
ENGIE Lab | Laborelec

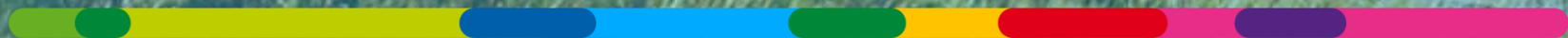
Flexibilidad Operacional de Centrales Convencionales

Workshop CIGRE

25 de Julio 2016 – Santiago, Chile



Sebastián Michels Alfaro
Lead Engineer – Power Systems
sebastian.michels@engie.com



Confidential

Restricted

Public

Internal

ENGIE Lab | LABORELEC Identity Kit

Centro de expertise técnica e I+D aplicado en energía

- *Activos en toda la cadena de valor de la energía: Generación, transmisión, distribución, almacenaje y uso.*
- Expertos en energía eléctrica y tecnologías de generación
 - *Carbón, CCGT, Hydro, Nuclear y ERNC*
- 240 ingenieros e investigadores
- Oficinas en Bélgica, Holanda, Alemania y Chile
- Investigación (40%) y servicios (60%)
- ENGIE (75%) y externos (25%)
- Reconocido como laboratorio independiente por la comisión europea



CONTENTS

Capítulo 1

Introducción

Capítulo 2

Los ejes de flexibilidad

Capítulo 3

Algunas Iniciativas de Flexibilidad

Capítulo 4

Conclusiones

01

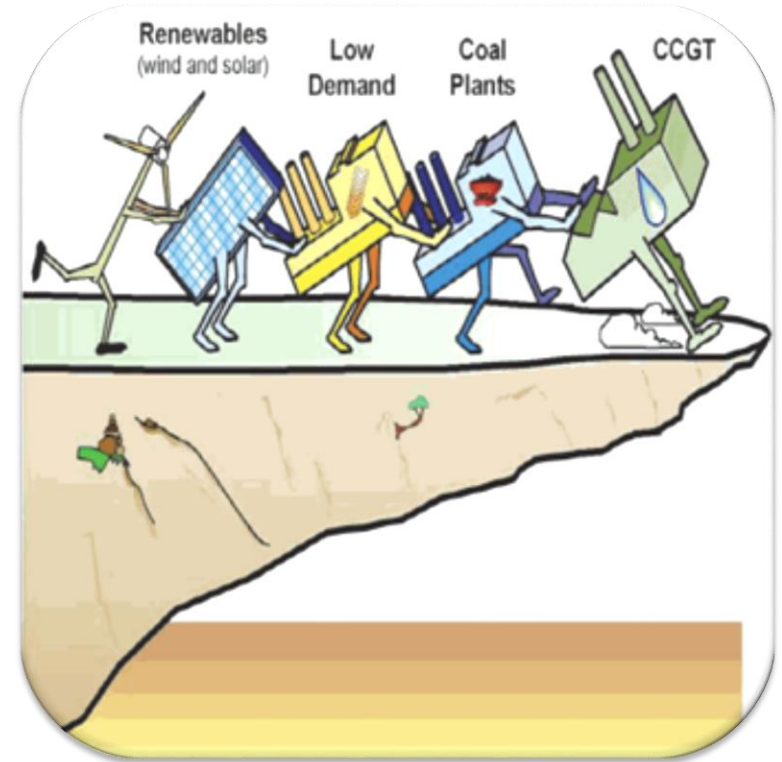
Introducción y Definiciones



Introducción

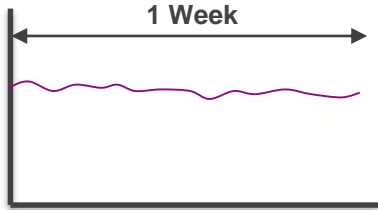
La flexibilidad de los Ciclos Combinados y Centrales a Carbón es esencial en un sistema con ERNC

- La flexibilidad en los sistemas de potencia **no es algo nuevo**
- Balancear constantemente la generación y la demanda
- Las ERNC variables son el **'key driver'** de mayor flexibilidad en el sistema.
- Las **centrales convencionales** son la fuente más importante de flexibilidad
- La centrales convencionales han sido diseñadas para operar a **carga base**, no para operar a carga variable ni ciclar.

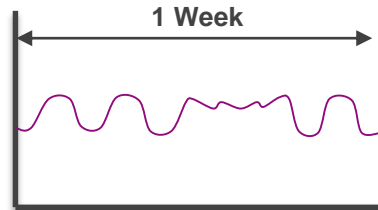


Introducción

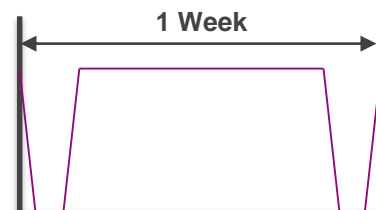
Modos de operación de una Central-> De Carga Base a Two Shifting



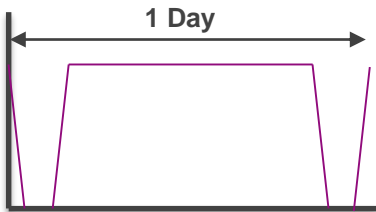
Base Load



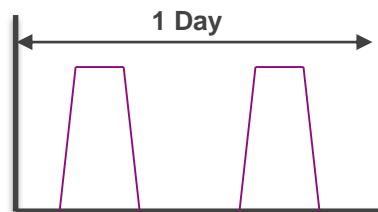
Load cycling



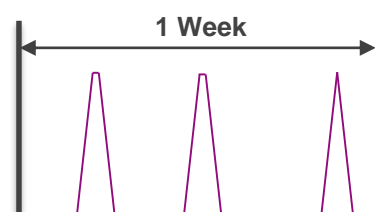
Weekend shutdown



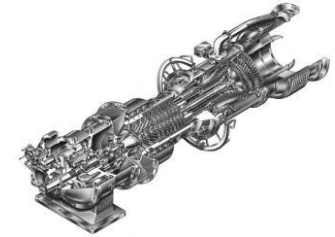
Two shifting/daily



Double two shifting



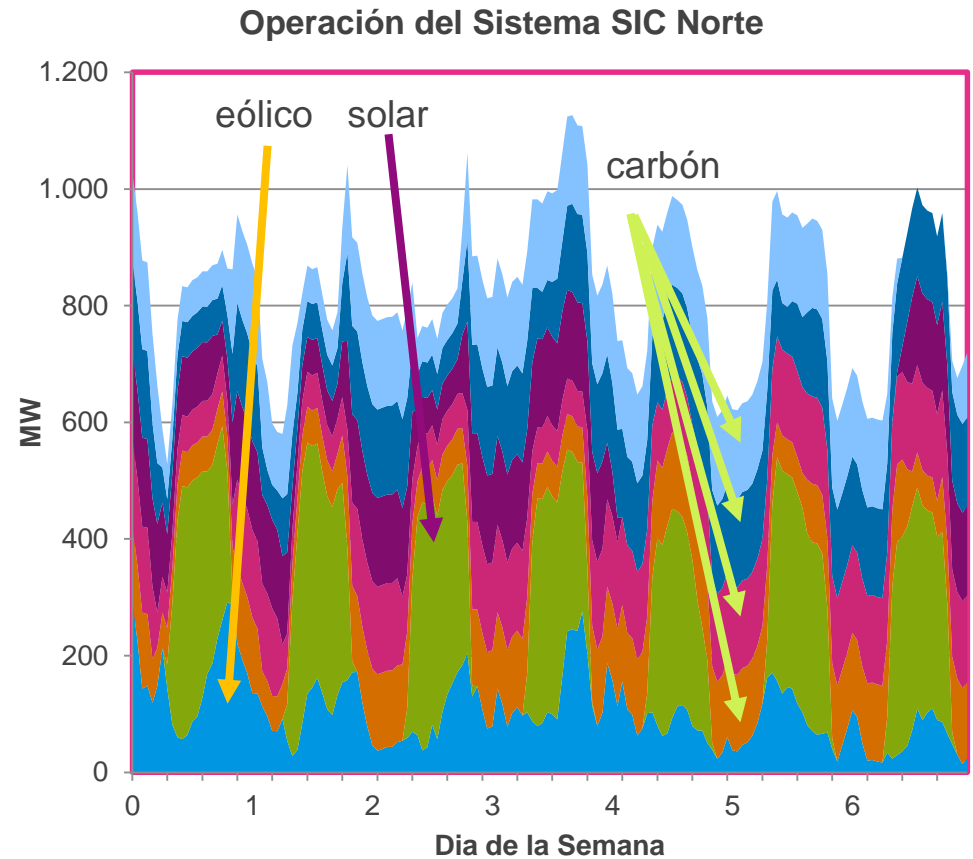
Peak



Introducción

Requerimientos de flexibilidad en los sistemas nacionales (SIC - SING)

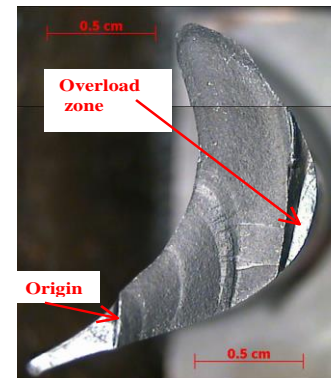
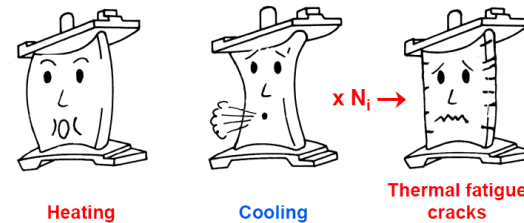
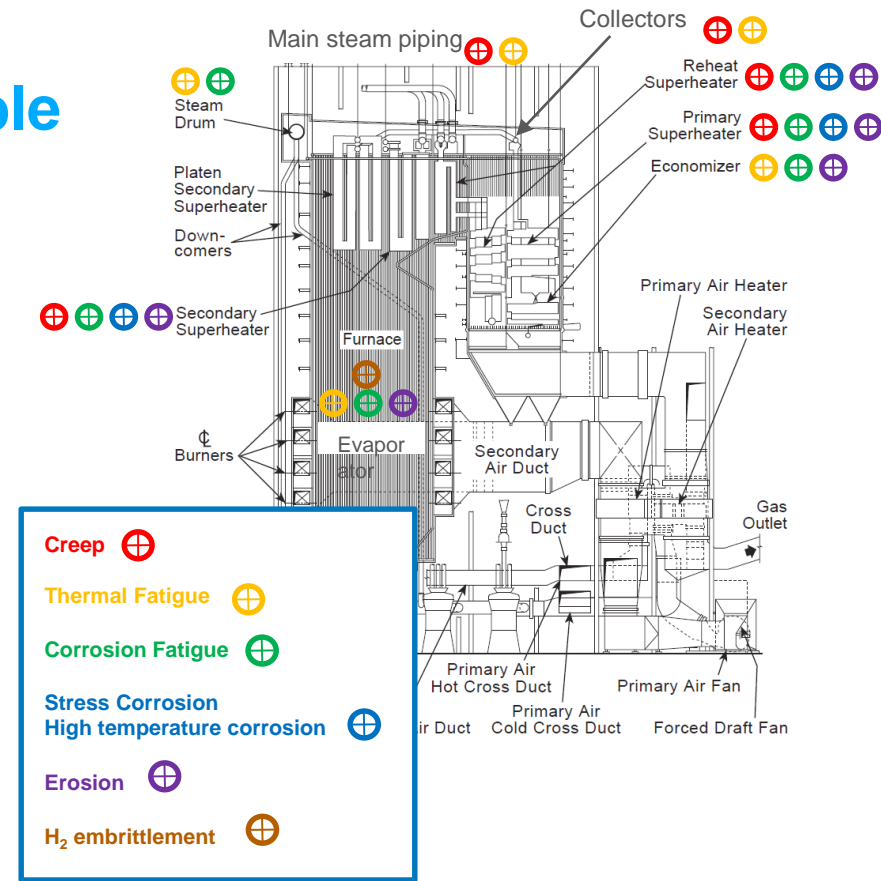
- Centrales térmicas en el **SING** proveen **RPF** y **RSF**
- Centrales carboneras del **SIC** Norte realizan variaciones de carga diaria
 - P_{MIN} durante el día
 - P_{MAX} durante la noche
- Qué parámetros influyen?
 - **Potencia Nominal (Pmax)**
 - **Mínimos técnicos (Pmin)**
 - **Tasas de toma de carga**
 - **Tiempos y costos de partida y detención**



Riesgos de una Operación Flexible

Aumento en el Uso de vida útil de la Central

- La operación flexible es un desafío para las centrales convencionales.
- Limitaciones físicas de los materiales y componentes claves involucrados en los procesos de la central.
- Evaluación del uso de vida útil en la central y/o limitaciones técnicas
 - Ej: Fatiga termo-mecánica en materiales de pared gruesa-> Ciclaje/partidas y paradas
 - Fluencia por altas T° (operación a Pmax)
 - Inestabilidades de combustión en GTs...
 - Estabilidad de lazos de control
 - Emisiones (NOx/CO)
- Es necesario manejar estos riesgos (causa y consecuencia) para poder operar de manera flexible y segura



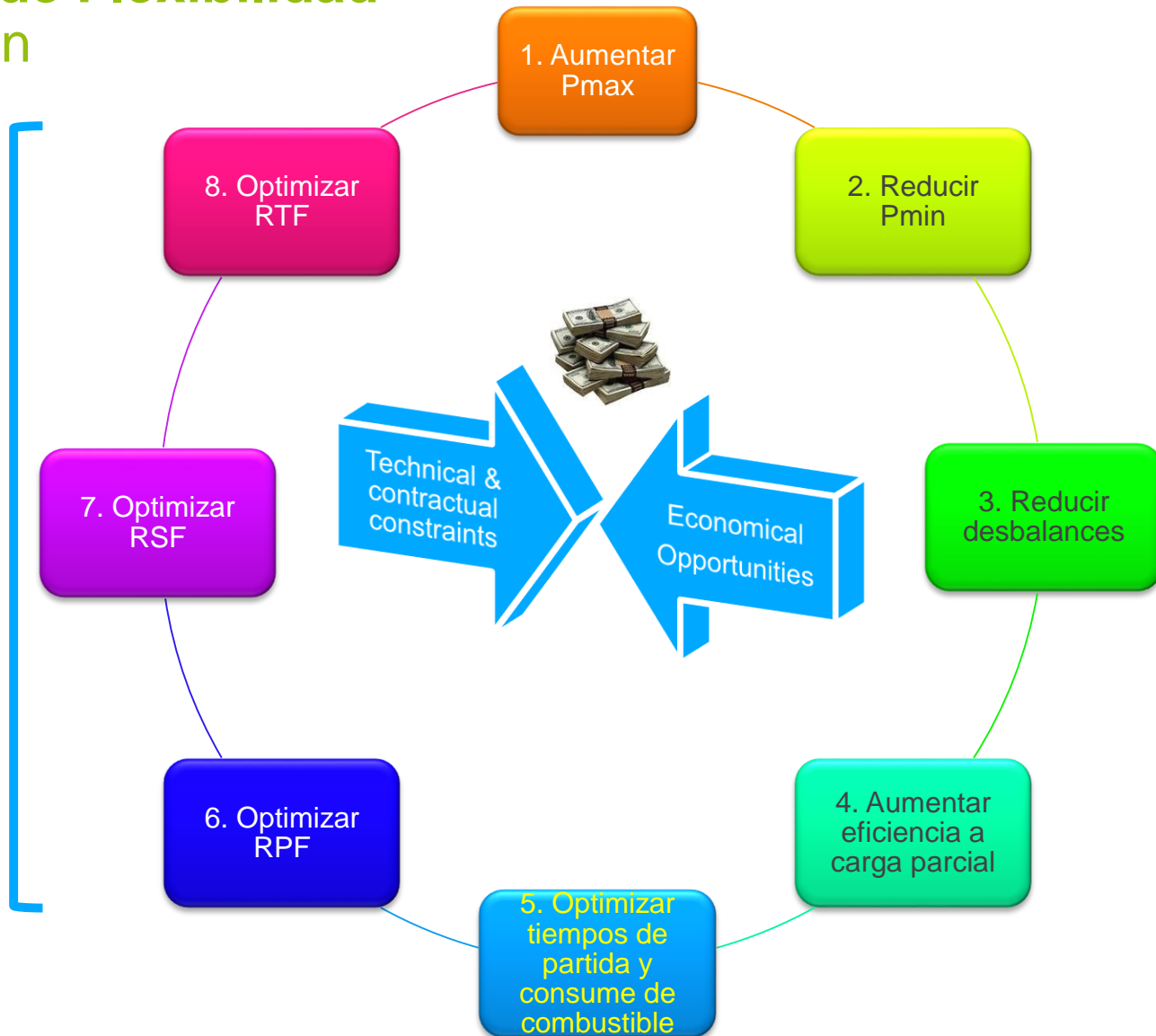
02

Los Ejes de Flexibilidad



Los 8 Ejes de Flexibilidad Identificación

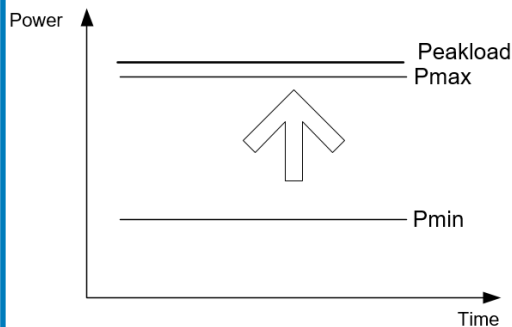
Servicios
Complementarios



Ej: Aumentar el Pmax

Oportunidades y Limitaciones

1. Increase Pmax



Oportunidades Económicas

- Cuando el 'spark spread' es alto
- Cuando hay pagos por potencia (capacity fee)
- Cuando se debe proveer reserva en giro

La operación a carga peak puede ser interesante cuando las ganancias extras provenientes de la venta de energía adicional cubren los costos extras de mantenimiento o por pérdida de eficiencia asociadas.

Limitaciones Técnicas

- Limitación por temperatura de llama en GT
- Emisiones
- Limitación de presión y temperatura de valor en la caldera/HRSG
- Limitación de flujo de vapor en TV
- CAPEX elevado de algunas iniciativas

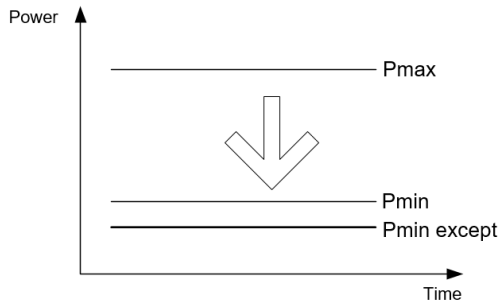
** **Spark spread** es el margen teórico de una central a gas/carbon que tiene al vender una unidad de electricidad menos el costo de variable asociado a producirla (Wikipedia)

$$\text{Spark Spread} = [\text{CMg}] - [\text{CVar}]$$

Ej: Aumentar el Pmax

Oportunidades y Limitaciones

2. Reduce Pmin



Oportunidades Económicas

- Durante periodos de bajo precio puede ser interesante disminuir la potencia de despacho en lugar pagar los costos de una detención.
- Operación a Pmin excepcional puede volverse interesante durante periodos de costo marginal muy bajo o incluso negativo y no es posible detener la operación de la planta.
- Gran potencial de mejora con CAPEX muy reducido

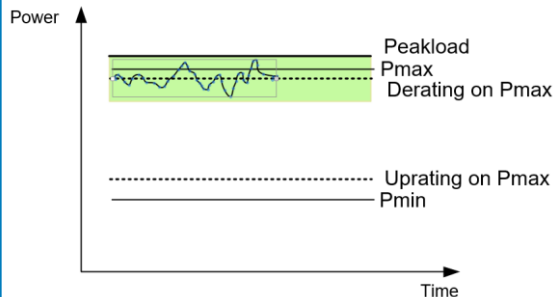
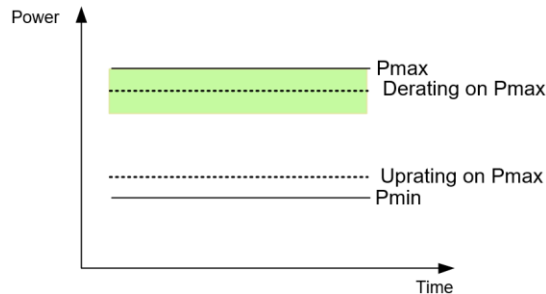
Limitaciones Técnicas

- Emisiones ambientales en una TG
- Problemas de presión de vapor en una caldera/HRSG (velocidad de vapor muy alta -> erosión)
- Aumento de temperatura en la turbine a vapor debido al bajo flujo de vapor
- Costos por disminución de eficiencia (ej: operación ciclo abierto, apertura de bypass)
- Inestabilidades de combustión
- ...

Ej: Optimizar Control Primario de Frecuencia

Opportunities & Limitations

6. Optimize Primary Frequency Control



Oportunidades Económicas

- En la mayoría de los casos, el CPF es obligatorio. Se pueden disminuir pérdidas por de-rating requerido y evitar posibles multas por incumplimiento.
- ej: Permitir operación peak en la TG o permitiendo la participación de la TV en el CPF
- Cuando el servicio es pagado, la provisión de CPF es una oportunidad económica directa
- Unidad 400MW Italia: CPF obligatorio (1.5% ->6MW)
- Unidad 430MW Bélgica: Mercado (10.5% ->45MW)

Limitaciones Técnicas

1. Los de-rateos (en Pmax y Pmin) pueden ser optimizados pero no eliminados
2. La reducción del estatismo de la máquina incrementará la respuesta de CPF así como también el estrés en componentes sensibles. Ej: gradientes de presión y temperatura excesivos en una caldera/HRSG y en la TV.
3. En algunos países, puede existir el riesgo de concentración de la reserva en giro en algunas unidades.

03

Algunas Iniciativas de Flexibilidad



Aumentar P_{MAX}

Control de los pre calentadores de agua de alimentación



TECNOLOGIA

- TV con sistema de extracción regulable

PRINCIPIO

- La extracción de vapor es reducida a través del cierre controlado de las válvulas de purga. El aumento de flujo de vapor en la TV produce un incremento de potencia.
- La respuesta rápida de este sistema de control permite su uso para RPF o para operación en P_{max} excepcional.

MEJORIA ESTIMADA

- Al menos un 5% de incremento.

RESTRICCIONES/LIMITACIONES

- Impacto negativo en la eficiencia de la central.

TECNOLOGIA

Gas (CCGT)

Carbón

IMPACTO

P_{max}

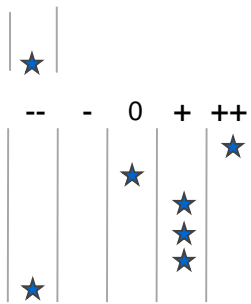
P_{min}

Ramp Rate

R1

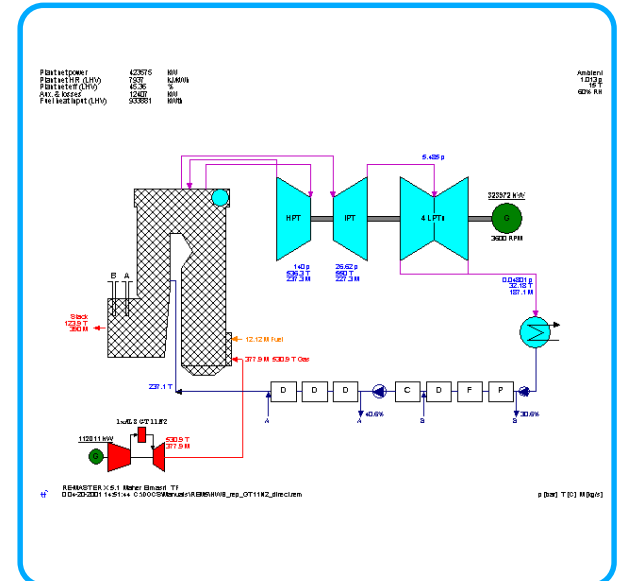
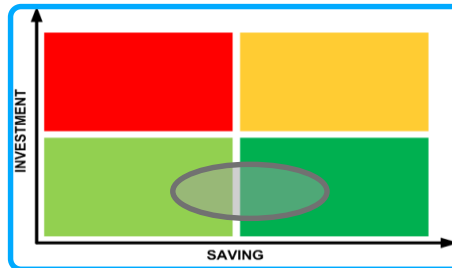
R2

Eficiencia



CAPEX/OPEX

- Si la TV tiene control de posición en las válvulas de extracción, solo se necesitan horas hombre para la implementación del control.



Disminuir PMIN

Sintonización de los lazos de control para baja carga

PRINCIPIO

- Mejorar la estabilidad y desempeño de los lazos de control a baja carga generalmente tiene un impacto positivo sobre la flexibilidad de la central.
- Fuertes no-linearidades presentes en los procesos de la central: la filosofía de sintonización debe ser adaptada consecuentemente para evitar un bajo desempeño en los lazos de control
- *Algunos puntos de importancias:* control de nivel del domo, combustión

MEJORA ESTIMADA

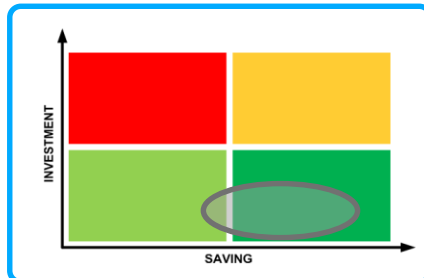
- Generalmente es un requerimiento (“must have”)
- En combinación con otras iniciativas, hasta un 20% en Pmin.

RESTRICCIONES/LIMITACIONES

- Limitaciones de los actuadores: el desempeño de algunos actuadores (válvulas, ventiladores, bombas,...) puede representa un cuello de botella en el proceso de optimización .

CAPEX/OPEX

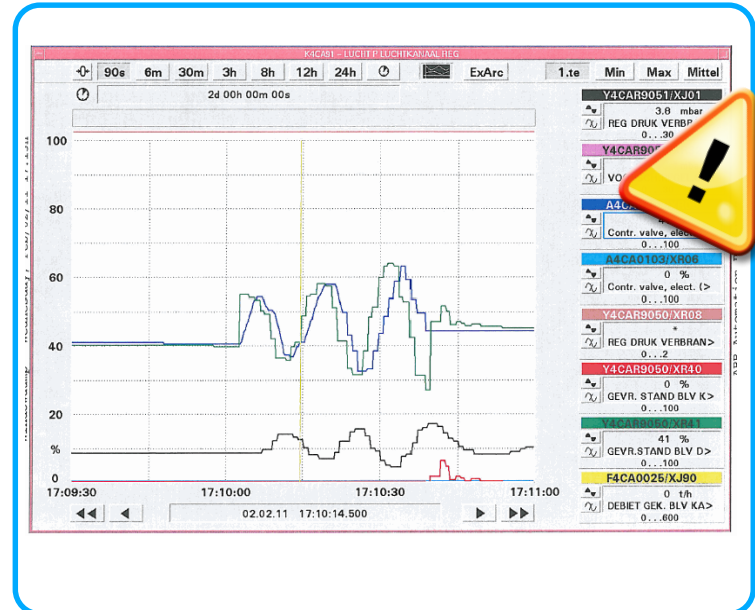
- Solo horas hombre



TECNOLOGIA

Gas (CCGT) ★ |
Carbón ★ |

IMPACTO	--	-	0	+	++
Pmax			★		
Pmin					★
Ramp Rate			★		
R1			★		
R2			★		
Eficiencia		★			



Optimizar CPF

Reducir de-rateo en PMAX

TECNOLOGIA

1. Uso de la TV en CPF: todas
2. Uso de la banda de over-firing: GE

PRINCIPLE

1. Uso de la TV: cierre parcial de las válvulas de admisión para generar un aumento de la presión en el domo de la caldera/HRSG. Un KDF negativo abriría las válvulas de control. También se puede utilizar para sostener las tasas de toma de carga cuando los IGVs están en posición de 100%.
2. Uso de la banda de over-firing en las tecnologías GE

MEJORA ESTIMADA

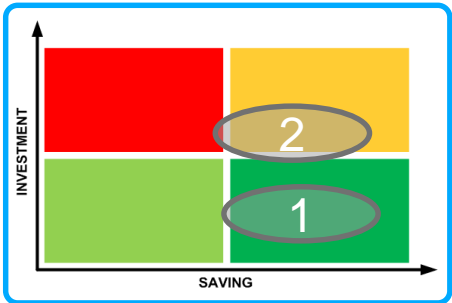
1. Aumenta el ratio entre reserve en giro / de-rating (posible 1, de lo contrario 0.66)
2. Ej: En tecnologías 9FA permite una mejora de 12MW

RESTRICCIONES/LIMITACIONES

1. Posible efecto de laminación en la válvula de control en la TV y pérdida de eficiencia (limitada)
2. Uso de EOH en modo over-firing

CAPEX/OPEX

1. Solo horas hombre
2. Se debe evaluar el impacto en las EOH

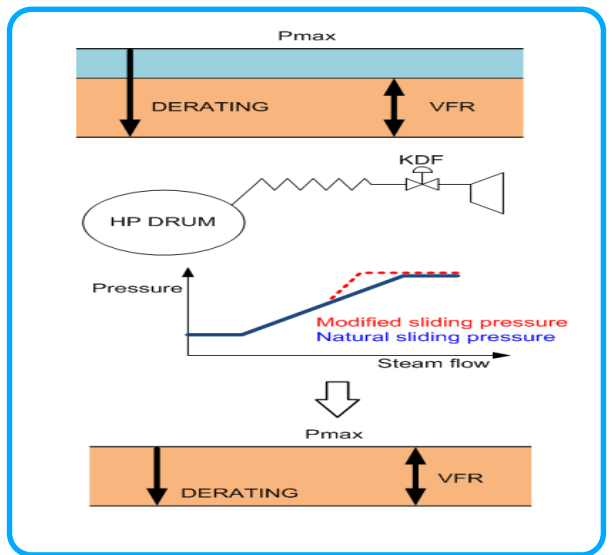


TECHNOLOGY

Gas (CCGT) | ★ |
Carbón

IMPACT

	--	-	0	+	++
Pmax					★
Pmin			★		
Ramp Rate					★
R1					★
R2				★	
Efficiency		★			



Metodología de Trabajo ENGIE Lab

Determinar las medidas más eficientes para aumentar la flexibilidad

Desafío

Elegir las medidas optimas para aumentar la flexibilidad, basado en el análisis de beneficios y costos.

Manejar los riesgos asociados a una operación mas flexibles: Eliminar la causa y limitar la consecuencia.

Metodología

- Benchmarking y auditoría on-site: análisis de data operacional y pruebas a la planta.
- Matriz de riesgos
- Identificación de los “quick wins” y priorización de las iniciativas
- Equipo multidisciplinario con la participación de diferentes expertos (combustión, procesos, control, tratamiento de gases ...)

Beneficios

- Mejoría de la flexibilidad de la planta (o flota)
- Aumento de ingresos y ahorros con CAPEX muy limitado
- Soporte integral, desde la auditoría hasta la implementación específica

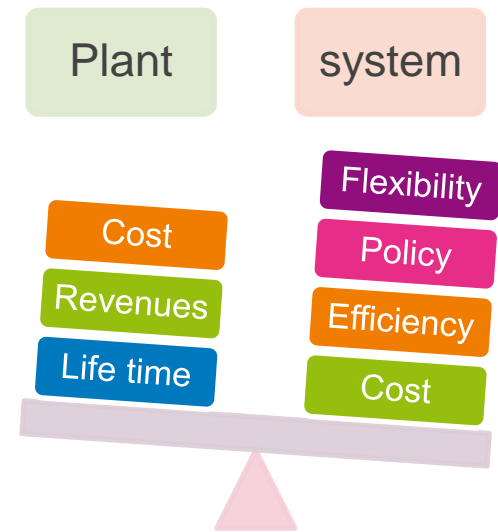


References

ENGIE European fleet flex optimization totalizing 25 site audits and follow-up (coal and gas-fired power plant)
And other references around the world

Conclusiones

- La necesidad de **flexibilidad es una realidad en LATAM.**
- Es posible adaptar los activos existentes a operar de manera más flexible, pero esto requiere manejar los riesgos ligados a las limitaciones de diseño de los activos.
- Para los operadores, deben existir incentivos económicos que estimule a las plantas a ser más flexibles, alineados con los 'value drivers' del sistema.
- La flexibilidad operacional redundante en una **mayor posibilidad de integración de ERNC al sistema** así como una operación más segura y económica

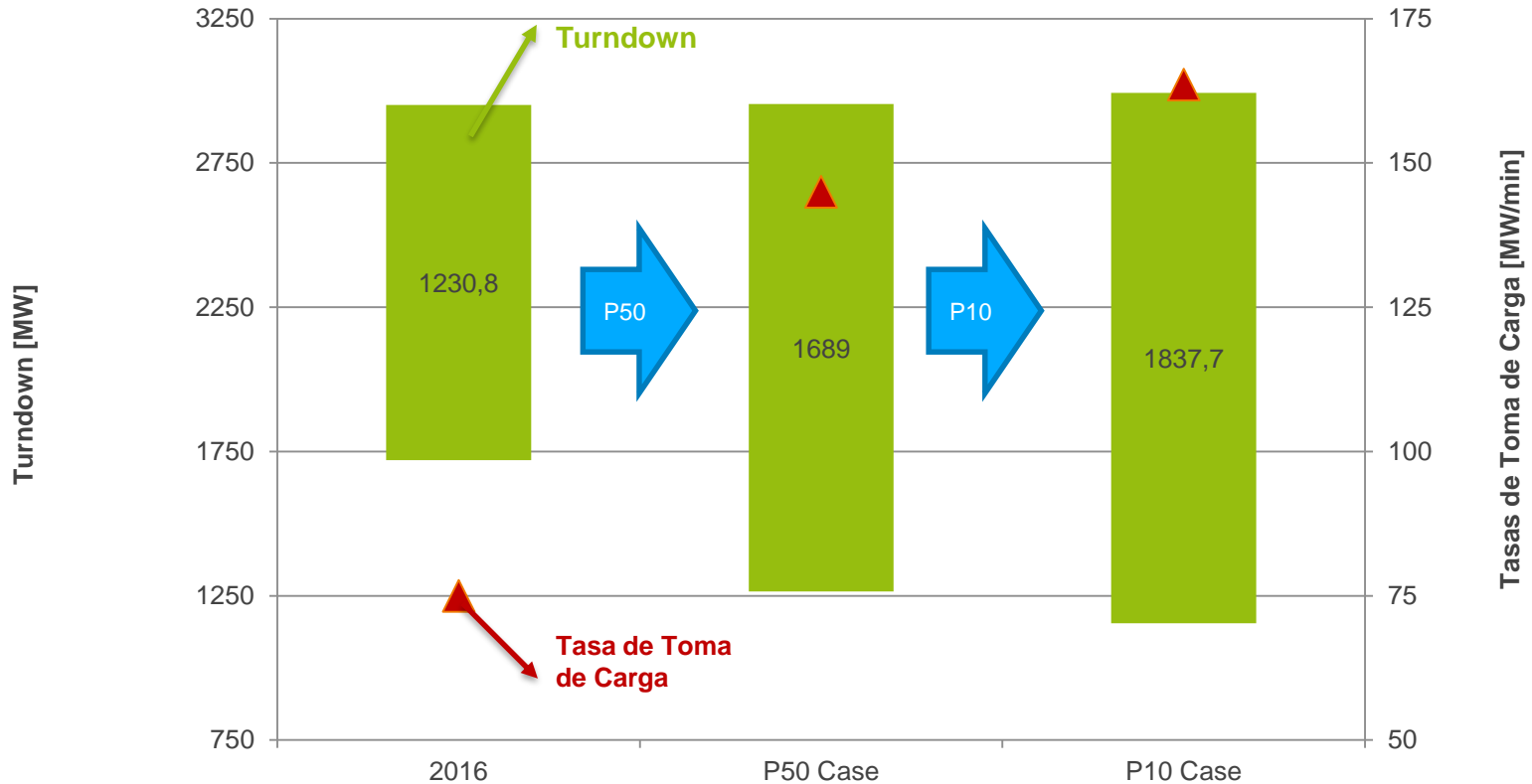


Backup Slides



Cómo estamos en Chile y cuál es el potencial de mejora

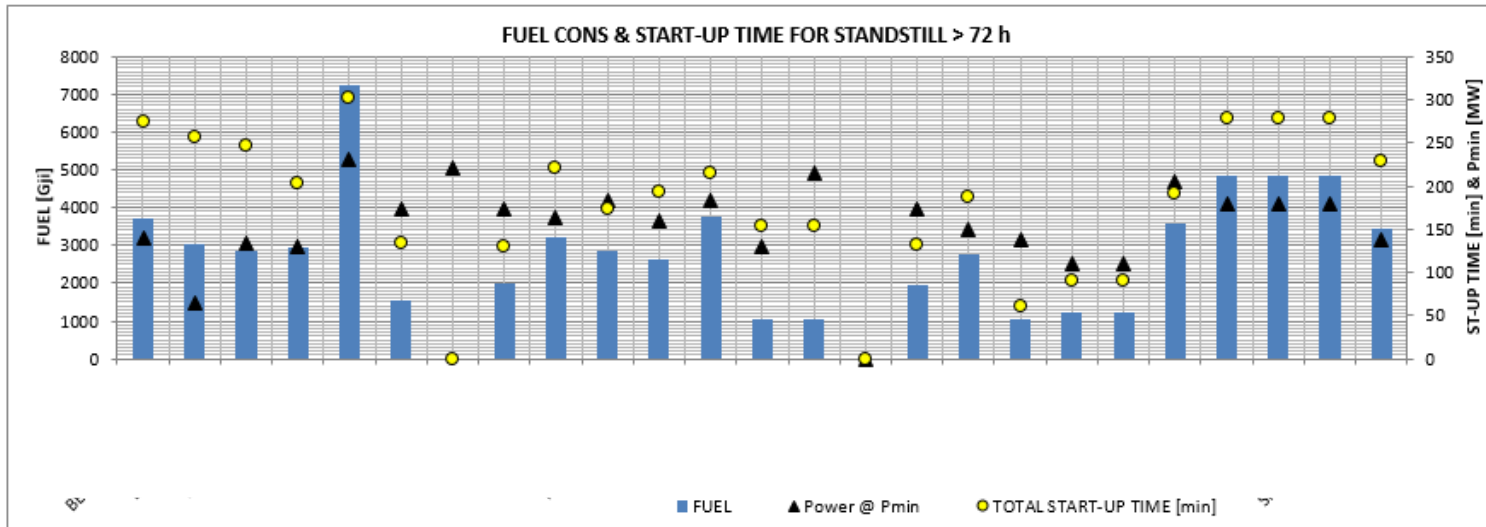
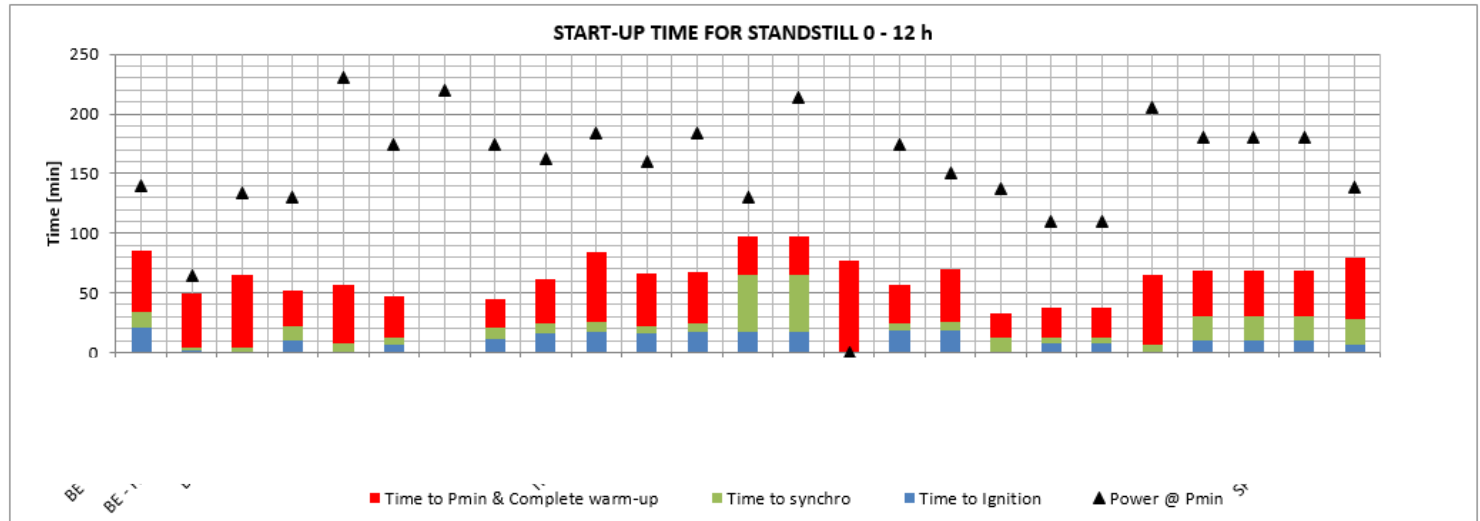
CCGT flex improvement potential in Chile



**Comparación de configuraciones 1+1 de tecnología similar (9FA – V94.2 – V94.3 – GT26 - ...) con data real operacional de la flota europea de ENGIE*

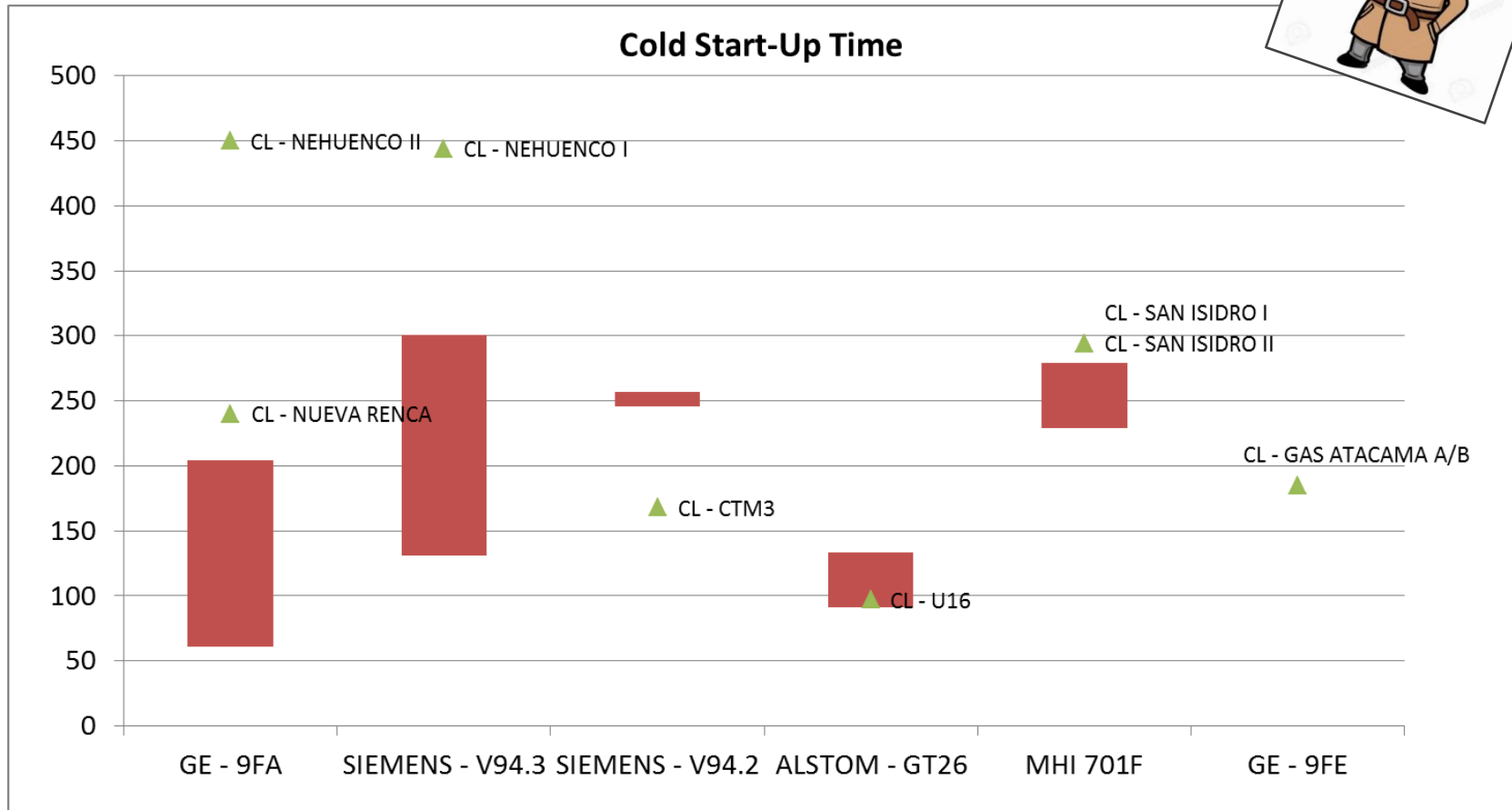
Benchmarking & Ranking

Base de Datos – Análisis de costos de partida a nivel de flota



Context in Chile

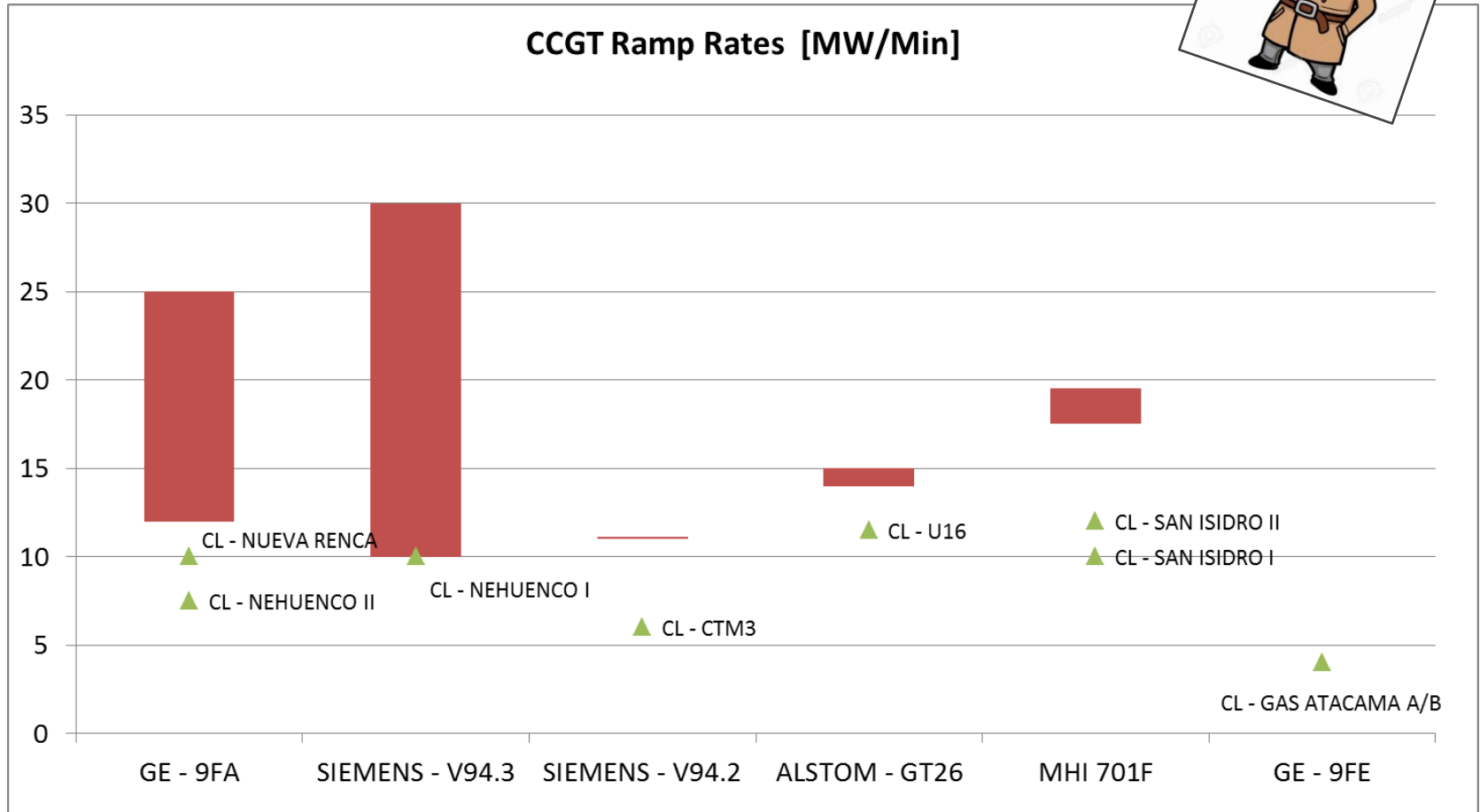
Where do we stand?



**Benchmark is done using declared performance for units in Chile and performances from real operational data from ENGIE European fleet Values taken from comparable technology (GT) in 1+1 configuration.*

Context in Chile

Where do we stand?

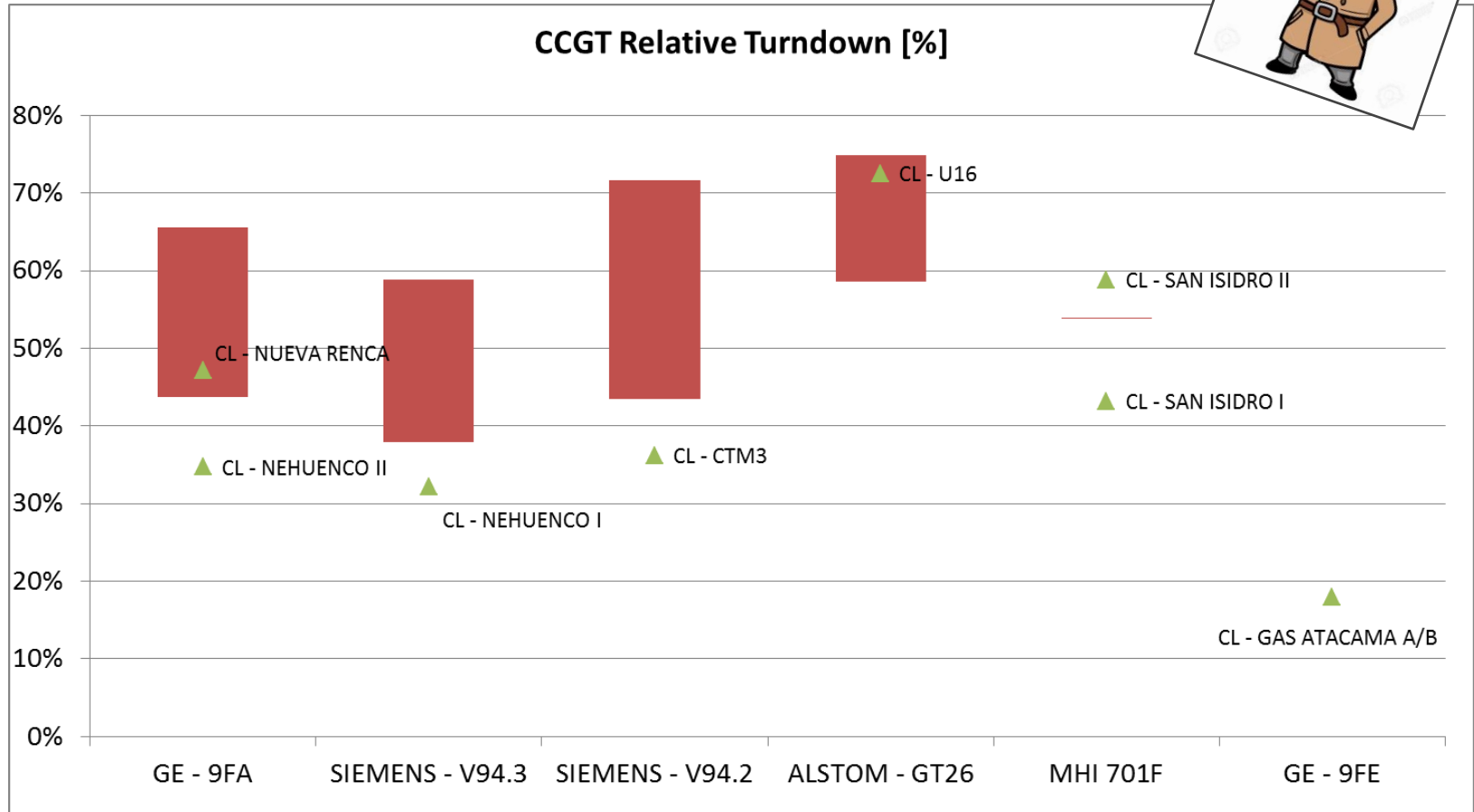


*Benchmark is done using declared performance for units in Chile and performances from real operational data from ENGIE European fleet Values taken from comparable technology (GT) in 1+1 configuration.



Context in Chile

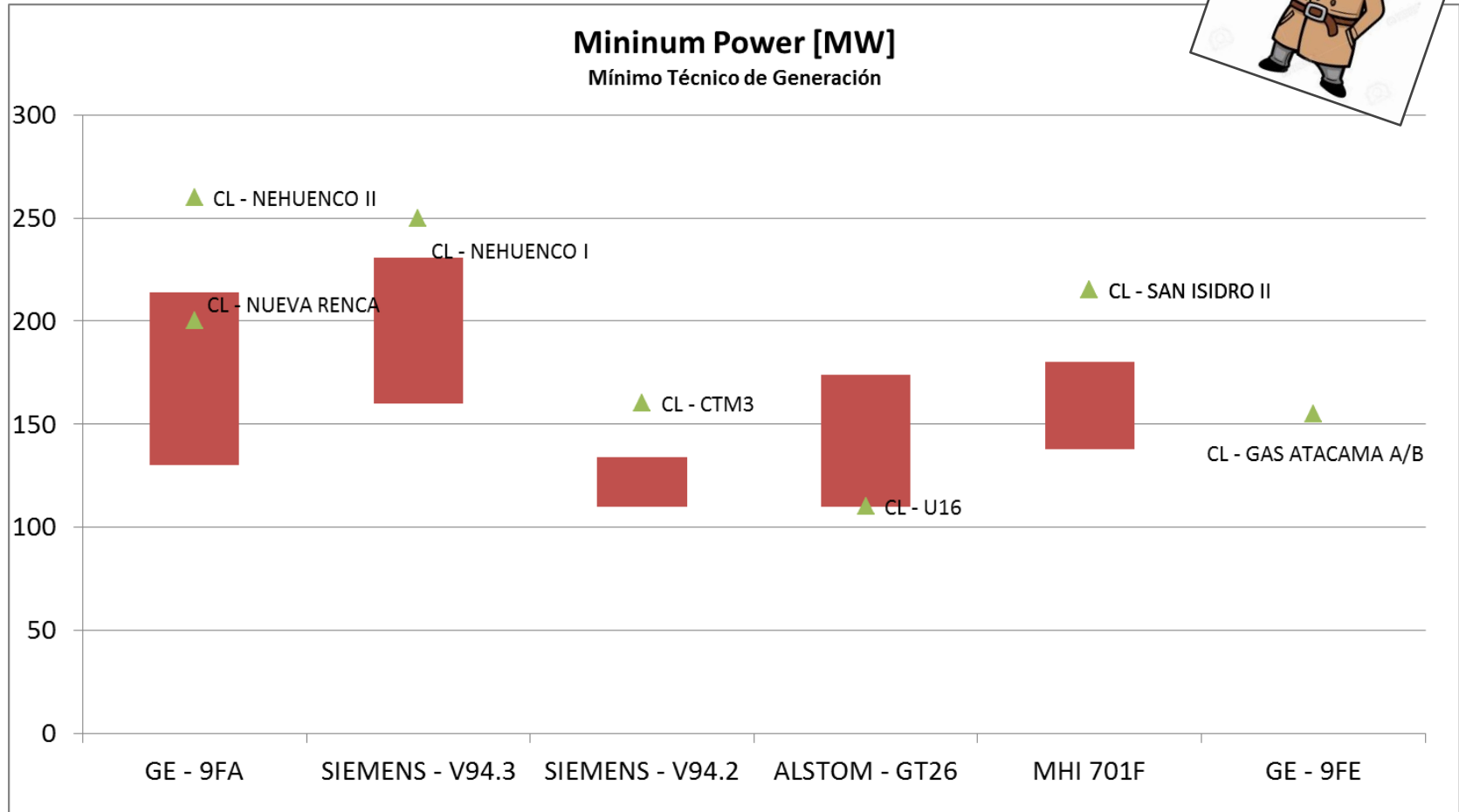
Where do we stand?



*Benchmark is done using declared performance for units in Chile and performances from real operational data from ENGIE European fleet Values taken from comparable technology (GT) in 1+1 configuration.

Context in Chile

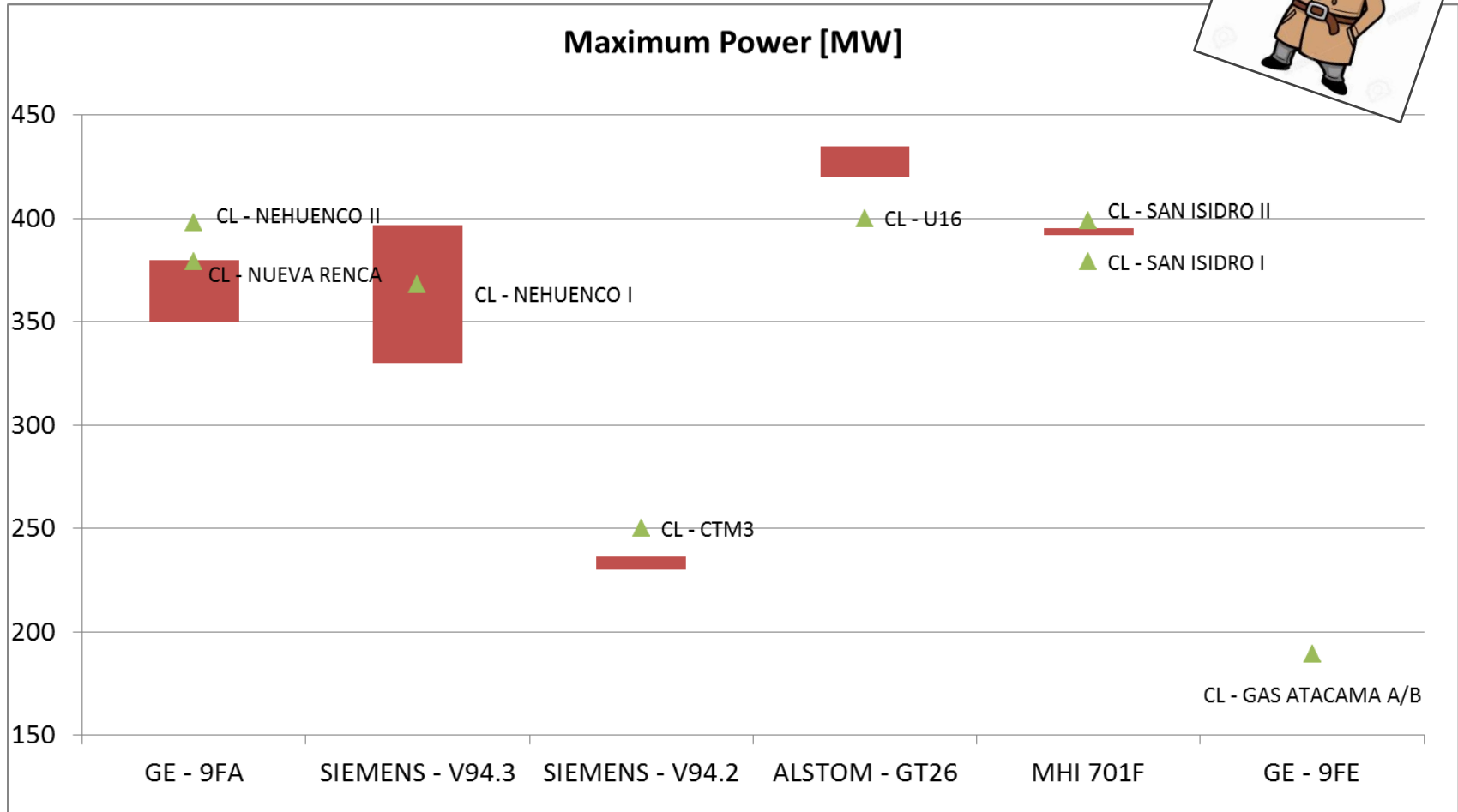
Where do we stand?



**Benchmark is done using declared performance for units in Chile and performances from real operational data from ENGIE European fleet Values taken from comparable technology (GT) in 1+1 configuration.*

Context in Chile

Where do we stand?



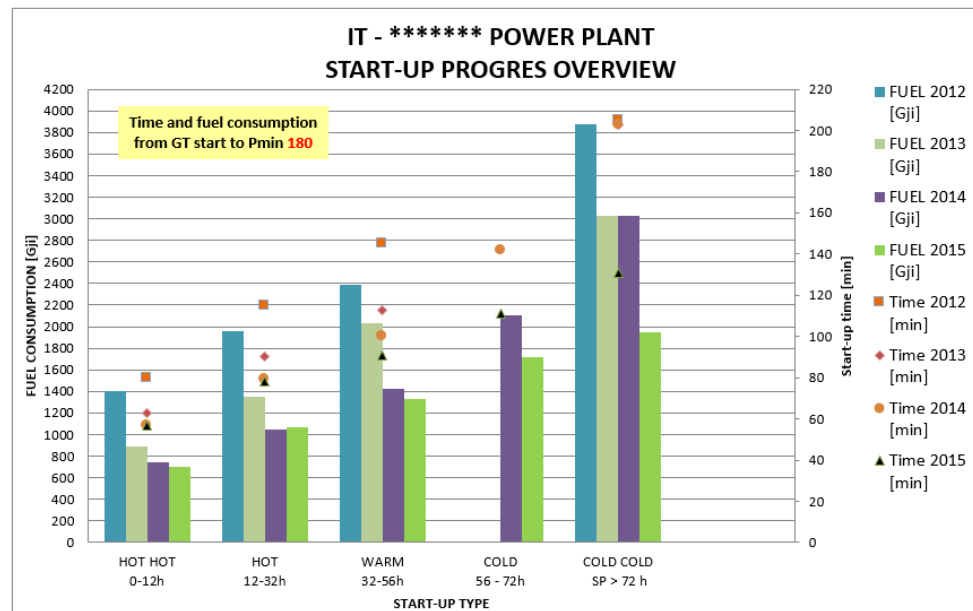
*Benchmark is done using declared performance for units in Chile and performances from real operational data from ENGIE European fleet
Values taken from comparable technology (GT) in 1+1 configuration.

Appendix

How to make money with FLEX?

Case 1:

- In a country in Western Europe: a CCGT designed for purely base load operation
- Due to very negative spark spreads during night hours, running at Pmin is not enough to cover the losses. The unit is obliged to stop and start more and more frequently
- Since 2012, efforts are continuously made to reduce the gas consumption during start-ups and shutdowns
- Following results were obtained:



Appendix

How to make money with FLEX?

Assuming a gas cost of 10 €/Gji the following (recurrent) saving are made:

CATEGORY	GAS CONS 2012 [Gji]	GAS CONS 2016 [Gji]	DELTA [Gji]	NUMBER OF ST-UPS (2015)	SAVINGS [K€]
HOT	1400	650	750	62	465
WARM	2400	1300	1100	28	308
COLD	3850	1950	1900	13	247
				103	1020

To keep in mind for a CCGT:



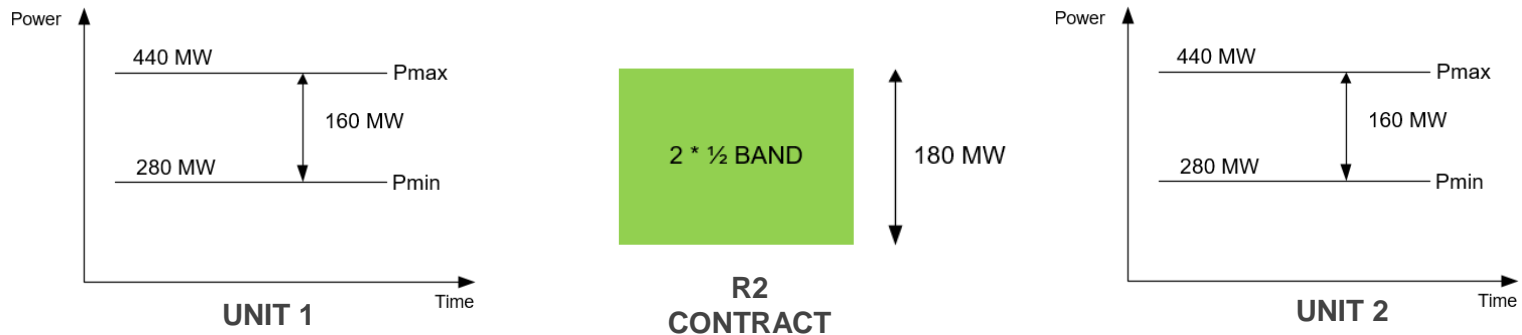
- From: starting from a non flexible operating mode: few stops/starts by year and never “optimized” for gas savings
- To: flexible operation: >100 stops/starts by year and working in a way of continuous improvement
- Potential for gas savings is > **1 M€/year** after less than 3 years with limited CAPEX (mainly man hours)

Appendix

How to make money with FLEX?

Case 2:

- In a country in Western Europe: two identical units on a power plant. Each unit is capable to perform 160 MW of Secondary Control
- Secondary Control rule for this country is to be capable to cover the entire band within 15 min. The max ramp rate of each unit being 15 MW/min, the real limitation is the turndown ($P_{max}-P_{min}$)
- This country has contracted 180 MW of Secondary Control during WE periods (more during working days)
- The dispatching can distribute/share the R2 band in the way he wants

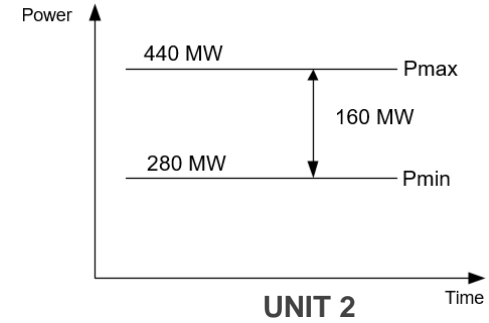
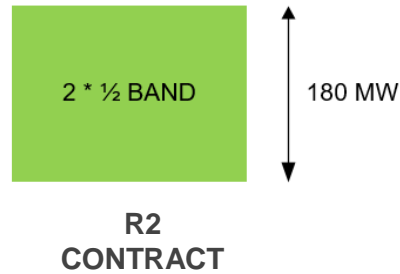
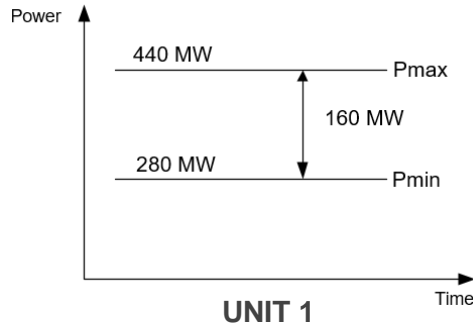


Best solution ?

7/26/2016

Appendix

How to make money with FLEX?



Best solution ?

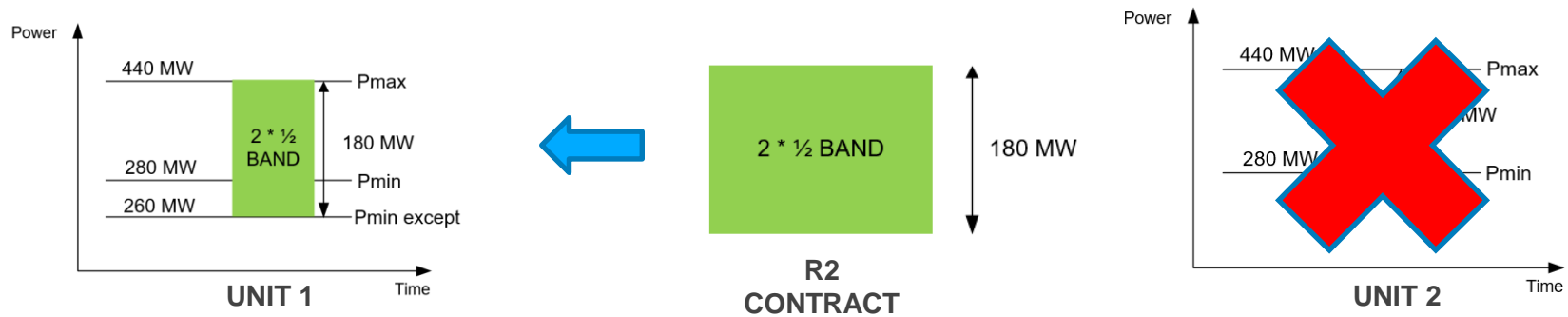
UNIT 1	UNIT 2
160 MW	20 MW
90 MW	90 MW
20 MW	160 MW

OTHER ?

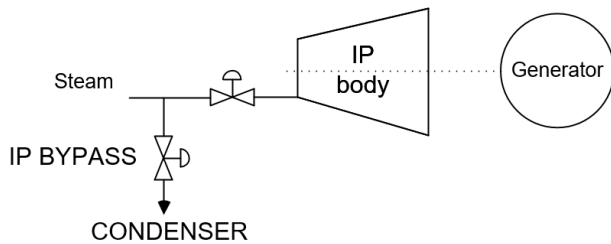
Appendix

How to make money with FLEX?

Best economical solution



Unit off → saving on the negative spark spread avoided during WE



Opening the IP bypass in a controlled way allows to reduce the steam flow through the steam turbine and therefore to reduce the load → degraded efficiency below Pmin (part time)

- + R2 revenues
- + Saving on “must run” avoided
- Losses due to the degraded efficiency



7/26/2016

Appendix

How to make money with FLEX?

First scenario: R2 contract is shared between two units losing money because of a negative spark spread → Final revenue for a WE: **10 K€**

	R2 revenue	MUST RUN losses	Efficiency Losses	TOTAL REVENUES
Unit 1	20 k€	- 15 K€	0 K€	5 k€
Unit 2	20 k€	- 15 K€	0 K€	5 K€
	40 k€	- 30 k€	0 K€	10 k€

Second scenario: R2 contract put on a single unit by enlarging its R2 band → Final revenue for a WE: **20 K€**

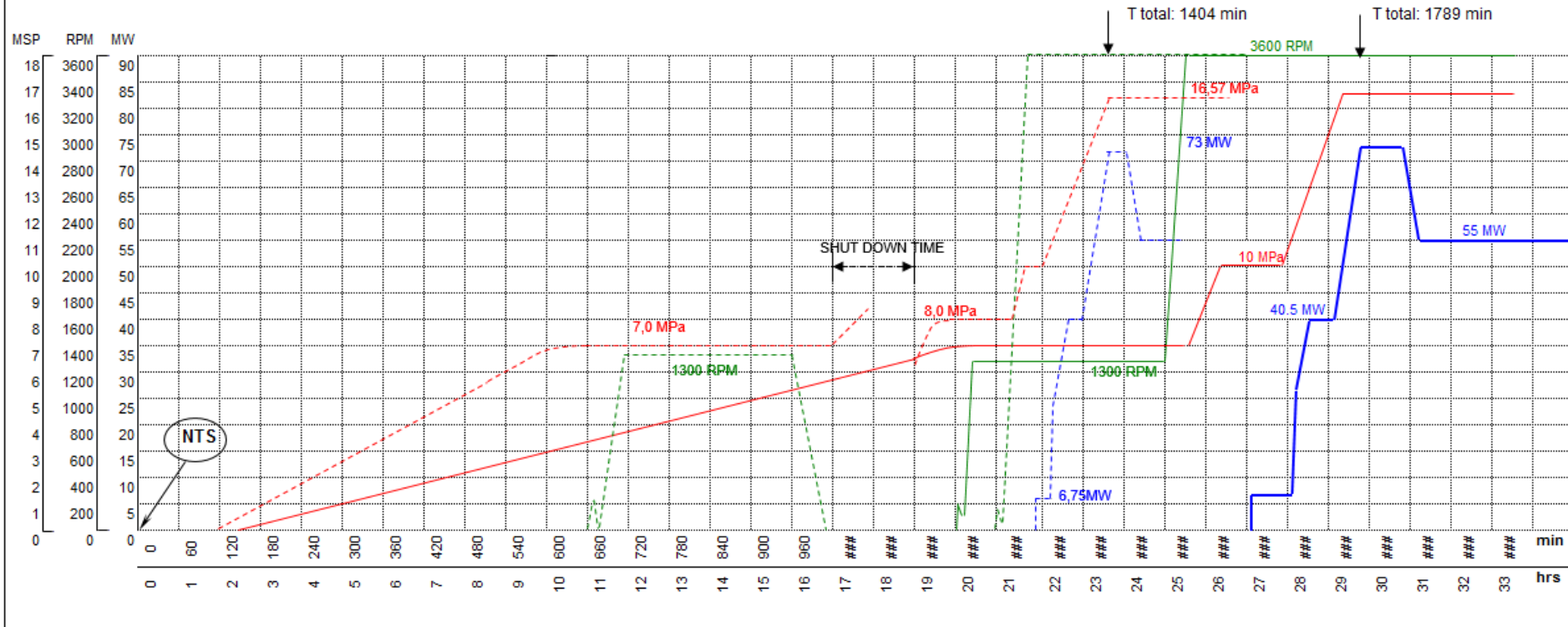
	R2 revenue	MUST RUN losses	Efficiency Losses	TOTAL REVENUES
Unit 1	40 k€	- 15 K€	- 5 K€	20 k€
Unit 2	0 k€	- 0 K€	0 K€	0 K€
	40 k€	- 15 k€	0 K€	20 k€



Appendix

Coal Fired Power Plant typical start-up

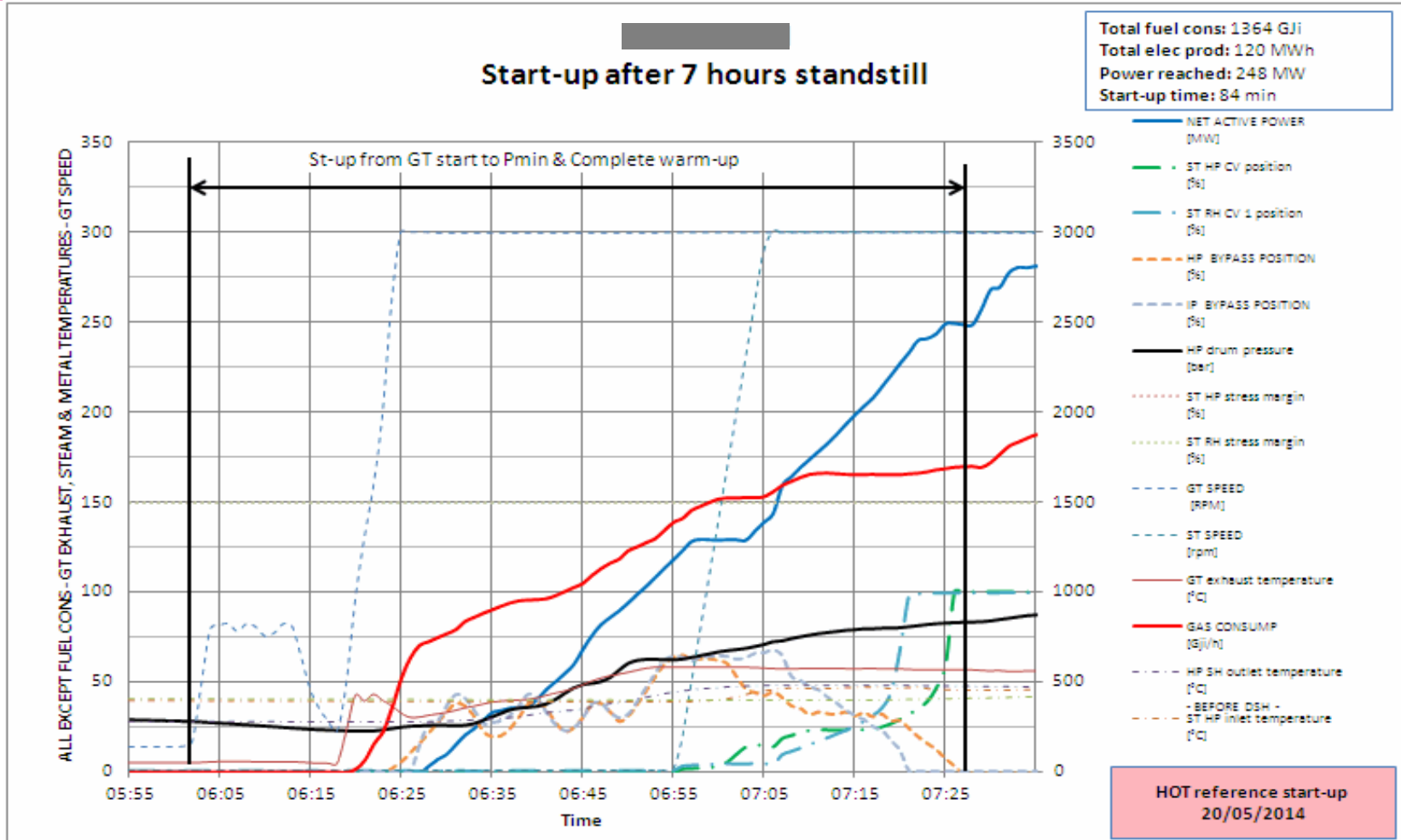
CURVA DE ARRANQUE : MODO FRÍO 2
COMPARACION ARRANQUE SIN PARAR TURBINA vs ARRANQUE PARANDO TURBINA CON REARRANQUE RAPIDO



LEYENDA	
-----	Linea Discontinua: Arranque Frio 2 parando turbina con re arranque rapido en Modo Templado (Rev 02)
—————	Linea Continua: Arranque Frio 2 sin parar turbina (Rev 01)

Appendix

Combined Cycle Power Plant typical start-up



Appendix

Coal Fired Power Plant layout

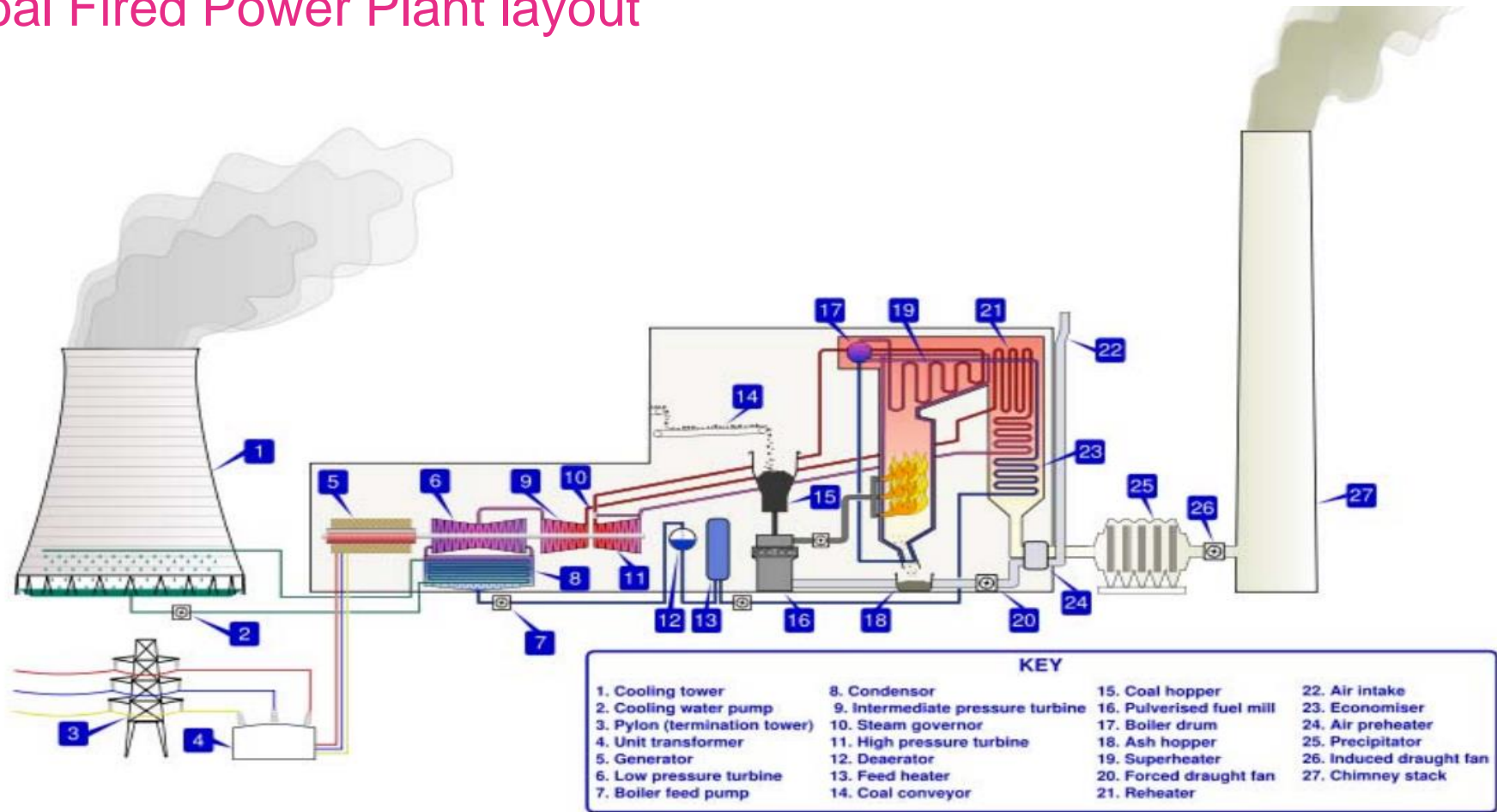


Figure.1 Steam Turbine (ST) simple cycle power generation

(Source: electricalandelectronics.org)

Appendix

Coal Fired Power Plant layout

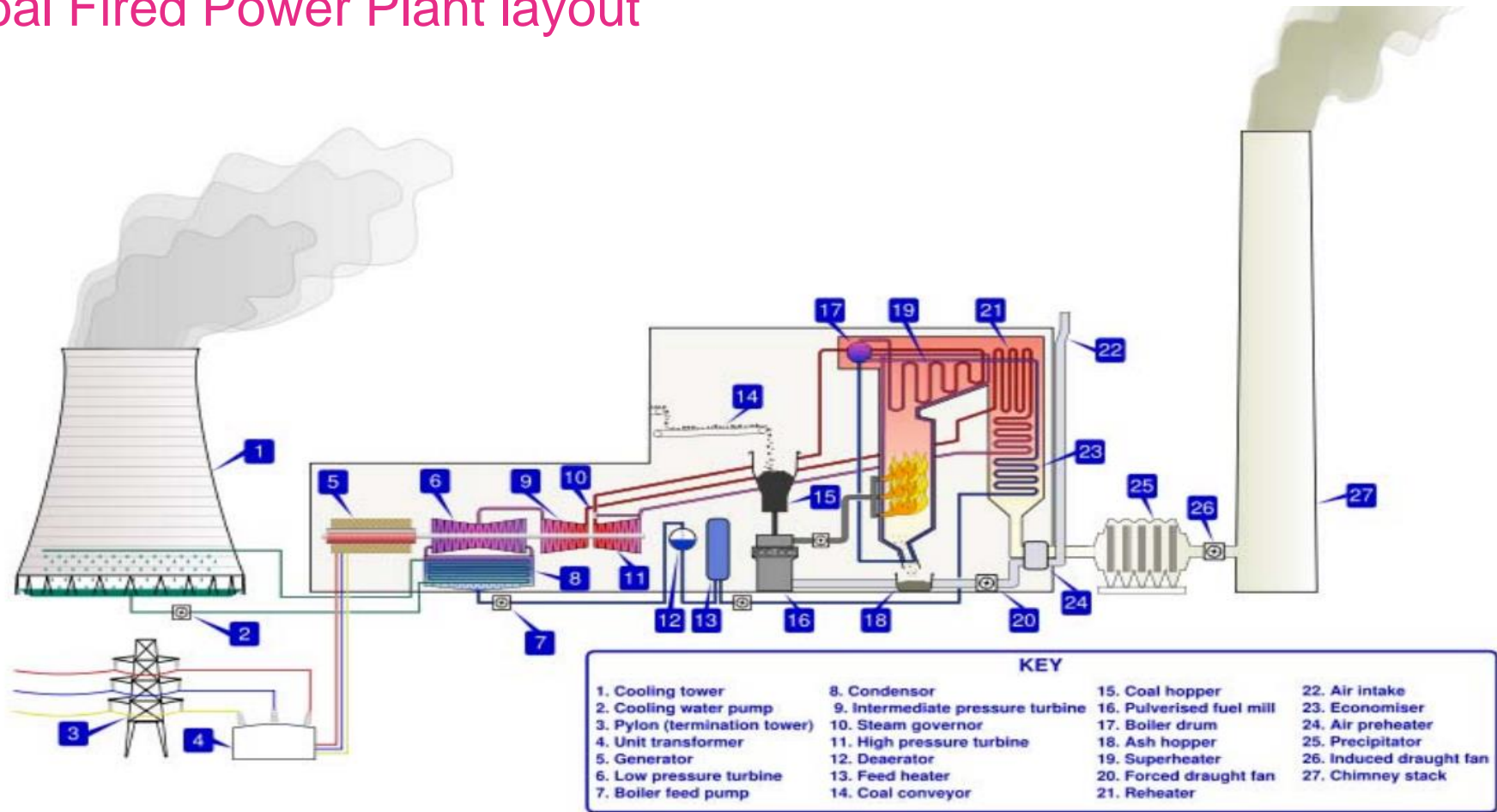
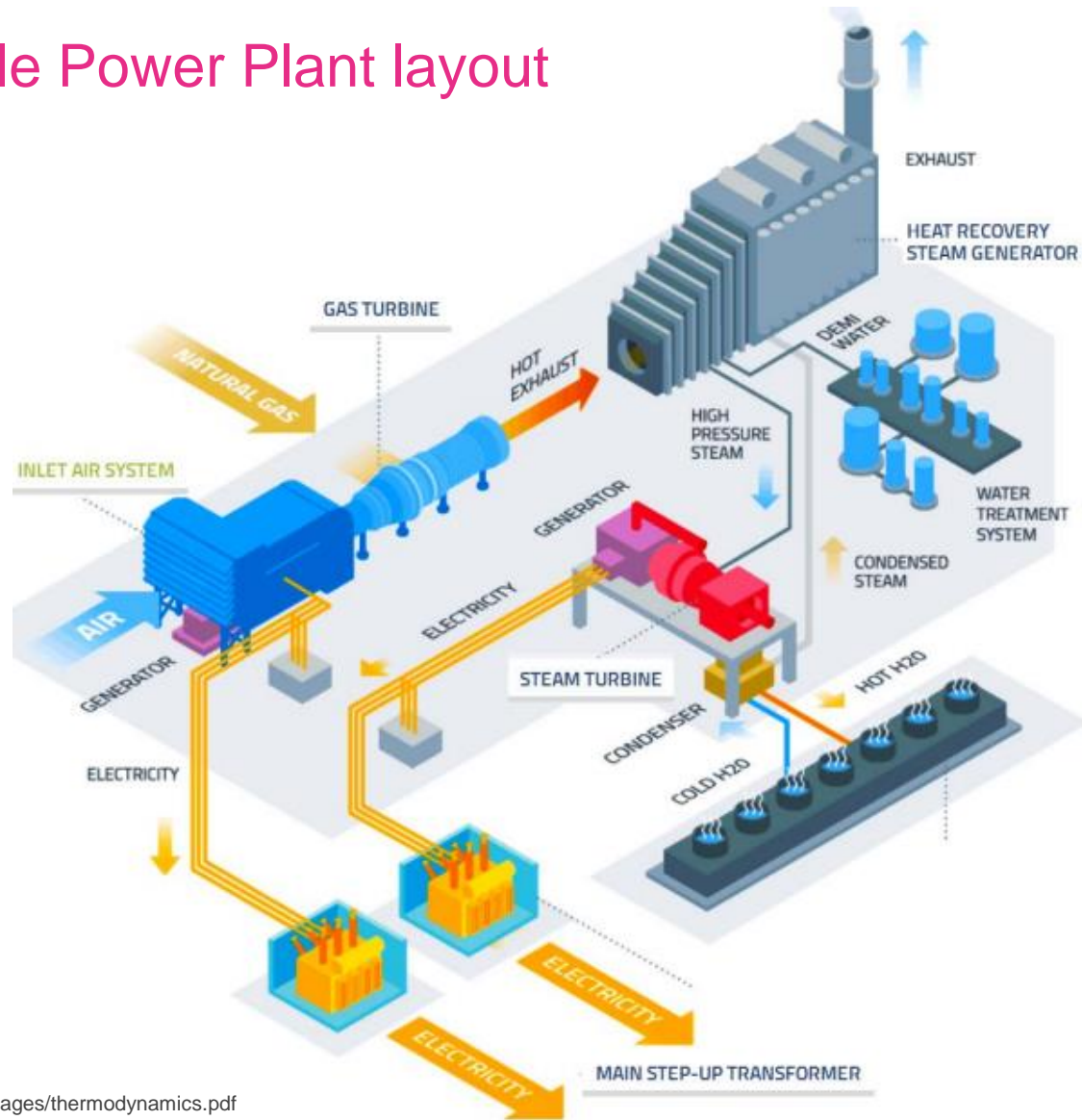


Figure.1 Steam Turbine (ST) simple cycle power generation

(Source: electricalandelectronics.org)

Appendix

Combined Cycle Power Plant layout



Source : <https://www.mcgoodwin.net/pages/thermodynamics.pdf>

Appendix

Primary Frequency Control - Illustration



Challenge is to keep the speed constant

- The road climbs → everyone pedals harder
- The road descends → everyone pedals weaker
- Someone stops pedalling, the other have to grow stronger
- Those with the best physical condition can vary their efforts



Challenge is to keep the frequency constant

- A big industrial client start consuming → units participating to the PFC produce immediately more power
- Load shedding from a country → units participating to the PFC immediately reduce their load
- Most flexible units can provide a specific response to frequency deviations