àleps i l'entrada de vapor de la turbina d'alta pressió i va a parar a l'entrada del vapor recalentat al cos de mitja pressió. El *N2 Paking* és el vapor de segellament més considerable en quan a cabal, però a més d'aquest, existeixen altres vapors de segellament que són també estimats en aquesta prova.



**Figura 6:** Circuits de vapor de segellament existents entre els diferents cossos de la turbina de vapor.

Aquest vapor computa un valor molt significatiu d'energia que s'escapa de la turbina d'alta pressió i genera treball en la turbina de mitja i baixa pressió. Aquest fet és important per determinar quina ha sigut l'aportació energètica de cada turbina.

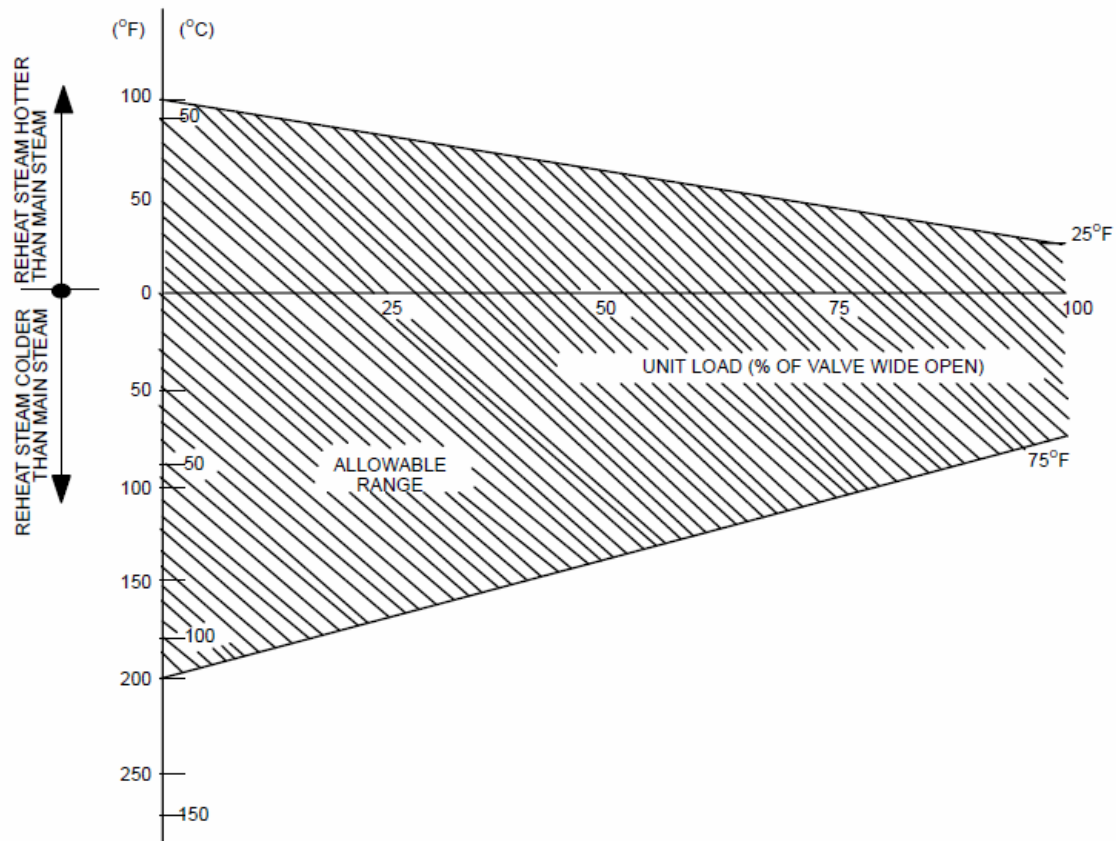
#### 6.1.4.2 Execució de les proves del *N2 Packing*

L'execució de les proves del *N2 Packing* obeeix al mètode de càlcul "*Temperature Variation*", de *Booth & Kautzman* (vegi's apartat 6.4.3.1), on a partir del diferencial de temperatura existent entre la turbina d'alta i mitja pressió, s'aconsegueix deduir quin és el cabal del *N2 Packing*. La seva execució presenta les següents característiques:

- Només treballen la turbina d'alta i la de mitja pressió. Així, la turbina de baixa pressió queda aïllada del sistema i no aporta treball al conjunt. A més, queda tallat el subministrament del vapor de baixa pressió. D'aquesta manera es pot captar a través de la instrumentació del crossover les propietats del vapor que surt de la turbina de mitja pressió, essencial pel càlcul posterior del cabal *N2 Packing*. Aquest vapor que encara conserva molta energia i que no genera treball en la turbina de baixa pressió és portat al condensador directament.
- Existeixen tres proves dins de les proves del *N2 Packing*. Aquestes es diferencien en la temperatura del vapor d'alta pressió i el de recalentat calent. En la primera prova la temperatura del vapor d'alta pressió serà la nominal i la del

recalentat calent serà més baixa. En el segon cas, serà el contrari del primer i, en el tercer cas, les dues aportacions de vapor estaran a la mateixa temperatura (la nominal). El diferencial existent entre temperatures el marquen les corbes del fabricant per reproduir aquest test (vegi's figura 6).

### For Opposed Flow HP-IP STAG Turbines of Single-Shell Construction



**Figura 7:** Gràfic de diferència de temperatures màxim aplicat en les proves N2 Packing

- Per procedir al registre de dades de cada prova (de mitja hora de duració), el sistema s'haurà d'estabilitzar i mantenir-se invariable en el transcurs de la prova tot mantenint, com en les proves de rendiment, el cicle aïllat d'exportacions de vapor i purgues.

Al llarg de les proves el sistema treballa aproximadament a un 65-70% de la càrrega base. Això és així per tres motius:

- No forçar el sistema de condensat a l'haver de tractar el vapor procedent de la turbina de mitja pressió que encara té molta energia (ja que tenim la turbina de baixa pressió inactiva).
- Si es treballa a baixes càrregues es facilita la deducció del cabal de N2 Packing.
- Una major càrrega, implica més vapor d'alta i mitja pressió, i en definitiva, més atemperament per aconseguir la temperatura que ens marca el procediment. En molts casos no tenim prou cabal d'atemperació com per rebaixar el que es necessita la temperatura del vapor.

## 6.2 Sistemes de regulació i control

En les instal·lacions de la CTCC Tarragona I hi ha presents tres sistemes de regulació i control que permeten gestionar i monitoritzar les instal·lacions. Existeix una jerarquia entre els tres sistemes que determina la funcionalitat de cadascun (vegi's plànol 2).

### 6.2.1 Sistema Mark VI (MKVI)

S'encarrega exclusivament del control i monitorització de les dues turbines (turbina de gas i vapor) i del generador.

El sistema està compost per un conjunt de controladors que llegeixen en cada moment les senyals procedents de la instrumentació repartida al llarg de les turbines i generador. De la seva lectura i processament, d'acord amb la lògica de treball i la gestió per part dels operadors de planta, obtenim l'actuació del cicle. Per exemple, a l'augmentar la demanda de carga al cicle, el MKVI dona l'ordre d'augmentar l'angle d'obertura dels àleps d'entrada d'aire de la turbina de gas.

Tota la instrumentació que nodreix aquest sistema, es pot diferenciar fàcilment de la resta d'instrumentació (pertanyent al DCS). La identificació d'aquests instruments sempre comença per G1\ o S1\, depenent de si és un instrument lligat a la turbina de gas, o si és instrumentació de la turbina de vapor.

El control dels sistemes dependents de MKVI normalment és automàtic degut a que controla elements sotmesos a una lògica molt rígida, com el control d'injecció de gas i entrada d'aire en la cambra de combustió, la temperatura dels gasos d'escapament de la turbina de gas o bé la sincronització amb la xarxa del generador. Existeix la possibilitat de control manual però requereix d'uns coneixements molt exhaustius de totes les seqüències dels diferents processos.

### 6.2.2 Sistema DCS

És el sistema encarregat de gestionar directament el control de tots els sistemes de la planta a excepció de les turbines i generador, així com de monitoritzar tots els elements de la planta. Aquest també permet controlar les turbines. A més, el DCS s'encarrega de registrar les dades al llarg del temps de tots els sistemes auxiliars i que no depenen del MKVI així com també moltes que sí que en depenen.

En el cas del DCS, el control dels sistemes que depenen directament són gestionats de forma automàtica o de forma manual. El pilot manual permet actuar en els diferents elements de manera autònoma. És el cas de la majoria de vàlvules motoritzades, bombes de circulació, motors lligats a refrigeració d'elements, etc. S'acostuma a utilitzar durant el manteniment de cada part del cicle, en presa de decisions contemplat particularitats de les instal·lacions (augmentar l'exportació de vapor) o quan es vol forçar alguna variable per algun motiu concret (com és en el cas de les proves de *N2 Packing*).

El funcionament automàtic del cicle també és modificable, ara bé, qualsevol modificació passa per canviar els valors de consigna de la lògica, alternant les característiques nominals establertes pel fabricant.

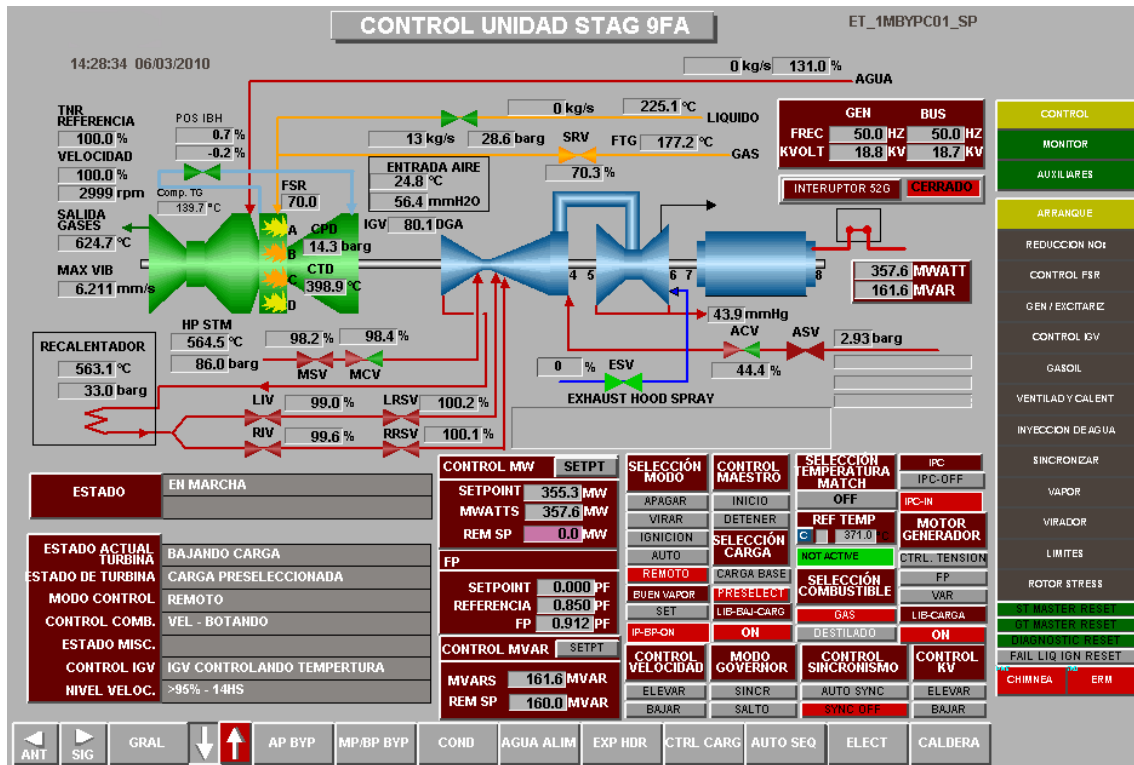


Figura 8: Pantalla de l'Scada de control del DCS

### 6.2.3 Sistema PI

Té com a funció principal el registre continu de dades de la planta (creació d'històrics) i posar-les a disposició de l'usuari per la seva consulta. Aquest sistema obté les dades més importants del MKVI i del DCS però en menor nombre. La diferència amb el DCS és que la consulta de les dades registrades es pot fer de qualsevol moment des de que es posà el sistema PI en funcionament, mentre que en el DCS no es poden consultar dades de més de dos mesos d'antiguitat amb tanta agilitat.

Paral·lelament també permet la monitorització de la planta, però no és un sistema tant utilitzat en la central per aquesta segona funció ja que no permet el control i no ofereix la totalitat de les dades.

## 6.3 Instrumentació

Els instruments de mesura representen un element fonamental en el control d'una central tèrmica de cycle combinat. És per aquest motiu que un dels requisits previs a les proves de rendiment és la calibració d'instruments (vegi's apartat 6.1.3.2.1).

Per realitzar els càlculs de les proves de rendiment, partim de les dades que es recullen dels diferents instruments repartits al llarg de les instal·lacions. Aquests instruments mesuren paràmetres molt variats, com són temperatures, pressions, cabals, nivells, revolucions, intensitat, voltatge...El instruments que intervenen directament en els càlculs de les proves de rendiment oficials (les que marca el fabricant cada cert número d'hores), són els que s'han de calibrar per aconseguir uns resultats el més acurats possible.

Aquests instruments (vegi's plànol 1), són els següents:

Instrument	Descripció	Localització instrument	Sistema d'origen
S1\IP-P	Pressió vapor AP	Entrada TAP	MKVI
S1\TT_IS	Temp. vapor AP	Entrada TAP	MKVI
S1\tt_is1	Temp. vapor AP	Entrada TAP	MKVI
S1\TT_IS1	Temp. vapor AP	Entrada TAP	MKVI
RSH-2_BARG	Pressió vapor CRH	Sortida TAP	DCS
1LBC10CT001JT01A	Temp. vapor CRH	Sortida TAP	DCS
S1\HRHP-P	Pressió vapor HRH	Entrada TMP	MKVI
S1\TT_RHS	Temp. vapor HRH	Entrada TMP	MKVI
S1\TT_RHS1	Temp. vapor HRH	Entrada TMP	MKVI
S1\TT_RHS2	Temp. vapor HRH	Entrada TMP	MKVI
1LAF02CF001JT01A	Atemperació HRH	Sortida recalentat 1 HRH	DCS
S1\AP_P	Pressió vapor BP	Aportació vapor BP sortida TMP	MKVI
S1\TT_LPAS	Temp. vapor BP	Aportació vapor BP sortida TMP	MKVI
S1\TT_LPAS1	Temp. vapor BP	Aportació vapor BP sortida TMP	MKVI
S1\TT_LPAS2	Temp. vapor BP	Aportació vapor BP sortida TMP	MKVI
T_CROSSV-1N	Temp. Crossover	Crossover	DCS
T_CROSSV-2S	Temp. crossover	Crossover	DCS
P_CROSSV_BARG	Pressió crossover	Crossover	DCS
S1\EV_P	Pressió condens.	Condensador	MKVI
1LCC01CT001XW01	Temp. Condens.	Condensador	DCS
1LCC01CL001JT01A	Nivell d'aigua	Condensador	DCS
1LCC01CL001JT02A	Nivell d'aigua	Condensador	DCS
1LCC01CL001JT03A	Nivell d'aigua	Condensador	DCS
1LAP50CF001JT01A	Cabal alimentació calderí AP	Entrada economitzador AP	DCS
1LAP50CF001JT02A	Cabal alimentació calderí AP	Entrada economitzador AP	DCS
1LAP50CF001JT03A	Cabal alimentació calderí AP	Entrada economitzador AP	DCS
1HAC22CF001JT01A	Cabal alimentació calderí MP	Entrada economitzador MP	DCS
1HAC22CF001JT02A	Cabal alimentació calderí MP	Entrada economitzador MP	DCS
1HAC22CF001JT03A	Cabal alimentació calderí MP	Entrada economitzador MP	DCS
1LBD10CF001JT01A	Cabal vapor BP	Sortida calderí BP	DCS
S1\EX2K_GN_PF	Factor de Potència	Generador	MKVI
S1\EX2K_FLD_A	Corrent excitació	Generador	MKVI
S1\EX2K_FLD_V	Voltatge excitació	Generador	MKVI
G1\DWATT2	Potència generada	Generador	MKVI
G1\TFT_T	Hores de funcionament	Sala de computadores	MKVI
G1\AFPAP	Pressió atmosfèrica	Exterior caseta filtres	MKVI
G1\CTIM	Temp. aire al compressor	Entrada compressor	MKVI
S1\TNH_RPM	Velocitat de l'eix	Coixinet 1	MKVI
G1\AFPCS	Pèrdua pressió entrada d'aire	Entrada compressor	MKVI
G1\AFPEP	Pèrdua de pressió sortida TG	Sortida gasos TG	MKVI
G1\FTG1	Temperatura gas	Injectors gas TG	MKVI
G1\FTG2	Temperatura gas	Injectors gas TG	MKVI
G1\FTG3	Temperatura gas	Injectors gas TG	MKVI
1EKD22CF001XG02A	Cabal de gas	Estació de regulació i mesura	DCS

**Taula 1:** Instruments que es calibren abans de les proves de rendiment oficials

## 6.4 Procediment d'avaluació del les proves de rendiment

Tot el que engloba unes proves de rendiment ve establert pel procediment d'avaluació del rendiment d'una central tèrmica de cycle combinat. Aquest és editat pel subministrador de les turbines però necessita l'acord del comprador perquè tingui vigència.

El document, fonamentalment es divideix en dos blocs. En el primer bloc s'exposen els continguts contractuals, on es fixa com es duran a terme les proves de rendiment i els requisits que s'hauran de complir. En el segon bloc, format per annexos, trobem el procediment de càlcul i diferents llistats i especificacions que complementen l'apartat de continguts contractuals.

### 6.4.1 *Continguts contractuals*

Aquest primer bloc és un document de caràcter formal que especifica les condicions, característiques, responsabilitats i conseqüències que tindran les proves de rendiment.

Primerament, s'introdueixen tots els procediments, tant d'operació com de càlcul, a seguir abans, durant i després de les proves de rendiment, per tal d'obtenir uns resultats òptims.

Seguidament s'exposen quins són els límits de les proves de rendiment, és a dir, de quina part a quina altra de les instal·lacions es considerarà el cycle per avaluar-ne el rendiment, i quins són els valors de referència amb els que es basaran els càlculs dels factors de correcció, tant per la turbina de gas com per la turbina de vapor.

L'apartat següent descriu totes les accions prèvies a les proves de rendiment, com són la calibració dels instruments, rentat de la turbina de gas, o la verificació de l'aïllament del cycle.

A continuació s'expliquen amb detall cadascuna de les fases de les proves de rendiment, conformades per les proves de rendiment en sí i les proves del "N2 Packing", i els marges en que poden oscil·lar els valors dels paràmetres per a considerar vàlides les proves.

Finalment, en l'últim punt s'exposa el procediment de càlcul per obtenir les correccions aplicables a la turbina de gas i els resultats finals de les proves de rendiment.

### 6.4.2 *Continguts procedimentals*

És la part més tècnica i presenta els càlculs restants que s'han de seguir per arribar als resultats finals de les proves de rendiment així com totes les corbes de correcció d'ambdues turbines. D'altre banda exposa llistats de vàlvules i d'instrumentació a tenir en compte. Finalment, té un apartat dedicat a la contrastació de les proves amb els resultats esperats de les unitats.

- Appendix A Gas Turbine Correction Curves
- Appendix B Measurement List
- Appendix C Pre-Test readiness report
- Appendix D Valve isolation list
- Appendix E Determination of *Load Split*
- Appendix F Steam Turbine Correction Curves
- Appendix G Sample Calculations



- Appendix H Exhibit C from CSA Contract
- Appendix I Natural Gas Fuel Sampling Procedure

#### 6.4.2.1 Corbes de correcció per a la turbina de gas (Apèndix A)

Aquest apartat exposa les corbes de correcció per cada una de les variables que influeixen en el rendiment de la turbina de gas i que serveixen per calcular unes constants de correcció que modificaran els valors finals del PO (Power Output) i del Heat Rate de la turbina de gas.

Les corbes de correcció són úniques i particulars en cada equip. Aquestes es generen en el moment de la posada en marxa de la planta en funció de diferents condicions de treball a que es sotmet el cicle.

El que es busca al aplicar les corbes de correcció és traslladar les variables de cada prova de rendiment (que estan determinats per variables com poden ser la temperatura ambient, la pressió atmosfèrica, el factor de potència del generador o la composició del gas) a una referència comuna on cap resultat no es vegi afectat per les variables que alteren el rendiment de la planta. D'aquesta manera podrem establir comparacions entre les diferents proves de rendiment que es realitzin al cicle al llarg del temps i poder contrastar dades.

L'exemple més evident que justifica l'aplicació de les corbes de correcció és el cas de la temperatura ambient. Aquesta variable és la que més influeix en el comportament de la turbina de gas, degut a que en un dia d'estiu, amb temperatures altes, l'aire és menys dens que un dia amb temperatures baixes, fet que comporta una menor compressió d'aquest (en l'etapa de compressió de la turbina de gas) i combustió amb menys aire pel mateix volum d'aire d'entrada, i en definitiva, menys potència. El diferencial existent entre la potència entregada per la turbina de gas en un dia a  $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$  i un altre de  $35,6\text{ }^{\circ}\text{C}$  arriba a ser del 25%.

A continuació es mostren les variables que afecten a una turbina de gas i el seu valor de referència per les proves de rendiment:

Variable	Valor	Unitats
Temperatura ambient	16.2	$^{\circ}\text{C}$
Pressió ambient	1,0118	bar
Humitat relativa	68,3	%
Velocitat de l'eix	3000	rpm
Factor de potència	0,9	-
Caiguda de pressió en l'entrada al compressor	89.9	mmH <sub>2</sub> O
Caiguda de pressió en la sortida del compressor	391,2	mmH <sub>2</sub> O
Temperatura del gas	185	$^{\circ}\text{C}$
Poder calorífic de gas	45.048	kJ/kg

**Taula 2:** Variables que influeixen en el comportament de la turbina de gas

Les corbes de correcció que afecten a la turbina de gas es divideixen en dos grups: les que corregeixen el PO (Power Output) i les que corregeixen el Heat Rate en funció de cada variable. Cada corba dona, com a resultat d'una interpolació entre la corba i el valor de la variable dependent més un càlcul posterior, un factor de correcció (proper a la unitat) que modificarà el PO o el Heat Rate inicial. Això es fa per a contrarestar

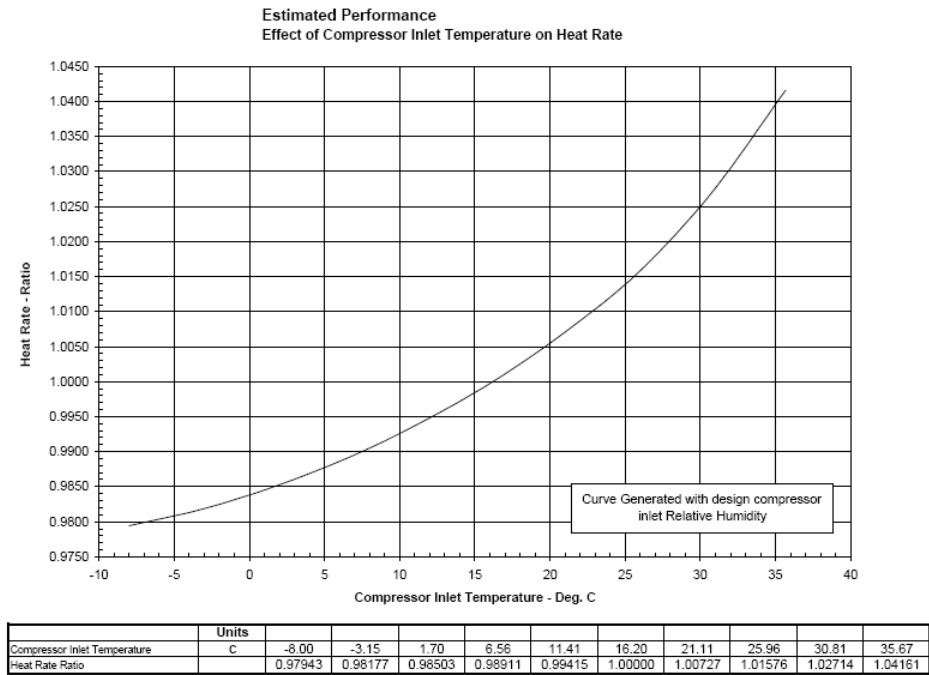
l'efecte que exerceix la variable sobre el rendiment. En el cas que el valor de la variable tractada sigui igual al de referència, el factor de correcció serà 1.

Les corbes de correcció existents per la turbina de gas són les següents:

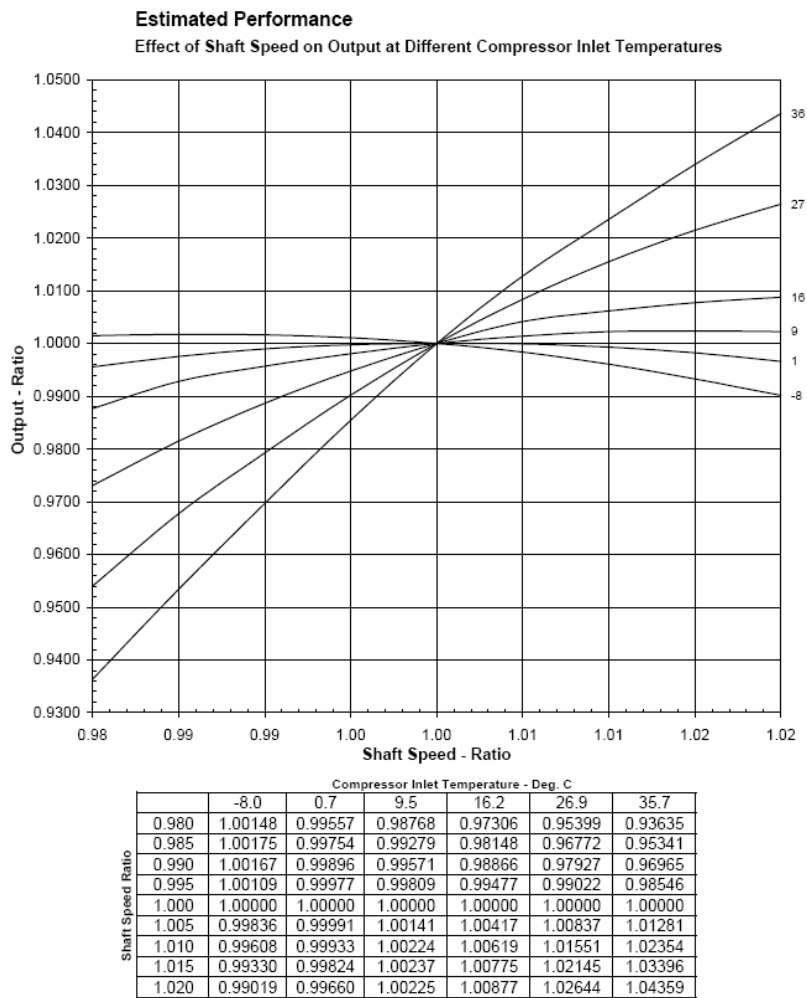
Corba	Descripció	Paràmetre
1	Efecte de la temperatura ambient a la pressió d'escapament de la TG	Pressió
2	Temperatura de l'aire entrada al compressor	Power Output
3	Temperatura de l'aire entrada al compressor	Heat Rate
4*	Humitat relativa	Power Output
5*	Humitat relativa	Heat Rate
6*	Velocitat del eix	Power Output
7*	Velocitat del eix	Heat Rate
8	Temperatura del gas	Power Output
9	Temperatura del gas	Heat Rate
10*	Diferencial de pressió en l'entrada al compressor	Power Output
11*	Diferencial de pressió en l'entrada al compressor	Heat Rate
12*	Pressió en l'escapament de la TG	Power Output
13*	Pressió en l'escapament de la TG	Heat Rate
14*	Pressió en l'escapament de la TG 2	Power Output
15*	Pressió en l'escapament de la TG 2	Heat Rate
16*	Pressió baromètrica	Power Output
17*	Pressió baromètrica	Heat Rate
18**	Composició del gas	Power Output
19**	Composició del gas	Heat Rate

**Taula 3:** Corbes de correcció per a la turbina de gas

Els factors de correcció marcats (\*) tenen un total de 6 corbes diferents. Això passa perquè són corbes bivariants, és a dir, que depenen de la variable que defineix la corba (variable 1) i d'una segona variable, temperatura ambient (variable 2). És per això que es tracen 6 corbes a diferents temperatures (-8, 0.7, 9.5, 16.2, 26.9 i 35.7°C) que representen aquesta segona variable (vegi's Figura 5). En el cas de les corbes de correcció 18 i 19 (\*\*), la variable 2 és la relació hidrogen/carboni de la composició del gas.



*Figura 9: Exemple de corba de correcció simple de la turbina de gas*



*Figura 10: Exemple de corba de correcció bivariant de la turbina de gas.*

#### 6.4.2.1.1 Llistat d'instrumentació (Apèndix B)

Aquest apartat consta d'un llistat on s'exposen tots els instruments que han de prendre registre durant el transcurs de les proves de rendiment. Són un total de quasi 370 instruments dels que es prenen registre, tot i que els que influeixen en el càlcul de les proves siguin una cinquantena.

Aquestes dades de més ajudaran a determinar les causes en cas de que els resultats fossin anòmalament desfavorables.

#### 6.4.2.2 Informe previ a les proves (Apèndix C)

El contingut d'aquesta part consta de diversos plantilles model on es registraran les actuacions realitzades i resultats d'aquestes dels diferents preparatius i comprovacions abans de les proves de rendiment, com són les calibracions o altres verificacions com la resposta d'actuació dels àleps d'admissió d'aire (IGV, Inlet Guide Vane) en el compressor de la turbina de gas.

#### 6.4.2.3 Llistat de vàlvules per l'aïllament (Apèndix D)

El llistat de vàlvules d'aïllament numera totes aquelles vàlvules que durant les proves de rendiment s'hauran de revisar i deixar en estat obert o tancat tal i com es marca en el llistat per tal d'assegurar el complet aïllament del cicle durant les proves.

#### 6.4.2.4 Determinació del *Load Split* (Apèndix E)

El "*Load Split*" és el càlcul que s'ha de seguir per diferenciar el treball que ha produït la turbina de gas del que ha produït el turbina de vapor. Al ser disposició mono-eix, només existeix un únic eix i generador, per tant no és possible determinar directament la potència de cada grup basant-nos amb l'energia produïda pel generador.

Els passos que es segueixen al *Load Split*, són, resumidament, deduir a través de càlculs entàlpics l'aportació d'energia per part de la turbina de vapor; a continuació es sumen les pèrdues per fregament, per excitació en el generador i les pèrdues pel factor de potència atribuïbles a la turbina de vapor. Aquest valor restat a l'aportació neta d'energia del generador (energia en barres del generador menys energia d'excitació i pèrdues pel factor de potència) resulta la potència que ha aportat la TG. Finalment s'apliquen els factors de correcció en ambdues turbines.

##### 6.4.2.4.1 Corbes de correcció per a la turbina de vapor (Apèndix F)

Igual que en el cas de la turbina de gas, el comportament de la turbina de vapor es veu afectat per variables relatives a les propietats del vapor, com són la temperatura o la pressió. És per això que en la turbina de vapor també són necessàries unes corbes de correcció que ens duguin la turbina a una referència coneguda per poder contrastar les proves dels diferents anys.

Les corbes de la TV són totes bivariants ja que cada correcció es veu afectada per dues variables independents.

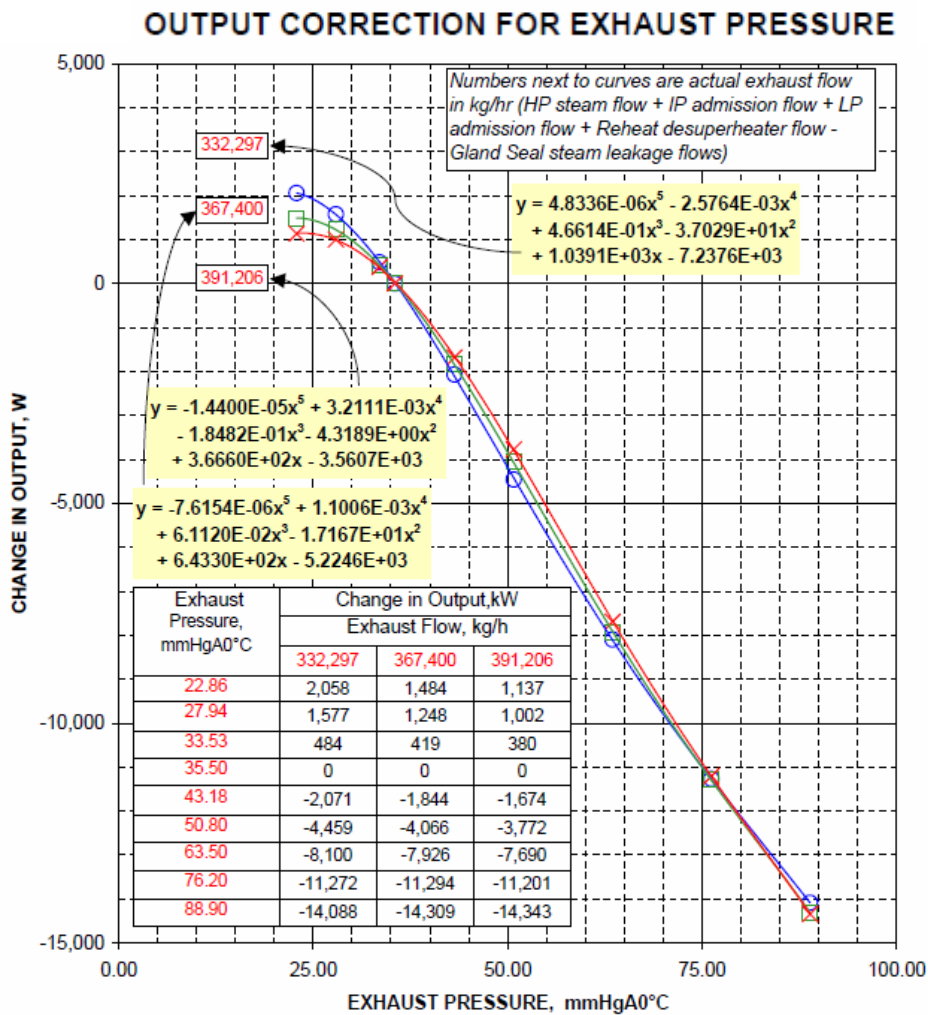
Les corbes de correcció que s'apliquen en el cas de la TV són les següents:

Descripció	Variable 1	Variable 2
a) Cabal de vapor de la TAP	Cabal TAP	Temperatura del HRH
b) Temperatura de la TAP	Temp. VAP	Cabal TAP

c) Capacitat del cabal de la TAP	% canvi de cabal	Cabal TAP
d) Caiguda de pressió en el recalentat	% caiguda de pressió	Cabal VAP
e) Efecte al HRH de la entalpia del vapor d'escapament de la TAP.	-	-
f) Efecte al HRH del cabal del vapor d'escapament de la TAP.	-	-
g) Temperatura del vapor recalentat calent per l'atemperació d'aquest més l'aportació de vapor MP	Suma de cabals	Temperatura HRH
h) Admissió de VBP (Vapor de Baixa Pressió)	Entalpia VBP	Cabal VBP
i) Pressió en l'escapament de la TBP	Pressió vapor	Cabal TBP

**Taula 4:** Corbes de correcció per a la turbina de vapor

La primera variable (variable 1) és la que defineix el nom de la corba de correcció i és la que està representada en l'eix de les abisses de la corba. La segona variable independent està representada amb varies corbes dins la mateixa gràfica. De la interpolació d'aquestes dues variables obtenim la variable 3, dependent, que és un valor expressat en kW. El sumatori de totes les variables dependents, ens donarà un valor (positiu o negatiu) en kW que es sostrau al valor de potència atribuïble a la turbina de vapor.



**Figura 11:** Exemple de corba de correcció per a la turbina de vapor

Les corbes de correcció b), e) i f) es diferencien de la resta en que no són aplicació directa de valors de les variables a corbes de correcció, sinó que l'obtenció d'aquests valors passa per fer un seguit de càlculs termodinàmics que acaben determinant les variables 1 i 2 per ser aplicades en les corbes.

Finalment, aquest apartat també inclou dues corbes de correcció més, utilitzades en el càlcul iteratiu per a determinar l'aportació de potència del cos de baixa pressió de la turbina de vapor (vegi's apartat 6.3.3.1.1), i la corba de correcció pel factor de potència.

#### 6.4.2.4.2 *Càlcul de mostra (Apèndix G)*

En aquest apartat es dona un exemple de càlcul de les correccions de vapor.

#### 6.4.2.4.3 *Manifest C del contracte CSA (Apèndix H)*

En aquest apartat s'exposen qüestions contractuals entre el propietari i subministrador de les turbines de gas i vapor a l'entorn de la garantia. Qualsevol actuació a les turbines fora de l'operació normal està contemplada i s'exposa quines són les conseqüències en terme d'afectació a la garantia. Per exemple, l'excés d'engegades és penalitzat en la garantia si supera les 50 al llarg d'un any, així com la manca d'inspeccions.

En una segona part del mateix document s'exposa el terme **degradació** del conjunt de turbines. La degradació és el desgast calculat que sofreixen les turbines amb el temps per la seva utilització, representat amb un valor en tant per cent. La degradació és aplicada en els resultats de les proves de rendiment: la potència aportada (PO) i el Heat Rate (HR). Per cada valor, i en funció de les hores de funcionament hi ha un valor de degradació. Aquest valor, en tant per cent, és aplicat al PO i el HR que presentava el cicle en el dia de la posada en marxa (quan es determinaren també les corbes de correcció) i s'obté, en el cas del PO, la pèrdua de potència esperada en cicle i, en el cas del HR, l'augment del consum específic d'energia.

De la comparació dels resultats esperats i els reals obtinguts en les proves de rendiment, es diagnostiquen possibles problemes del sistema.

#### 6.4.2.4.4 *Procediment de les mostres de gas natural*

En aquest últim apartat s'especifica com s'han d'obtenir les mostres de gas que serviran per determinar la composició del gas, utilitzada en el càlcul del HR.

### 6.4.3 *Procediment de càlcul de les proves de rendiment*

En aquest apartat s'exposa com s'avalua el rendiment d'una central de cicle combinat amb disposició monoeix. Aquest procediment s'ha escrit d'acord amb les normatives ASME PTC-22 (1997), ASME PTC-6 (1996), ASME PTC-6.2 i GEK 107751.

Cal mencionar que en una central amb disposició monoeix el càlculs són més llargs i complexos, a causa de que no es pot determinar directament quina és l'energia aportada per cada turbina al estar les dues unides al mateix eix. La resolució de l'entrellat passa per calcular l'aportació de la turbina de vapor. Posteriorment, tot considerant les diferents pèrdues del sistema i la potència generada en barres del generador, es dedueix la potència que ha aportat la turbina de gas. Aquest procediment s'anomena "**Load Split**" (repartiment de carga).

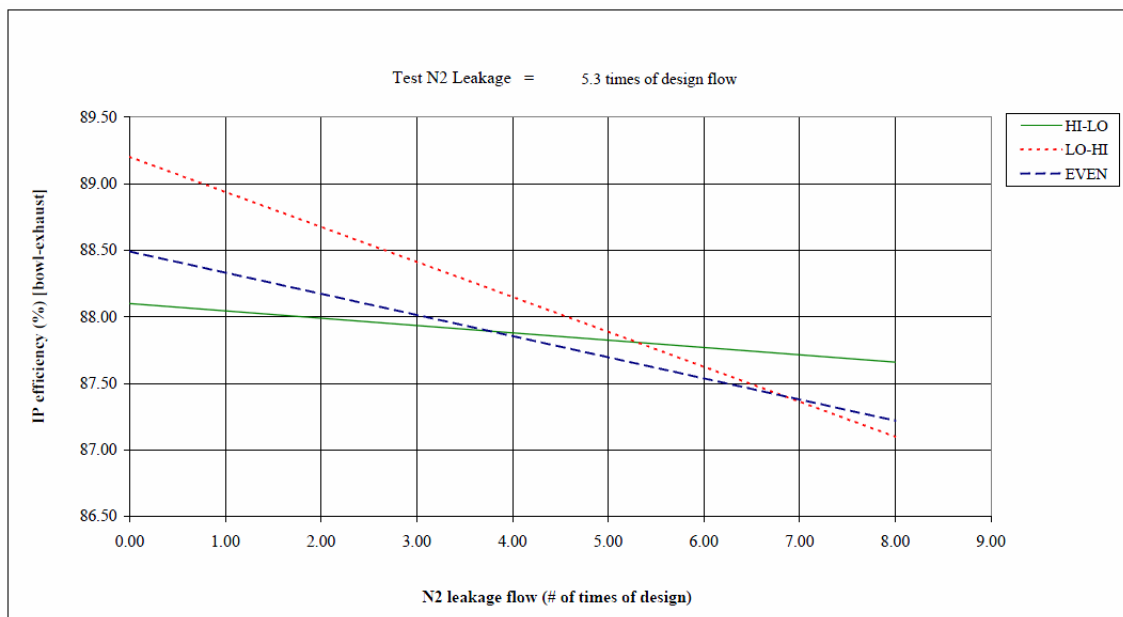
Una vegada hem determinat la carga que aporta cada turbina, és el torn d'aplicar els factors de correcció a la potència aportada per cada turbina. La suma dels valors resultants de potències després de d'aplicar els factors de correcció és el valor final per a la PO.

#### 6.4.3.1 Càlcul del *N2 Packing*

El càlcul del cabal de segellament N2, és el pas previ al càlcul del *Load Split* suposat que aquest requereix el cabal dels diferents vapors de segellament. Tal i com s'exposa en l'apartat 6.1.4.1, els cabals de segellament no es poden mesurar ja que no existeix instrumentació per determinar-lo.

Pel seu càlcul s'utilitza el mètode *Temperature Variation*, de *Booth & Kautzman*. La filosofia del mètode és determinar el cabal de *N2 Packing* a través del rendiment de la turbina de mitja pressió en cadascuna de les tres proves. Al variar les temperatures dels vapors MS i HRH en cada prova, s'aconsegueix que el comportament de la turbina de vapor de mitja pressió variï degut a les propietats conegudes del vapor HRH i del vapor *N2 Packing*. Considerant diferents cabals d'*N2 Packing* en cadascuna de les tres proves, s'estudia l'evolució del rendiment de la turbina de vapor. Amb aquest estudi s'arriba a deduir un punt comú en l'evolució dels tres rendiments, un per cada prova.

S'utilitza el rendiment de la turbina de vapor de mitja pressió ja que és l'element que es veu més afectat per la considerable entrada de cabal de vapor N2. Aquest, al tenir una entalpia més baixa, disminueix la eficiència de la turbina.



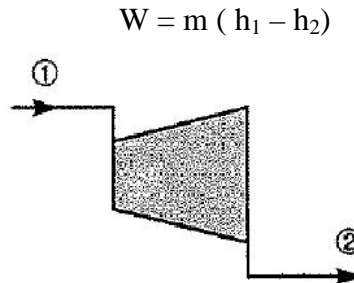
**Figura 12:** Gràfic de resultats d'unes proves *N2 Paking*

#### 6.4.3.2 Determinació del *Load Split*

##### 6.4.3.2.1 Aportació de potència de la turbina de vapor

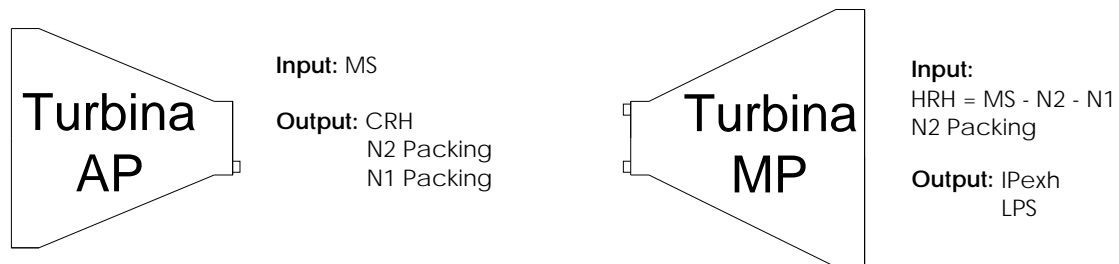
Tal i com s'ha citat anteriorment, un cop determinat el cabal de l'*N2 Packing*, el primer pas per calcular el *Load Split* és calcular la potència que ha aportat la turbina de vapor. El càlcul final serà el resultat de la suma d'aportacions de potència dels tres cossos de la turbina (alta, mitja i baixa pressió).

L'energia que aporta la turbina d'alta pressió és calculada a través d'un càlcul entàlpic. Coneixent el cabal de vapor que entra a la turbina (Main Steam) i la seva entalpia,  $i$ , el cabal de vapor que surt de la turbina (CRH) i la seva respectiva entalpia (calculada a partir de la temperatura i la pressió que mesuren els instruments) es pot saber la quantitat d'energia que ha cedit el vapor processat als àleps al llarg d'un temps determinat.



*Figura 13: Representació del pas del vapor per una turbina de vapor*

En la TAP s'ha de tenir en compte l'energia del vapor que marxa pel segellament, el *N2 Packing*, que es considera que no genera treball en la turbina. També s'hauran de considerar les petites fuites de vapor pel *N1 Packing*, que no formaran part del vapor del CRH.



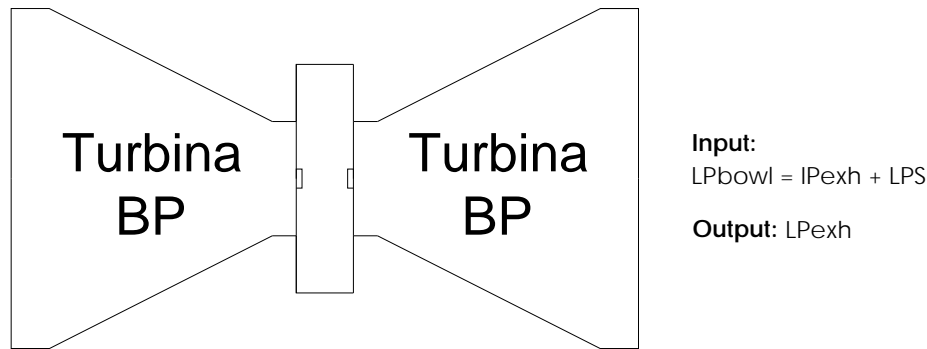
*Figura 14: Esquema dels fluxos de vapor de les turbines d'alta i mitja pressió*

La filosofia del càlcul de **potència en la turbina de mitja pressió** és molt semblant a l'anterior, però examinant quines característiques tenen els vapors que entren i surten. El càlcul, però, és quelcom més complex, ja que després de la darrera etapa d'àleps la mescla de vapor composta per HRH + *N2 Packing* (anomenada IPexh) s'uneix amb el vapor de baixa pressió (LPSteam). Això provoca que no es pugui saber quina és l'entalpia del vapor que ha generat treball en el turbina (IPexh) ja que la instrumentació que mesura temperatura i pressió del vapor es troba fora de la turbina, en el crossover, on ja s'ha fet la mescla de vapors.

El que es fa és considerar el cabal i l'entalpia de l'aportació de vapor de baixa pressió i sostraure-ho del total de cabal que tenim al crossover i la seva respectiva entalpia per saber les característiques del vapor que ha generat treball en la turbina de mitja pressió.

Finalment, al càlcul de la **potència aportada pel cos de baixa pressió** del grup de turbines, és on s'ha de fer un càlcul iteratiu per deduir quina és l'entalpia del cabal de vapor que surt de la turbina. Com que el vapor està en fase de transició (el fluid que surt de la turbina està parcialment en estat gasós, vapor, i parcialment en estat líquid, aigua). Això impedeix saber la seva entalpia a través de les taules de vapor.





**Figura 15:** Esquema dels fluxos de vapor de la turbina de baixa pressió

El que es fa per arribar a conèixer quina és l'entalpia en l'escapament de la turbina de vapor és un càlcul iteratiu, que utilitza diferents propietats conegudes del vapor, en la sortida de la turbina de baixa pressió cap al condensador, com el percentatge d'aigua en fase líquida o el volum que ocupa, així com magnituds com el diàmetre de la sortida de la turbina o el cabal de vapor al condensador. Tots aquests valors donen com a resultat la velocitat amb que surt el vapor. A partir d'aquesta velocitat s'obté la pèrdua de càrrega que hi ha a la sortida de la turbina a l'aplicar una corba de correcció.

Finalment, després d'una operació, que integra tots els paràmetres esmentats anteriorment, s'obté un valor anomenat ELEP (Expansion Line End Point) que és proper a l'entalpia del vapor a la sortida de la TBP.

Aquest procés de càlcul es repeteix reiteradament fins que el valor resultant ELEP s'estanca. És recomana iterar fins a quatre vegades per obtenir el valor definitiu de l'entalpia de la turbina de baixa pressió.

Una vegada s'aconsegueix el valor definitiu de l'ELEP es corregeix en una gràfica en funció de la pressió del condensador.

Amb l'ELEP es pot calcular el UEEP (Used Energy End Point), que és l'entalpia del vapor en la sortida del cos de baixa pressió de la turbina de vapor. Amb aquest valor ja es pot calcular l'energia que ha cedit el vapor en els àleps de la turbina de baixa pressió. El càlcul és el mateix que el utilitzat en els dos casos anteriors, és a dir, diferència d'entalpies entre l'entrada de la turbina i la sortida pel cabal turbinat.

#### 6.4.3.2.2 Load Split

El càlcul del *Load Split* busca determinar quina ha estat l'aportació d'energia de cada turbina, per poder aplicar posteriorment les corbes de correcció pertinents. Per això, s'han de tenir en compte des de l'energia que impulsa l'eix per part de cada turbina fins a les diferents pèrdues per factor de potència o per fregament en els rodaments.

El procés de càlcul del *Load Split* va deduint i determinant aquests fluxos seguint el següent ordre:

- **Potència mecànica a l'eix:** La potència mecànica a l'eix del cicle es calcula com la potència elèctrica que dona l'induït del generador més les pèrdues elèctriques derivades del factor de potència de la càrrega elèctrica i les pèrdues per fregament dels rodaments. Les pèrdues en els rodaments a plena carga es consideren fixes i són conegudes. Les pèrdues elèctriques, degudes al factor de potència, es determinen a partir d'una gràfica característica del generador en funció de la potència generada i el seu factor de potència.

- **Potència útil del generador:** Es calcula sostraint de la potència mesurada en barres del generador la potència d'excitació del rotor i un factor de correcció aplicat a les pèrdues del factor de potència.

La potència d'excitació és mesurada en corrent contínua, és a dir, després de la rectificació; és per això que s'aplica un factor que considera les pèrdues de la conversió de corrent alterna a contínua. El valor del factor de correcció per les pèrdues del factor de potència surt de fer una contrastació entre les pèrdues pel factor de potència a la potència mesurada amb el factor de potència de referència, i les pèrdues a la potència mesurada i factor de potència real en el transcurs de la prova de rendiment. Aquest factor de correcció s'aplica per dur el factor de potència a les condicions de referència.

- **Potència de la turbina de vapor:** Del càlcul exposat anteriorment, aportació de potència de la turbina de vapor, es treu l'aportació d'energia a l'eix de la turbina de vapor, que s'aconsegueix de restar les pèrdues per fricció en els rodaments de la turbina de vapor. Aquest és el valor de **potència a l'eix de la TV**.

A partir de la potència a l'eix de la TV es pot calcular la potència neta aportada per el grup de TV, si s'atribueixen proporcionalment les diferents pèrdues que té el generador a cada turbina (per factor de potència, per fregament i per excitació). Una vegada s'ha calculat la part proporcional de pèrdues del generador es sostrau aquest valor de la potència a l'eix de la TV i s'obté la **potència neta de la turbina de vapor**.

- **Potència neta de la turbina de gas:** Aquest és l'últim pas per acabar de calcular el *Load Split* i consisteix en restar de la potència neta aportada pel generador, la potència de la TV.

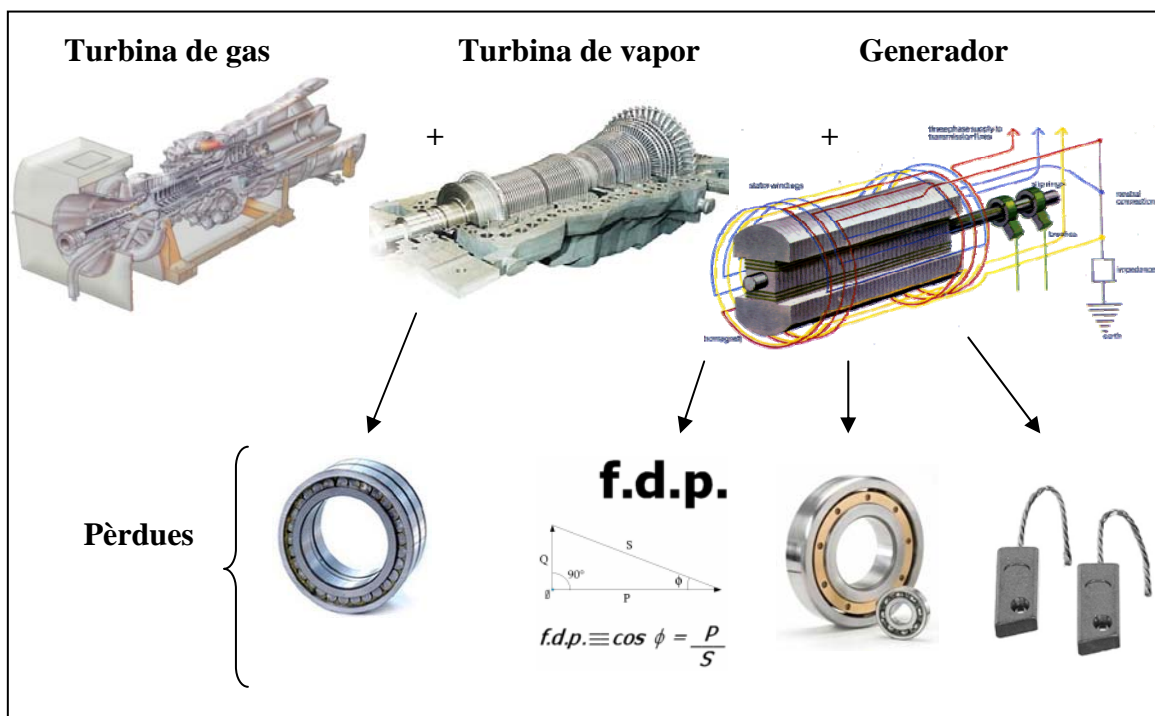


Figura 16: Esquema del Load Split

### 6.4.3.3 Corbes de correcció per a la turbina de vapor

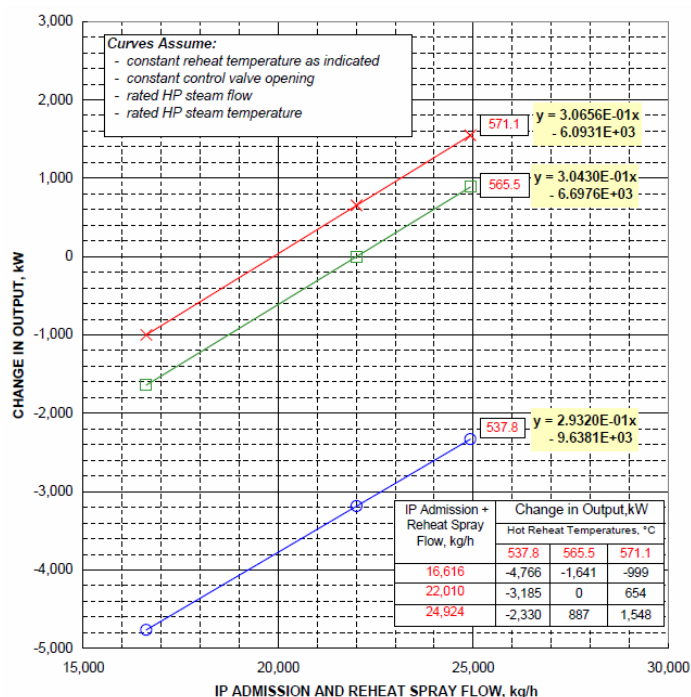
Havent ja determinat l'aportació neta de potència de la turbina de vapor, és el torn de corregir aquest valor. Com s'ha explicat en l'apartat 6.3.2.4.1, les correccions s'apliquen per dur a una referència coneguda la turbina de vapor, on no es vegi afectada per les diferents variables que alteren el comportament d'aquesta. D'aquesta manera es pot contrastar el comportament de la turbina al llarg dels anys.

Les corbes de correcció que aplicarem són les següents:

- Cabal de vapor de la TAP
- Temperatura de la TAP
- Capacitat del cabal de la TAP
- Caiguda de pressió en el recalentat
- Efecte en el HRH de l'entalpia del vapor d'escapament de la TAP.
- Efecte en el HRH del cabal del vapor d'escapament de la TAP.
- Temperatura del vapor recalentat calent per l'atemperació d'aquest més l'aportació de vapor MP
- Admissió de vapor de BP
- Pressió en l'escapament de la TBP

Al ser les corbes de correcció bivariants (que depenen de dues variables independents) el resultat s'obté a partir d'una interpolació, una vegada s'ha calculat el resultat del factor de correcció per la variable 1. La variable 2, representada amb múltiples corbes (vegi's figura 6), quasi bé mai respondrà al nostre valor registrat per aquesta variable 2. És per això que s'haurà de fer tal interpolació, per trobar el valor exacte o més precís possible, entre el resultat en kW obtingut al entrar la variable 1 a la funció de la corba inferior i superior respecte el valor de la variable 2.

**OUTPUT CORRECTION FOR IP ADMISSION + REHEAT SPRAY FLOWS AND HOT REHEAT TEMPERATURE**



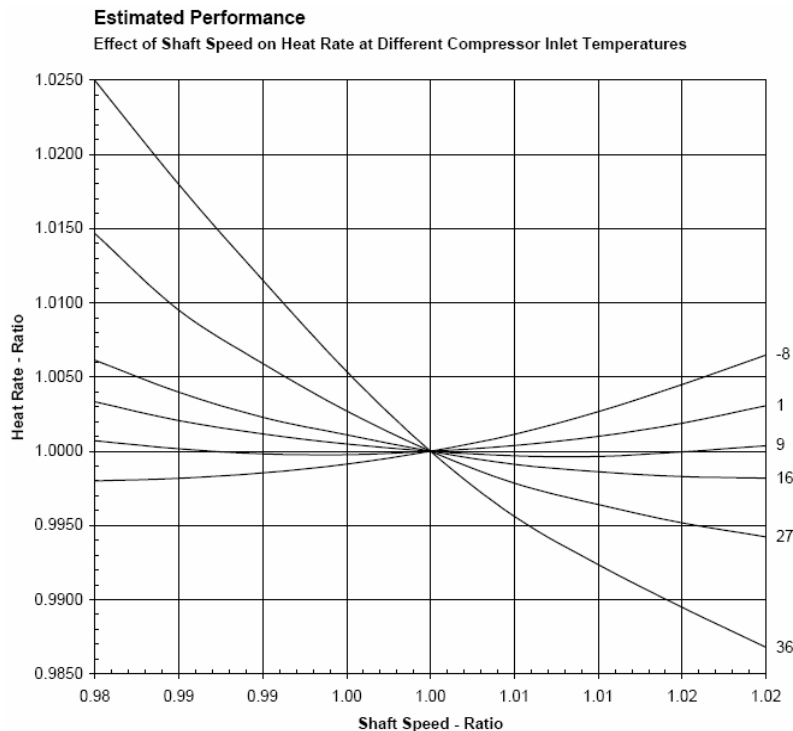
**Figura 17: Exemple de corba de correcció de la turbina de vapor**

Un cop s'ha obtingut el valor interpolat en kW de la variable dependent per cada corba de correcció, és a dir els factors de correcció, es fa el sumatori de tots els factors de correcció. El resultat, positiu o negatiu, es sostrau al valor de potència neta de la turbina de vapor. Aquest valor és el valor de **PO corregit de la turbina de vapor**.

#### 6.4.3.4 Corbes de correcció per a la turbina de gas

En la turbina de gas, com s'esmenta en l'apartat 6.3.2.1, existeixen factors de correcció pel PO (Power Output) i pel HR (Heat Rate). Dintre de cada grup, hi ha dos tipus de corbes: les corbes simples i les corbes amb interpolació. Les **corbes simples** són aplicació d'una equació que és funció del comportament de la turbina respecte la variació de la variable en qüestió.

Les **corbes amb interpolació** són aquelles que són bivariants (la majoria d'elles), és a dir, que estan formades per varies corbes simples, cada una d'elles representant una magnitud de la variable 2. Determinar el factor de correcció, igual que en la turbina de vapor, implica fer el càlcul proporcional entre el resultat de calcular el factor de correcció per la variable 1 en la corba de correcció de valor superior i inferior respecte la variable 2 (temperatura ambient).



**Figura 18:** Exemple de corba de correcció bivariant de la turbina de gas

La inversa de la variable dependent, obtingut a l'aplicar la corba de correcció, serà el resultat final del factor de correcció.

El producte de tots els resultats dels factors de correcció pel PO conforma el factor de correcció final pel PO. Aquest, valor molt proper a la unitat, s'aplica fent el producte amb la potència neta de la turbina de gas.

En el cas del HR el càlcul i aplicació del factor de correcció final és el mateix.

#### 6.4.3.4.1 Càlcul del HR

El Heat Rate o consum específic és el consum d'energia versus l'energia produïda. Pel seu càlcul en les proves de rendiment es necessita saber el consum que hi ha hagut de gas en una hora, el seu poder calorífic (calculat a partir dels anàlisis de gas obtinguts en el transcurs de les proves de rendiment) i l'energia neta produïda per la turbina de gas. El valor de HR és doncs, el total d'energia consumida entre l'energia produïda [kJ/kWh].

En les proves de rendiment es calcula el HR per a la turbina de gas (valor que és posteriorment corregit amb el factor de correcció resultant de HR) i el HR total o net, que s'obté partint del HR corregit de la turbina de gas.

El primer HR es calcula amb la energia consumida de gas (kJ) i l'energia neta que ha produït la turbina de gas (kWh). En el segon cas, **HR total o net**, es parteix de l'energia corregida neta que ha consumit la turbina de gas (resultat del producte de HR pel PO corregits de la turbina de gas) entre la potència neta corregida del cicle o PO (resultat de sumar les potències corregides de la TG).

#### 6.4.3.5 Resultats finals

Els resultats que es donen en les proves de rendiment vénen introduïts pel PO net corregit del cicle combinat (Corrected Combined Equipment Net Power Output, CCENPO) i el HR net corregit del cicle combinat (Corrected Combined Equipment Net Heat Rate CCENHR). El CCENPO correspon a la suma de les potències corregides de la TG i de la TV. Per la seva banda el CCENHR correspon al Heat Rate total o net (exposant en l'apartat 6.3.3.3.1).

L'últim pas en els càlculs de les proves de rendiment és estimar quines són les condicions en que s'espera que la turbina estigui treballant en funció del número d'hores que hagi estat en funcionament la instal·lació. Aquestes condicions esperades, seran properes als anomenats “*Output Baseline*” i “*Heat Rate Baseline*” i s'obtenen aplicant un **factor de degradació** al PO i al HR.

El factor de degradació és una constant que es va incrementant al llarg del temps, tant per el HR com per el PO. Aquest s'aplica multiplicant al CCENPO i al CCENHR. El resultat és un valor en kW que es sostraurà de l' “*Output Baseline*” en el cas del PO i es sumarà al “*Heat Rate Baseline*” respectivament. Això implica que al llarg del temps la potència esperada del cicle disminueix per efecte del desgast i la degradació del conjunt. En el cas del HR, que augmenta, significa que per produir la mateixa energia necessitem més energia primària amb el pas del temps.

Per tal de contrastar els resultats esperats amb els reals, es calcula el percentatge de desviació entre els resultats obtinguts en la prova (CCENPO i CCENHR) i els resultats esperats del cicle (PO i HR Baseline).

## 7 Anàlisi de resultats

Aquest apartat no és d'aplicació en aquest projecte.

## 8 Resultats finals

### 8.1 Revisió del procediment d'avaluació del rendiment de la CTCC Tarragona I

#### 8.1.1 Revisió del procediment de càlcul de les proves de rendimen

Aquest no està publicat per que conté informació confidencial.

### 8.2 Automatització de les proves de rendiment

Per obtenir els resultats de les proves de rendiment, després d'haver procedit amb les tres proves de rendiment i la prova del *N2 Paking*, és necessari fer tot un seguit de càlculs (exposats en l'apartat 6.3.3) que, fets manualment i sense cap automatització, poden significar de 15 a 24 hores de càlculs i treball continu.

Per aquest motiu es decideix automatitzar el procés. Es crea primerament un full de càlcul que integra tots els càlculs, menys els entàlpics, que s'han de realitzar per obtenir els resultats de les proves.

Posteriorment es decideix desenvolupar un programa que simplifiqui encara més el procés, pensat per ser executat per qualsevol persona de la planta sense necessitat de conèixer a fons el procediment de càlcul de les proves.

#### 8.2.1 Automatització amb full de càlcul

El full de càlcul utilitzat per determinar els resultats de les proves de rendiment està creat amb l'aplicatiu Microsoft Excel, del paquet ofimàtic Microsoft Office.

El programa de càlcul basat en fulls de càlcul Excel consta de dos arxius, un pels càlculs derivats de la turbina de gas (*Pruebas de rendimiento TG*) i un altre pels derivats de la turbina de vapor, el càlcul del *Load Split* i la presentació dels resultats (*Pruebas de rendimiento TV*). Entre ells existeix transferència de dades compartides a través de vincles.

##### *Característiques principals:*

- Com que les proves de rendiment consten de 3 proves, **els fulls de càlcul integren tres sèries de càlculs independents**, un per cada prova. D'aquesta manera es poden obtenir de cop els resultats de les tres proves i procedir a la contrastació d'aquests.
- Ambdós fulls de càlcul estan protegits contra escriptura o modificació a l'usuari, tret de certs espais on s'entren les dades de les diferents variables i propietats del vapor.
- Una de les característiques més destacable dels fulls de càlcul és que estan pensats perquè siguin **fàcilment interpretables**. Per aquest motiu conté gran nombre d'identificacions dels diferents valors, càlculs i apartats, explicacions, diagrames i tots els gràfics de les diferents corbes de correcció. Això facilita la seva consulta o futura modificació pels usuaris sense la necessitat d'un coneixement molt profund del procediment de càlcul de les PR. Aquesta estructura segueix l'ordre del procediment de càlcul *STAG 109 FA*, de manera que en cas de dubte serà molt fàcil poder trobar la part en qüestió en el procediment o el full Excel si es parteix del procediment.

A més, en cada corba de correcció hi ha dedicat un ampli espai a la consulta i comprovació de factors de correcció. Aquest espai està pensat per que es pugui comprovar com afecten les diferents variables corregides en el comportament d'ambdues turbines o bé simplement per comprovar factors de correcció.

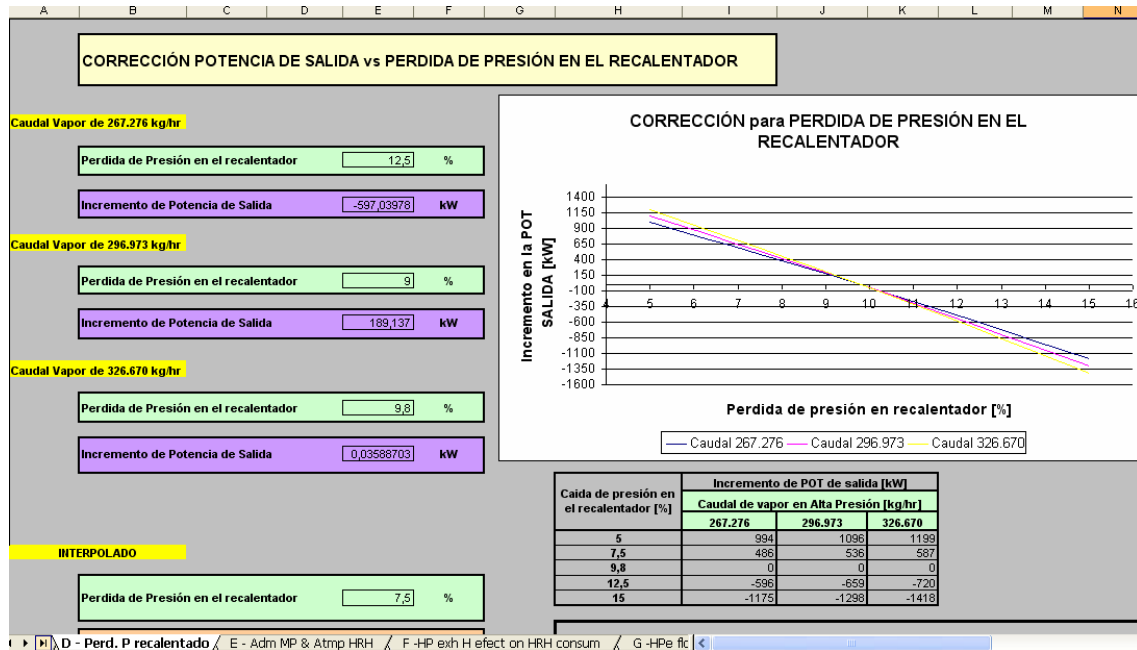


Figura 20: Apartat de comprovació d'una corba de correcció de la turbina de vapor.

**Seqüència d'us:**

Per tal de garantir un funcionament òptim dels fulls de càlcul és recomanable seguir la següent seqüència:

1. Entrar les dades corresponents a la turbina de vapor i fer els corresponents càlculs de propietats del vapor. Tancar i guardar els canvis.
2. Entrar les dades al full de càlcul de la turbina de gas. Tancar i guardar els canvis.
3. Obrir el full de càlcul de la turbina de vapor de nou i visualitzar els resultats.

El motiu pel qual s'ha de seguir aquest ordre és perquè, tal i com s'exposa en l'apartat 6.3.4.1, el procés de càlcul comença per determinar la potència aportada per la turbina de vapor seguit del *Load Split*, on es determina la potència que aporta la turbina da gas, que serà posteriorment corregida.

Un cop entrada la darrera dada del full de càlcul de la turbina de gas, s'han processat la totalitat dels càlculs que es duen a terme en aquest arxiu. És llavors quan a l'obrir el full de càlcul de la turbina de vapor de nou, després d'haver guardat i tancat l'arxiu dels càlculs de gas, es transfereixen les dades actualitzades i es processen els resultats de les proves de rendiment.

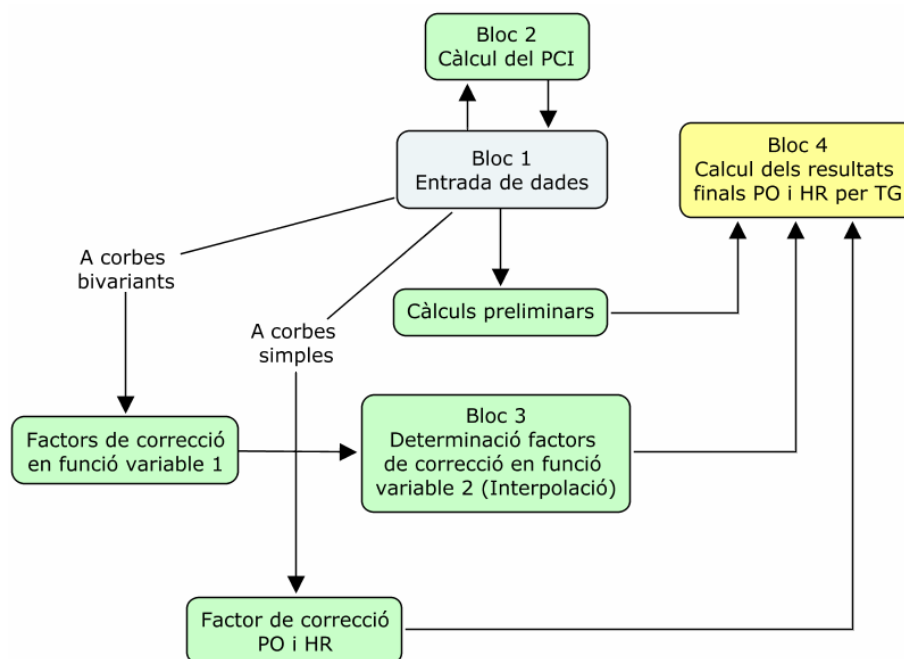
**Replicació de proves de rendiment:**

Cada vegada que es volen calcular les proves de rendiment és aconsellable crear nous fulls de càlcul, per TG i per TV, per tal de conservar els resultats de les proves anteriors.

El més adient és tenir un arxiu mare o base per cada full de càlcul de qui fer la còpia i entrar els valors pertinents de la prova.

### 8.2.1.1 Full de càlcul de la TG

El full de càlcul de la TG, anomenat “*Pruebas de rendimiento TG*”, integra la totalitat dels processos derivats de la turbina de gas. La seva estructura i organització és la següent:



**Figura 21:** Diagrama de blocs de l'estructuració dels càlculs del full Excel “*Pruebas de rendimiento TG*”

- Entrada de dades i càlculs preliminars:** Aquesta primera part està situada en el full de resultats i entrada de dades, “*Hoja Resumen*”. Presenta tres grups (un per cada prova de rendiment) formats per blocs d'entrada de dades de les diferents variables i de càlculs. Des dels blocs d'entrada de dades s'extreuen les dades de tots els càlculs que es realitzen per la turbina de gas. En el primer i segon bloc d'entrada de dades trobem integrats els càlculs preliminars, és a dir, consum d'energia primària de la turbina de gas, poder calorífic inferior del gas i HR.
- Càlcul dels factors de correcció:** Els càlculs de cada factor de correcció es troben en un full diferent cada un (18 en total). Cada full conté la gràfica del comportament del factor de correcció, la taula associada i una part on es pot calcular automàticament el factor de correcció a partir de les variables d'entrada. Després d'aquesta zona activa, hi ha una zona restringida a l'usuari on trobem els diferents blocs (un per cada prova) que calculen automàticament els factors de correcció segons la variable independent 1 (variable definida per el nom del factor de correcció) per a les diferents corbes. En el cas de les corbes simples, el factor de correcció calculat és transferit al full de resultats i entrada de dades en el bloc de resultats finals.



La segona part del càlcul (existent si es tracta d'una corba bivariant), que consisteix en interpolar entre dos factors de correcció (un per la corba superior i un altre per la corba inferior respecte la variable independent 2) segons la variable independent 2, normalment temperatura ambient, es troba en el bloc 3 del full de resultats i entrada de dades. Igualment, aquests blocs de càlcul estan restringits als usuaris.

- Resultats:** Els resultats de la turbina de gas es troben en el bloc 4 del full de resultats i entrada de dades “*Hoja resumen*”. Aquests resultats, expressats en PO i HR per la TG, s’obtenen un cop s’han corregit els valors inicials calculats (de PO i HR) amb els resultants factors de correcció. El valor inicial del PO prové del càlcul del *Load Split* que es troba en el full de càlcul Excel de la turbina de vapor. Ambdós resultats corregits són transferits posteriorment al full de càlcul de la turbina de vapor.

INTRODUCIR DATOS MESURADOS			Tª ENTRADA COMPRESOR: 21,33 °C			
PARAMETRO - TAG	MEDIDO	UNIDAD	Fact. Corr. FINAL		Ref.	UNIDAD
Tª entrada a compresor - G1\AFPA	21,33	°C	POTENCIA	HEAT RATE		
Humedad entrada compresor - HR-1	54,43	%	1,0317	0,9925	Tª inlet	°C
Presión ambiente - G1\CTIM	1009,14	mbar	0,9996	1,0008	Humedad	%
Velocidad del eje - G1\TNH	2999,42	rpm	1,0027	0,9999	Presion ambiente	mbar
Perdida de presión en inlet - G1\afpcs	58,93	mmH2O	1,0002	0,9999	Velocidad	rpm
Exhaust DP - G1\afpep	433,20	mmH2O	0,9947	1,0015	Perdida p. inlet	mmH2O
Tª del Gas - G1\FTG	177,37	°C	1,0053	0,9969	Exhaust DP (interpolacion ΔExh)	mmH2O
Composición del Gas	48980,21	kJ/kg	1,0050	0,9972	Total perdida de presión	mmH2O
Relación H/C (entre 4 i 3,5)	3,882	-	1,0000	0,9996	Tª GAS	°C
Potencia de salida	232.590,5	KW	1,0018	0,9989	PCI	PCI
Heat Rate	10.124,62	kJ/kg	1,0359	0,99038	Fact. corr. Final	-
Consumo de GAS - 1EKD22CF001XG02A	63.104,00	Nm3	<b>POTENCIA corregida 240.944,767 kW</b>			
Consumo de GAS (Calculado)	48.078,39	kg/hr	<b>HEAT RATE corregido 10.027,179 kJ/kW</b>			
Poder calorífico inferior (PCI o LHV)	10.366,00	kWh/m³				
Poder calorífico inferior (PCI o LHV)	48.980,2092	kJ/kg				

Figura 22: Full de resultats i entrada de dades “*Hoja resumen*”. A l’esquerra, bloc 1 d’entrada de dades i càlculs preliminars. A la dreta, bloc 4 de resultats de la prova 1.

COMPONENTE	FRACCIÓN MOLAR [%] Início de la Prueba	FRACCIÓN MOLAR [%] Final de la Prueba	FRACCIÓN MOLAR [%] Media de la Prueba	Fracción molar corregida	MASA MOLAR	Fracción molar de Masa	PCI o LHV	Fracción del PCI o LHV	
	xj	xj	xj	xj (corr)	Mj	xj(corr) MJ	Hmj	Xj(corr) MJ *	
C1H4 → Metano	93,884	94,314	94,0990	0,9399762	16,043	15,07041241	21,511	324,2	
C2H6 → Etano	3,838	4,014	3,9260	0,03919267	30,07	1,17852356	20,429	24,08	
C3H8 → Propano	0,801	0,864	0,8325	0,00831072	44,097	0,366477936	19,922	7,301	
n-C4 → n-Butano	0,086	0,09	0,0880	0,00087849	58,123	0,051060521	19,658	1,004	
i-C4 → Isobutano	0,112	0,113	0,1125	0,00112307	58,123	0,065276234	19,59	1,279	
n-C5 → n-Pentano	0,003	0,002	0,0025	2,4957E-05	72,15	0,001800657	19,481	0,035	
i-C5 → Isopentano	0,006	0,006	0,0060	5,9897E-05	72,15	0,004321576	19,456	0,084	
C6H14 → Hexano	0	0,001	0,0005	4,9914E-06	86,177	0,000430146	19,393	0,008	
N2 → Nitrogeno	1,268	0,596	0,9320	0,00930402	28,0134	0,260637127	0	0	
CO2 → Dioxido de Carbono	0,002	0	0,0010	9,9829E-06	44,01	0,000439345	0	0	
Σ =	100,000	100,000	100,000						
Pseo Molecular =							16,99937951	Σ =	358
CV Inferior Real - Seco	10320	10412	10366						21057,63 Btu/lb
							PCI / LHV por masa unitaria	48980,21 KJ/Kg	

Figura 23: Full de resultats i entrada de dades; bloc 2 d'entrada de dades.

Figura 24: Full de resultats i entrada de dades; bloc 3, d'interpolació respecte la variable 2 dels factors de correcció bivariants de la prova 1.

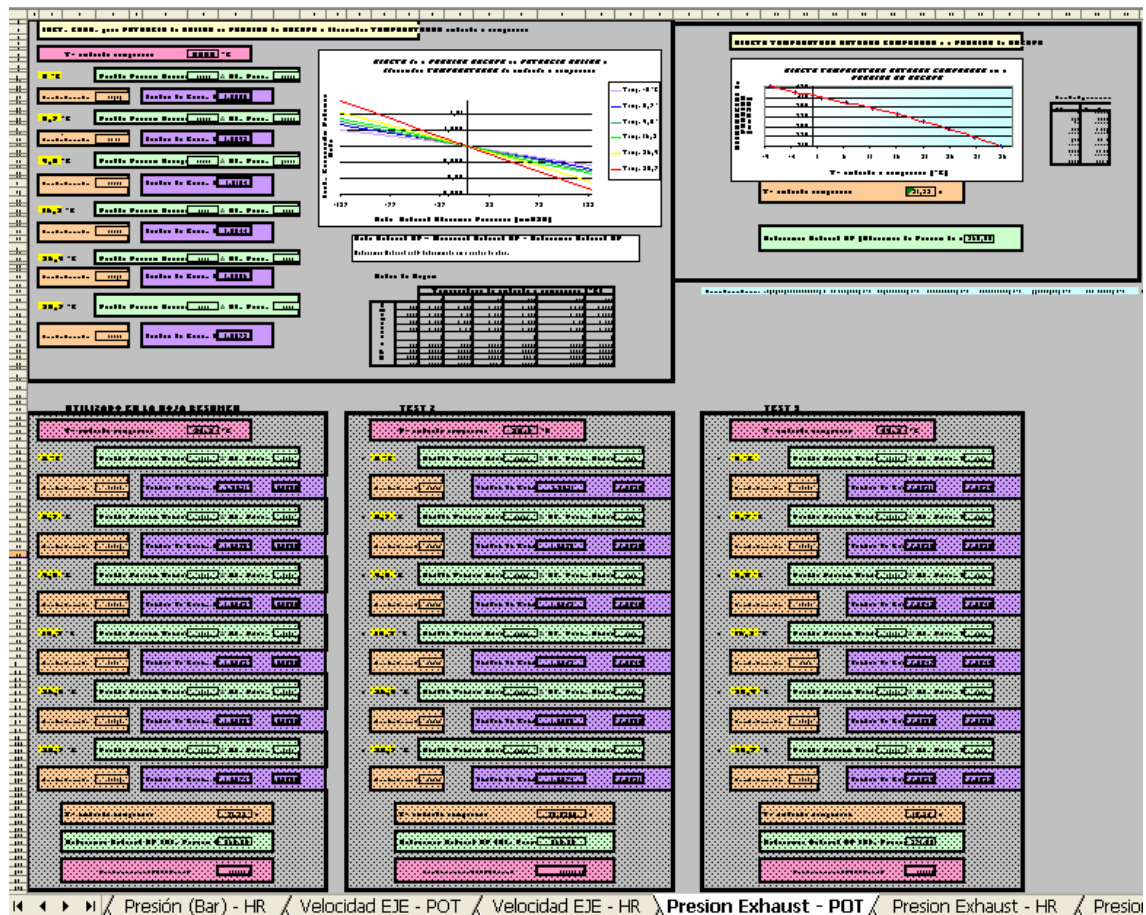
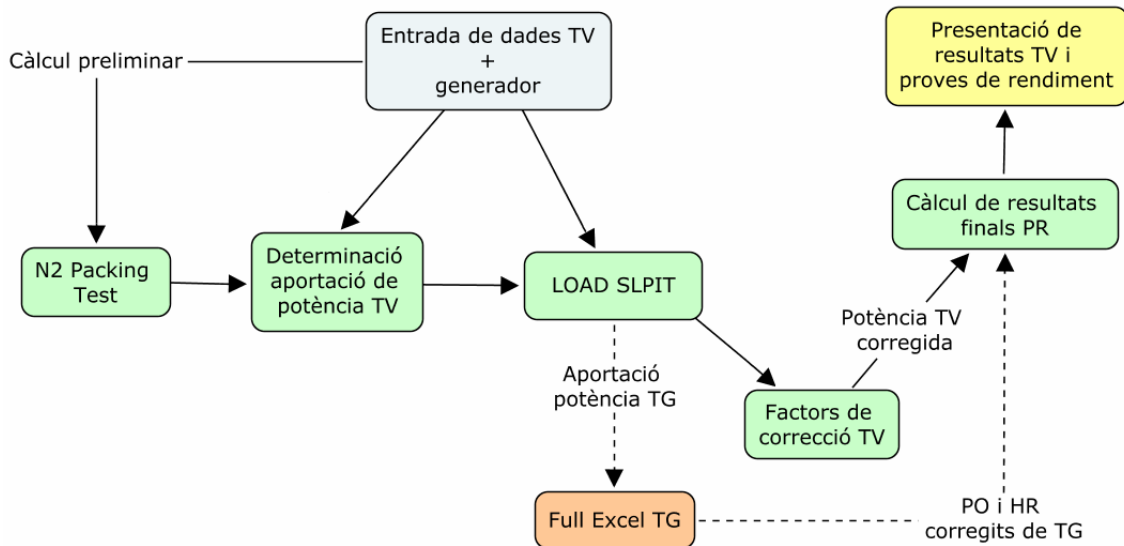


Figura 25: Sub-full de càlcul de la corba de correcció 12.

### 8.2.1.2 Full de càlcul de la TV

El full de càlcul de la TV, anomenat “*Pruebas de rendimiento TV*” és el més complex i extens dels dos fulls de càlculs, degut a que integra els càlculs del *Load Split*, l’aportació de potència de la turbina de vapor, els factors de correcció de la turbina de vapor, el càlcul de *N2 Packing* i allotja també els resultats de les proves. Aquests diferents càlculs es reparteixen al llarg dels 16 sub-fulls de càlcul dels que està compost el document.

La seva estructura segueix els diferents passos que s’han de donar al llarg dels càlculs, allotjant-se cada un d’ells en un sub-full de càlcul diferent. En termes globals, es classifiquen de la següent forma:



**Figura 26:** Diagrama de blocs de l'estructuració dels càlculs del full Excel “Pruebas de rendimiento TV”

- **Entrada de dades i càlcul de propietats del vapor:** Aquest full d'Excel, anomenat “*Entrada de datos y Cálculo H*”, integra l'entrada de dades de les variables necessàries per fer els càlculs que componen el *Load Split*. Les dades entrades i els valors diferents operacions que es van calculant simultàniament mentre s'entren les dades de les proves, esdevenen la referència pels càlculs, que ha d'entrar l'usuari de les propietats dels diferents vapors que componen el cycle de la turbina de vapor.

- **Càlcul del *Load Split*:** El càlcul del *Load Split*, que està compost del càlcul de l'aportació de potència dels tres grups que componen la turbina de vapor (exposat en l'apartat 6.3.3.1.1) i la determinació de l'aportació de la turbina de gas i generador, s'efectua als sub-pllls de càlcul “*Load Split Vapor*” i “*Main Load Split*”. En el primer es calcula el valor de potència que aporta la turbina de vapor. Aquesta dada li serveix de base al segon full per calcular tota la resta de valors com la potència neta que aporta la turbina de gas, la potència consumida pel generador o la potència útil del generador.

Dels resultats d'aquest full es nodreixen les diferents corbes de correcció, que porten a les condicions de referència la potència de la turbina de vapor, i el full de càlcul de la turbina de gas. A aquest últim se li transfereix el valor de l'aportació neta de potència de la turbina de gas que posteriorment serà corregit en aquest document.

- **Corbes de correcció:** Les corbes de correcció per la turbina de vapor (nou en total) estan situades en un sub-plll de càlcul diferent cada una. El resultat calculat de cada factor de correcció, és transferit de nou al sub-plll “*Main Load Split*”, on es calcularan els resultats finals de les proves.

Tal i com s'exposa en les característiques generals dels pllls de càlcul, els sub-pllls de càlcul de les corbes de correcció tenen una zona pensada per a l'usuari, perquè comprovi l'efecte que poden tenir les variables corregides sobre el comportament de la turbina vapor o bé per corregir factors de correcció.

- **Càlcul i presentació de resultats:** Per la seva banda, el càlcul de resultats es troba en el sub-plll de càlcul “*Main Load Split*” on s'obté, una vegada calcu-

lats i aplicats els factors de correcció a les potències d'ambdues turbines, el CCENPO i el CCENHR (vegi's apartat 6.3.3.4), resultats de les proves de rendiment. A partir d'aquests es calculen els valors esperats del cycle pel PO i pel HR (Output base line i el Heat Rate base line) en funció del número d'hores que han estat operatives les instal·lacions del cycle combinat. Aquests, són els últims càlculs que efectua el full de càlcul de la TV.

Finalment, en el sub-full de càlcul "Comprobación TESTS" trobem els resultats de les proves de rendiment. Aquests resultats estan compostos per les dades inicials, resultats parcials, com els factors de correcció o les aportacions de potència dels diferents cossos de la turbina de vapor, i pels resultats finals, els reals de les proves de rendiment i els esperats.

CONDICIONES DEL TEST	TAGS	TEST 1	TEST 2	TEST 3	MEDIA TESTS	UNIDADES
Presión ambiente	G1VAFPAP_P a contrastar con BAR-1	1,00940	1,00948	1,00982	1,00957	bar,a
Agua alimentación Calderín AP	1LAP50CF001JT01A	307.476,758	307.841,560	308.364,725	307.894,348	kg/hr
Presión Caudal AP	S1VP_P	88,323	88,430	88,582	88,445	bar,a
Temperatura Caudal AP	S1VT_JS	563,717	563,611	563,733	563,687	°C
MS Flow		305.805,362	306.394,951	306.890,071	306.363,461	kg/hr
MS Pressure		89,273	89,381	89,533	89,396	bar
Entalpia Vapor AP	Steam Tab MS (P + T)	3.546,310	3.546,950	3.546,110	3.546,123	kJ/kg
Entropia Vapor AP	Steam Tab MS (P + T)	6,881340	6,860380	6,859820	6,861	kJ/(kg°K)
Volumen Vapor AP	Steam Tab MS (P + T)	0,041062	0,040979	0,040937	0,041	m³/kg

Figura 27: Full d'entrada de dades i càlcul de propietats del vapor.

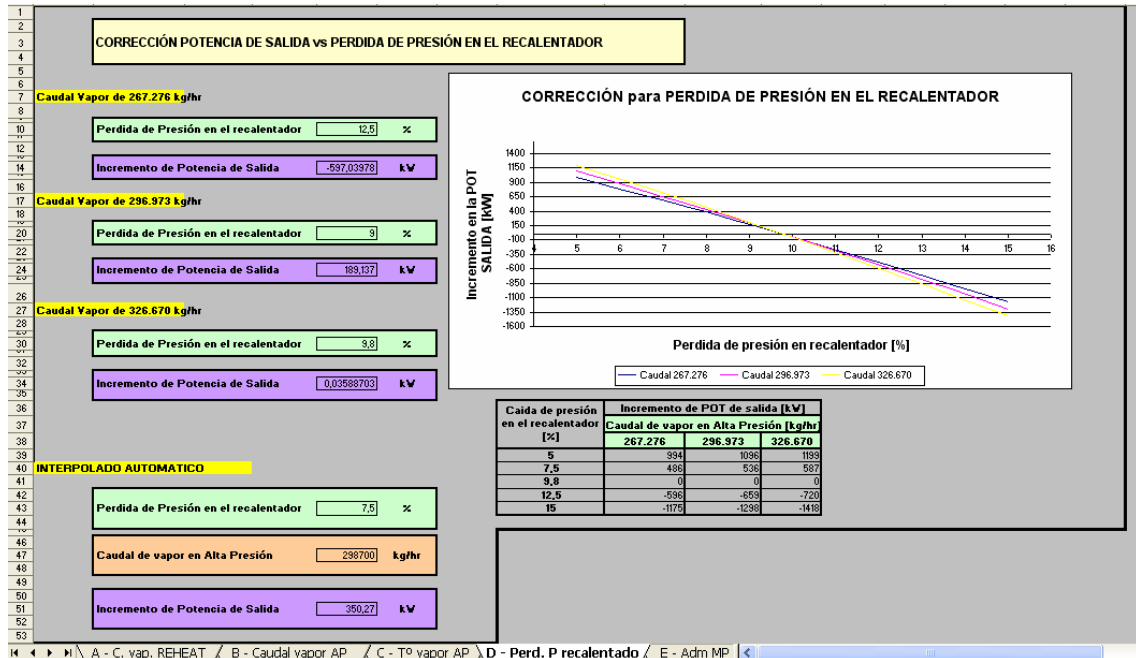


Figura 28: Sub-full de càlcul d'un factors de correcció, correcció de potència per la pèrdua de pressió en el reescalfat, de la turbina de vapor.

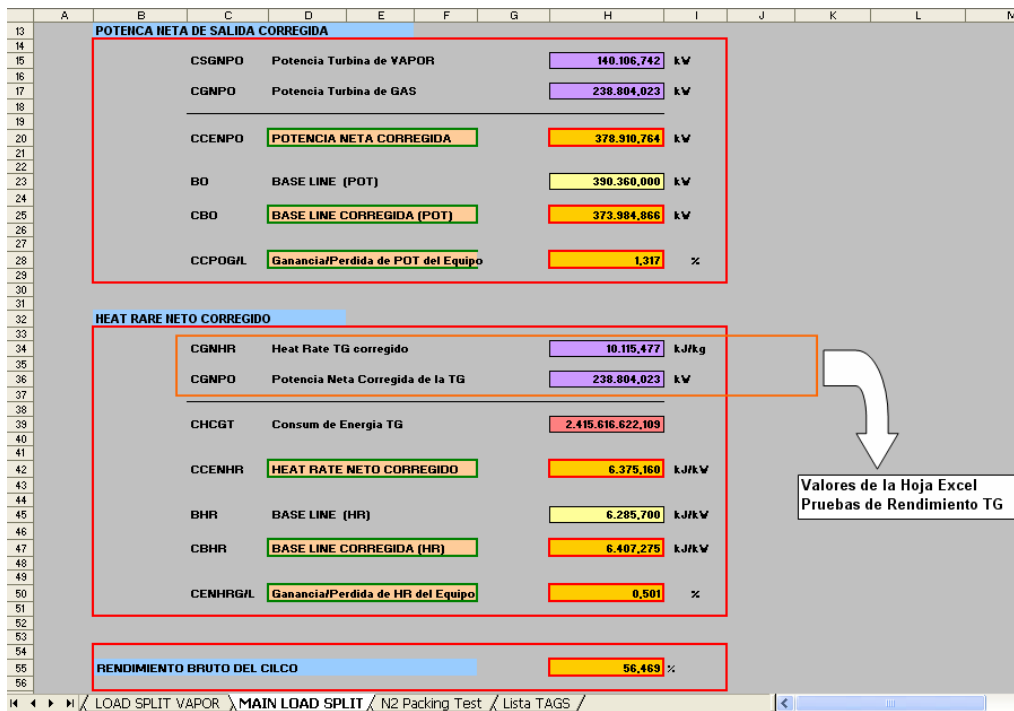


Figura 29: Sub-full de càlcul Load Split. Blocs de càlcul dels resultats finals i dels resultats esperats del cicle.



141	HP Section kW	17.723,490	17.743,078	17.791,115	17.752,561	kW
142						
143	IP Section kW	53.888,523	53.961,940	54.055,043	53.968,502	kW
144						
145	LP Section kW	66.112,433	66.449,755	66.345,380	66.302,523	kW
146						
147		137.724,446	138.154,774	138.191,538	138.023,586	kW
148						
149						
150	CORRECTIONS					
151		-2.282,296	-2.131,020	-2.005,954	-2.173,093	kW
152	a) Throttle Flow	3.080,932	3.235,120	3.548,377	3.221,643	kW
153						
154	b) Throttle Flow Capacity	-1.103,255	-1.111,208	-1.120,987	-1.111,817	kW
155						
156						
157	c) Throttle Temperature	-90,341	-95,908	-89,842	-92,031	kW
158						
159	d) HP exhaust enthalpy affect on Reheater Duty	-1.055,589	-1.066,325	-1.074,495	-1.065,470	kW
160						
161	e) HP exhaust flow affect on Reheater Duty	-1.169,754	-1.171,569	-1.169,754	-1.170,359	kW
162						
163	f) Reheater Pressure Drop	1.352,029	1.352,623	1.356,304	1.353,652	kW
164						
165	g) IP Steam Addition to CRH	481,601	424,312	410,824	438,912	kW
166						
167	h) LP Steam Enthalpy and flow	-1.459,428	-1.459,428	-1.460,642	-1.459,832	kW
168						
169	i) Exhaust Pressure	-2.418,492	-2.338,647	-2.406,238	-2.387,793	kW
170						
171						
172	FFH (number de hores quedant)	40,520				hr
173						
174	Potencia Generada Turbina de Gas	238.804,023	238.528,371	238.696,779	238.676,391	kW
175						
176	Heat Rate Turbina de Gas	10.115,477	10.172,499	10.187,804	10.158,593	kJ/kq
177						
178						
179	Corrected Output	378.910,764	378.814,175	378.894,271	378.873,070	kW
180						
181	Corrected Heat Rate	6.375,160	6.405,329	6.418,139	6.399,543	kJ/kq
182						
183						
184	BO (Baseline Output)	390.360,00	390.360,00	390.360,00	390.360,000	kW
185						
186	BHR (Baseline Heat Rate)	6.285,7000	6.285,7000	6.285,7000	6.285,700	kJ/kq
187						
188	OdeqZ (Output Degredation)	4,19488	4,19488	4,195	4,195	%%
189						
190	HRdeqZ (Heat Rate Degredation)	1,93416	1,934	1,934	1,934	%%
191						
192	CBO (Corrected Baseline Output)	373.984,866	373.984,866	373.984,866	373.984,866	kW
193						
194	CBHR (Corrected Baseline Heat Rate)	6.407,27550	6.407,275	6.407,275	6.407,275	kJ/kq
195						
196	Output Baseline Margin (Gain/Loss)	1,317	1,291	1,313	1,307	%%
197						
198	Heat Rate Baseline Margin (Gain/Loss)	0,50124	0,020	-0,170	0,121	%%
199						
200						
201	Rendimentu Brutu del Ciclu	56,46917	56,203	56,091	56,254	%%
202						
203						
204						
205						
206						

Figura 30: Full de resultats. Les tres primeres columnes són els resultats de cada prova respectivament i la quarta columna és la mitja aritmètica de les tres proves.

### 8.2.2 Automatització amb software

El software “Programa de cálculo pruebas de rendimiento” és el programa que es crea amb la intenció de fer encara més simples els càlculs i el maneig de la informació que comporta aquest. El seu disseny permet obtenir els resultats de les proves d’una forma encara més simplificada i ràpida que utilitzant els fulls de càlcul exposats anteriorment per la TG i TV. Això facilita la realització de proves de rendiment més freqüentment i així, obtenir diagnòstics de les instal·lacions més sovint.

Les millores que integra amb comparació als fulls de càlcul Excel són els següents:

- **Adquisició de dades de camp automàticament:** El programa de càlcul de les proves de rendiment pot carregar automàticament a través del programa del sistema PI (software de visualització de la planta i historitzador de dades) les dades dels senyals necessaris, pel càlcul, del moment en que es realitza la prova que entri l’usuari.
- **Possibilitat de consulta o canvi de corbes de correcció:** En una turbina de gas existeix la possibilitat que al llarg dels anys es puguin implantar modifica-

cions en la configuració d'aquesta (per fer-la més eficient o per obtenir una resposta més acurada a la demanda de la planta). Aquestes modificacions impliquen un canvi en la resposta de la màquina i poden significar un comportament diferent vers les diferents variables que es corregeixen. És per això que després d'una modificació poden canviar les corbes de correcció.

El software de càlcul integra un apartat on poder fer modificacions de les corbes de correcció que minimitza el perill de cometre errors que alterarien els resultats. També es possibilita la consulta d'aquestes per assegurar-se que les equacions de les corbes de correcció són les vigents per la turbina de gas.

- **Registre de resultats de les proves de rendiment:** Una altra opció que permet el programa és el registre dels resultats per la seva futura consulta sense la necessitat d'haver de crear un arxiu nou cada cop que es volen calcular les proves de rendiment tal i com passa amb els fulls de càlcul Excel.

El programa està creat amb el software de Microsoft Visual Basic i està recolzat per un full de càlcul protegit que integra la totalitat dels càlculs necessaris per arribar als resultats finals de la prova.

#### 8.2.2.1 Full de càlcul de suport del software

Aquest full de càlcul anomenat “*PR AUTO VB\_PI*” és el document de càlcul lligat al software. La seva funció és allotjar la totalitat dels càlculs que es duen a terme. Per la seva característica de document de suport, està subordinat al programa de càlcul creat amb Visual Basic o programa principal que, durant la seva execució, llegeix i escriu dades en el document. L'accés i modificació al document Excel està restringit, ja que totes les actuacions es fan des del programa principal i no pas des del full de càlcul.

L'estructura que presenta aquest full de càlcul és molt similar a la que tenen els dos fulls de càlcul exposats en els apartats 6.3.4.1.1 i 6.3.4.1.2. Bàsicament, aquest document integra les dues estructures dels documents de càlcul de TG i TV amb un seguit de diferències:

- **Corbes de correcció:** En aquest document les corbes de correcció estan agrupades en un mateix sub-full de càlcul per la TV i en un per TG. A diferència dels documents de càlcul de la TV i la TG, aquest document no presenta ajudes en forma de gràfiques, taules i parts de comprovació de les corbes de correcció, ja que és un document restringit a la consulta per part de l'usuari del programa.
- **Entrada de dades:** L'entrada de dades no es du a terme en el propi document, si no que és comandat des del programa principal, ja sigui de forma automàtica a través del sistema PI o de forma manual.
- **Registre de les proves de rendiment:** Aquest full Excel permet el registre dels informes generats després del càlcul de cada prova de rendiment a través del software. Per aquest motiu el full de càlcul incorpora un sub-full on hi ha organitzades les dades que es guarden de cada prova de rendiment per ser consultades en un futur des del programa principal.

##### 8.2.2.1.1 Entrada de dades automàticament

El software de càlcul té una opció per entrar automàticament les dades pertinents al moment de les proves de rendiment. Aquestes dades es transfereixen des del registre de dades del PI (històrics) cap al document Excel. L'únic que es necessita són les dades



referents al moment en el que es realitza la prova de rendiment que volem calcular, que s'entren a través del programa principal.

Les dades que es necessiten pel càlcul de les proves de rendiment al software provenen dels TAGS del sistema PI, que comencen per “TAG001”. Aquestes dades són extrems dels sistemes MKVI i DCS (vegi's plànol 2).

Identificació de variable (TAG)	Descripció	Sistema d'origen	TAG d'origen
TAGO01S1IP-P	Pressió vapor AP	MKVI	S1\IP-P
TAGO01S1TT-IS	Temp. vapor AP	MKVI	S1\TT_IS
TAGO01S1TT-IS1	Temp. vapor AP	MKVI	S1\tt_is1
TAGO01S1TT-IS2	Temp. vapor AP	MKVI	S1\tt_is1
TAGO01RSH-2_BARG	Pressió vapor CRH	DCS	RSH-2_BARG
TAGO011LBC10CT001JT01A	Temp. vapor CRH	DCS	1LBC10CT001JT01A
TAGO01S1HRHP-P	Pressió vapor HRH	MKVI	S1\HRHP-P
TAGO01S1TT-RHS	Temp. vapor HRH	MKVI	S1\TT_RHS
TAGO01S1TT-RHS1	Temp. vapor HRH	MKVI	S1\TT_RHS1
TAGO01S1TT-RHS2	Temp. vapor HRH	MKVI	S1\TT_RHS2
TAGO011LAF02CF001JT01A	Atemperació HRH	DCS	1LAF02CF001JT01A
TAGO01S1AP-P	Pressió vapor BP	MKVI	S1\AP_P
TAGO01S1TT-LPAS	Temp. vapor BP	MKVI	S1\TT_LPAS
TAGO01S1TT-LPAS1	Temp. vapor BP	MKVI	S1\TT_LPAS1
TAGO01S1TT-LPAS2	Temp. vapor BP	MKVI	S1\TT_LPAS2
TAGO01T_CROSSV-1N	Temp. Crossover	DCS	T_CROSSV-1N
TAGO01T_CROSSV-2S	Temp. crossover	DCS	T_CROSSV-2S
TAGO01P_CROSSV_BARG	Pressió crossover	DCS	P_CROSSV_BARG
TAGO01S1EV-P	Pressió condens.	MKVI	S1\EV_P
TAGO011LCC01CT001XW01	Temp. Condens.	DCS	1LCC01CT001XW01
TAGO011LCC01CL001JT01A	Nivell d'aigua	DCS	1LCC01CL001JT01A
TAGO011LCC01CL001JT02A	Nivell d'aigua	DCS	1LCC01CL001JT02A
TAGO011LCC01CL001JT03A	Nivell d'aigua	DCS	1LCC01CL001JT03A
TAGO011LAP50CF001JT01A	Cabal alimentació calderí AP	DCS	1LAP50CF001JT01A
TAGO011LAP50CF001JT02A	Cabal alimentació calderí AP	DCS	1LAP50CF001JT02A
TAGO011LAP50CF001JT03A	Cabal alimentació calderí AP	DCS	1LAP50CF001JT03A
TAGO011HAC22CF001JT01A	Cabal alimentació calderí MP	DCS	1HAC22CF001JT01A
TAGO011HAC22CF001JT02A	Cabal alimentació calderí MP	DCS	1HAC22CF001JT02A
TAGO011HAC22CF001JT03A	Cabal alimentació calderí MP	DCS	1HAC22CF001JT03A
TAGO011LBD10CF001JT01A	Cabal vapor BP	DCS	1LBD10CF001JT01A
TAGO01S1EX2K-GN-PF	Fact.. Potencia	MKVI	S1\EX2K_GN_PF
TAGO01S1EX2K-FLD-A	Corrent excitació	MKVI	S1\EX2K_FLD_A
TAGO01S1EX2K-FLD-V	Voltatge excitació	MKVI	S1\EX2K_FLD_V
TAGO01G1DWATT2	Potencia generada	MKVI	G1\DWATT2
TAGO01G1TFT-T	Hores de funcionament	MKVI	G1\TFT_T
TAGO01G1AFPAP	Pressió atmosfèrica	MKVI	G1\AFPAP
TAGO01G1CTIM	Temp. aire al compressor	MKVI	G1\CTIM
TAGO01S1TNH-RPM	Velocitat de l'eix	MKVI	S1\TNH_RPM

TAGO01G1AFPCS	Pèrdua pressió entrada d'aire	MKVI	G1\AFPCS
TAGO01G1AFPEP	Pèrdua de pressió sortida TG	MKVI	G1\AFPEP
TAGO01G1FTG1	Temperatura gas	MKVI	G1\FTG1
TAGO01G1FTG2	Temperatura gas	MKVI	G1\FTG2
TAGO01G1FTG3	Temperatura gas	MKVI	G1\FTG3
TAGO01G1FQG	Cabal de gas	MKVI	G1\FQG
TAGO011EKD01EA002XE01A	Composició CO2	DCS	1EKD01EA002XE01A
TAGO011EKD01EA002XE02A	Composició nitrogen	DCS	1EKD01EA002XE02A
TAGO011EKD01EA002XE05A	Composició de metà	DCS	1EKD01EA002XE05A
TAGO011EKD01EA002XE06A	Composició d'età	DCS	1EKD01EA002XE06A
TAGO011EKD01EA002XE07A	Composició de propà	DCS	1EKD01EA002XE07A
TAGO011EKD01EA002XE08A	Composició de butà	DCS	1EKD01EA002XE08A
TAGO011EKD01EA002XE09A	Composició d'isobutà	DCS	1EKD01EA002XE09A
TAGO011EKD01EA002XE10A	Composició de pentà	DCS	1EKD01EA002XE10A
TAGO011EKD01EA002XE11A	Composició isopentà	DCS	1EKD01EA002XE11A
TAGO011EKD01EA002XE12A	Composició de hexà	DCS	1EKD01EA002XE12A
TAGO011EKD01EA002XG01A	Composició relativa gas	DCS	1EKD01EA002XG01A

Taula 7: TAGs necessaris pel càlcul de les proves de rendiment

DATOS DE ORIGEN (OBTENCIÓN DE DATOS DEL PI)													
Intervalo		00:00:05											
Data y hora de inicio		16/11/2009											
Data y hora final		16/11/2009											
15	Promedio	1,011791763	87,05312619	564,3415825	564,1690685	564,5279413	438,1016469	34,5962569	561,415398	561,952036	560,88249	4641,437609	
16	Descripción	FECHA	P ATM	P MS	T MS			T CRH	P HRH	T° HRH		Atemp. HRH	
17	TAG	TAGO01G1AFAP	TAGO01S1P-P	TAGO01S1T	TAGO01S1T	TAGO01S1T-IS2	TAGO01LBC1	TAGO01S1H	TAGO01S1T	TAGO01S1T	TAGO01S1T	TAGO01LAF0	
18	1	16-nov-09 16:00:00	758,90625	87,64648438	563,9616089	564,0230713	565,1958008	437,979126	34,703125	561,755371	562,752197	561,327698	4629,802734
19	2	16-nov-09 16:00:05	758,90625	87,64648438	563,9608154	564,022522	565,1967163	437,979126	34,703125	561,754211	562,752563	561,327759	4629,826172
20	3	16-nov-09 16:00:10	758,90625	87,64648438	563,960022	564,0219727	565,1976318	437,979126	34,703125	561,753113	562,752991	561,327881	4629,849609
21	4	16-nov-09 16:00:15	758,90625	87,64648438	563,9592896	564,0214233	565,1985474	437,979126	34,703125	561,751953	562,753418	561,327942	4629,873047
22	5	16-nov-09 16:00:20	758,90625	87,64648438	563,9584961	564,020874	565,1994629	437,979126	34,703125	561,750793	562,753845	561,328064	4629,896973
23	6	16-nov-09 16:00:25	758,90625	87,64648438	563,9577637	564,0203247	565,2003784	437,979126	34,703125	561,749634	562,754211	561,328125	4629,92041
24	7	16-nov-09 16:00:30	758,90625	87,64648438	563,9569702	564,0198364	565,2012939	437,979126	34,703125	561,748474	562,754639	561,328186	4629,943848
25	8	16-nov-09 16:00:35	758,90625	87,64648438	563,9561768	564,0192871	565,2022095	437,979126	34,703125	561,747314	562,755068	561,328308	4629,967285
26	9	16-nov-09 16:00:40	758,90625	87,64648438	563,9554443	564,0187378	565,203125	437,979126	34,703125	561,746155	562,755493	561,328369	4629,991211
27	10	16-nov-09 16:00:45	758,90625	87,64648438	563,9546509	564,0181885	565,2039277	437,979126	34,703125	561,744995	562,755859	561,328491	4630,014648
28	11	16-nov-09 16:00:50	758,90625	87,64648438	563,9539185	564,0176392	565,1987305	437,979126	34,703125	561,743835	562,756287	561,328552	4630,038086
29	12	16-nov-09 16:00:55	758,90625	87,64648438	563,953125	564,0170898	565,1964722	437,979126	34,703125	561,742673	562,756714	561,328674	4630,061523
30	13	16-nov-09 16:01:00	758,90625	87,64648438	563,9523315	564,0165405	565,1942749	437,979126	34,703125	561,741517	562,757141	561,328735	4630,085449
31	14	16-nov-09 16:01:05	758,90625	87,64648438	563,9515391	564,0159912	565,1920776	437,979126	34,703125	561,740357	562,757567	561,328796	4630,108887
32	15	16-nov-09 16:01:10	758,90625	87,64648438	563,9508057	564,0154419	565,1898804	437,979126	34,703125	561,739200	562,757993	561,328918	4630,132324
33	16	16-nov-09 16:01:15	758,90625	87,64648438	563,9500732	564,0148926	565,1876221	437,979126	34,703125	561,738043	562,758362	561,328979	4630,155762
34	17	16-nov-09 16:01:20	758,90625	87,64648438	563,9492798	564,0143433	565,1854248	437,979126	34,703125	561,736886	562,758789	561,329102	4630,179688
35	18	16-nov-09 16:01:25	758,90625	87,64648438	563,9484863	564,013855	565,1832275	437,979126	34,703125	561,735729	562,759155	561,329163	4630,203125
36	19	16-nov-09 16:01:30	758,90625	87,64648438	563,9477538	564,0133057	565,1810292	437,979126	34,703125	561,734571	562,759521	561,329224	4630,226563
37	20	16-nov-09 16:01:35	758,90625	87,64648438	563,9469804	564,0127563	565,1788319	437,979126	34,703125	561,733413	562,759887	561,329285	4630,250003
38	21	16-nov-09 16:01:40	758,90625	87,64648438	563,946228	564,012207	565,1766346	437,979126	34,703125	561,732255	562,760253	561,329346	4630,273443

Figura 31: Sub-full de càlcul "Datos de origen" d'obtenció de dades automàticament a través de PI, del full de càlcul "PR AUTO VB\_PI".

### 8.2.2.2 Software de càlcul de les proves de rendiment

El "Programa de cálculo pruebas de rendimiento" és el nom del software creat per calcular les proves de rendiment d'una planta de cycle combinat amb disposició monoex, i, en especial, per a la CTCC Tarragona I. Està dirigit al personal de les plantes i

la seva execució no requereix cap coneixement en quant al procediment de càlcul de les proves de rendiment.

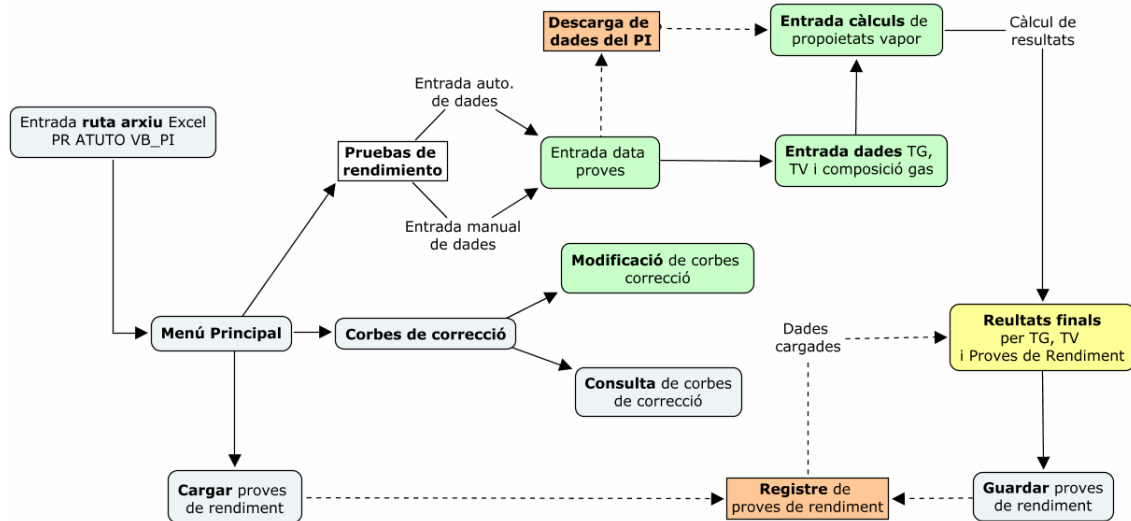
El software és de tipus interactiu, és a dir, que exigeix la intervenció de l'usuari durant la seva execució, per subministrar dades o bé per indicar al programa que ha de fer a continuació a través de menús.

El software de càlcul de les proves de rendiment integra la totalitat dels càlculs que envolten unes proves de rendiment i contempla possibles modificacions que es puguin fer a les turbines que puguin afectar el comportament d'aquestes al llarg del temps.

El programa es pot simplificar amb tres funcions bàsiques:

- **Càlcul de les proves de rendiment:** El càlcul de les proves de rendiment es pot fer de forma automàtica o bé de forma manual, per si es volen comprovar proves de rendiment anteriors o bé utilitzar les dades que facilita el subministrador en l'informe del resultat de les proves.
- **Modificació de les corbes de correcció:** Aquest apartat possibilita la modificació de les corbes de correcció de la turbina de gas degut al canvi de comportament de la turbina de gas després d'una modificació paramètrica. També es possibilita la consulta de les corbes per verificar les corbes actuals.
- **Consulta de proves de rendiment:** La tercera opció del programa és la consulta de proves de rendiment prèvies guardades pel programa.

La estructura i organització del programa és la següent:



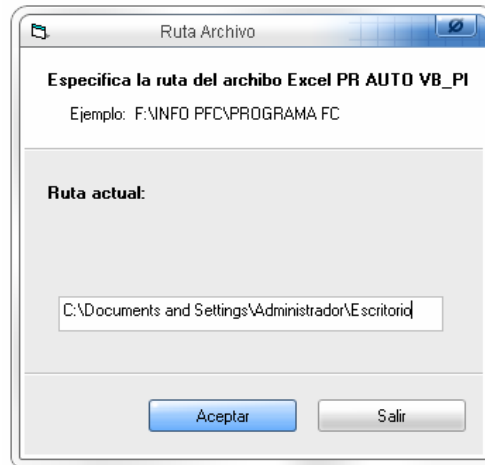
**Figura 32:** Diagrama de blocs que l'estructura del software de càlcul de les proves de rendiment "Programa de cálculo pruebas de rendimiento".

#### 8.2.2.2.1 Execució del software per a calcular unes proves de rendiment

A continuació s'exposen els passos que s'han de donar per obtenir els resultats d'una prova de rendiment utilitzant el software de càlcul.

**Pas 1, ruta de l'arxiu:** Al iniciar el programa apareix una finestra on es demana introduir la ruta de l'arxiu Excel. La ruta introduïda (que inclou com a últim element de la ruta la carpeta on estigui localitzat l'arxiu), permet localitzar l'arxiu on ha de transferir les dades el programa.

Posteriorment la ruta de l'arxiu també es pot modificar, durant la execució del programa, en cas que s'hagués introduït una ruta errònia.



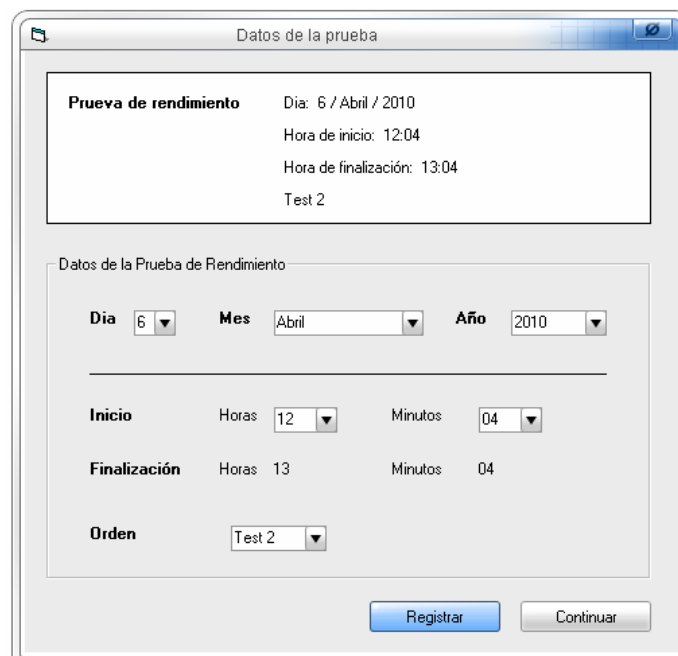
*Figura 33: Finestra d'entrada de la ruta de l'arxiu Excel "PR AUTO VB\_PI"*

**Pas 2, selecció d'entrada de dades:** A continuació apareix el menú principal del programa on s'ha de seleccionar la opció "Calcular pruebas de rendimiento". Posteriorment, en un submenú haurem d'elegir entre l'entrada automàtica de dades o bé la entrada manual. Elegint la primera opció, les dades dels TAGs necessaris per a les proves de rendiment es carregaran a través del software de monitorització de la planta i historització PI de forma automàtica, depenent de hora i el dia que l'usuari hagi seleccionat del moment de la prova.



*Figura 34: Menú principal del software de càlcul de les proves de rendiment*

**Pas 3, dades temporals de la prova:** Després d'haver seleccionat l'opció d'entrada de dades desitjada, ens apareix una finestra on s'ha d'introduir l'hora, el dia i el número de la prova de rendiment que es vol calcular. Després d'aquesta finestra s'obre el MDI del programa (Multiple Document Interface) o formulari mare, on es localitzen els formularis i finestres que apareixen a partir d'aquest punt.



*Figura 35: Finestra d'entrada de la data, hora i número de la prova de rendiment.*

**Pas 4, entrada de dades manuals:** Si al submenú del càlcul s'ha elegit entrar manualment les dades de les proves de rendiment, apareixerà el formulari d'entrada de dades manuals. En aquest, trobem justificats els instruments dels quals s'han d'entrar valors per a calcular els resultats de les proves per la TV i la TG.

Situat sota l'apartat d'entrada de dades per la TG, trobem el quadre on hi ha el botó per accedir al formulari d'entrada de dades de la composició de gas. Aquest està dividit en dues columnes de dades on entrar els valors de la composició del gas, una per la mostra de gas de l'inici de la prova, i l'altre pels valors de la composició de la mostra obtinguda al final de l'hora que dura la prova.

Una vegada s'han entrat les dades de cada un dels tres grups, es procedeix al registre. Si s'han entrat la totalitat de les dades demanades el grup que s'estigui registrant, l'indicador d'estat corresponent de la part superior de la finestra ens indicarà que s'han registrat les dades amb èxit. Del contrari un quadre de diàleg ens advertirà del que s'ha fet incorrectament.

Finalment, quan s'han entrat la totalitat de les dades dels tres grups, s'activa el botó "Siguiete" que ens permet anar al següent pas, els càlcul de les propietats del vapor.

**Programa de cálculo pruebas de rendimiento**

Archivo Editar Datos Calcular Resultados

**Entrada manual de datos**

Estado			
TURBINA DE VAPOR	Valores entrados	Registrar	✓
TURBINA DE GAS	Faltan entrar valores	Registrar	✗
COMPOSICIÓN DEL GAS	Faltan entrar valores		✗

Siguiente

---

**DATOS TURBINA DE VAPOR**

Presión ambiente	S1\BAR-1	1,012	bar,a
Caudal alimentación calderín AP	1LAF50CF001	312040	kg/h
Presión vapor AP	S1\VP_P	89,056	bar
Temperatura vapor AP	S1\TT_IS	564,659	°C
N2 Packing Flow	Resultado Test	49630,45	kg/h
Presión CRH	RSH-2_BARG	36,89745	bar
Temperatura CRH	1LBC10CT001	438,8123	°C
Presión HRH	S1\HRHP_P	35,4589	bar
Temperatura HRH	S1\TT-RSH	653,6482	°C
Caudal alimentación calderín MP	1LAF40CF001	23000	kg/h
Atemperación del vapor MP	1LAF02CF001	4238,48	kg/h
Presión del Crossover	P_CROSSV_BARG	3,236	bar
Temperatura del Crossover	T_CROSSV	301,258	°C
Admisión de vapor de BP	1LBD10CF001	45300	kg/h

---

**DATOS TURBINA DE GAS**

Temperatura ambiente	G1\CTIM	0	°C
Humedad relativa	HR-1	0	%
Presión entrada compresor	G1\AFFAP_P	0	mbar,a
Velocidad del eje	S1\TNH-RPM	0	rpm
Perdida presión entrada compresor	G1\AFPCS	0	mmH2O
Perdida presión escape	G1\AFPEP	0	mmH2O
Temperatura del gas	G1\FTG	0	°C
Gas flow	1EKD22CF001\XG02A	0	m <sup>3</sup>

---

**COMPOSICIÓN DEL GAS**

Entrar valores

Figura 36: Finestra d'entrada de dades manual pel càlcul de les proves de rendiment.

**Entrada de datos composición del gas**

COMPOSICIÓN DEL GAS AL INICIAR LA PRUEBA

C1H4 --> Metano	0	%mol
C2H6 --> Etano	0	%mol
C3H8 --> Propano	0	%mol
n-C4 --> n-Butano	0	%mol
I-C4 --> Isobutano	0	%mol
n-C5 --> n-Pentano	0	%mol
I-C5 --> Isopentano	0	%mol
C6H14 --> Hexano	0	%mol
N2 --> Nitrogeno	0	%mol
CO2 --> Dioxido de Carbono	0	%mol

COMPOSICIÓN DEL GAS AL FINALIZAR LA PRUEBA

C1H4 --> Metano	0	%mol
C2H6 --> Etano	0	%mol
C3H8 --> Propano	0	%mol
n-C4 --> n-Butano	0	%mol
I-C4 --> Isobutano	0	%mol
n-C5 --> n-Pentano	0	%mol
I-C5 --> Isopentano	0	%mol
C6H14 --> Hexano	0	%mol
N2 --> Nitrogeno	0	%mol
CO2 --> Dioxido de Carbono	0	%mol

Borrar valores Registrar valores Salir

Figura 37: Finestra d'entrada de valors de la composició del gas.

**Pas 5, càlcul de propietats del vapor:** Aquest següent pas, que consisteix en entrar les propietats del vapor en diferents parts del cicle de vapor, és comú tant si procedim de l'entrada manual o automàtica de dades.

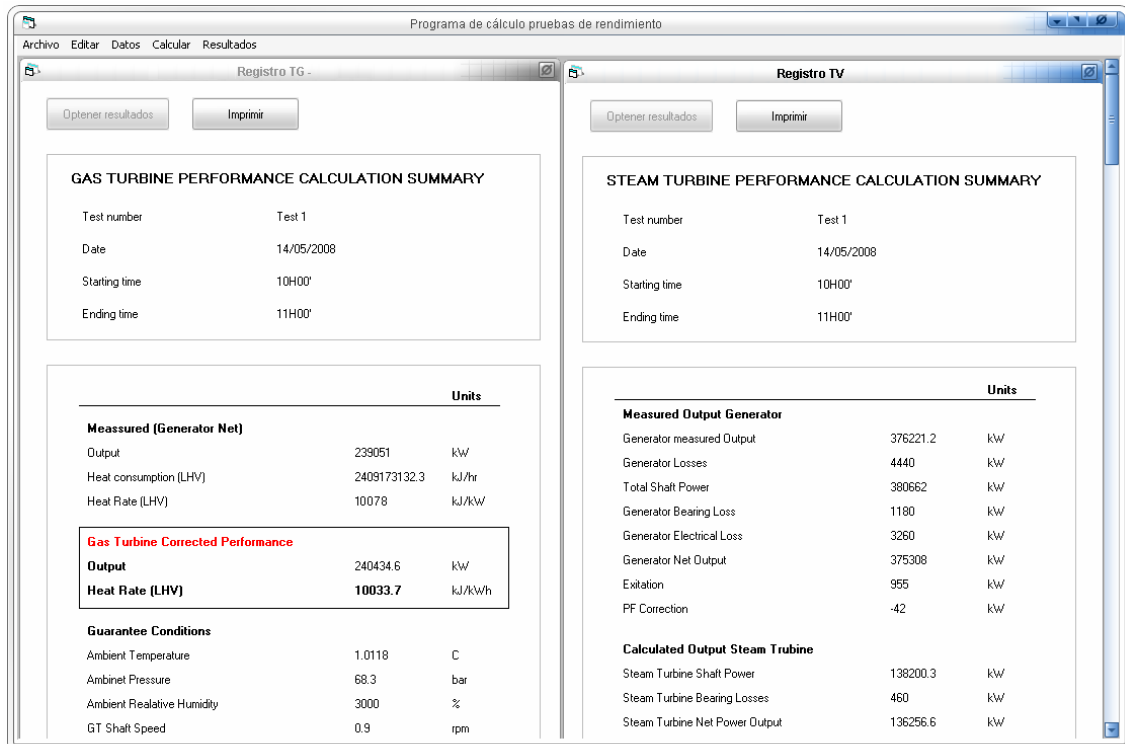
El formulari que apareix està compost de quatre subformularis on s'han d'entrar les dades de vapor que s'indiquen, a partir de les dades inicials facilitades. Per obtenir aquestes dades simplement s'ha de clicar al botó "ob-

tener datos". Un cop haguem entrat la totalitat de els dades que es demanen en aquest formulari, es procedeix a registrar els valors. Quan s'hagin registrat s'activarà en la part inferior la opció de consulta de resultats.

			ENTALPIA	ENTROPIA	VOLUMEN
Temperatura	564.659	°C	3547.93	6.85967	0.0407636
Presión	90.009	Bar,a			
Temperatura	438.812	°C	3309.78		
Presión	36.897	Bar,a			
Temperatura	563.489	°C	0		
Presión	35.459	Bar,a			
Temperatura	301.258	°C	0	0	
Presión	3.236	Bar,a			
Temperatura	301.255	°C	0		
Presión	3.523	Bar,a			
Temperatura	565.5	°C	0		
Presión	35.692	Bar,a			

*Figura 38: Finestra d'entrada de propietats del vapor*

**Pas 6, resultats:** Com a últim després d'haver entrat totes les dades necessàries, es passa a la visualització dels resultats. Aquests estan representats en tres formularis diferents, un per TG, un altre per TV i un tercer per els resultats finals de les proves. Els formularis de resultats tenen el mateix format que els resultats que presenta el subministrador, on es troben totes les dades inicials, els factors de correcció i els resultats parcials i finals dels càlculs.



*Figura 39: Finestra de resultats de les proves de rendiment*

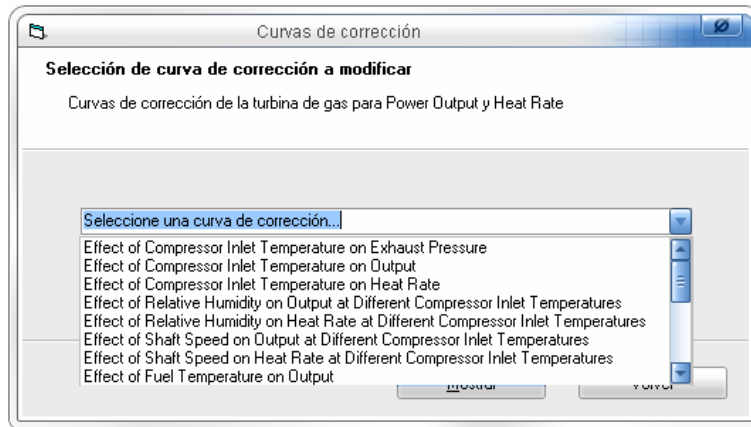
#### 8.2.2.2.2 Modificació de corbes de correcció

Com s'ha citat anteriorment, en una central de cycle combinat, al llarg del temps, es poden implantar modificacions a la TG per tal de millorar el seu comportament. Aquestes modificacions poden implicar una resposta diferent davant de variables que es corregeixen pel càlcul de les proves de rendiment, el que implicaria actualitzar les corbes de correcció. És per aquest motiu que el software de càlcul de les proves de rendiment incorpora un apartat on es poden fer aquests tipus de modificacions.

Al programa per arribar a la opció de modificació de corbes s'ha de seguir la següent seqüència:

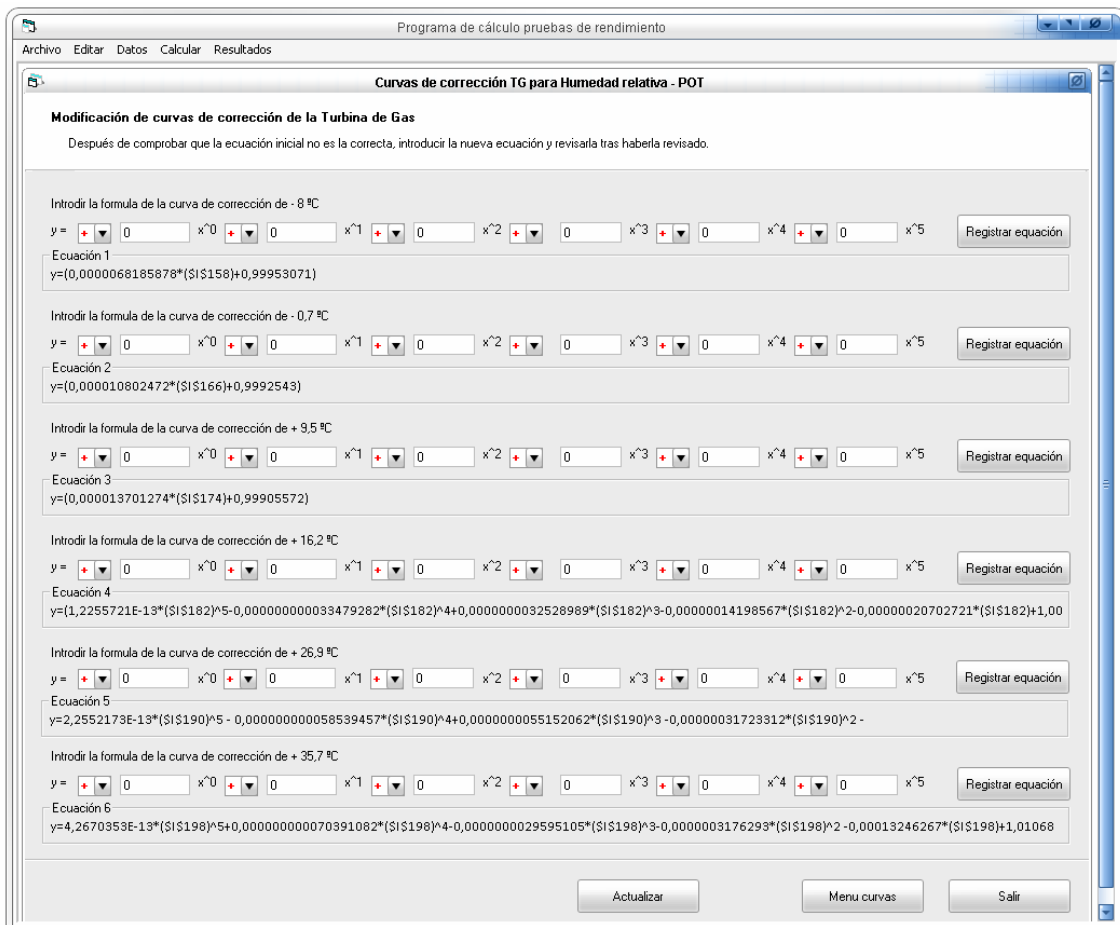
1. Una vegada s'ha introduït la ruta de l'arxiu Excel "PR AUTO VB\_PI" al executar el programa (vegi's figura 25), seleccionem en el menú principal "Modificar curvas"(vegi's figura 26).
2. Al submenú que ens apareixerà a continuació es pot seleccionar consultar o modificar les corbes de correcció. Cal remarcar que l'accés a la segon opció està protegit amb contrasenya per evitar possibles modificacions indegudes. Qualsevol de les dues opcions duen a un submenú de selecció de corba de correcció:





**Figura 40:** Finestra de selecció de corba de correcció

- Després de la selecció de la corba de correcció arribem al formulari de les corbes de correcció. Si hem seleccionat la opció de *modificació de corbes* tindrem accés a la consulta i a la modificació de les equacions que conformen les diferents corbes de correcció de la TG, mentre que si hem seleccionat *consulta de les corbes de correcció*, només visualitzarem les diferents equacions.

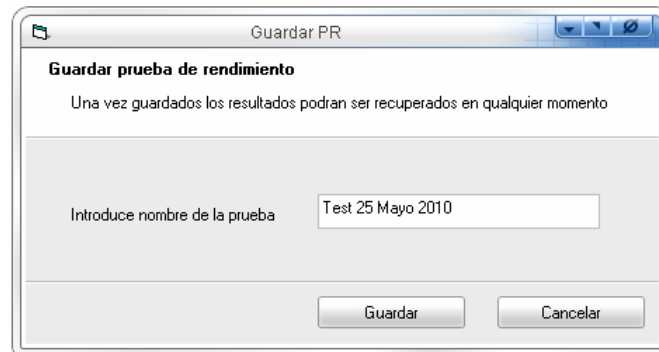


**Figura 41:** Formulari de modificació de corbes de correcció

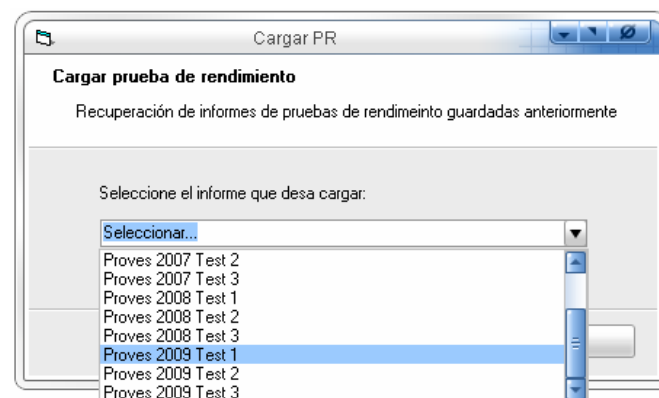
### 8.2.2.2.3 Recursos i eines del software de càlcul de les proves de rendiment

- **Recursos:** El software de càlcul de les proves de rendiment incorpora recursos que permeten l'externalització i registre dels resultats una vegada els visualitzem. El primer d'ells és la **impressió** dels informes finals de les proves, ja sigui en format paper on en format digital (*PDF*).

El segon recurs permet el registre dels resultats de les proves, ja que el programa integra un sistema intern d'**emmagatzematge de resultats** que possibilita la futura consulta dels resultats des del propi programa així com la seva impressió.



**Figura 42:** Finestra de registre dels resultats de la prova de rendiment



**Figura 43:** Finestra de carregament de resultats de les proves de rendiment

- **Eines:** Donat que en el transcurs dels càlculs de les proves de rendiment s'ha de treballar molt freqüentment amb factors de correcció bivariants, on s'ha d'interpol·lar els resultats de les equacions de la corba inferior i superior de la respecte la variable 2, el programa ofereix un assistent d'interpolació que facilita la interpolació. Aquesta eina es pot trobar en el menú del formulari mare (Datos/Asistente de interpolación)



*Figura 37: Assistent d'interpolació del programa*

### 8.3 Millora de l'adquisició de dades del sistema PI

Per realitzar els càlculs de les proves de rendiment, partim de les dades que es recullen dels diferents instruments repartits al llarg de les instal·lacions. Aquests instruments mesuren paràmetres molt variats, com són temperatures, pressions, cabals, nivells, revolucions, intensitat, voltatge...

La millora de l'adquisició de dades del sistema PI es deu a la utilització que en fa el software que es desenvolupa per calcular automàticament les proves de rendiment. Aquest té l'opció d'adquirir automàticament les dades dels instruments necessaris per fer els càlculs utilitzant el sistema PI. És per aquest motiu que es revisen l'existència i les propietats de cada punt o TAG del sistema PI (prèviament transferides des del sistema DCS, apartat 6.2.3), per que les dades que s'agafin dels diferents instruments siguin les més precises possible per aconseguir uns resultats acurats.

#### 8.3.1 Creació de nous punts

Inicialment el sistema PI no té la totalitat dels punts que dels que es necessiten treure dades. Conseqüentment es procedeix a la creació dels punts que falten. Els punts creats són els següents:

- TAGO01T\_CROSSV-1N: Temperatura del crossover 1
- TAGO01T\_CROSSV-2S: Temperatura del crossover 1
- TAGO01P\_CROSSV\_BARG: Pressió del crossover
- TAGO01RSH-2\_BARG: Pressió del vapor rescalfat fred (CRH)

La totalitat dels punts necessaris pels càlculs automàtics de les proves de rendiment són els següents:

Identificació de variable (TAG)	Descripció	Sistema d'origen	TAG d'origen
TAGO01S1IP-P	Pressió vapor AP	MKVI	S1\IP-P
TAGO01S1TT-IS	Temp. vapor AP	MKVI	S1\TT_IS
TAGO01S1TT-IS1	Temp. vapor AP	MKVI	S1\tt_is1
TAGO01S1TT-IS2	Temp. vapor AP	MKVI	S1\tt_is1
TAGO01RSH-2_BARG	Pressió vapor CRH	DCS	RSH-2_BARG
TAGO011LBC10CT001JT01A	Temp. vapor CRH	DCS	1LBC10CT001JT01A
TAGO01S1HRHP-P	Pressió vapor HRH	MKVI	S1\HRHP-P
TAGO01S1TT-RHS	Temp. vapor HRH	MKVI	S1\TT_RHS
TAGO01S1TT-RHS1	Temp. vapor HRH	MKVI	S1\TT_RHS1
TAGO01S1TT-RHS2	Temp. vapor HRH	MKVI	S1\TT_RHS2
TAGO011LAF02CF001JT01A	Atemperació HRH	DCS	1LAF02CF001JT01A
TAGO01S1AP-P	Pressió vapor BP	MKVI	S1\AP_P
TAGO01S1TT-LPAS	Temp. vapor BP	MKVI	S1\TT_LPAS
TAGO01S1TT-LPAS1	Temp. vapor BP	MKVI	S1\TT_LPAS1
TAGO01S1TT-LPAS2	Temp. vapor BP	MKVI	S1\TT_LPAS2
TAGO01T_CROSSV-1N	Temp. Crossover	DCS	T_CROSSV-1N
TAGO01T_CROSSV-2S	Temp. Crossover	DCS	T_CROSSV-2S
TAGO01P_CROSSV_BARG	Pressió crossover	DCS	P_CROSSV_BARG
TAGO01S1EV-P	Pressió condens.	MKVI	S1\EV_P
TAGO011LCC01CT001XW01	Temp. Condens.	DCS	1LCC01CT001XW01
TAGO011LCC01CL001JT01A	Nivell d'aigua	DCS	1LCC01CL001JT01A
TAGO011LCC01CL001JT02A	Nivell d'aigua	DCS	1LCC01CL001JT02A
TAGO011LCC01CL001JT03A	Nivell d'aigua	DCS	1LCC01CL001JT03A
TAGO011LAP50CF001JT01A	Cabal alimentació calderí AP	DCS	1LAP50CF001JT01A
TAGO011LAP50CF001JT02A	Cabal alimentació calderí AP	DCS	1LAP50CF001JT02A
TAGO011LAP50CF001JT03A	Cabal alimentació calderí AP	DCS	1LAP50CF001JT03A
TAGO011HAC22CF001JT01A	Cabal alimentació calderí MP	DCS	1HAC22CF001JT01A
TAGO011HAC22CF001JT02A	Cabal alimentació calderí MP	DCS	1HAC22CF001JT02A
TAGO011HAC22CF001JT03A	Cabal alimentació calderí MP	DCS	1HAC22CF001JT03A
TAGO011LBD10CF001JT01A	Cabal vapor BP	DCS	1LBD10CF001JT01A
TAGO01S1EX2K-GN-PF	Fact.. Pototencia	MKVI	S1\EX2K_GN_PF
TAGO01S1EX2K-FLD-A	Corrent excitació	MKVI	S1\EX2K_FLD_A
TAGO01S1EX2K-FLD-V	Voltatge excitació	MKVI	S1\EX2K_FLD_V
TAGO01G1DWATT2	Potencia generada	MKVI	G1\DWATT2
TAGO01G1TFT-T	Hores de funcionament	MKVI	G1\TFT_T

<b>TAGO01G1AFPAP</b>	Pressió atmosfèrica	MKVI	G1\AFPAP
<b>TAGO01G1CTIM</b>	Temp. aire al compressor	MKVI	G1\CTIM
<b>TAGO01S1TNH-RPM</b>	Velocitat de l'eix	MKVI	S1\TNH_RPM
<b>TAGO01G1AFPCS</b>	Pèrdua pressió entrada d'aire	MKVI	G1\AFPCS
<b>TAGO01G1AFPEP</b>	Pèrdua de pressió sortida TG	MKVI	G1\AFPEP
<b>TAGO01G1FTG1</b>	Temperatura gas	MKVI	G1\FTG1
<b>TAGO01G1FTG2</b>	Temperatura gas	MKVI	G1\FTG2
<b>TAGO01G1FTG3</b>	Temperatura gas	MKVI	G1\FTG3
<b>TAGO011EKD22CF001XG02A</b>	Cabal de gas	DCS	1EKD22CF001XG02A
<b>TAGO011EKD01EA002XE01A</b>	Composició del gas: CO2	DCS	1EKD01EA002XE01A
<b>TAGO011EKD01EA002XE02A</b>	Composició del gas: Nitrogen	DCS	1EKD01EA002XE02A
<b>TAGO011EKD01EA002XE05A</b>	Composició del gas: Metà	DCS	1EKD01EA002XE05A
<b>TAGO011EKD01EA002XE06A</b>	Composició del gas: Età	DCS	1EKD01EA002XE06A
<b>TAGO011EKD01EA002XE07A</b>	Composició del gas: Propà	DCS	1EKD01EA002XE07A
<b>TAGO011EKD01EA002XE08A</b>	Composició del gas: Butà	DCS	1EKD01EA002XE08A
<b>TAGO011EKD01EA002XE09A</b>	Composició del gas: Isobutà	DCS	1EKD01EA002XE09A
<b>TAGO011EKD01EA002XE10A</b>	Composició del gas: Pentà	DCS	1EKD01EA002XE10A
<b>TAGO011EKD01EA002XE11A</b>	Composició del gas: Isopentà	DCS	1EKD01EA002XE11A
<b>TAGO011EKD01EA002XE12A</b>	Composició del gas: Hexà	DCS	1EKD01EA002XE12A
<b>TAGO011EKD01EA002XG01A</b>	Densitat relativa gas	DCS	1EKD01EA002XG01A

*Taula 8: Punts necessaris pel càlcul de les proves de rendiment del software*

### 8.3.2 Modificació de les característiques dels punts utilitzats en els càlculs

El que es busca amb la modificació de les característiques dels punts utilitzats en els càlculs és millorar la precisió de les dades que adquireix el sistema PI.

Això s'aconsegueix modificant el paràmetre de **compressió [%]** i **compressió màxima** de les característiques del punt. La compressió [%] és el percentatge en que s'ha d'incrementar el valor d'una variable per que els sistema registri el valor. La compressió màxima d'un punt, que és el temps que ha de passar perquè el sistema refresqui el valor d'un punt que no ha variat.

La modificació que es fa per la compressió [%] es reduir-la per aconseguir un major mostreig dels valors dels instruments tant bon punt s'hagi produït la mínima diferència. Reduir excessivament la compressió [%] del punt té el perill d'acumular molts valors amb despreciable diferència entre ells i augmentar significativament el volum dels arxius de registre sense implicar una millora en la precisió. És per aquest motiu que s'ha de tenir molta cura a l'hora de modificar aquesta propietat del punt.

El que es recomana és configurar la compressió [%] del punt respecte el increment mínim de la variable mesurada que són capaços de detectar els instruments.

Pel que fa a la compressió màxima s'opta per reduir el temps de 3600s a 1200s.

Les modificacions realitzades queden reflectides en aquesta taula:

Identificació de la variable (TAG)	PI		Abans revisió		Després revisió	
	Rang	Unitats	Compressió		Compressió	
			[%]	Màx.[s]	[%]	Màx.[s]
TAGO01S1IP-P	0-700	° C	0,5	3600	0,5	1200 s
TAGO01S1TT-IS	0-700	° C	0,5	3600	0,40845	1200 s
TAGO01S1TT-IS1	0-700	° C	0,5	3600	0,14085	1200 s
TAGO01S1TT-IS2	0-700	° C	0,5	3600	0,14085	1200 s
TAGO01RSH-2_BARG	0-71	bar	-	-	0,14085	1200 s
TAGO011LBC10CT001JT01A	0-416	° C	0,5	3600	0,19802	1200 s
TAGO01S1HRHP-P	0-500	bar	0,5	3600	0,19802	1200 s
TAGO01S1TT-RHS	0-1205	° C	0,5	3600	0,08299	1200 s
TAGO01S1TT-RHS1	0-700	° C	0,5	3600	0,14286	1200 s
TAGO01S1TT-RHS2	0-700	° C	0,5	3600	0,14286	1200 s
TAGO011LAF02CF001JT01A	0-23705	kg/h	0,5	3600	0,42185	1200 s
TAGO01S1AP-P	0-30	bar	0,5	3600	1	1200 s
TAGO01S1TT-LPAS	0-505	° C	0,5	3600	0,19802	1200 s
TAGO01S1TT-LPAS1	0-305	° C	0,5	3600	0,32782	1200 s
TAGO01S1TT-LPAS2	0-305	° C	0,5	3600	0,32787	1200 s
TAGO01T_CROSSV-1N	0-610	° C	-	-	0,01639	1200 s
TAGO01T_CROSSV-2S	0-610	° C	-	-	0,01639	1200 s
TAGO01P_CROSSV_BARG	0-105	bar	-	-	0,00952	1200 s
TAGO01S1EV-P	0-1000	mmHg	0,5	3600	0,2	1200 s
TAGO011LCC01CT001XW01	0-115	° C	0,5	3600	0,5	1200 s
TAGO011LCC01CL001JT01A	0-140	cm	0,5	3600	0,21429	1200 s
TAGO011LCC01CL001JT02A	0-140	cm	0,5	3600	0,21429	1200 s
TAGO011LCC01CL001JT03A	0-140	cm	0,5	3600	0,21429	1200 s
TAGO011LAP50CF001JT01A	0-382600	kg/h	0,5	3600	0,15682	1200 s
TAGO011LAP50CF001JT02A	0-430900	kg/h	0,5	3600	0,13924	1200 s
TAGO011LAP50CF001JT03A	0-465100	kg/h	0,5	3600	0,129	1200 s
TAGO011HAC22CF001JT01A	40700	kg/h	0,5	3600	0,2457	1200 s
TAGO011HAC22CF001JT02A	41000	kg/h	0,5	3600	0,2439	1200 s
TAGO011HAC22CF001JT03A	40800	kg/h	0,5	3600	0,2451	1200 s
TAGO011LBD10CF001JT01A	56005	kg/h	0,5	3600	0,5	1200 s
TAGO01S1EX2K-GN-PF	0-1	-	0,5	3600	0,5	1200 s
TAGO01S1EX2K-FLD-A	0-2000	A	0,5	3600	0,0499	1200 s
TAGO01S1EX2K-FLD-V	0-1000	V	0,5	3600	0,0995	1200 s
TAGO01G1DWATT2	0-500	MW	0,5	3600	0,2	1200 s
TAGO01G1TFT-T	0-300000	h	0,5	3600	0,02174	1200 s

<b>TAGO01G1AFPAP</b>	0-805	mmHg	0,5	3600	0,24845	1200 s
<b>TAGO01G1CTIM</b>	0-220	°C	0,5	3600	0,09091	1200 s
<b>TAGO01S1TNH-RPM</b>	0-3500	rpm	0,5	3600	0,01429	1200 s
<b>TAGO01G1AFPCS</b>	0-100	mmH <sub>2</sub> O	0,5	3600	0,5	1200 s
<b>TAGO01G1AFPEP</b>	0-500	mmH <sub>2</sub> O	0,5	3600	0,2	1200 s
<b>TAGO01G1FTG1</b>	0-200	° C	0,5	3600	0,25	1200 s
<b>TAGO01G1FTG2</b>	0-200	° C	0,5	3600	0,25	1200 s
<b>TAGO01G1FTG3</b>	0-200	° C	0,5	3600	0,25	1200 s
<b>TAGO011EKD22CF001XG02A</b>	0-35	m <sup>3</sup>	0,5	3600	0,28571	1200 s
<b>TAGO011EKD01EA002XE01A</b>	0-115	%mol	0,5	3600	0,5	1200 s
<b>TAGO011EKD01EA002XE02A</b>	0-115	%mol	0,5	3600	0,5	1200 s
<b>TAGO011EKD01EA002XE05A</b>	0-115	%mol	0,5	3600	0,5	1200 s
<b>TAGO011EKD01EA002XE06A</b>	0-115	%mol	0,5	3600	0,5	1200 s
<b>TAGO011EKD01EA002XE07A</b>	0-115	%mol	0,5	3600	0,5	1200 s
<b>TAGO011EKD01EA002XE08A</b>	0-115	%mol	0,5	3600	0,5	1200 s
<b>TAGO011EKD01EA002XE09A</b>	0-115	%mol	0,5	3600	0,5	1200 s
<b>TAGO011EKD01EA002XE10A</b>	0-115	%mol	0,5	3600	0,5	1200 s
<b>TAGO011EKD01EA002XE11A</b>	0-115	%mol	0,5	3600	0,5	1200 s
<b>TAGO011EKD01EA002XE12A</b>	0-115	%mol	0,5	3600	0,5	1200 s
<b>TAGO011EKD01EA002XG01A</b>	0-115	%mol	0,5	3600	0,5	1200 s

**Taula 9:** Modificacions realitzades en les característiques dels punts necessaris per els càlculs de les proves de rendiment.



Departament d'Enginyeria Electrònica Elèctrica i Automàtica

# **Automatització del procés de càlcul de les proves de rendiment d'una central de cicle combinat amb disposició monoeix**

## **3. ANNEXES**

**AUTOR:** Albert Font Aldaz

**DIRECTOR:** Luís Guasch Pesquer

**TUTOR:** Javier Pizarro Becué

**DATA:** Juny de 2010



# INDEX

<b>1</b>	<b>DOCUMENTACIÓ INICIAL .....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>SOFTWARE DE CàLCUL DE LES PROVES DE RENDIMENT .....</b>	<b>2</b>
2.1	ESTRUCTURA DEL SOFTWARE DE CàLCUL DE LES PROVES DE RENDIMENT .....	2
2.2	ORGANITZACIÓ DEL “PROGRAMA DE CàLCULO PRUEBAS DE RENDIEMIENTO” .....	2
2.3	CODI I FUNCIONAMENT DEL “PROGRAMA DE CàLCULO PRUEBAS DE RENDIEMIENTO” .....	3
2.3.1	<i>Formularis inicials</i> .....	4
2.3.1.1	FormRutaArxiu .....	4
2.3.1.2	FormEntrada .....	4
2.3.2	<i>Formulari mare o base</i> .....	5
2.3.3	<i>Formularis de càlcul de les proves de rendiment</i> .....	6
2.3.3.1	FormDatesProva .....	7
2.3.3.2	FormEntradaManual .....	7
2.3.3.2.1	FormComposicioGas .....	9
2.3.3.3	FormCalculosAtuo .....	9
2.3.4	<i>Formularis de resultats</i> .....	10
2.3.5	<i>Formularis de corbes de correcció</i> .....	12
2.3.5.1	FormSelectCurva .....	12
2.3.5.2	FromModifCurv .....	13
2.3.5.3	FormConsultaCurv .....	14
2.3.5.4	FormInterpolació .....	15
2.3.6	<i>Formularis de registre</i> .....	16
2.3.6.1	FormGuardarPR .....	16
2.3.6.2	FormCargarPR .....	17

## 1 Documentació inicial

Per elaborar els requisits de disseny d'aquest projecte s'han utilitzat els següents documents:

- Procediment de càlcul de les proves de rendiment: “STAG 109 FA Periodic Thermal Performance Combined Equipment Evaluation Procedure, Revision 2”, 2009.
- Càlcul del vapor de segellament N2 Packing: Marcus B. Caudill i Roland D. Griebenow, P.E, “Analysis of Leakage Between HP and IP Turbines Using PEPSE”, 1992.

## 2 Software de càlcul de les proves de rendiment

A continuació es presenta l'estructura, lògica de funcionament i codi del software de càlcul de les proves de rendiment, desenvolupat amb l'objectiu d'automatitzar el procés de càlcul de les proves de rendiment.

### 2.1 Estructura del software de càlcul de les proves de rendiment

El conjunt del programa de càlcul està format per dos elements. Per una banda l'arxiu “*Programa de cálculo pruebas de rendimiento*”, que és l'aplicatiu o programa principal des d'on es fan totes les intervencions per part de l'usuari per obtenir els resultats d'una prova de rendiment. Aquest programa s'ha desenvolupat amb llenguatge Visual Basic a partir del programa Visual Basic versió 6.0.

Per altra banda, el segon arxiu és el full de càlcul “*PR AUTO VB\_PI*”. Aquest segon actua com a subordinat respecte el programa anterior amb el que l'usuari no té accés en cap moment de l'execució del software. S'encarrega de realitzar tots els càlculs necessaris per obtenir els resultats de les proves de rendiment a partir de les dades transferides des del programa principal.

El software de càlcul és un programa de tipus interactiu, és a dir, que exigeix la intervenció de l'usuari durant la seva execució, per subministrar dades o bé per indicar al programa que ha de fer a continuació a través de menús.

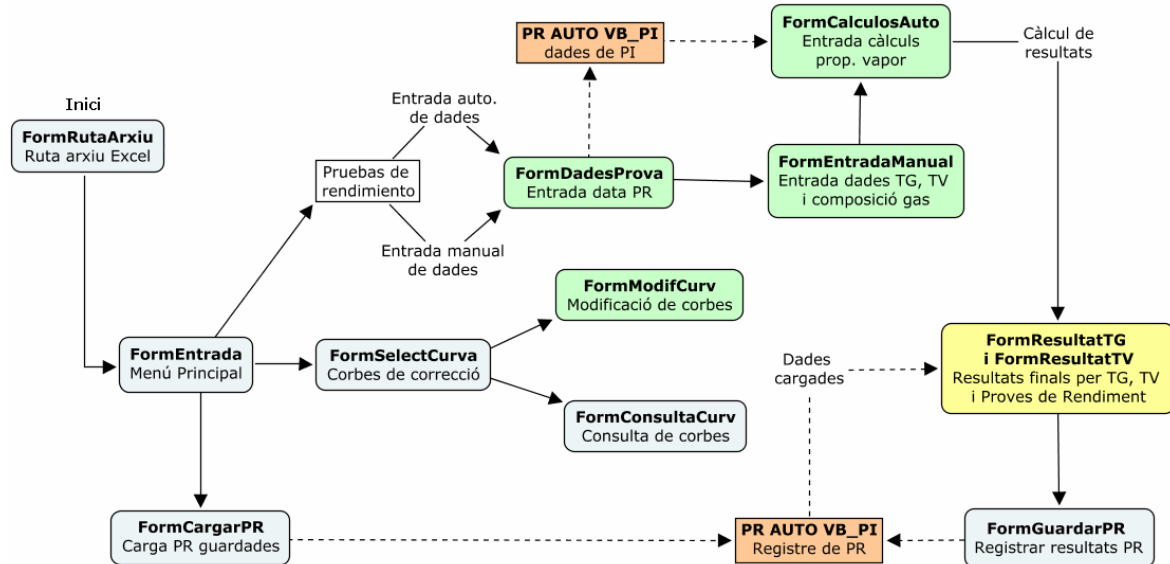
### 2.2 Organització del “Programa de cálculo pruebas de rendimiento”

El programa principal consta de tres funcions bàsiques:

- **Càlcul de les proves de rendiment:** el càlcul de les proves de rendiment es pot fer de forma automàtica o bé de forma manual, per si es volen comprovar proves de rendiment anteriors o bé utilitzar les dades que facilita el subministrador en l'informe del resultat de les proves.
- **Modificació de les corbes de correcció:** aquest apartat possibilita la modificació de les corbes de correcció de la turbina de gas degut al canvi de comportament d'aquesta turbina després d'una modificació paramètrica. També es possibilita la consulta de les corbes per verificar les corbes actuals.

- **Consulta de proves de rendiment:** la tercera opció del programa és la consulta de proves de rendiment prèvies guardades pel programa.

A continuació es mostra la estructura i organització que segueix el programa per respondre a aquestes tres funcions bàsiques. Alhora s'indiquen els formularis que intervenen en cada pas explicats en l'apartat 1.3.



*Figura 1: Diagrama de blocs l'organització i funcionament del software de càlcul de les proves de rendiment.*

### 2.3 Codi i funcionament del “Programa de cálculo pruebas de rendimiento”

El programa principal està format per un conjunt de formularis i sub-formularis que integren les funcions i sub-procediments bàsics per l'execució del mateix.

Els diferents formularis i sub-formularis de que consta el programa estan dividits en cinc grups:

- **Formularis inicials:** Aquest grup està format pel primer formulari que s'executa al obrir el programa, *FormRutaArxiu*, i pel formulari de menús que s'executa posteriorment, *FormEntrada*.
- **Formulari mare o base:** El formulari mare o base és la finestra MDI del programa (Multiple Document Interface) que s'executa en determinades parts del mateix: *MDIForm1*.
- **Formularis de càlcul de les proves de rendiment:** Aquest segon grup està format pels tres formularis que intervenen en el registre de dades necessàries per les proves de rendiment: *FormDadesProva*, *FormEntradaManual* i *FormCalculosAuto*.
- **Formularis de resultats:** En aquest grup es troben els dos formularis que s'encarreguen de mostrar els resultats de les proves: *FormResultatsTG* i *FormResultatsTV*.
- **Formularis de corbes de correcció:** Engloba els tres formularis corresponents a les actuacions de modificació o consulta de les corbes de

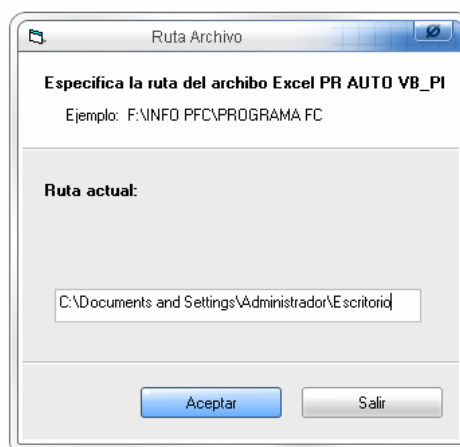
correcció, *FormSelectCurva*, *FormModifCurv* i *FormConsultaCurv*, i a més, l'assistent d'interpolació, *FormInterpolación*.

- **Formularis de registre:** els formularis de registre són aquells que permeten guardar o carregar els resultats de les proves de rendiment: *FormGuardarPR* i *FormCargarPR*.

### 2.3.1 Formularis inicials

#### 2.3.1.1 FormRutaArxiu

Aquest formulari és el primer que s'executa en iniciar-se el programa. En aquest s'introdueix la ruta de l'arxiu Excel "*PR AUTO VB\_PI*".



**Figura 2:** Finestra on s'introdueix la ruta de l'arxiu "*PR AUTO VB\_PI*"

Aquest formulari guarda la ruta de l'arxiu "*PR AUTO VB\_PI*" per poder establir comunicació posteriorment i transferir les dades. Alhora, es possibilita una futura modificació de la ruta en cas de que fos errònia a través del sub-procediment *Private Sub cmdModificar\_Click()*.

#### **Codi *FormRutaArxiu*:**

Aquesta part no està publicada per que conté informació confidencial.

#### 2.3.1.2 FormEntrada

El formulari *FormEntrada* actua com a menú principal del programa i com a sub-menú depenent de la opció seleccionada. D'es d'aquest es criden als formularis corresponents a la opció que l'usuari hagi seleccionat: **calcular proves de rendiment** amb obtenció de dades de forma manual o automàtica, **modificar o consultar les corbes de correcció** o bé **cargar proves de rendiment** prèviament registrades en el programa.



*Figura 3: Menú principal de les proves del programa*



*Figura 4: Sub-menús per la opció de càlcul de les proves de rendiment (esquerra) i sub-menú per les corbes de correcció (dreta).*

#### **Codi FormEntrada:**

Aquesta part no està publicada per que conté informació confidencial.

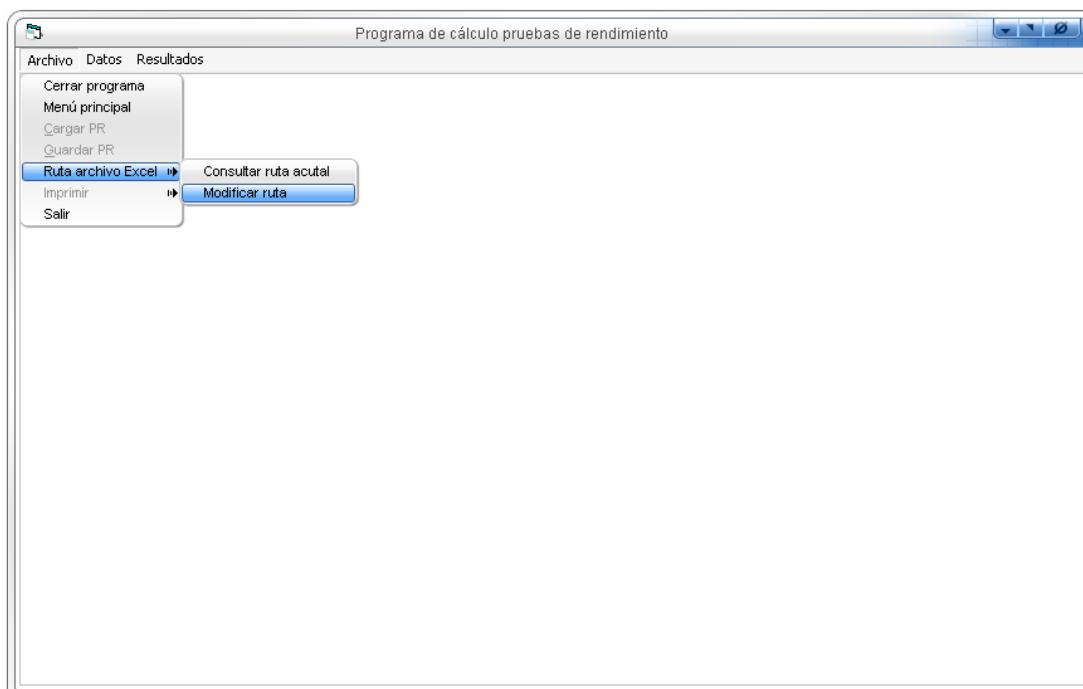
#### **2.3.2 Formulari mare o base**

El següent formulari, anomenat *MDIForm1*, és el formulari que executa la finestra primària des d'on es poden executar els formularis fills. Es tracta d'un *Multiple Document Interface*, que té la funció d'allotjar altres formularis dins seu, aportant-los els recursos situats en la barra de tasques que té aquest.

El formulari *MDIForm1* s'executa quan és cridat algun dels formularis *MDIchild*. Els formularis *MDIchild* que requereixen de l'execució del *MDIForm1* són els següents: *FormEntradaManual*, *FormCalculosAuto*, *FormResultatTG*, *FormResultatTV*, *FormModifCurv*, *FormConsultaCurv*, *FormCargarPR* i *FormGuardarPR*.

Els recursos que ofereix el formulari mare en la seva barra de tasques són els següents:

- **Archivo:** En aquest grup trobem les opcions de **guardar** o **cargar** els resultats d'una prova de rendiment, **canviar la ruta de l'arxiu PR AUTO VB\_PI**, **imprimir**, tornar al **menú principal** o **finalitzar el programa**.
- **Datos:** en l'apartat *datos* hi ha situades les següents opcions: obrir l'**assistent d'interpolació**, **registrar dades** entrades o **cargar dades** necessàries en el procés de càlcul de les propietats de vapor.
- **Resultados:** permet **obrir** les finestres que contenen els resultats de les proves de rendiment i **obtenir els resultats**.



**Figura 4:** Formulari mare *MDIForm*

Les funcions que realitzen els sub-procediments d'aquest formulari són cridar als processos o formularis corresponents a les opcions que hi ha a la barra de tasques, com finalitzar el programa, *Private Sub cmdCerrar\_Click()*, imprimir, *Private Sub cmdImprimirTV\_Click()*, o guardar els resultats d'una prova de rendiment *Private Sub cmdGuradarPR\_Click()*.

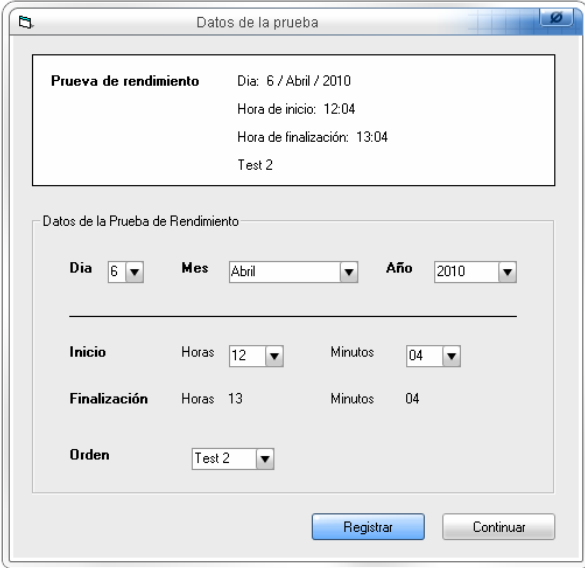
#### **Codi *MDIForm1*:**

Aquesta part no està publicada per que conté informació confidencial.

### 2.3.3 Formularis de càlcul de les proves de rendiment

#### 2.3.3.1 FormDatesProva

Abans d'iniciar els dos formularis restants d'aquest grup, s'executa el formulari FormDatesProva, que mostra una finestra on es demanen les dades del moment en que es realitzà la prova de rendiment que es vol calcular. Aquesta informació serveix per tenir la referència temporal que, una vegada transferida degudament, li servirà al PI per subministrar les dades dels instruments. Aquest és el funcionament de l'obtenció automàtica de dades per fer el càlcul de les proves de rendiment. Tal funció només es realitzarà si prèviament s'ha seleccionat en el sub-menú que es volen obtenir les dades automàticament.



The screenshot shows a window titled "Datos de la prueba" with a light blue header. Inside, there is a section "Prueba de rendimiento" with the following text: "Dia: 6 / Abril / 2010", "Hora de inicio: 12:04", "Hora de finalización: 13:04", and "Test 2". Below this is a section "Datos de la Prueba de Rendimiento" containing several dropdown menus: "Dia" (6), "Mes" (Abril), "Año" (2010), "Inicio" (Horas: 12, Minutos: 04), "Finalización" (Horas: 13, Minutos: 04), and "Orden" (Test 2). At the bottom right, there are two buttons: "Registrar" (highlighted in blue) and "Continuar".

**Figura 6:** Finestra d'entrada de dades temporals de la prova de rendiment

La funció principal que realitza aquest formulari és registrar en dos grups de variables els valors temporals que entra l'usuari: *Private Sub cmdRegistrar\_Click()*. Un dels grups serà el paquet de dades que es transferirà al document *PR AUTO VB\_PI*, per obtenir les dades automàticament a través del PI. El segon grup serà el que s'utilitzarà per mostrar aquestes dades temporals de les proves de rendiment en els resultats finals.

#### **Codi FormDatesProva:**

Aquesta part no està publicada per que conté informació confidencial.

#### 2.3.3.2 FormEntradaManual

El formulari *FormEntradaManual* s'encarrega de recollir les dades necessàries, que entra l'usuari, per a calcular els resultats de les proves de rendiment. Està compost de tres grups de dades: les dades referents a la turbina de vapor, les referents a la turbina de gas i les dades referents a la composició del gas. Aquest últim grup de dades es troba

recollit en un sub-formulari diferent, que s'activa al prémer el botó "Entrar valores" de l'apartat "COMPOSICIÓN DEL GAS" (vegi's apartat 1.3.3.2.1).

A mesura que es van omplint i registrant els grups de dades, l'indicador d'estat va variant segons l'evolució del procés de transmissió de dades cap al full de càlcul. Una vegada entrades i registrades totes les dades, el formulari activa el botó que permet anar a la següent fase.

Aquest formulari es visualitza si hem seleccionat l'opció d'entrar les dades manualment en el sub-menú.

The screenshot shows a software window titled "Programa de cálculo pruebas de rendimiento" with a menu bar containing "Archivo", "Editar", "Datos", "Calcular", and "Resultados". The main window is titled "Entrada manual de datos".

In the center, there is a box labeled "Estado" with the following content:

Estado		
TURBINA DE VAPOR	Valores entrados	Registrar
TURBINA DE GAS	Faltan entrar valores	Registrar
COMPOSICIÓN DEL GAS	Faltan entrar valores	

Below this, there are two data entry panels:

**DATOS TURBINA DE VAPOR**

Presión ambiente	S1\BAR-1	1.012	bar,a
Caudal alimentación calderín AP	1LAP50CF001	312040	kg/h
Presión vapor AP	S1\NP_P	89.056	bar
Temperatura vapor AP	S1\TT_JS	564.659	°C
N2 Packing Flow	Resultado Test	49630.45	kg/h
Presión CRH	RSH-2_BARG	36.89745	bar
Temperatura CRH	1LBC10CT001	438.8123	°C
Presión HRH	S1\HRHP_P	35.4589	bar
Temperatura HRH	S1\TT-RSH	653.6482	°C
Caudal alimentación calderín MP	1LAP40CF001	23000	kg/h
Atemperación del vapor MP	1LAF02CF001	4238.48	kg/h
Presión del Crossover	P_CROSSV_BARG	3.236	bar
Temperatura del Crossover	T_CROSSV	301.258	°C
Admisión de vapor de BP	1LBD10CF001	45300	kg/h

**DATOS TURBINA DE GAS**

Temperatura ambiente	G1\CTIM	0	°C
Humedad relativa	HR-1	0	%
Presión entrada compresor	G1\AFPAP_P	0	mbar,a
Velocidad del eje	S1\TNH-RPM	0	rpm
Perdida presión entrada compresor	G1\AFPCS	0	mmH2O
Perdida presión escape	G1\AFPEP	0	mmH2O
Temperatura del gas	G1\FTG	0	°C
Gas flow	1EKD22CF001\G02A	0	m <sup>3</sup>

At the bottom right, there is a box labeled "COMPOSICIÓN DEL GAS" with an "Entrar valores" button.

**Figura 7: Formulari d'entrada de dades manualment**

Els sub-procediments més importants que s'executen en el formulari són *Private sub cmdWrite1\_Click()* i *Private sub cmdWrite2\_Click()*, que transmeten les dades al full de càlcul de *PR AUTO VB\_PI*. La seqüència que segueixen és la següent: primer comproven que s'hagin entrat totes les dades correctament; després estableixen comunicació amb el full de càlcul i transmeten a les caselles corresponents els valors entrats per l'usuari. Finalment guarden els canvis i tanquen el full de càlcul. Una vegada s'ha acabat el procés de transmissió de dades, canvien la posició dels indicadors d'estat.

Un altre sub-procediment essencial és el *Private Sub cmdAnteriores\_Click()*, que té la funció de recuperar els valors entrats per l'usuari del formulari *FormComposicioGas* en el cas de retrocedir des del formulari *FormCalculosAuto* (formulari que prossegueix al *FormEntradaManual*) per corregir algun valor entrat prèviament. La recuperació de les dades si es prové del formulari *FormCalculosAuto* és necessària ja que quan es canvia de formulari es perden les dades. Aquesta recuperació passa per obrir el full de càlcul, llegir-ne els valors i escriure'ls en les caselles



corresponents del formulari, i, finalment tancar el document Excel sense guardar els canvis.

### **Codi *FormEntradaManual*:**

Aquesta part no està publicada per que conté informació confidencial.

#### **2.3.3.2.1 *FormComposicioGas***

Com s'ha citat en l'apartat anterior, l'accés a aquest sub-formulari és des del formulari *FormEntradaManual*. La seva funció és recollir les dades referents a la composició del gas.

Una vegada s'han omplert tots els camps, es passa al registre dels valors i es surt del sub-formulari, tornant al formulari descrit anteriorment.

COMPOSICIÓN DEL GAS AL INICIAR LA PRUEBA		COMPOSICIÓN DEL GAS AL FINALIZAR LA PRUEBA		
C1H4 -> Metano	<input type="text"/>	%mol	0	%mol
C2H6 -> Etano	<input type="text"/>	%mol	0	%mol
C3H8 -> Propano	<input type="text"/>	%mol	0	%mol
n-C4 -> n-Butano	<input type="text"/>	%mol	0	%mol
I-C4 -> Isobutano	<input type="text"/>	%mol	0	%mol
n-C5 -> n-Pentano	<input type="text"/>	%mol	0	%mol
I-C5 -> Isopentano	<input type="text"/>	%mol	0	%mol
C6H14 -> Hexano	<input type="text"/>	%mol	0	%mol
N2 -> Nitrogeno	<input type="text"/>	%mol	0	%mol
CO2 -> Dioxido de Carbono	<input type="text"/>	%mol	0	%mol

Borrar valores    Registrar valores    Salir

**Figura 8:** *Formulari d'entrada de dades de la composició del gas*

La funció principal que realitza el sub-formulari *FormComposicioGas* és registrar els valors entrats per l'usuari al full de càlcul (`Private Sub cmdWrite_click()`).

### **Codi *FormComposicioGas*:**

Aquesta part no està publicada per que conté informació confidencial.

#### **2.3.3.3 *FormCalculosAtuo***

El següent formulari serveix per obtenir les propietats del vapor necessàries pels càlculs. Està compost de quatre sub-formularis anomenats "Calculos A", "Calculos B", "Calculos C" i "Calculos D". En cadascun d'ells es demana que es calculin unes propietats determinades del vapor en funció d'uns valors primaris que es mostren.

Una vegada s'han calculat i entrat totes les propietats del vapor que es demanen en els quatre apartats és el torn de registrar el valors, que és quan es transferiran les dades al full de càlcul. Finalitzada aquesta acció s'activa el botó "RESULTADOS" (situat en la part inferior), que permet passar a la següent fase: consulta dels resultats.

			ENTALPIA	ENTROPIA	VOLUMEN
Temperatura	564.659	°C	3547.93	6.85967	0.0407636
Presión	90.009	Bar,a	kJ/kg	kJ/(kgK)	m3/kg
Temperatura	438.812	°C	3309.78		
Presión	36.897	Bar,a	kJ/kg		
Temperatura	563.489	°C	0		
Presión	35.459	Bar,a	kJ/kg		
Temperatura	301.258	°C	0	0	
Presión	3.236	Bar,a	kJ/kg	kJ/(kgK)	
Temperatura	301.255	°C	0		
Presión	3.523	Bar,a	kJ/kg		
Temperatura	565.5	°C	0		
Presión	35.692	Bar,a	kJ/kg		

**Figura 9:** *Formulari d'entrada de les propietats del vapor*

Els sub-procediments més importants que realitza el formulari *FormCalculosAuto*, són llegir les dades corresponents als valors primaris a partir dels quals calcular les propietats del vapor, registrar les dades entrades i recuperar els valors entrats prèviament en el formulari *FormCalculosAuto* (en cas de que s'hi vulgui retornar a modificar o consultar algun valor).

La seqüència que segueix la sub-rutina *Public sub cmdGet1\_click()*, igual que les que segueixen les subrutines *cmdGet2*, *Get3* i *Get4*, consisteix en obrir el full de càlcul, llegir les dades i escriure-les en les caselles corresponents del formulari i, finalment, tancar el full de càlcul sense guardar els canvis.

En el cas del sub-procediment *Public sub cmdWrite\_click()*, el que es fa primerament és comprovar que s'hagin entrat correctament la totalitat de les dades demanades. Seguidament s'estableix comunicació amb el document *PR AUTO VB\_PI* i se li transfereixen les dades. A continuació, es dona la ordre de guardar els canvis i tancar el document. Finalment s'activa el boto "RESULTADOS", que permet consultar els resultats de la prova de rendiment.

L'últim sub-procediment important, *Private Sub cmdBackEntradaManu\_Click()*, recupera les dades del formulari *FormEntradaManual* quan es vol retornar a aquest formulari. La seqüència seguida és la mateixa que en el primer cas, amb la diferència que les dades llegides s'escriuen en un formulari diferent del que s'està executant.

### **Codi *FormCalculosAuto*:**

Aquesta part no està publicada per que conté informació confidencial.

### 2.3.4 Formularis de resultats

El programa de càlcul consta de dos formularis, un per turbina de gas (*FormResultatsTG*) i un segon per la turbina de vapor (*FormResultatsTV*), que mostren els resultats de les proves de rendiment, ja sigui una vegada finalitzats els càlculs o bé al carregar una prova de rendiment registrada.

Els dos formularis tenen la mateixa estructura, tot i que en quan al format visual, són aparentment diferents. El seu funcionament és molt similar i realitzen les mateixes funcions: carregar els resultats de la prova de rendiment corresponent i imprimir-los.

L'única diferència que trobem és la longitud, ja que el formulari de la turbina de vapor és més del doble d'extens, el que implica un major volum de dades.

The screenshot displays two windows from a software application titled "Programa de cálculo pruebas de rendimiento".

**Registro TG (Gas Turbine):**

- Buttons: "Opciones resultados", "Imprimir"
- Section: **GAS TURBINE PERFORMANCE CALCULATION SUMMARY**
- Test number: Test 1
- Date: 14/05/2008
- Starting time: 10H00'
- Ending time: 11H00'
- Table: Measured (Generator Net)

		Units
Output	239051	kW
Heat consumption (LHV)	2409173132.3	kJ/hr
Heat Rate (LHV)	10078	kJ/kWh

**Gas Turbine Corrected Performance:**

Output	240434.6	kW
Heat Rate (LHV)	10033.7	kJ/kWh

**Guarantee Conditions:**

Ambient Temperature	1.0118	C
Ambient Pressure	68.3	bar
Ambient Relative Humidity	3000	%
GT Shaft Speed	0.9	rpm

**Registro TV (Steam Turbine):**

- Buttons: "Opciones resultados", "Imprimir"
- Section: **STEAM TURBINE PERFORMANCE CALCULATION SUMMARY**
- Test number: Test 1
- Date: 14/05/2008
- Starting time: 10H00'
- Ending time: 11H00'
- Table: Measured Output Generator

		Units
Generator measured Output	376221.2	kW
Generator Losses	4440	kW
Total Shaft Power	380662	kW
Generator Bearing Loss	1180	kW
Generator Electrical Loss	3260	kW
Generator Net Output	375308	kW
Excitation	955	kW
PF Correction	-42	kW

**Calculated Output Steam Turbine:**

Steam Turbine Shaft Power	138200.3	kW
Steam Turbine Bearing Losses	460	kW
Steam Turbine Net Power Output	136256.6	kW

**Figura 10:** Formularis de resultats de les proves de rendiment

La funció més important que executen els dos formularis és la de carregar les dades corresponents als resultats de les proves de rendiment. D'això s'encarrega el subprocediment *Public Sub cmdGet\_Clsick()*. Els passos que segueix per arribar a carregar els valors són els següents: primerament estableix comunicació amb el full de càlcul, on ja s'han processat els càlculs després de la prèvia introducció de les dades, o bé s'ha trobat el registre del qual es volen llegir les dades. A continuació, es comença per llegir els ítems de que consten els resultats. Alguns d'aquest ítem són llegits i escrits de forma lineal i altres (la majoria), són llegits i escrits en la casella corresponent seguint un bucle, per reduir espai de codi i també per reduir el nombre de possibles errors. Tot seguit es procedeix a la lectura i escriptura de les unitats, també seguint un bucle. Finalment, es llegeixen els valors numèrics dels resultats tot aplicant un arrodoniment per no acumular decimals innecessaris. Una vegada acabat aquest procés el formulari talla la comunicació amb el document Excel sense guardar cap canvi.

La segona funció que realitzen els formularis és la d'imprimir els resultats. El sub-procediment que executa la funció d'imprimir, però, no imprimeix els resultats del seu propi formulari sinó que imprimeix els resultats des del full Excel. La gestió necessària per poder imprimir els resultats és transferir els valors numèrics des del formulari de resultats cap a la plantilla que conté el full Excel pels informes dels resultats de les proves de rendiment. El sub-procediment *Public Sub PrintForm* s'encarrega d'aquesta funció.

Els resultats no s'imprimeixen des del propi formulari degut a que imprimir amb Visual Basic implica molta més complexitat per uns resultats més pobres, en quan a qualitat i format, que els que pot oferir la impressió directa des d'un full de càlcul.

### **Codi *FormResultatsTG*:**

Aquesta part no està publicada per que conté informació confidencial.

### **2.3.5 *Formularis de corbes de correcció***

Els formularis que possibiliten el canvi o consulta de les corbes de correcció són dos, el *FormSelectCurva* i el *FormModifCurv*.

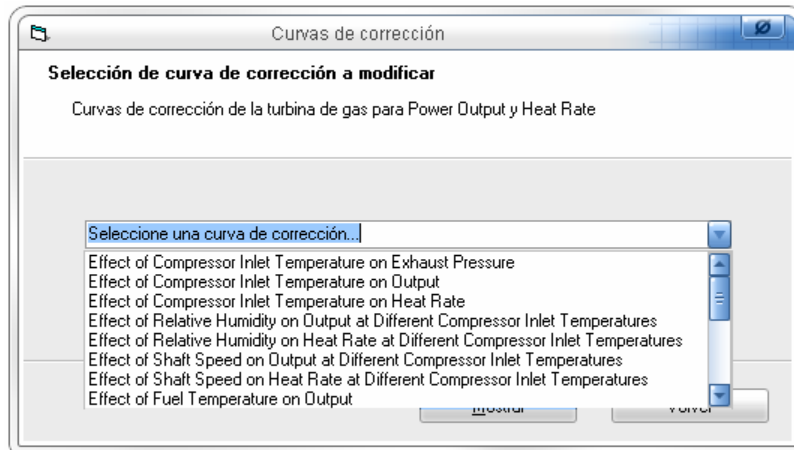
Les corbes de correcció d'una turbina de gas és possible que variïn amb el pas del temps, degut a alguna modificació. És per això que es fa important disposar d'una eina que permeti modificar aquestes corbes. D'aquesta manera el programa de càlcul s'adaptarà als possibles canvis i seguirà essent útil fins la fi de l'operació de la planta.

#### **2.3.5.1 *FormSelectCurva***

Aquest formulari es mostra abans d'accedir al formulari de modificació o consulta de corbes exposat en el següent apartat. Per accedir-hi, s'ha de seleccionar "curbas de corrección" en el menú principal i una de les dues opcions, modificació o consulta de les corbes, del submenú que apareixerà a continuació del menú principal.

El formulari *FormSelectCurva* actua com a gestor de dades del *FormModifCurv*, ja que hi ha fins a 16 corbes de correcció que poden canviar amb el temps, que contenen la majoria 6 equacions. Cada equació té tres referències diferents que possibiliten el canvi i la seva futura consulta sense haver d'obrir el full de càlcul on s'implanten aquestes les modificacions. Aquestes tres referències són: la casella utilitzada per la consulta, on es llegeix la equació actual o s'escriu la equació modificada; la casella utilitzada en el càlcul, on s'escriu la nova equació i, finalment, la casella on està el valor de la "x" de la equació.

El formulari, doncs, subministra les dades necessàries en funció de la corba que es seleccioni per a consultar o modificar.



**Figura 11:** Formulari de selecció de corbes de correcció

El sub-procediment principal d'aquest formulari és el *Private Sub cmdMostrar\_Click()* que efectua aquesta gestió mencionada anteriorment. S'utilitza una sentència *case* per seleccionar el grup de dades pertinents a la corba de correcció que es desitja consultar o modificar. Una altre funció que realitza aquest sub-procediment, és carregar les dades corresponents a les corbes vigents, del full de càlcul, al formulari *FormModifCurv* que s'obrirà a continuació.

#### **Codi *FormResultatsTG*:**

Aquesta part no està publicada per que conté informació confidencial.

#### 2.3.5.2 FromModifCurv

Des d'aquest formulari és des d'on es poden fer les modificacions de les corbes de correcció en el cas que variïn amb el temps al implementar modificacions a la TG. Aquest formulari s'executarà si en el submenú de les corbes de correcció s'ha seleccionat la opció de modificar les corbes de correcció i si s'entra correctament la contrasenya que en restringeix l'accés. D'aquesta manera s'anul·la la possibilitat de corrompre els factors de correcció, i en definitiva, els càlculs.

El formulari *FormModifCurv* està pensat per introduir d'una manera molt segura i senzilla les corbes de correcció, ja que la equació de cada corba té un format específic que s'ha de respectar. Del contrari reportaria un error que invalidaria el càlcul de les proves de rendiment.

Programa de cálculo pruebas de rendimiento

Archivo Datos Resultados

**Curvas de corrección TG para Effect of Relative Humidity on Heat Rate at Different Compressor Inlet Temperatures**

**Modificación de curvas de corrección de la Turbina de Gas**

Después de comprobar que la ecuación inicial no es la correcta, introducir la nueva ecuación y revisarla tras haberla revisado.

Introducir la ecuación de la curva de corrección de - 8 ºC

y =  x<sup>0</sup>  x<sup>1</sup>  x<sup>2</sup>  x<sup>3</sup>  x<sup>4</sup>  x<sup>5</sup>

**Ecuación 1**  
y=0,0000032171683\*(\$T\$158)+0,99977857

Introducir la ecuación de la curva de corrección de - 0,7 ºC

y =  x<sup>0</sup>  x<sup>1</sup>  x<sup>2</sup>  x<sup>3</sup>  x<sup>4</sup>  x<sup>5</sup>

**Ecuación 2**  
y=0,0000083801599\*(\$T\$166)+0,99942144

Introducir la ecuación de la curva de corrección de + 9,5 ºC

y =  x<sup>0</sup>  x<sup>1</sup>  x<sup>2</sup>  x<sup>3</sup>  x<sup>4</sup>  x<sup>5</sup>

**Ecuación 3**  
y= 0,000018317983\*(\$T\$174)+0,99873715

Introducir la ecuación de la curva de corrección de + 16,2 ºC

y =  x<sup>0</sup>  x<sup>1</sup>  x<sup>2</sup>  x<sup>3</sup>  x<sup>4</sup>  x<sup>5</sup>

**Ecuación 4**  
y=0,000032921313\*(\$T\$182)+0,99773497

Introducir la ecuación de la curva de corrección de + 26,9 ºC

y =  x<sup>0</sup>  x<sup>1</sup>  x<sup>2</sup>  x<sup>3</sup>  x<sup>4</sup>  x<sup>5</sup>

**Ecuación 5**  
y=0,0000000000042714669\*(\$T\$190)^4 - 0,00000000090673145\*(\$T\$190)^3+0,000000097751456\*(\$T\$190)^2+0,000073816287\*(\$T\$190) + 0,99465019

Ecuación de la curva de corrección de 35,7 ºC

y =  x<sup>0</sup>  x<sup>1</sup>  x<sup>2</sup>  x<sup>3</sup>  x<sup>4</sup>  x<sup>5</sup>

**Ecuación 6**  
y=0,0000000000021032362\*(\$T\$198)^4-0,0000000035803449\*(\$T\$198)^3+ 0,0000003554462\*(\$T\$198)^2+0,00015251489\*(\$T\$198)+0,98850048

**Figura 11:** *Formulari de modificació de les corbes de correcció*

Les funcions principals que realitza el codi en aquest formulari són les de carregar les corbes de correcció actuals en el full de càlcul, comprovar que les existents en l'Excel no són les vigents després de la modificació de la turbina de gas, i registrar les noves equacions de les corbes de correcció que entre l'usuari.

El subprocediment que realitza la funció de carregar les corbes de correcció actual és el *Public Sub cmdMostrar1\_click()*, i el que fa és establir comunicació amb el full de càlcul, llegir les cel·les que contenen la referència de l'equació actual i escriureu en les caselles corresponents del formulari.

El registre de les noves equacions que entra l'usuari el realitzen les subrutines *Private Sub cmdescriure1\_click()*, *escriure 2*, *escriure 3*, *escriure4*, *escriure5* i *escriure6*. Aquest procés comença per mostrar un quadre de diàleg amb la equació que es desitja entrar i es pregunta si realment es vol canviar la equació. En cas afirmatiu, el programa obre comunicació amb el full de càlcul, sobreescriu la equació al respecte i la de referència (que és la que es mostra en el formulari) i tanca guardant els canvis.

**Codi FormModifCurv:**

Aquesta part no està publicada per que conté informació confidencial.

### 2.3.5.3 FormConsultaCurv

Per tal de facilitar la consulta de les corbes de correcció sense necessitat d'accedir al formulari de modificació, el software de càlcul de les proves de rendiment incorpora aquest apartat de consulta de corbes de correcció. L'accés és des del submenú principal, seleccionant "consulta de curvas".

Programa de cálculo pruebas de rendimiento

Archivo Datos Resultados

Curvas de corrección TG para Effect of Shaft Speed on Output at Different Compressor Inlet Temperatures

Consulta de curvas de corrección de la Turbina de Gas

En caso de detectar diferencias respecto las curvas actuales, pasar al apartado de modificación de curvas

Ecuación de la curva de corrección de - 8 °C

**Ecuación 1**  
 $y = 827,63939 - 1666,1325*(S)S216 - 112,29014*(S)S216^2 + 1217,9064*(S)S216^3 + 599,06603*(S)S216^4 - 359,83359*(S)S216^5 - 1177,1088*(S)S216^6$

Ecuación de la curva de corrección de 0,7 °C

**Ecuación 2**  
 $y = -611,87919 + 1222,6956*(S)S224 + 93,055313*(S)S224^2 - 890,33522*(S)S224^3 - 441,37413*(S)S224^4 + 256,94375*(S)S224^5 +$

Ecuación de la curva de corrección de 9,5 °C

**Ecuación 3**  
 $y = -2542,6936 + 5097,7822*(S)S232 + 339,46591*(S)S232^2 - 3672,2076*(S)S232^3 - 1831,6055*(S)S232^4 + 1075,5217*(S)S232^5 + 3554,1365*(S)S232^6$

Ecuación de la curva de corrección de 16,2 °C

**Ecuación 4**  
 $y = 2180,604 - 4393,656*(S)S240 - 310,07004*(S)S240^2 + 3235,0213*(S)S240^3 + 1581,2159*(S)S240^4 - 953,02833*(S)S240^5 - 3123,4982*(S)S240^6 +$

Ecuación de la curva de corrección de 26,9 °C

**Ecuación 5**  
 $y = -228,17109 + 449,70031*(S)S248 + 20,300824*(S)S248^2 - 297,55532*(S)S248^3 - 157,26219*(S)S248^4 + 86,700827*(S)S248^5 + 291,29914*(S)S248^6$

Ecuación de la curva de corrección de 35,7 °C

**Ecuación 6**  
 $y = 5095,7099 - 10254,036*(S)S256 - 700,03935*(S)S256^2 + 7485,7961*(S)S256^3 + 3686,192*(S)S256^4 - 2203,8159*(S)S256^5 - 7235,3926*(S)S256^6$

Actualizar Menu curvas Salir

**Figura 12:** Formulari de consulta de corbes de correcció

El sub-procediment que carga les dades corresponents al factor de correcció seleccionat en el formulari *FormSelectCurva*, té la mateixa lògica de funcionament que el sub-procediment *Public sub cmdMostrar\_click()* exposat anteriorment.

#### **Codi del formulari *FormConsultaCurv*:**

Aquesta part no està publicada per que conté informació confidencial.

### 2.3.5.4 FormInterpolació

Aquest formulari es crea amb la intenció d'agilitzar el procés de càlcul d'un factor de correcció bivariant, ja que implica fer una interpolació entre el valor de la equació de la recta superior i inferior respecte la variable de la que es vol conèixer el factor de correcció.

Aquest assistent d'interpolació s'obre des de la barra de tasques del formulari base o mare MDIForm1, on es troben situats la majoria dels processos del programa.

**Figura 13:** Assistent d'interpolació

**Codi del formulari *FormInterpolacion*:**

Aquesta part no està publicada per que conté informació confidencial.

**2.3.6 Formularis de registre**

**2.3.6.1 FormGuardarPR**

El formulari *FormGuardarPR*, permet guardar els resultats d'una prova de rendiment en el registre del full de càlcul, per poder ser recuperats en un futur. Aquest formulari només es pot executar des de la barra de tasques del formulari mare quan s'ha arribat al final del procés de càlcul d'unes proves de rendiment i s'estan visualitzant els resultats a través dels formularis *FormResultatsTG* i *FormResultatsTV*.

**Figura 13:** Formulari per guardar els resultats de les proves de rendiment



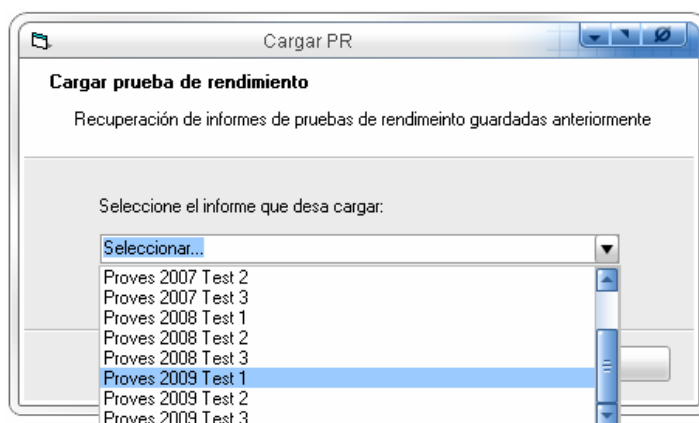
La subrutina principal del formulari és *Private Sub cmdGuardar\_Click()* que executa la seqüència que permet el registre dels valors. Primerament, el sub-procediment estableix comunicació amb el full de càlcul i llegeix quin espai de memòria és el que està preparat per rebre les dades. A continuació s'escriu el nom del registre que ha entrat l'usuari i es comencen els bucles de lectura i escriptura de dades en el document Excel. Aquests bucles, llegeixen el valors a guardar dels resultats de les proves de rendiment i a continuació els escriuen en la posició de memòria disponible a continuació de les dades prèviament guardades pel mateix bucle.

### **Codi *FormGuardarPR*:**

Aquesta part no està publicada per que conté informació confidencial.

#### 2.3.6.2 *FormCargarPR*

Una de les tres opcions principals del software de càlcul és la de carregar resultats d'altres proves de rendiment realitzades amb anterioritat i guardades pel programa. D'aquesta manera el programa realitza la funció d'arxiu històric dels resultat de les proves de rendiment al llarg del temps. El formulari que realitza la funció de carregar els resultats s'anomena *FormCargarPR*, i es pot executar des del menú principal o bé de la barra de tasques del formulari mare *MDIForm1*.



**Figura 14:** Formulari per carregar proves de rendiment guardades

El sub-procediment que carrega els valors corresponents a la prova de rendiment que ha seleccionat l'usuari, *Private Sub cmdCargar\_click()*, realitza la funció inversa al formulari de registre de resultats exposat en l'apartat anterior. Una vegada ha establert comunicació amb el full de càlcul i ha trobat l'espai de memòria on hi ha guardats els resultats que es desitgen carregar, s'inicien bucles de lectura de dades del full de càlcul i escriptura en les caselles corresponents dels formularis *FormResultatsTG* i *FormResultatsTV*, que han estat prèviament oberts pel sub-procediment. D'aquesta manera es llegeixen tots els ítems, unitats i valors de que consten els resultats d'una prova de rendiment.

### **Codi *FormCargarPR*:**

Aquesta part no està publicada per que conté informació confidencial.



Departament d'Enginyeria Electrònica Elèctrica i Automàtica

# **Automatització del procés de càlcul de les proves de rendiment d'una central de cicle combinat amb disposició monoeix**

## **4. PLANOLS**

**AUTOR:** Albert Font Aldaz

**DIRECTOR:** Luís Guasch Pesquer

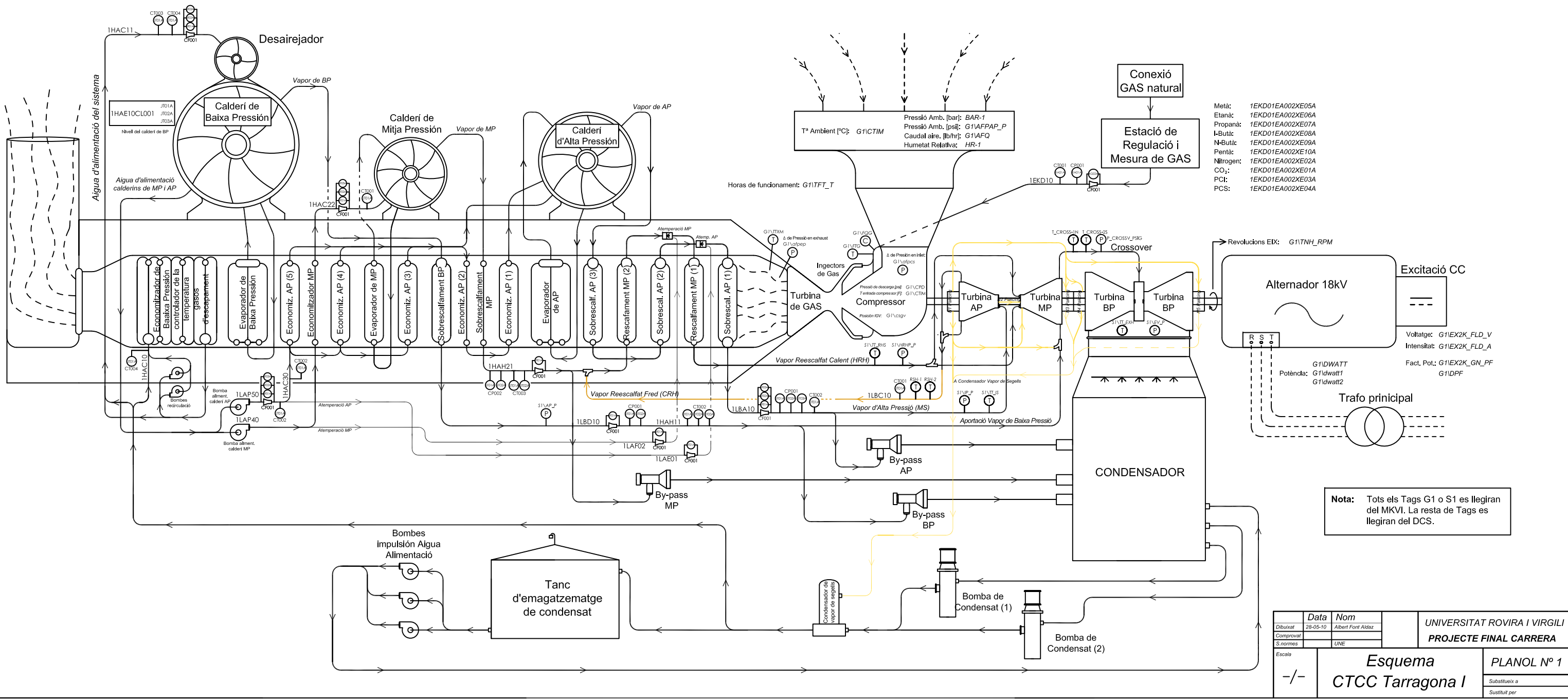
**TUTOR:** Javier Pizarro Becué

**DATA:** Juny del 2010

## **INDEX**

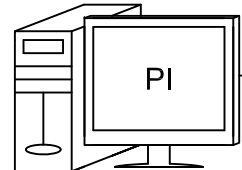
- 1. ESQUAMA CTCC TARRAGONA I..... 1**
- 2. SISTEMES DE REGULACIÓ I CONTROL..... 2**

# Proves de rendiment: esquema d'instrumentació

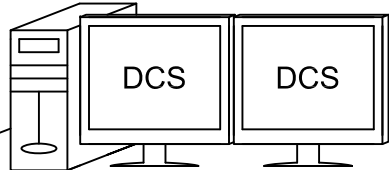


Data	Nom	
Dibuixat: 28-05-10	Albert Font Aldaz	UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI
Comprovat:		PROJECTE FINAL CARRERA
S.normes	UNE	
Escala: -/-	Esquema CTCC Tarragona I	PLANOL N° 1
		Substitueix a
		Substituit per

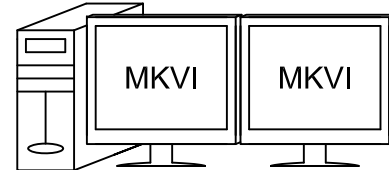
Sistema PI, monitorització i historització de dades



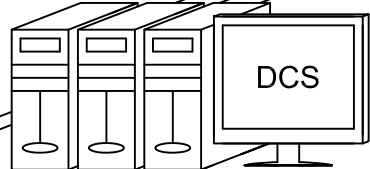
Monitorització i control de la planta des del sistema des d'operació



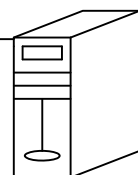
Monitorització i control de la planta des del sistema des d'operació



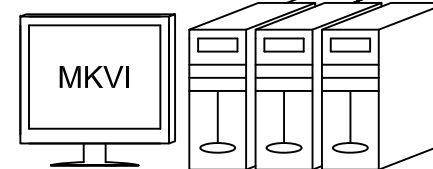
Processador central del DCS



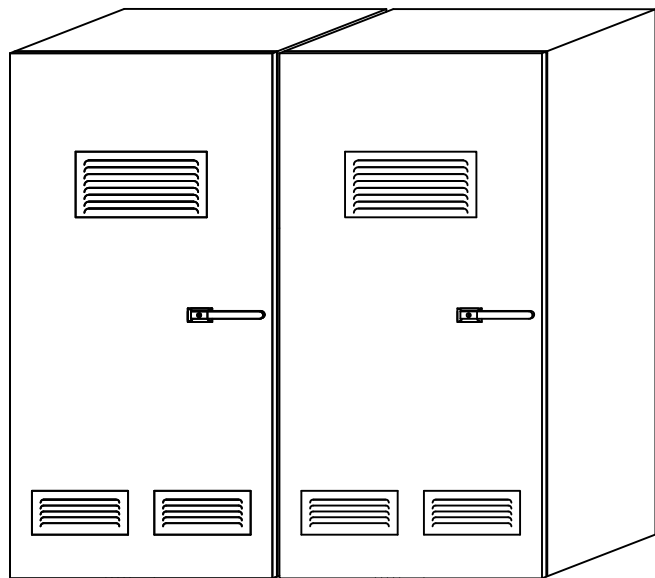
Interface de comunicació MKVI-DCS



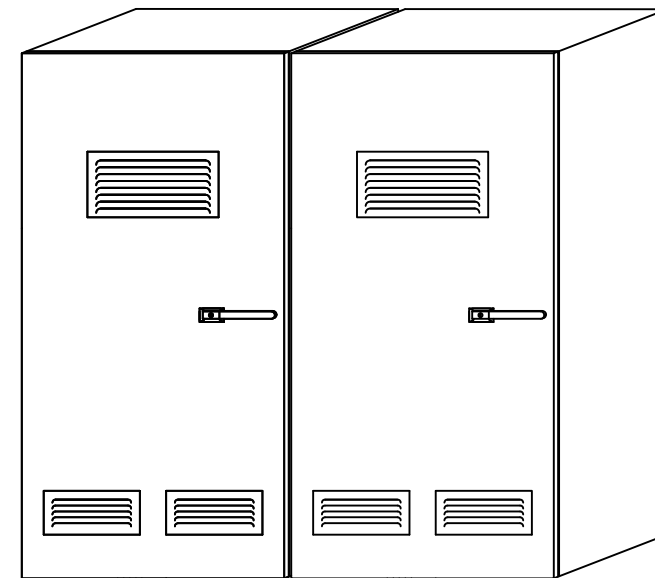
Processador central del MKVI



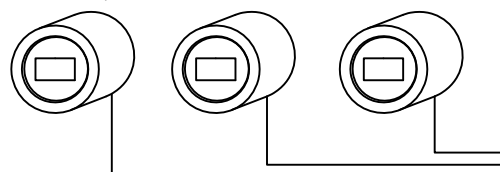
Armaris de comunicació entre les senyals dels instruments i el processador central del sistema DCS a través de targetes



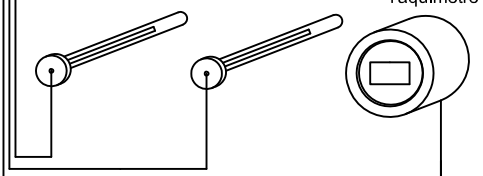
Armaris de comunicació entre les senyals dels instruments i el processador central del sistema MKVI a través de targetes



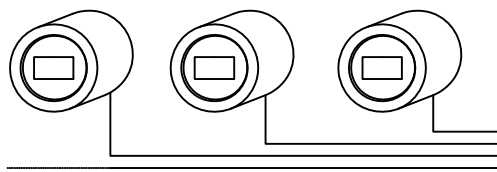
Medidor de pressió Medidor de cabal Medidor de nivell



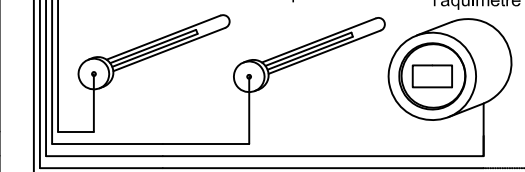
Sondes de temperatura Taquímetre



Medidor de pressió Medidor de cabal Medidor de nivell



Sondes de temperatura Taquímetre



	Data	Nom	UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI <b>PROJECTE FINAL CARRERA</b>
Dibuixat	28-05-10	Albert Font Aldaz	
Comprovat			
S.normes		UNE	
Escala	-/-		<b>Sistema de regulació i control</b>
			<b>PLANOL N° 2</b>
			Substitueix a
			Sustituït per



Departament d'Enginyeria Electrònica Elèctrica i Automàtica

# **Automatització del procés de càlcul de les proves de rendiment d'una central de cicle combinat amb disposició monoeix**

## **5. PLEC DE CONDICIONS**

**AUTOR:** Albert Font Aldaz

**DIRECTOR:** Luís Guasch Pesquer

**TUTOR:** Javier Pizarro Becué

**DATA:** Juny del 2010

Aquest apartat no és d'aplicació en aquest projecte.



Departament d'Enginyeria Electrònica Elèctrica i Automàtica

# **Automatització del procés de càlcul de les proves de rendiment d'una central de cicle combinat amb disposició monoeix**

## **6. ESTAT D'AMIDAMENTS**

**AUTOR:** Albert Font Aldaz

**DIRECTOR:** Luís Guasch Pesquer

**TUTOR:** Javier Pizarro Becué

**DATA:** Juny del 2010



Aquest apartat no és d'aplicació en aquest projecte.



Departament d'Enginyeria Electrònica Elèctrica i Automàtica

# **Automatització del procés de càlcul de les proves de rendiment d'una central de cicle combinat amb disposició monoeix**

## **7. PRESSUPOST**

**AUTOR:** Albert Font Aldaz

**DIRECTOR:** Luís Guasch Pesquer

**TUTOR:** Javier Pizarro Becué

**DATA:** Juny del 2010

Aquest apartat no és d'aplicació en aquest projecte.