

PROGRAMA DE FORMACIÓN DE GESTORES ENERGÉTICOS EN INDUSTRIAS

Provincia de Santa Fe 2018

MÓDULO VIII

SISTEMAS DE VAPOR Y COGENERACIÓN



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



VIII | SISTEMAS DE VAPOR Y COGENERACIÓN

CONTENIDOS

VIII.1. INTRODUCCIÓN

Eficiencia energética - Importancia (sector industrial). Rol del vapor en la matriz energética de la industria. Principios básicos. Componentes de un sistema de vapor.

VIII.2. EVALUACIÓN GLOBAL

Calor directo. Aspectos a tener en cuenta. Descripción general de redes de vapor. Modelado de redes (tipos y beneficios).

VIII.3. GENERACIÓN

Calderas: tipos, usos, eficiencias, combustibles. BFW: tratamiento, precalentamiento, purga. Generación de vapor con corrientes de proceso.



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



VIII | SISTEMAS DE VAPOR Y COGENERACIÓN

CONTENIDOS

VIII.4. DISTRIBUCIÓN

Turbinas: tipos, usos y aplicaciones, eficiencias. Laminaciones. Trampas de vapor. Aislaciones. Pérdidas y venteos.

VIII.5. CONSUMOS

Reboilers: selección del tipo. Vapor de procesos. Recuperación de condensado.

VIII.6. COGENERACIÓN

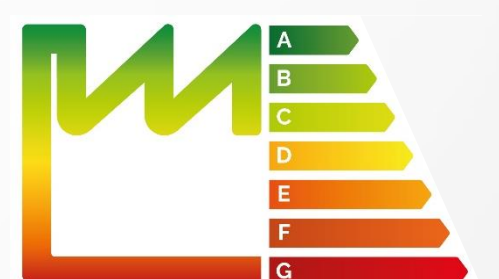
Esquemas de generación de vapor y electricidad. Tipos de cogeneración: ventajas y desventajas. Equipos principales. Aplicaciones.



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



MÓDULO VIII

SISTEMAS DE VAPOR Y COGENERACIÓN

INTRODUCCIÓN



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



INTRODUCCIÓN

GESTIÓN DE LA ENERGÍA



INTRODUCCIÓN

PUNTOS A DESARROLLAR

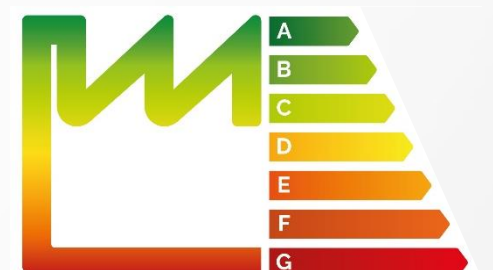
- 🔥 Eficiencia Energética | Importancia (sector industrial)
- 🔥 Rol del vapor en la matriz energética de la industria
- 🔥 Principios básicos del vapor
- 🔥 Componentes de un sistema de vapor: generalidades



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



INTRODUCCIÓN | EFICIENCIA ENERGÉTICA



INTRODUCCIÓN

¿QUÉ ES LA EFICIENCIA ENERGÉTICA?

Aprovechar mejor la energía
ayuda a conservar el medio ambiente
y contribuye al crecimiento económico

- La eficiencia energética es la obtención de los mismos bienes y servicios energéticos, pero con menos recursos, con la misma o mayor calidad de vida, con menos contaminación, a un precio inferior al actual, alargando la vida de dichos recursos.

AEDENAT et al. (1998)

- La eficiencia ayuda a reducir los impactos ambientales y las emisiones de CO2 frenando el cambio climático y sus consecuencias.

Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía www.idae.es

- Proporción u otra relación cuantitativa entre el resultado en términos de desempeño, de bienes y servicios o de energía y la entrada de energía.

Norma ISO 50001, versión en español



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe

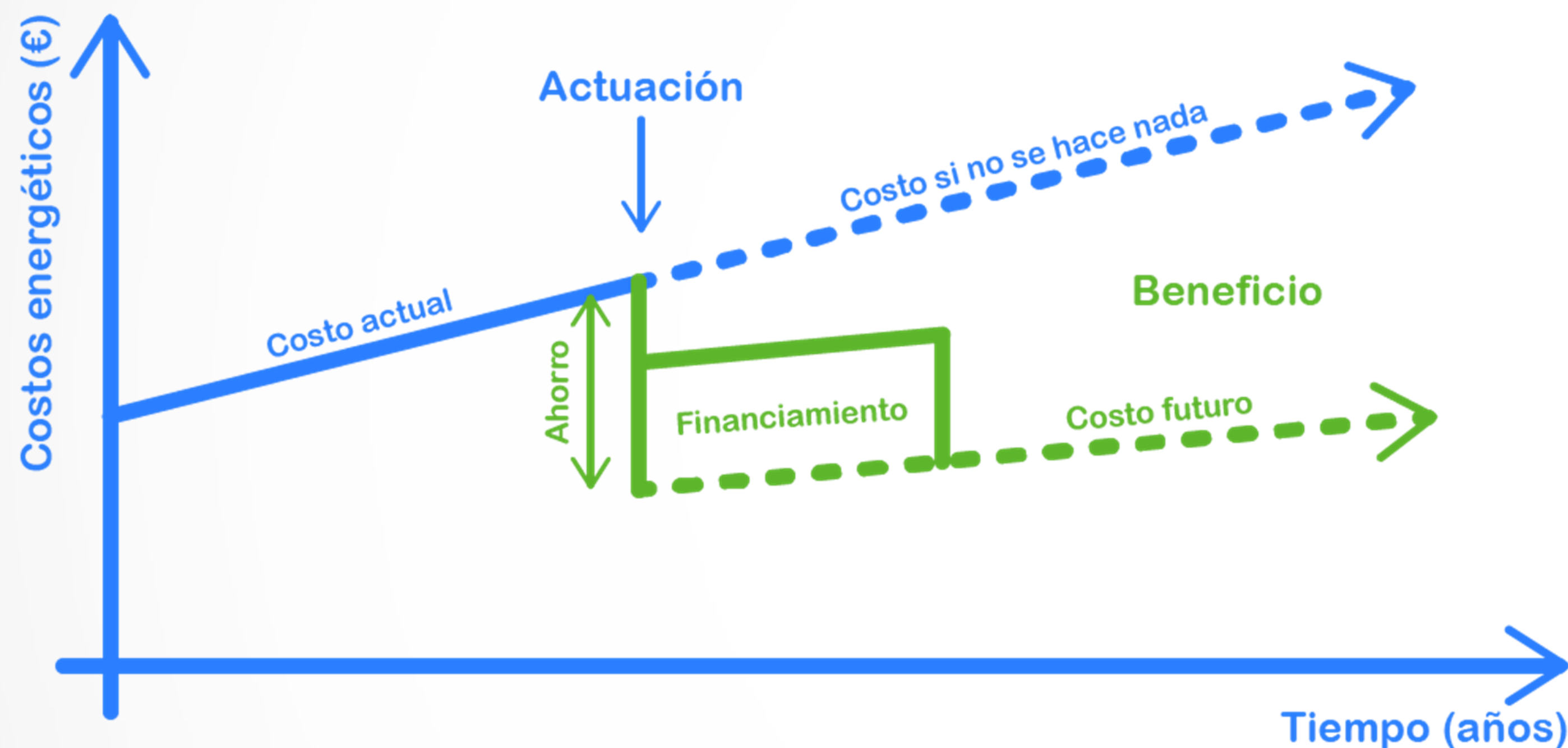


Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



INTRODUCCIÓN | EFICIENCIA ENERGÉTICA

“DRIVER” PRINCIPAL DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

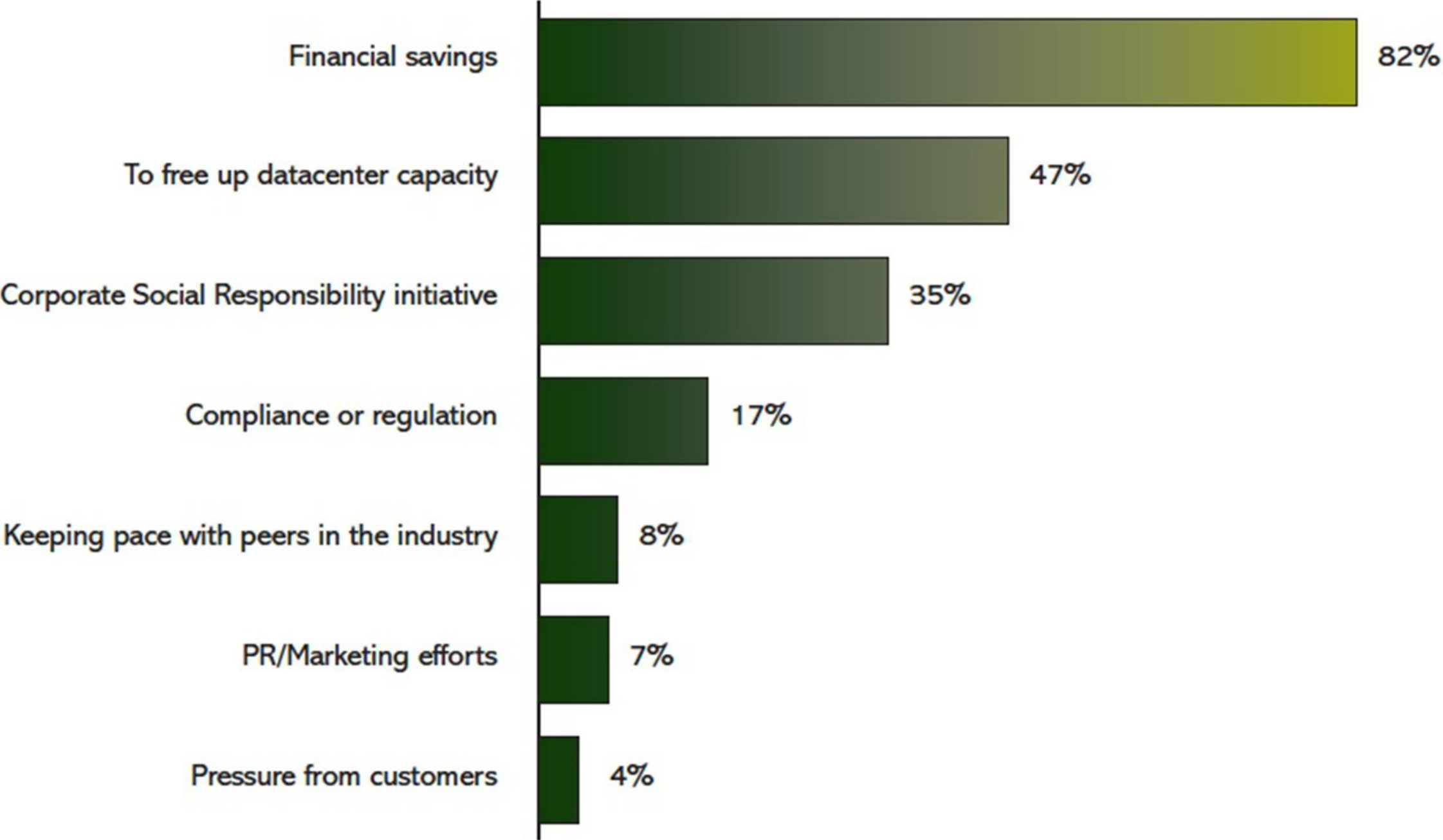


INTRODUCCIÓN | EFICIENCIA ENERGÉTICA

“DRIVERS” DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

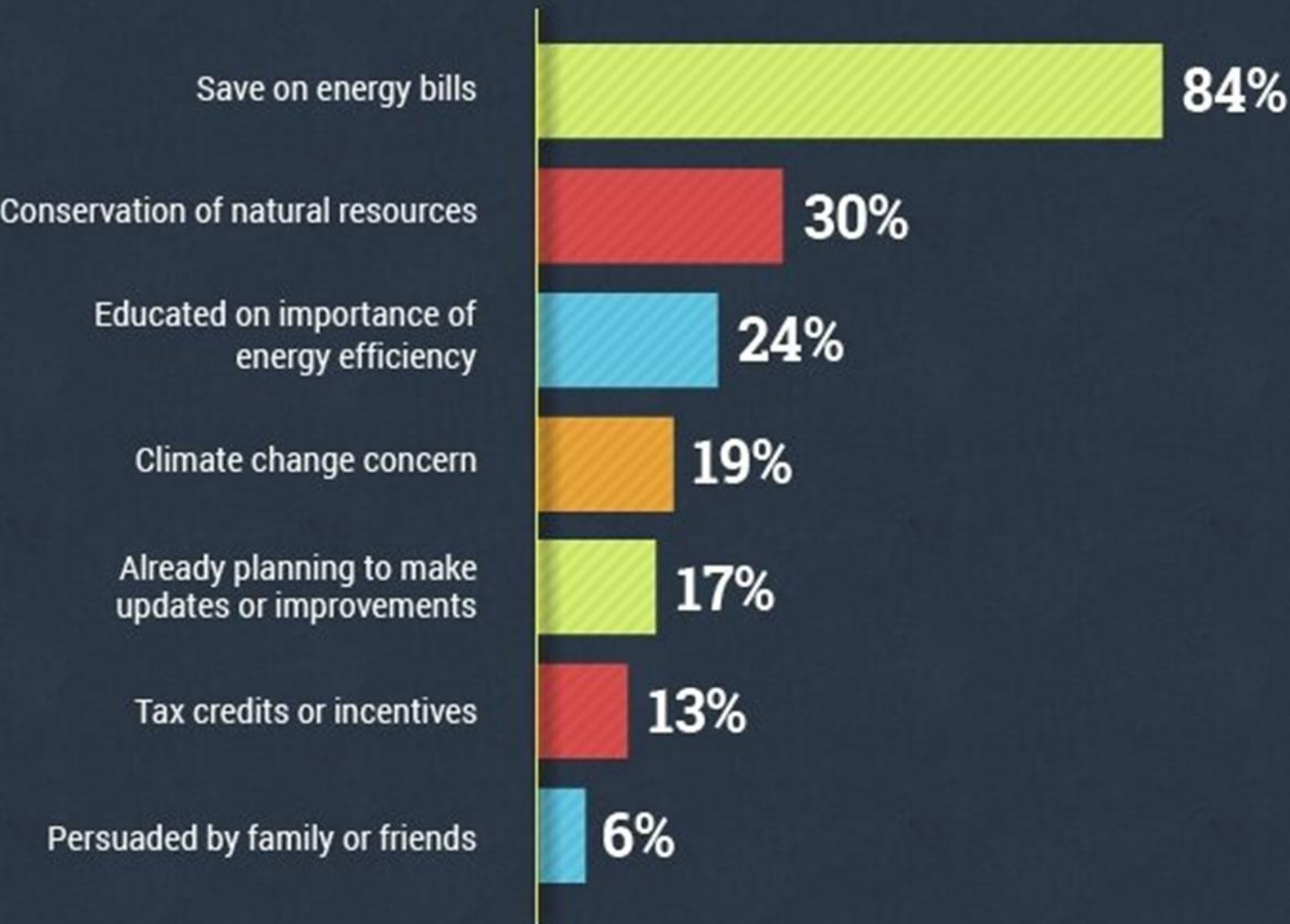
FIGURE 1: ENERGY-EFFICIENCY DRIVERS

If you are pursuing energy efficiency in your datacenter operations, select the top 2 drivers



Source: Uptime Institute 2012 Data Center Industry Survey

WHAT DRIVES YOU* TO MAKE ENERGY EFFICIENCY UPDATES?



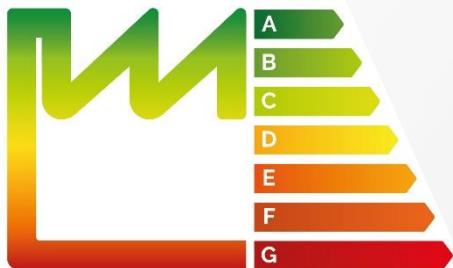
* AMONG AMERICANS WHO ARE PLANNING TO MAKE THEIR HOME MORE ENERGY EFFICIENT IN THE NEXT YEAR



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



INTRODUCCIÓN | EFICIENCIA ENERGÉTICA

“DRIVERS” DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

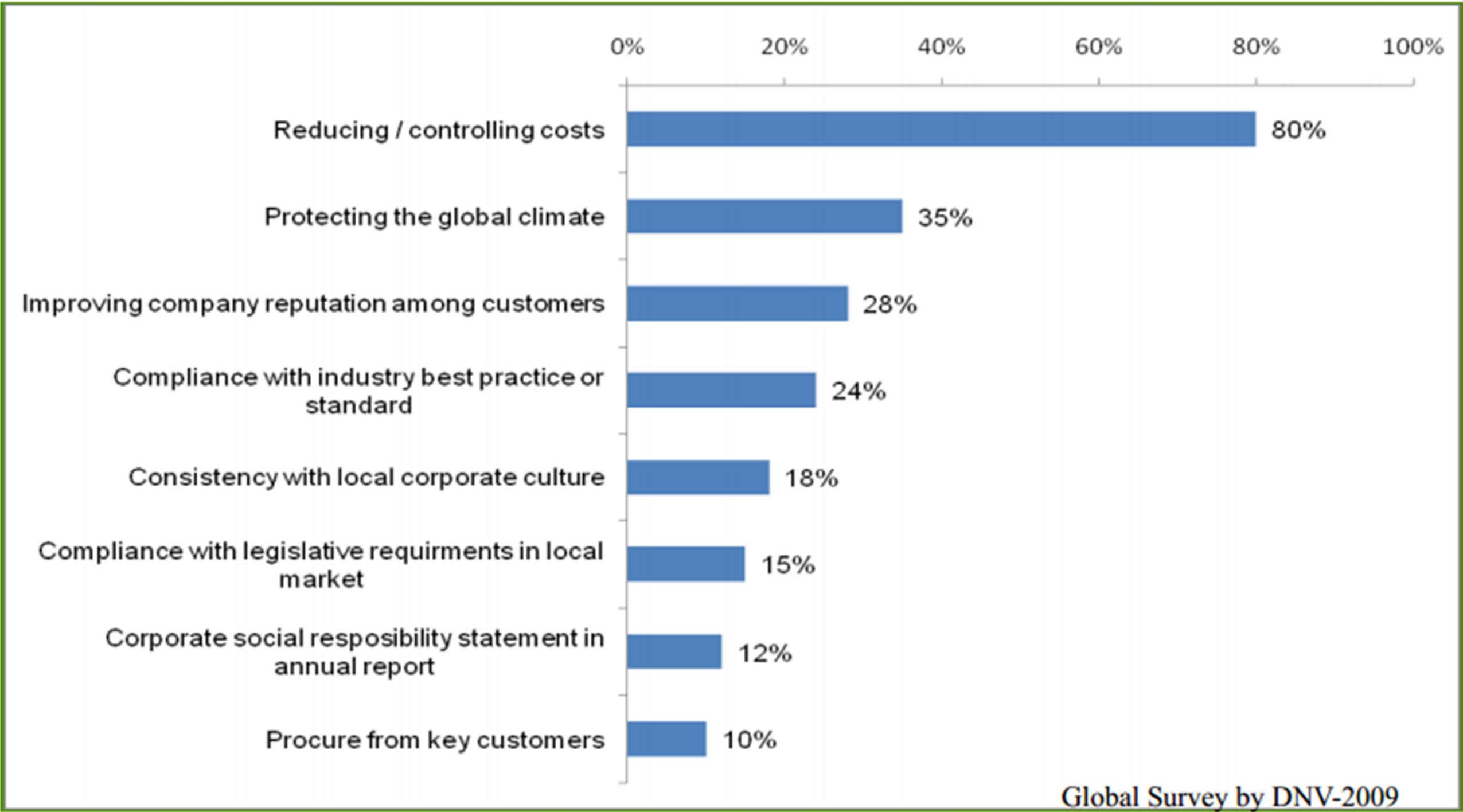
ENERGY EFFICIENCY

Report: Efficiency Is a More Important Economic Driver Than Energy Supply



A new analysis concludes that economic productivity is more closely tied to energy efficiency than energy production.

by Stephen Lacey
February 20, 2013



© DNV Business Assurance. All rights reserved.

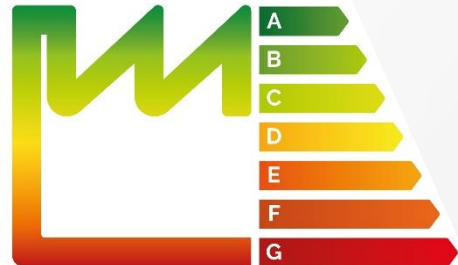
4



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción

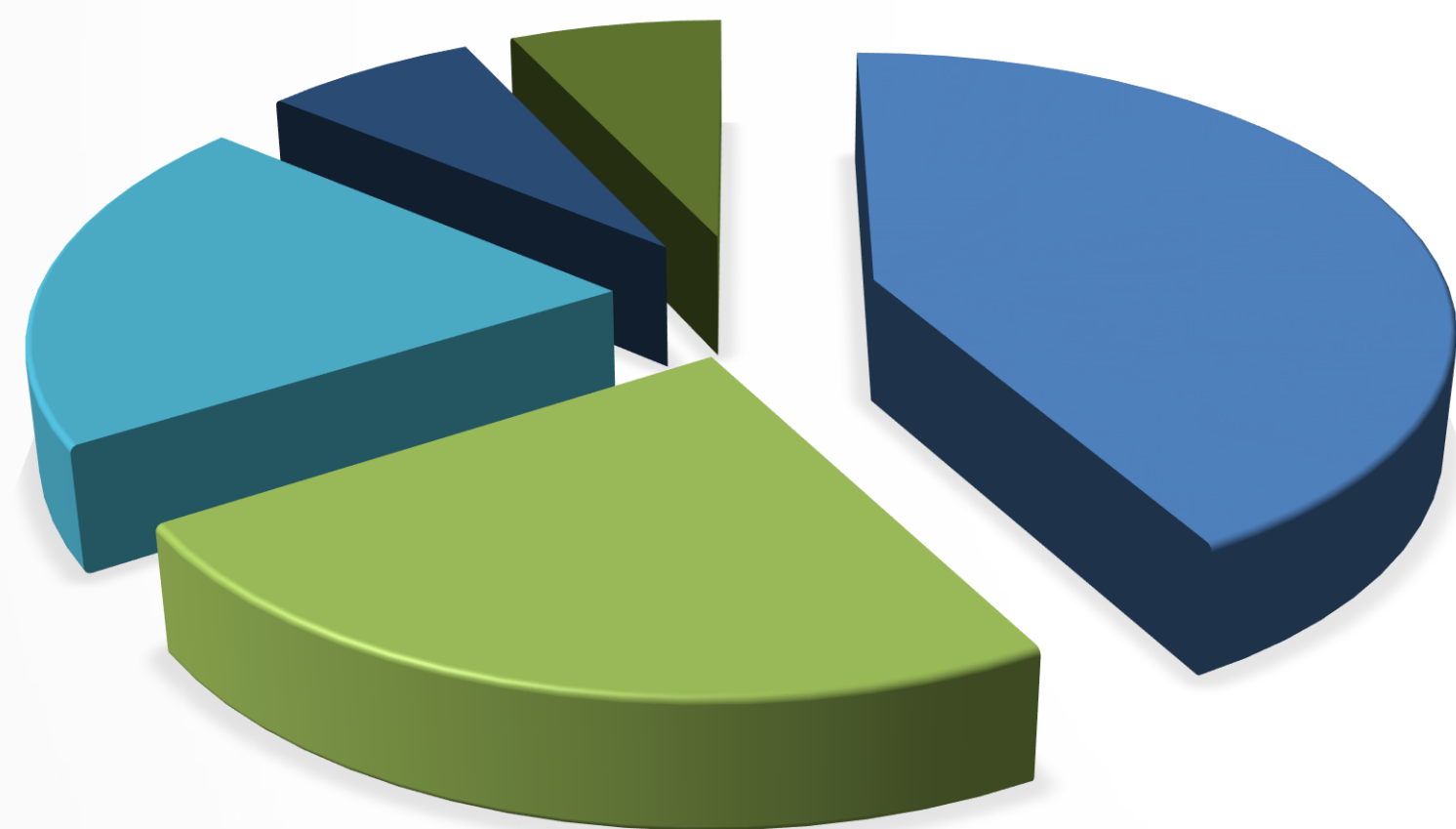


INTRODUCCIÓN | EFICIENCIA ENERGÉTICA

BENEFICIOS | IMPORTANCIA (SECTOR INDUSTRIAL)

Margen Bruto = \$ productos - \$ materia prima

↑ **Margen Neto** = Margen Bruto - **Costos operativos** ↓



Distribución típica de gastos operativos en una Industria energointensiva

- Energía
- Personal
- Otros Gs. Variables
- Mantenimiento
- Otros Gs. Fijos

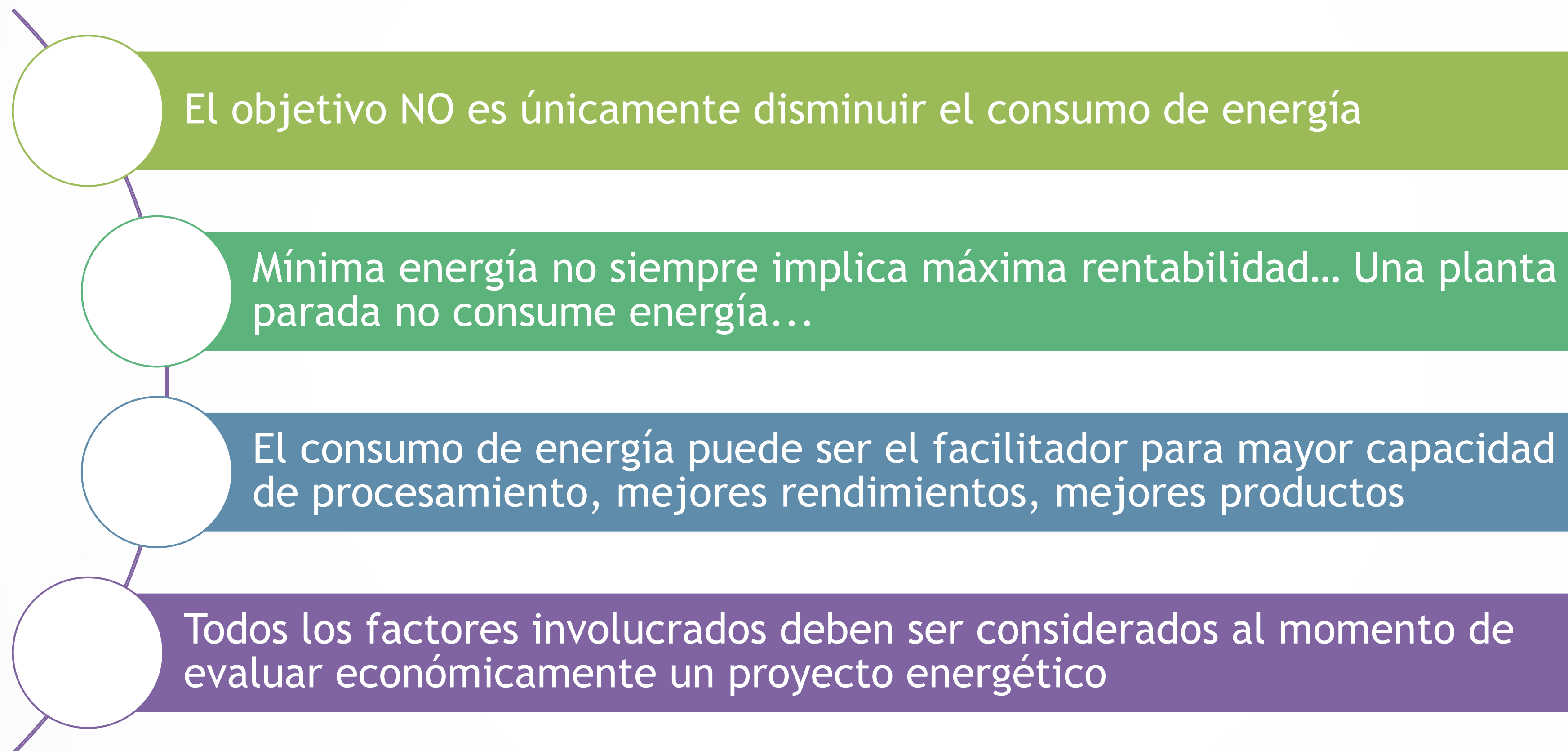
INTRODUCCIÓN | EFICIENCIA ENERGÉTICA

MÚLTIPLES BENEFICIOS



INTRODUCCIÓN | EFICIENCIA ENERGÉTICA

ALGUNOS PUNTOS IMPORTANTES



INTRODUCCIÓN

PUNTOS A DESARROLLAR

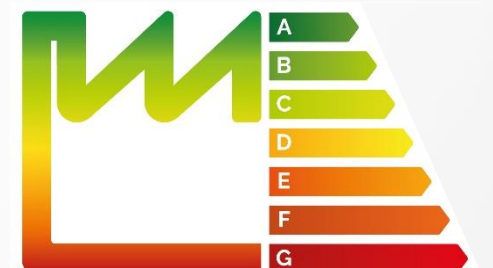
- 🔥 Situación energética - sector industrial
- 🔥 Rol del vapor en la matriz energética de la industria
- 🔥 Principios básicos del vapor
- 🔥 Componentes de un sistema de vapor: generalidades



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



INTRODUCCIÓN | SISTEMAS DE VAPOR

COMPONENTES DE UN SISTEMA DE SERVICIOS AUXILIARES TÍPICO

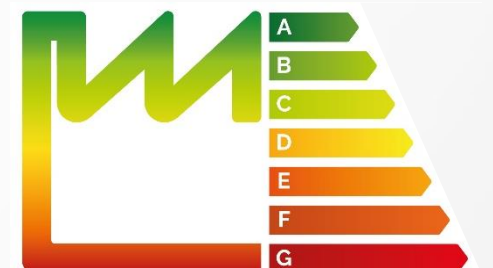
- Vapor
- Energía Eléctrica
- Fuel Oil
- Fuel Gas
- Agua de Enfriamiento
- Aguas de Caldera
- Condensado
- Aire de Instrumentos
- Nitrógeno
- Hidrógeno



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe

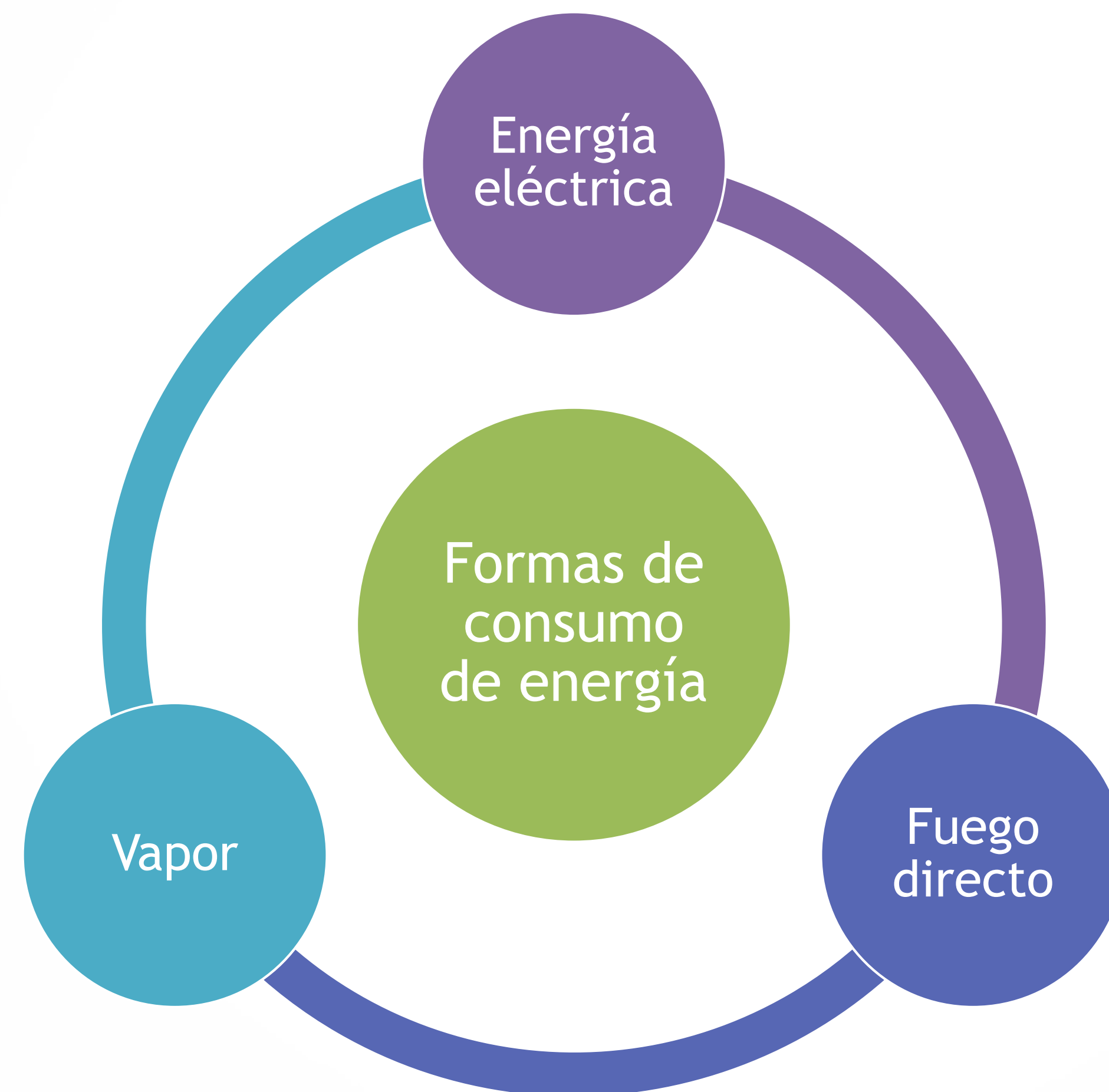


Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



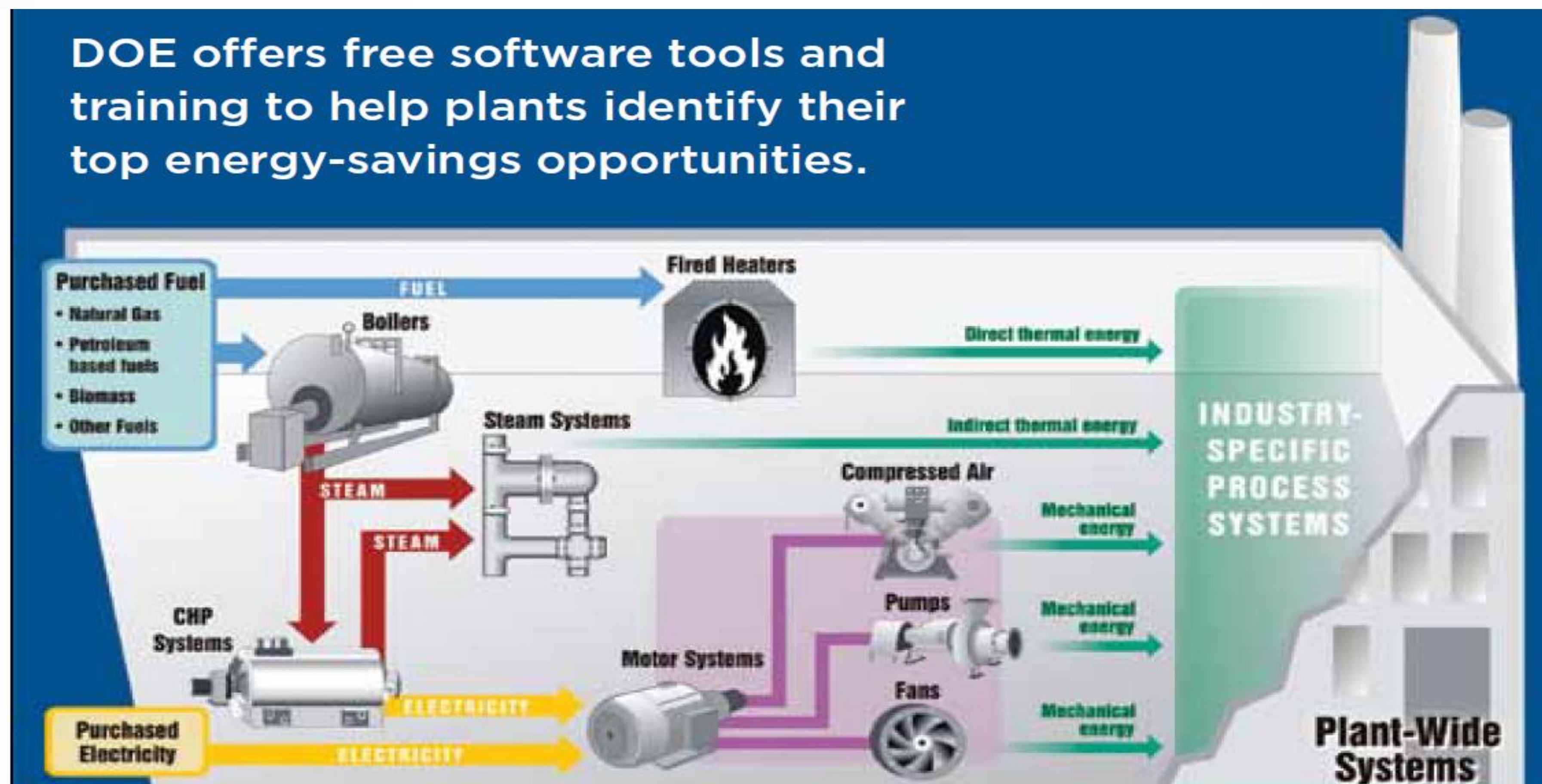
INTRODUCCIÓN | SISTEMAS DE VAPOR

CONSUMO DE ENERGÍA EN UNIDADES DE PROCESO



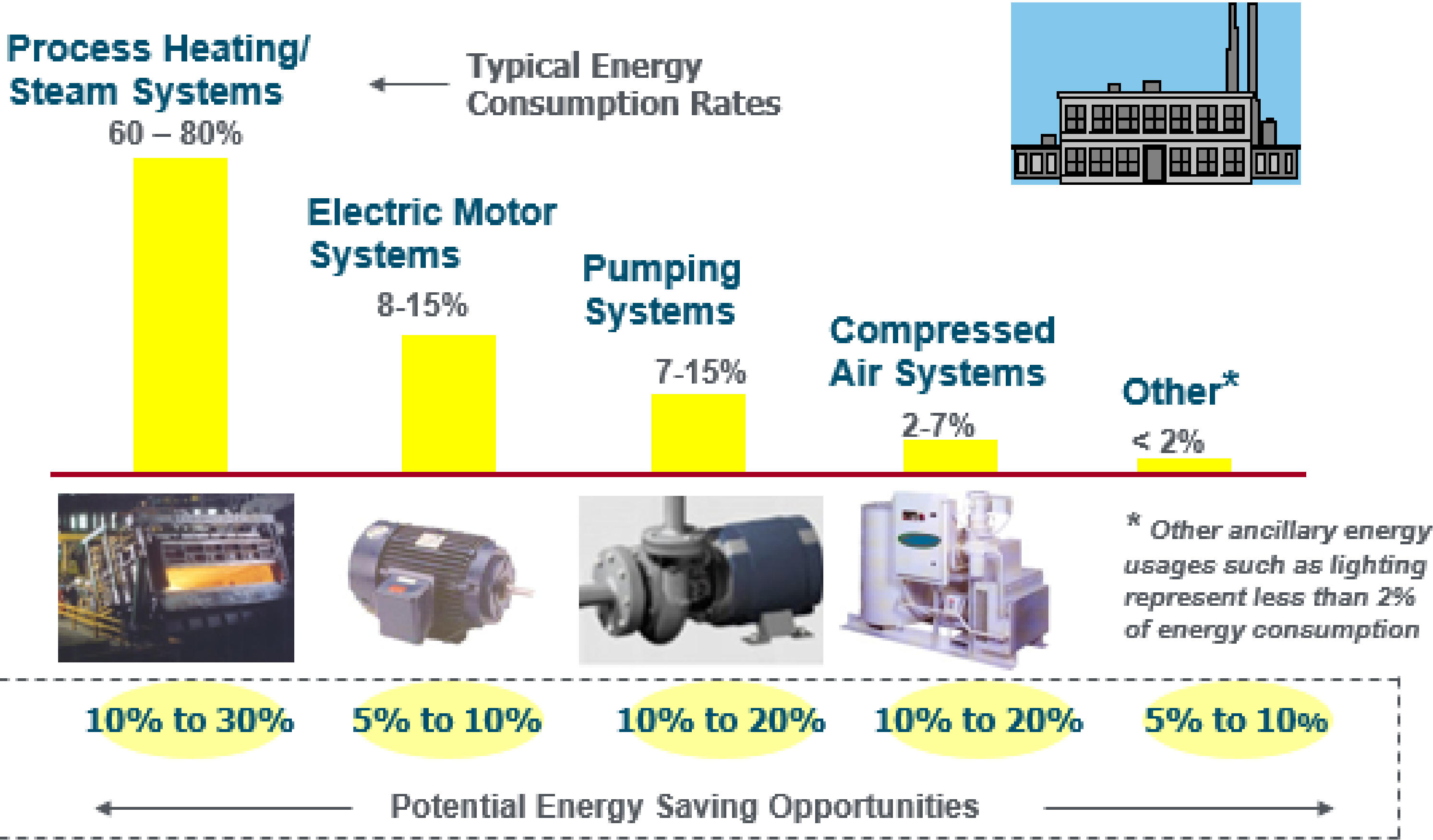
INTRODUCCIÓN | SISTEMAS DE VAPOR

CONSUMO DE ENERGÍA EN UNIDADES DE PROCESO



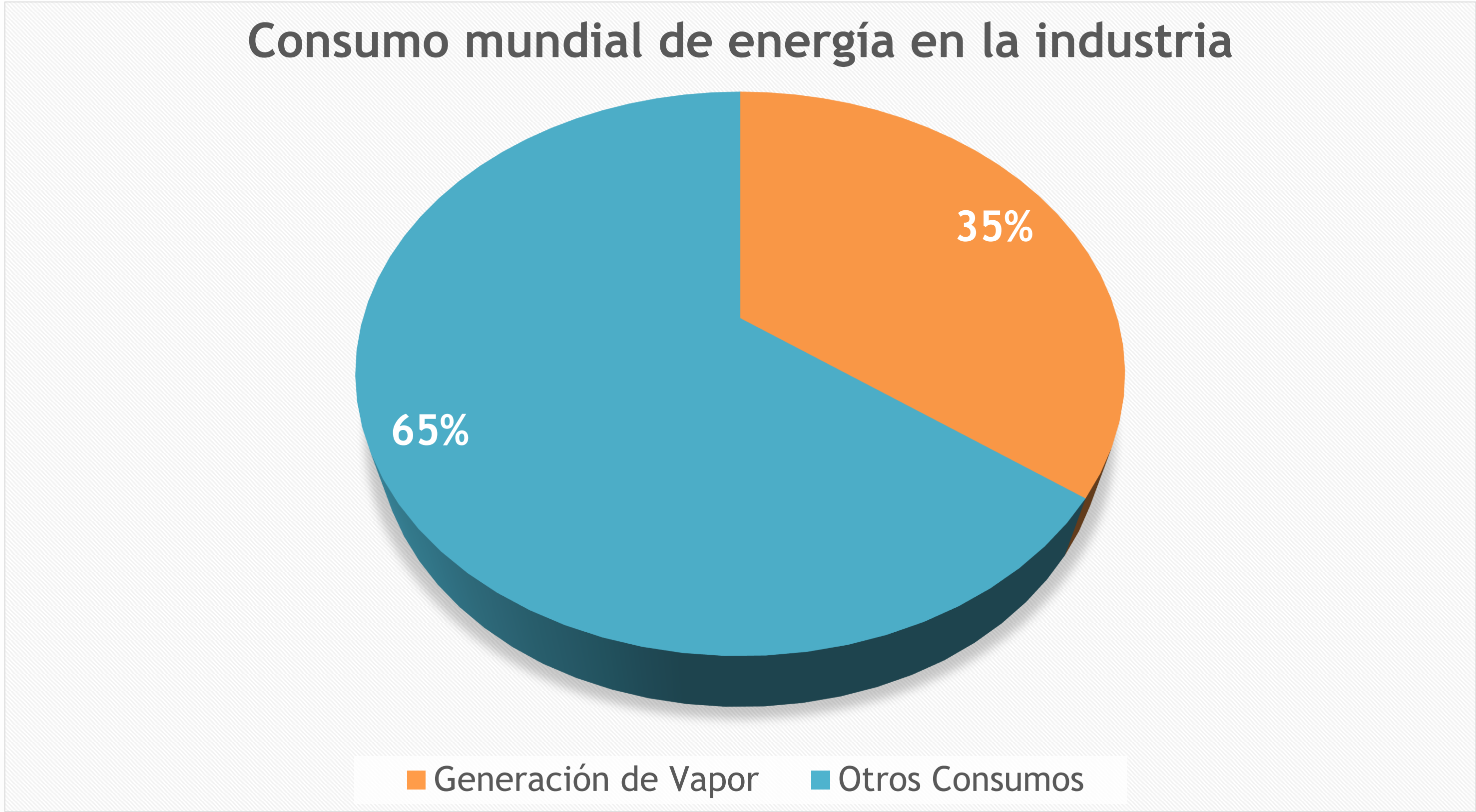
INTRODUCCIÓN | SISTEMAS DE VAPOR

CONSUMO DE ENERGÍA EN UNIDADES DE PROCESO



INTRODUCCIÓN | SISTEMAS DE VAPOR

CONSUMO DE ENERGÍA PARA GENERACIÓN DE VAPOR



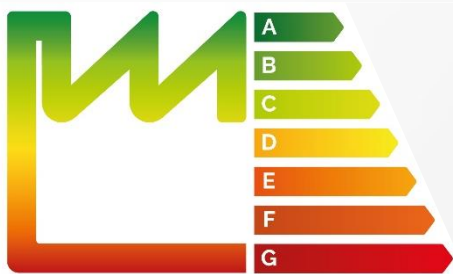
Fuente: Office of Industrial Technologies, Energy Efficiency and Renewable Energy. U.S. D.O.E.



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe



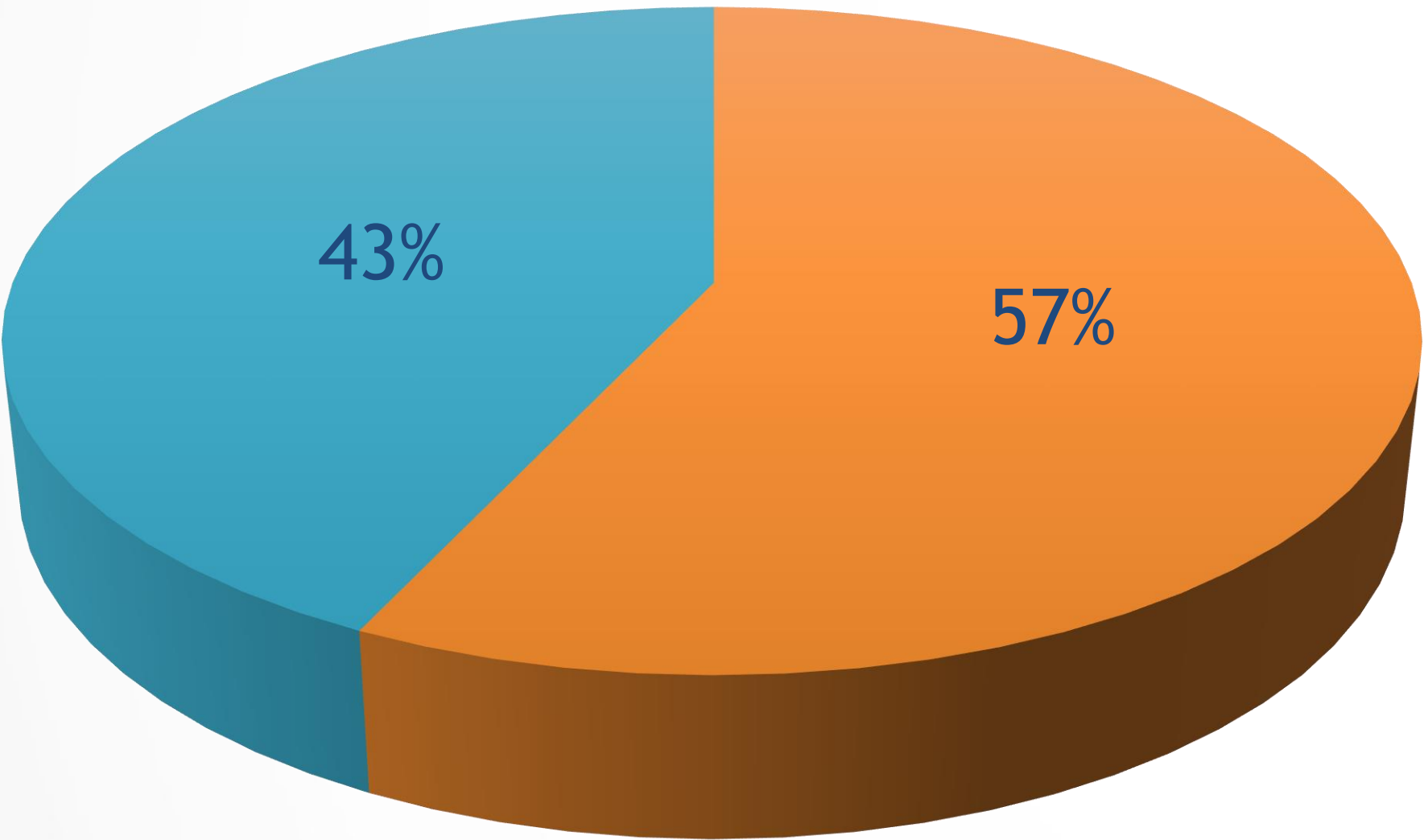
Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



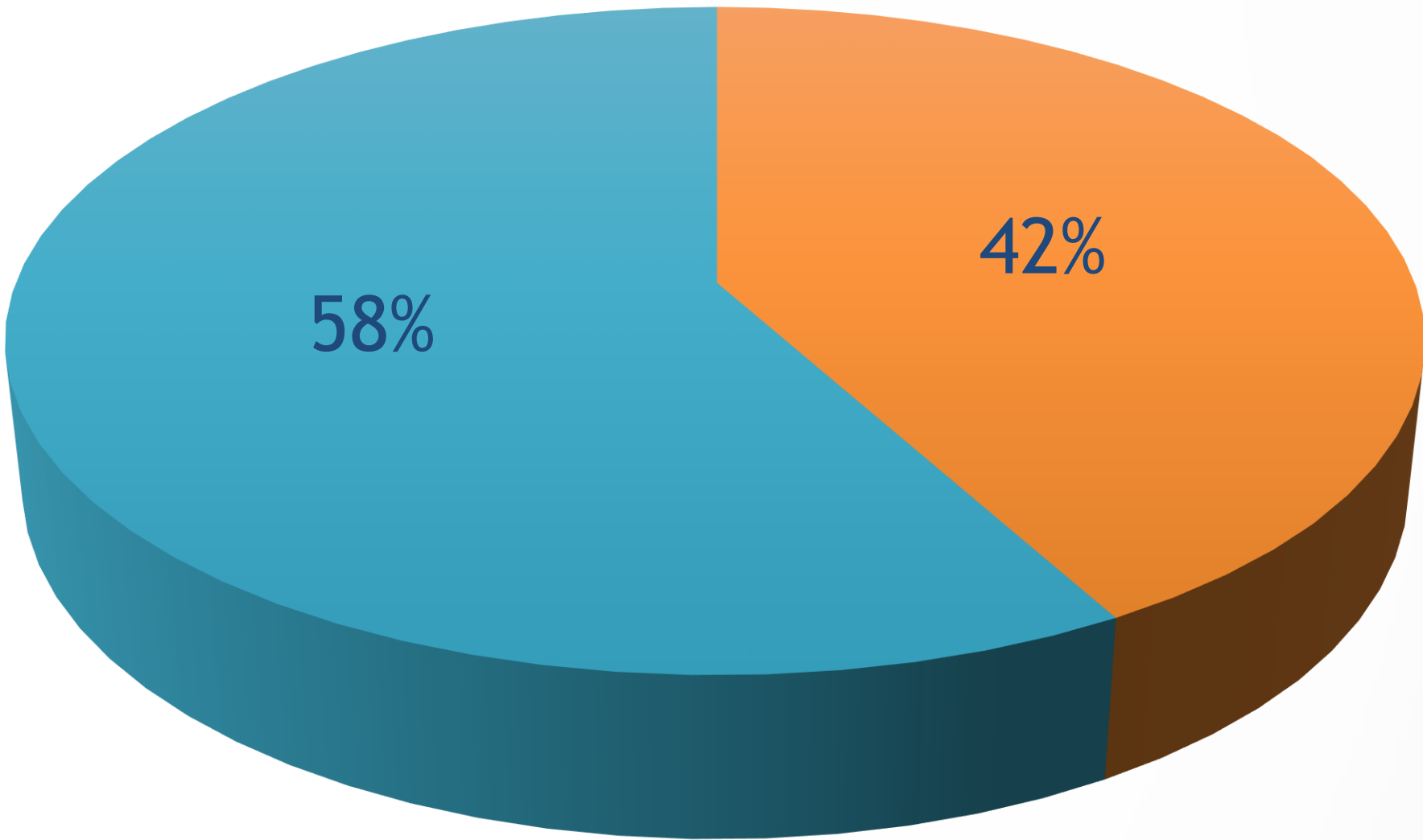
INTRODUCCIÓN | SISTEMAS DE VAPOR

CONSUMO DE ENERGÍA PARA GENERACIÓN DE VAPOR

Consumo mundial de energía en la industria química



Consumo mundial de energía en la industria de refinación



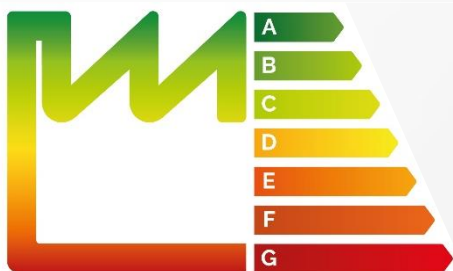
Fuente: Office of Industrial Technologies, Energy Efficiency and Renewable Energy. U.S. D.O.E.



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



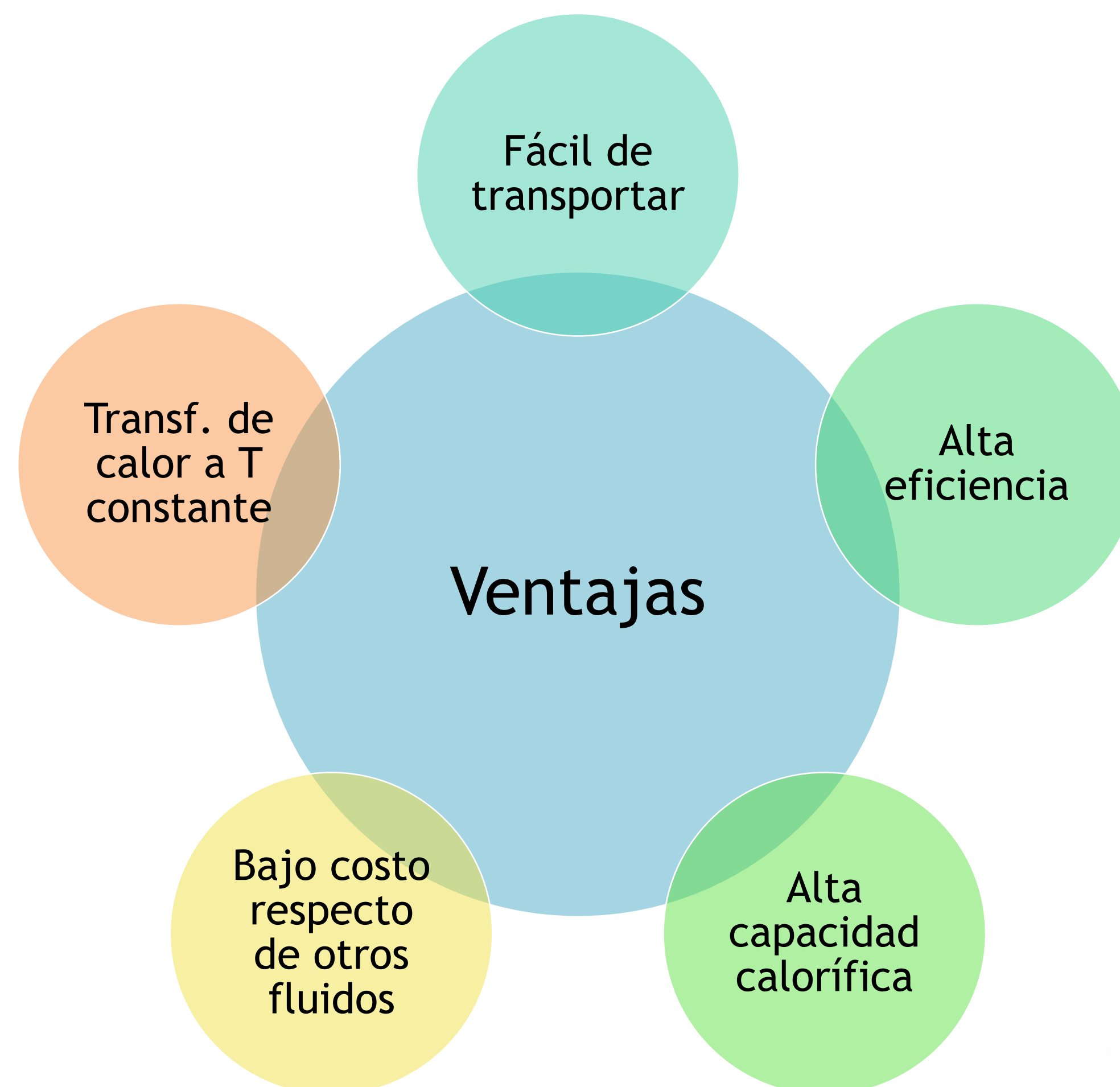
INTRODUCCIÓN | SISTEMAS DE VAPOR

USOS DEL VAPOR



INTRODUCCIÓN | SISTEMAS DE VAPOR

VENTAJAS DE SU USO



INTRODUCCIÓN

PUNTOS A DESARROLLAR

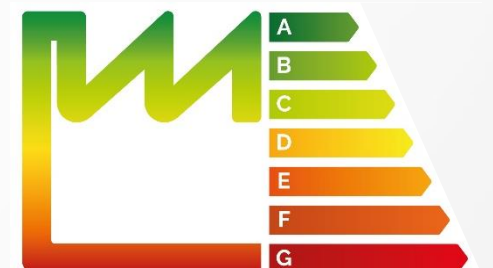
- 🔥 Situación energética - sector industrial
- 🔥 Rol del vapor en la matriz energética de la industria
- 🔥 Principios básicos del vapor
- 🔥 Componentes de un sistema de vapor: generalidades



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



INTRODUCCIÓN | PRINCIPIOS BÁSICOS

¿QUÉ ES EL VAPOR?

- ✓ El **vapor** es un **estado** en el cual se puede encontrar un fluido.
- ✓ Hay muchos fluidos o sustancias que pueden encontrarse **en estado vapor** (agua, amoníaco, refrigerantes - R134a, R22, entre otros -, CO_2).
- ✓ A los fines de esta sección del curso, nos interesa el “**AGUA**” como fluido termodinámico.



INTRODUCCIÓN | PRINCIPIOS BÁSICOS

¿QUÉ ES EL VAPOR?

El agua puede estar en tres estados:

- ✓ Sólido
- ✓ Líquido
- ✓ Vapor (gas)

Centraremos la atención en las fases *líquido / vapor* y en el cambio de una a la otra.



INTRODUCCIÓN | PRINCIPIOS BÁSICOS

¿CÓMO SE OBTIENE EL VAPOR?

Al añadir calor al agua, en estado líquido, su temperatura aumenta hasta alcanzar un valor llamado **temperatura de saturación**.

Un aporte de energía adicional, hará que el agua hierva y se convierta en vapor (húmedo). La evaporación requiere una cantidad importante de energía y, mientras se está produciendo, el agua y el vapor formado tienen la misma temperatura.



Cuando el agua líquida se transforma totalmente en vapor, se obtiene **vapor saturado**. Un aporte de energía adicional, hará que el vapor saturado se sobrecaliente y su temperatura aumente.



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe

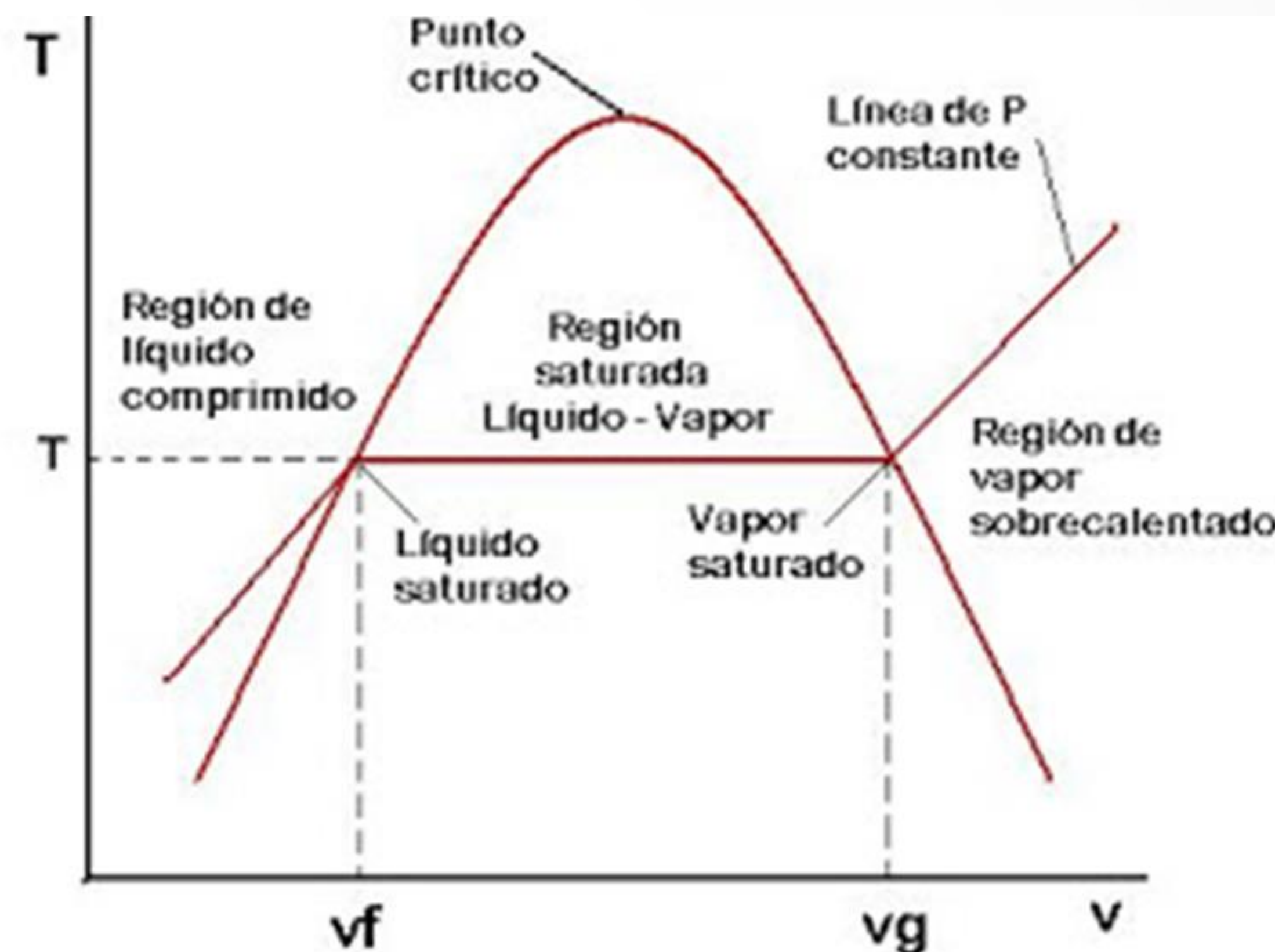
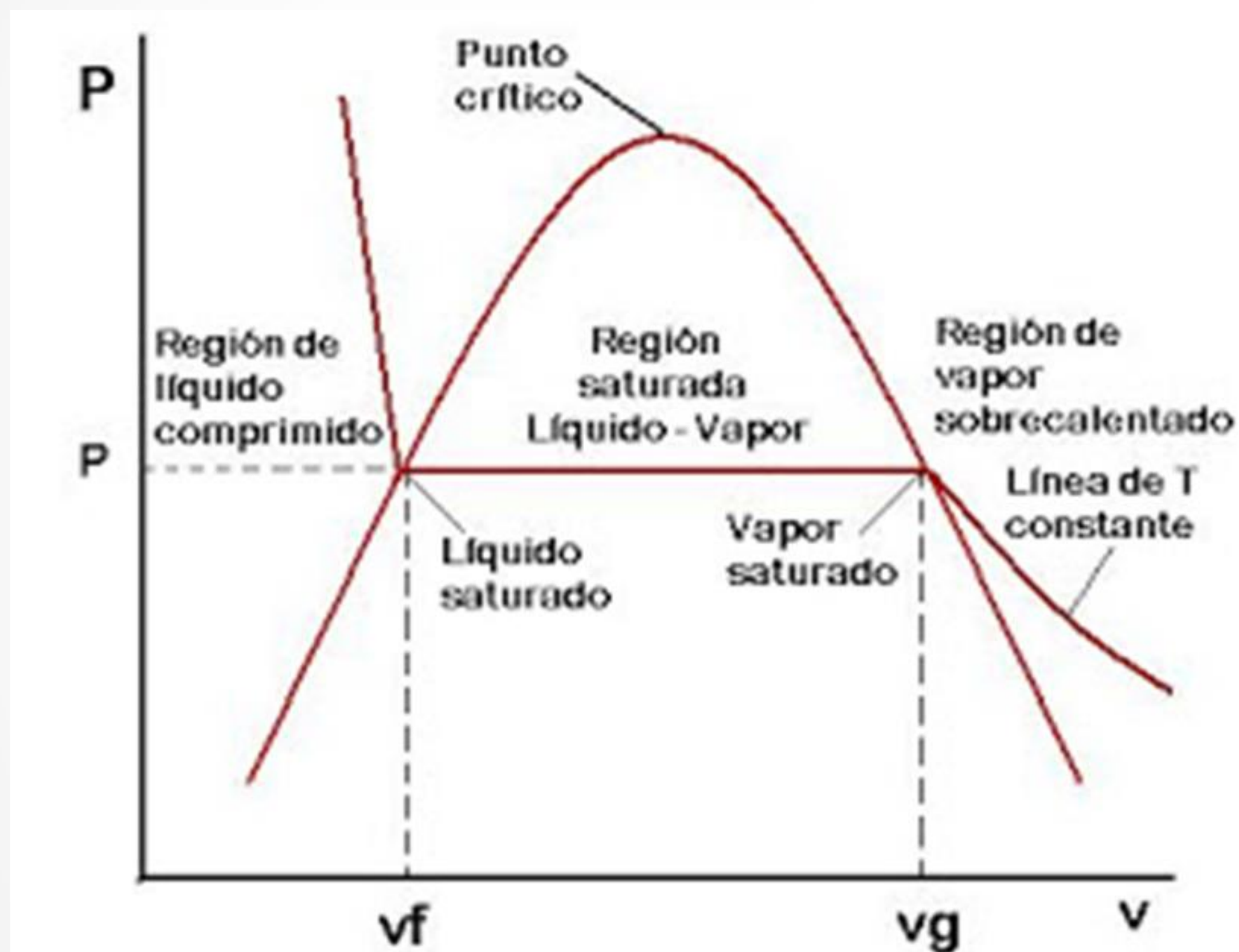


Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



INTRODUCCIÓN | PRINCIPIOS BÁSICOS

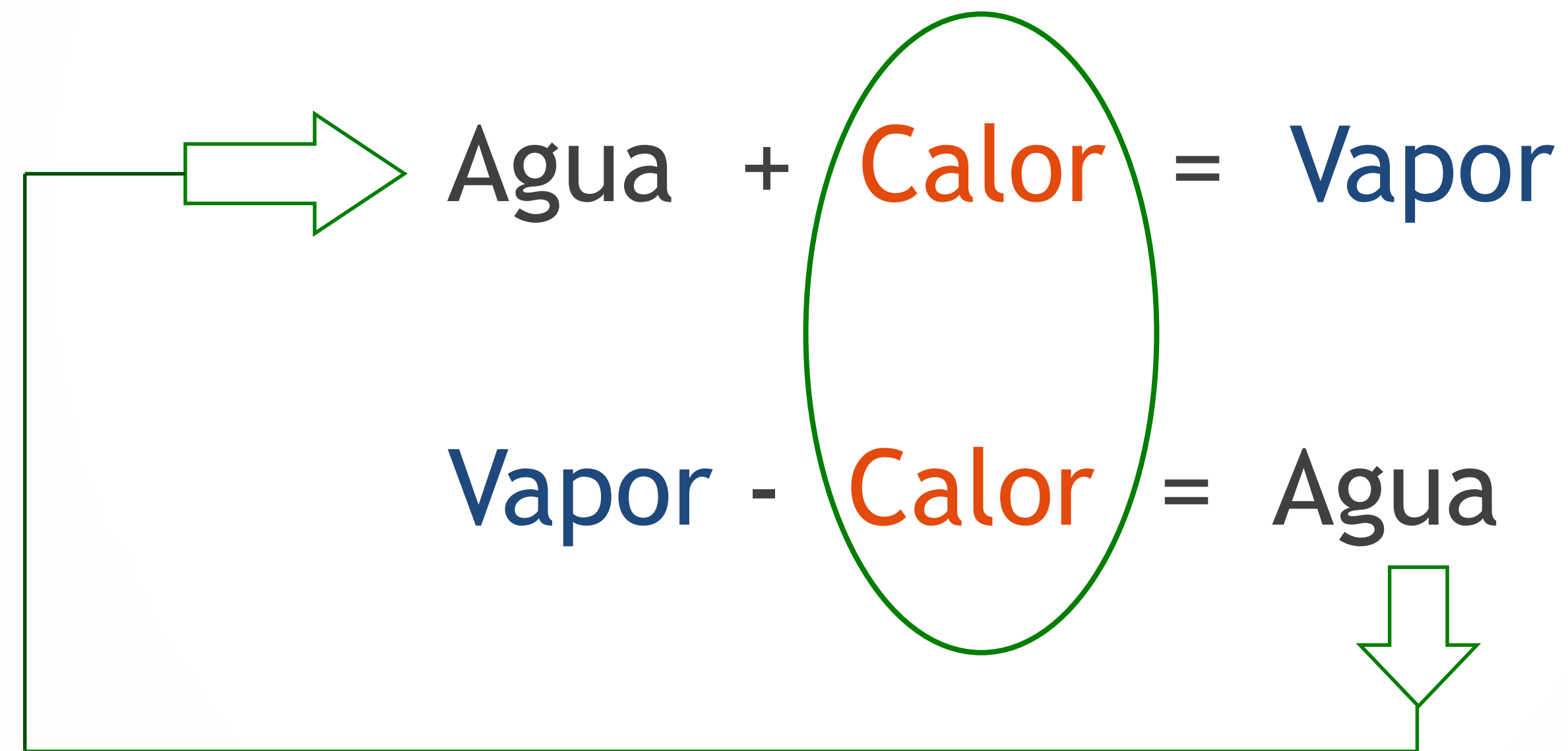
¿CÓMO SE OBTIENE EL VAPOR?



INTRODUCCIÓN | PRINCIPIOS BÁSICOS

¿PARA QUÉ SE USA EL VAPOR?

Después de utilizarse como fuerza motriz, se descubrió que el vapor también era muy eficaz como medio de transferencia de energía calorífica.



El vapor es un transportador energía

INTRODUCCIÓN | PRINCIPIOS BÁSICOS

TABLAS DEL VAPOR

Presión manom. [bar]	Presión absoluta [bar]	Temp. [°C]	<u>ENTALPIA ESPECIFICA</u>			Volumen específico [m³/kg]
			Agua [kJ/kg]	Evaporación [kJ/kg]	Total [kJ/kg]	
0	1	100	419	2257	2676	1.673
1	2	120.42	506	2201	2707	0.881
2	3	133.69	562	2163	2725	0.603
3	4	143.75	605	2133	2738	0.461
4	5	151.96	641	2108	2749	0.374
5	6	158.92	671	2086	2757	0.315
6	7	165.04	697	2066	2763	0.272
7	8	170.5	721	2048	2769	0.24



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



INTRODUCCIÓN | PRINCIPIOS BÁSICOS

CALIDAD DEL VAPOR

➤ ***VAPOR SATURADO***

- No contiene gotas de agua líquida.

➤ ***VAPOR HÚMEDO***

- Contiene gotas de agua.
- Aumenta la erosión y reduce la transferencia de calor.

➤ ***VAPOR SOBRECALENTADO***

- Temperatura por encima del vapor saturado.
- Se utiliza habitualmente para turbinas.

Es importante que el vapor utilizado para procesos sea lo más seco posible



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



INTRODUCCIÓN | PRINCIPIOS BÁSICOS

¿POR QUÉ SE USA EL VAPOR?

- Para su producción se utiliza agua.
Abundante, barata y fácil de obtener.
- Es controlable.
A cada presión le corresponde una temperatura, una energía específica, y un volumen específico.
- Transporta cantidades de energía elevadas por unidad de masa.
Menor superficie de intercambio en los procesos y menor cantidad de fluido usado.
- Es estéril y de fácil distribución y control.



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



INTRODUCCIÓN

PUNTOS A DESARROLLAR

- 🔥 Situación energética - sector industrial
- 🔥 Rol del vapor en la matriz energética de la industria
- 🔥 Principios básicos del vapor
- 🔥 Componentes de un sistema de vapor: generalidades



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción

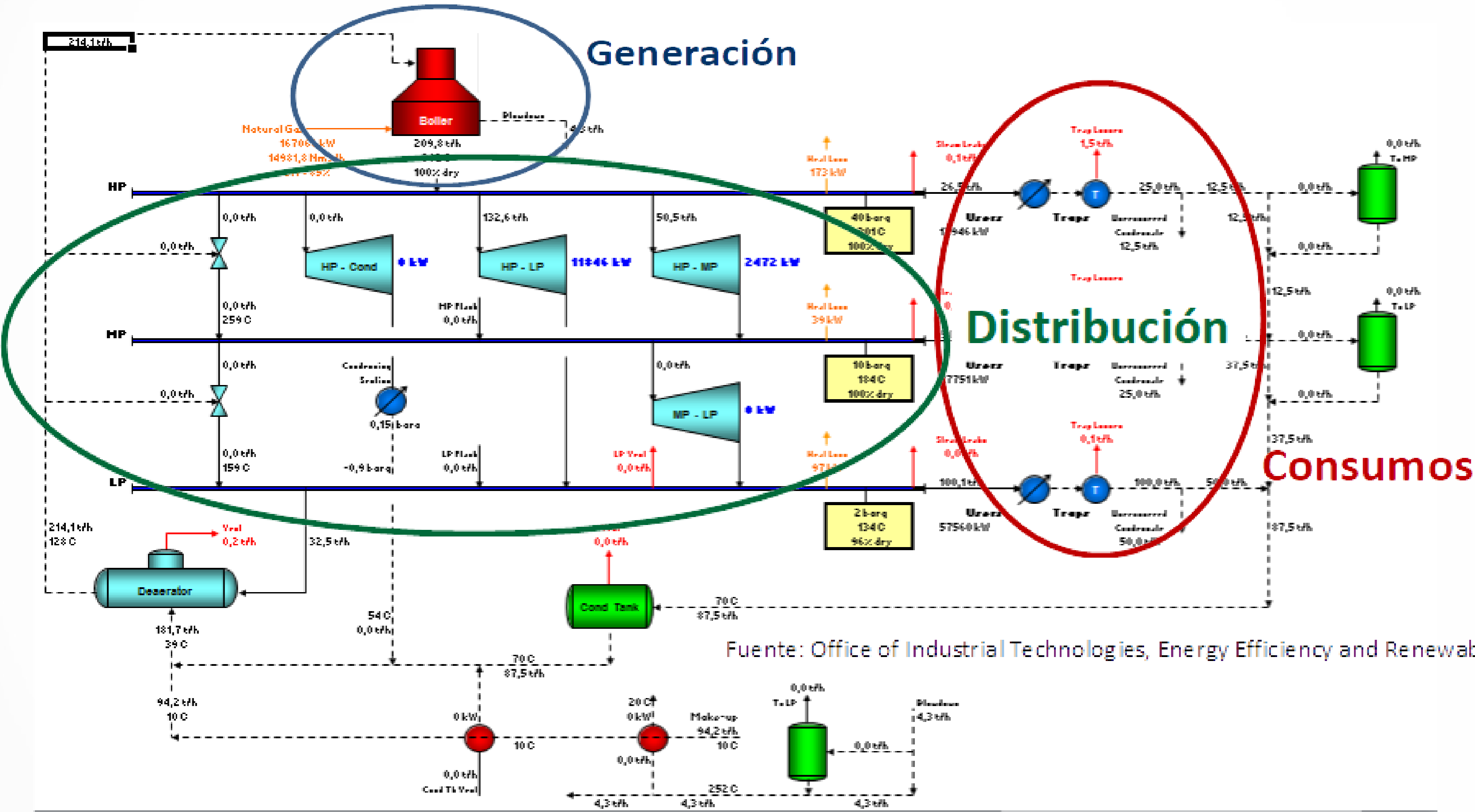


INTRODUCCIÓN | COMPONENTES DE UN SISTEMA DE VAPOR



INTRODUCCIÓN | COMPONENTES DE UN SISTEMA DE VAPOR

SISTEMA DE VAPOR TÍPICO



MÓDULO VIII

SISTEMAS DE VAPOR Y COGENERACIÓN

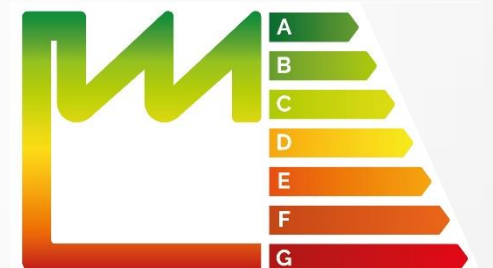
EVALUACIÓN GLOBAL



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



EVALUACIÓN GLOBAL

PUNTOS A DESARROLLAR

💧 Calor directo

💧 Aspectos a tener en cuenta

- Ineficiencias
- Redes de vapor (presentación - modelos)



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción

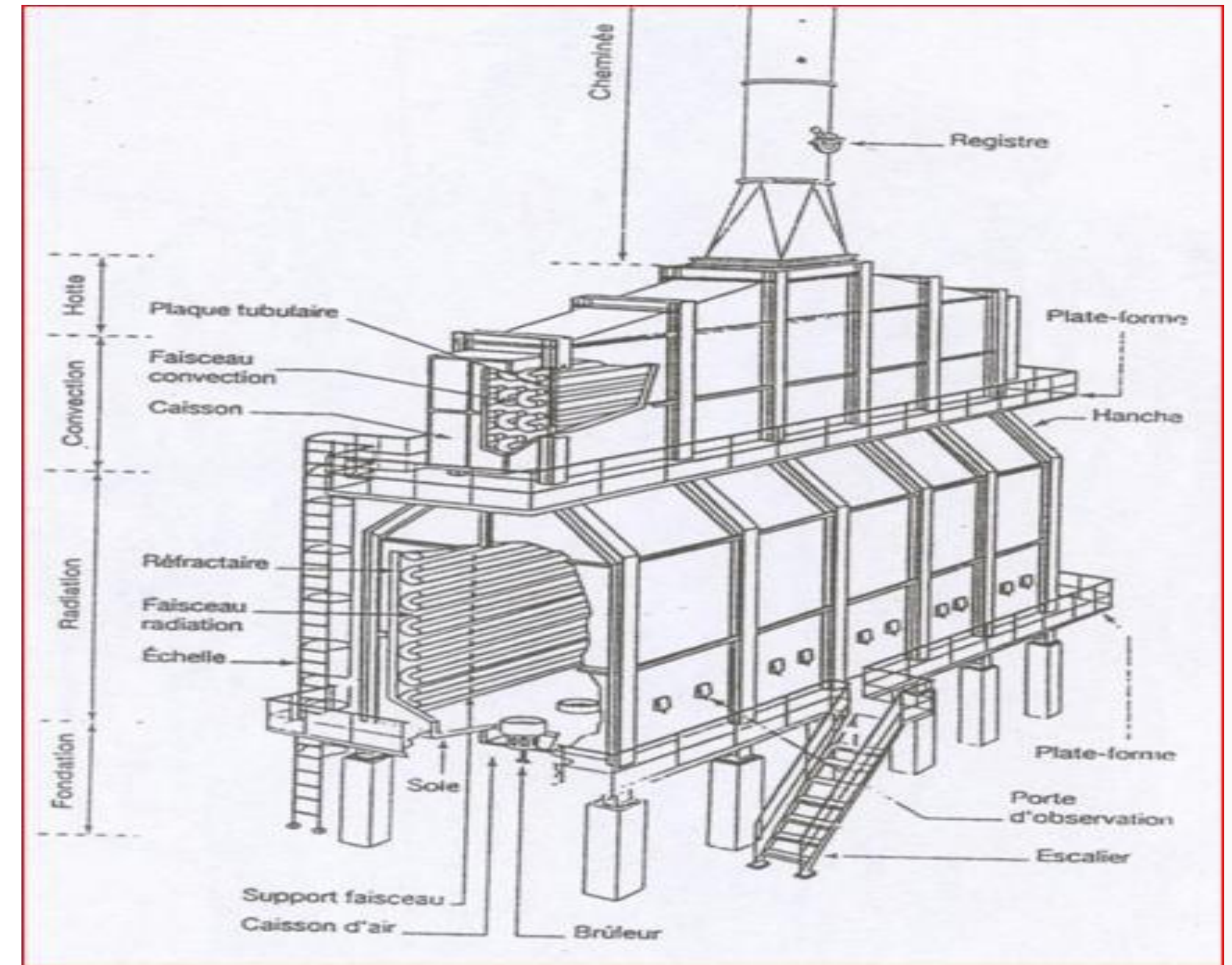


EVALUACIÓN GLOBAL

CALOR DIRECTO

CALENTADOR DE FUEGO DISCRETO. Se usa para suministrar una cantidad de calor específica, a niveles de temperatura elevados, al fluido o material a calentar.

- Se deben evitar sobrecalentamientos.
- Es una caja aislada en la cual el calor es liberado por el quemado de un combustible es transferido a un fluido o material.



EVALUACIÓN GLOBAL

FUEGO DIRECTO: HORNOS

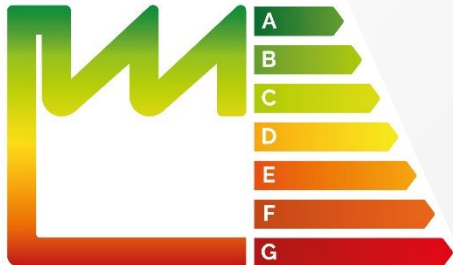
- Temperatura de chimenea
- Exceso
- Tiraje
- Calidad de combustión y control de quemadores
- Entradas parásitas
- Quemadores
- Limpieza de tubos. Descoquizado.
- Puertas abiertas
- Aislación
- Quemadores
- Nueva instrumentación
- Sistemas de precalentamiento de aire
- Generación de vapor



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



EVALUACIÓN GLOBAL

FUEGO DIRECTO: HORNOS

Práctica Recomendada

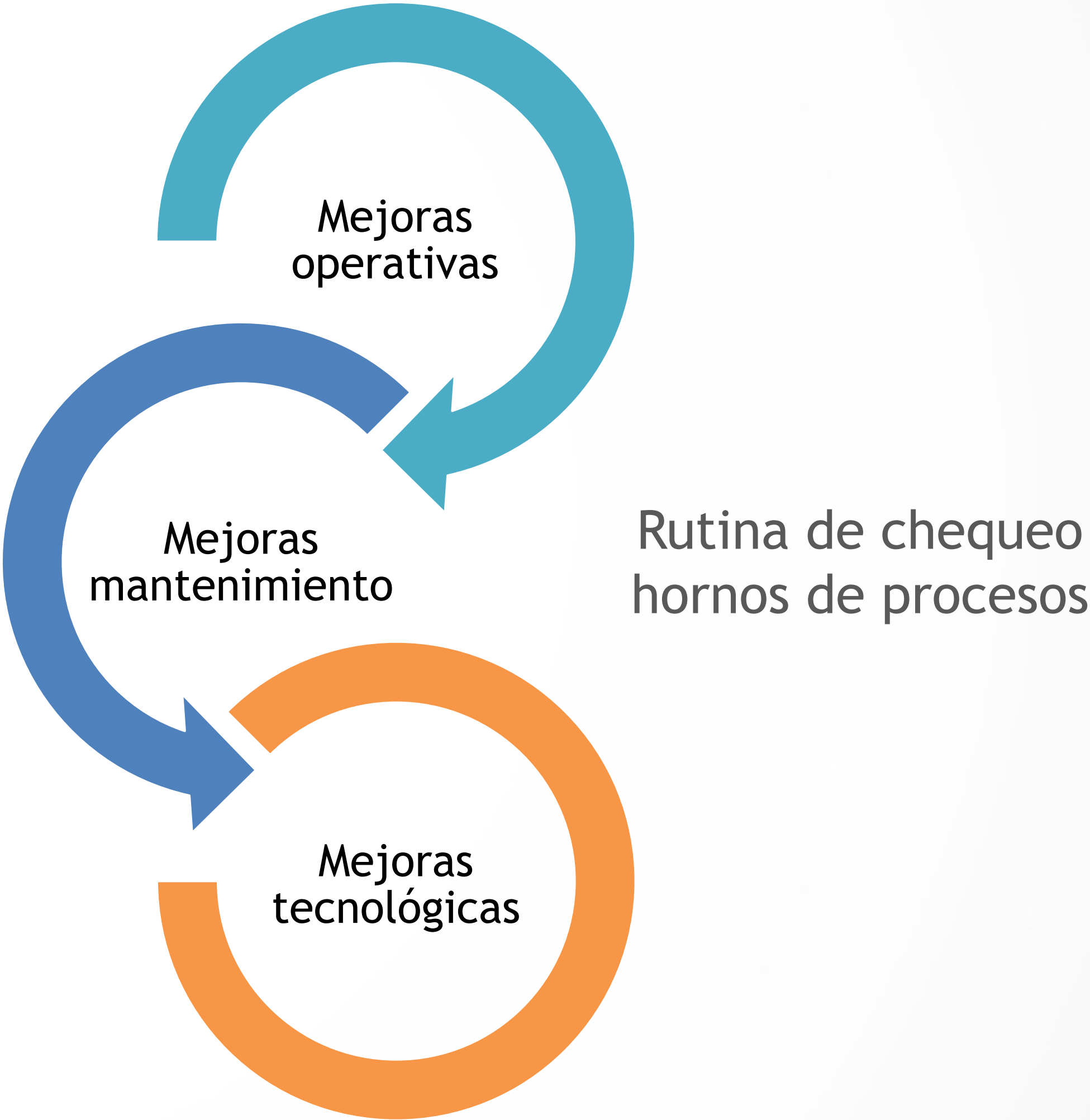


INSTITUTO ARGENTINO
DEL PETROLEO Y DEL GAS

PR IAPG-SC-12-2015-00

Seguimiento Energético de Hornos de Proceso

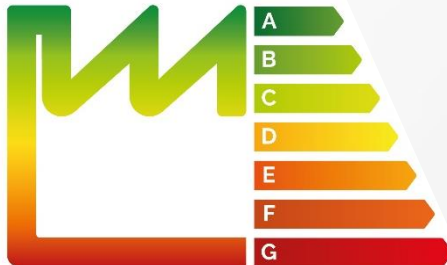
La presente PR fue aprobada en la reunión de Comisión Directiva, celebrada en el IAPG, el 29 de octubre de 2015



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe

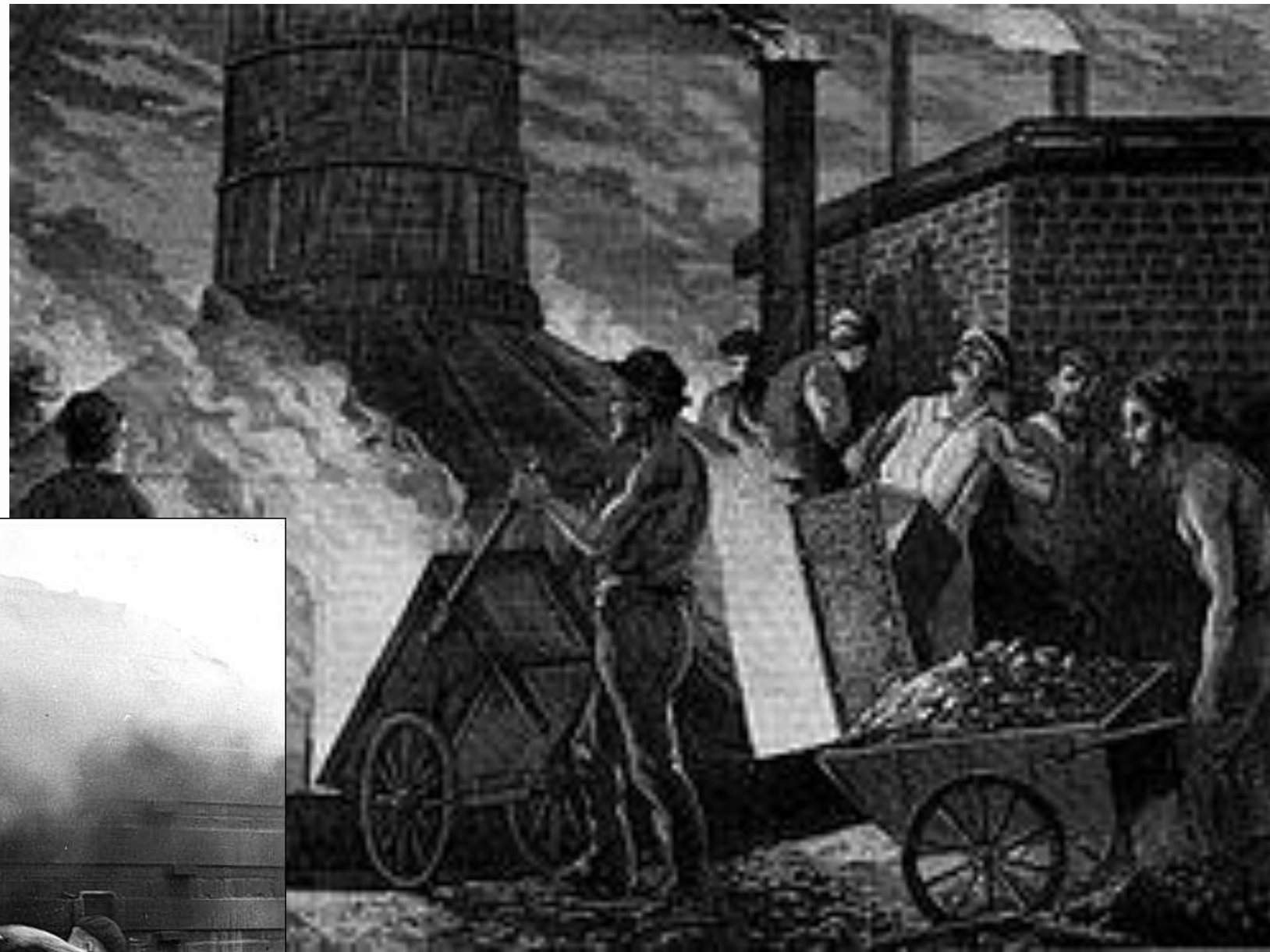


Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción

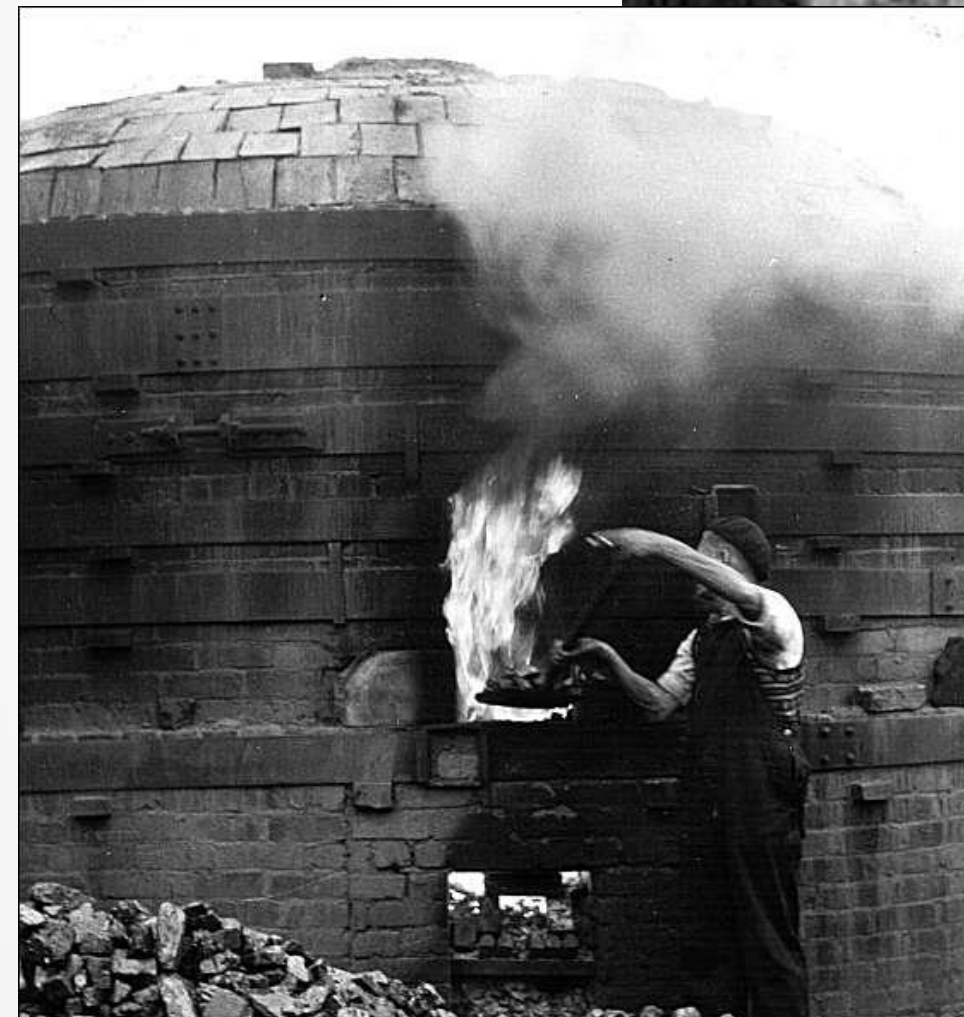


EVALUACIÓN GLOBAL

PROCESOS TÉRMICOS



Producción de hierro 1873



Horno de cocción a carbón

Antiguos



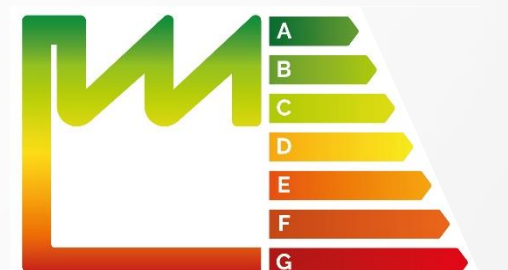
Actuales



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe

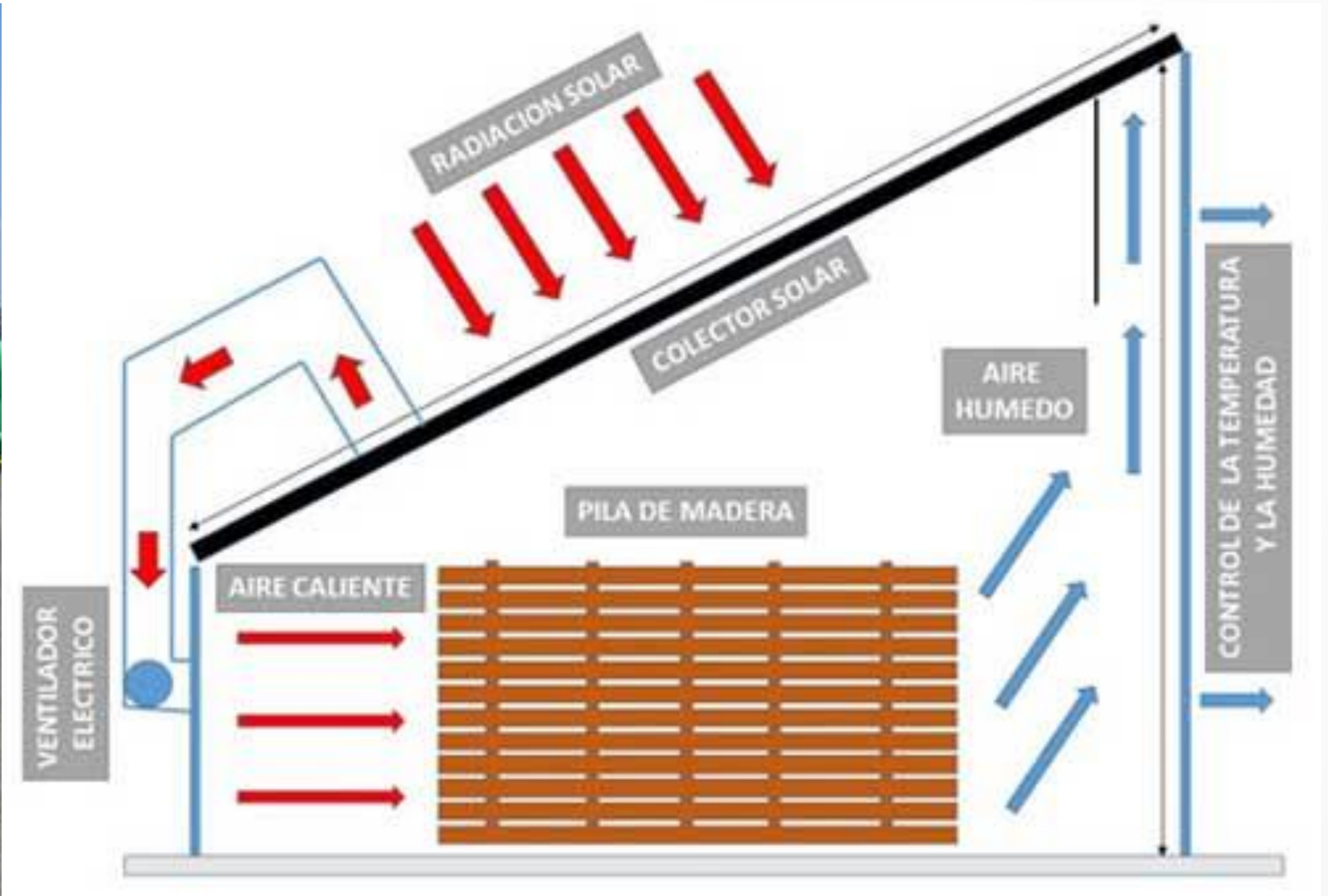


Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



EVALUACIÓN GLOBAL

PROCESOS TÉRMICOS (AIRE CALIENTE)



EVALUACIÓN GLOBAL

COMPONENTES DE CALEFACCIÓN SIMPLE



Generación

Hornos a combustibles
Hornos eléctricos
incineradores



Consumos

Calor de procesos Secado
Calefacción



EVALUACIÓN GLOBAL

SISTEMA DE CALEFACCIÓN SIMPLE

GENERACIÓN

- ✓ No se constituyen en redes, en pocos casos son arreglos de más de un equipo de generación.
- ✓ Pueden ser continuos o en batch.
- ✓ Pueden ser sistemas directos o indirectos.

RECEPTOR DE CALOR

- ✓ Proceso productivo (materiales).
- ✓ Sistemas de calentamiento.

***NO SE CUENTA CON UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN Y TRANSPORTE
GENERADOR Y RECEPTOR ESTÁN CONECTADOS***



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



EVALUACIÓN GLOBAL

COMPONENTES DE UN SISTEMA DE VAPOR



Generación

Calderas

Con corrientes de procesos

Con gases de combustión



Distribución

Niveles de vapor

Turbinas de extracción

Laminaciones

Trampas de vapor



Consumos

Calor de procesos

Calefacción

Turbinas a condensación

Stripping/procesos

Recup. de condensados

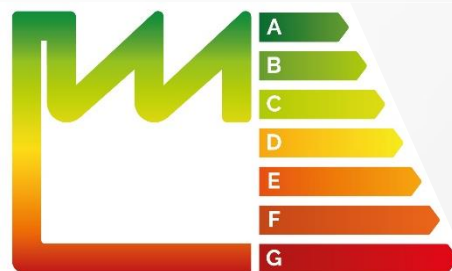
Vapor a antorchas



EVALUACIÓN GLOBAL

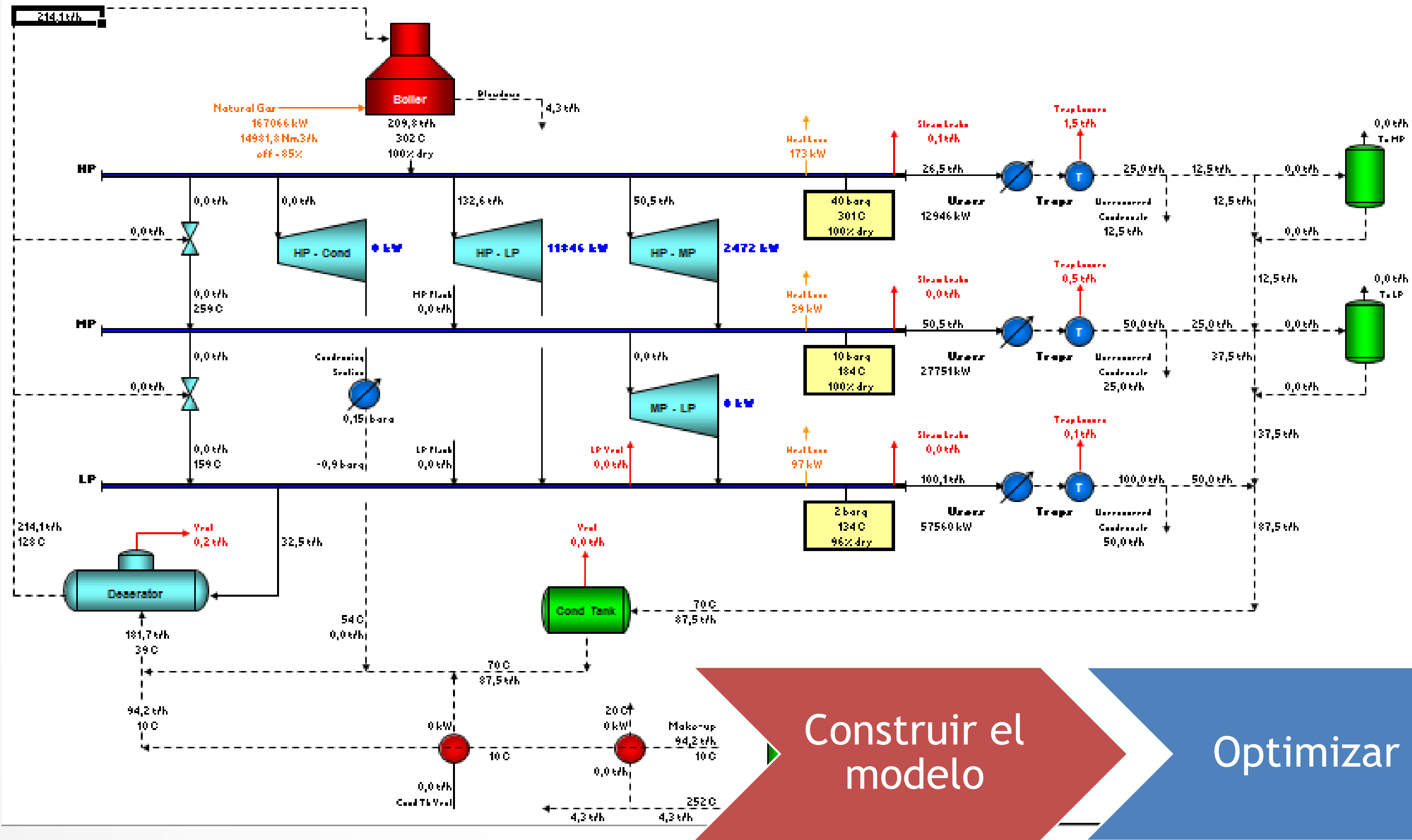
INEFICIENCIAS DE UN SISTEMA DE VAPOR

Ineficiencias	Generación	Distribución	Consumos
Estructurales	<ul style="list-style-type: none">Recuperación de calor en calderasBlowdownPrecalentamiento de BFWCalidad de BFW	<ul style="list-style-type: none">Utilización de vapor de mayor nivelSin recuperación de condensadoSelección e instalación de trampas de vapor	<ul style="list-style-type: none">Eficiencia de intercambiadoresSelección del tipo de reboilerRegulación del vapor de calefacción
Mantenimiento	<ul style="list-style-type: none">CalderasAislacionesEntradas parásitas de airePérdidas	<ul style="list-style-type: none">Aislación de colectores y turbinasFuncionamiento de trampas de vaporPérdidas	<ul style="list-style-type: none">Ensuciamiento de intercambiadoresPérdidas en sistemas de calefacción
Operacionales	<ul style="list-style-type: none">Exceso de O2BlowdownVenteos	<ul style="list-style-type: none">Turbinas auxiliares rotandoLaminacionesVenteos	<ul style="list-style-type: none">Optimización de vapor de strippingRegulación del vapor de calefacciónExceso de vapor a antorchas



EVALUACIÓN GLOBAL

REDES O MODELOS DE VAPOR - HERRAMIENTAS



Construir el
modelo

Optimizar

Implementar

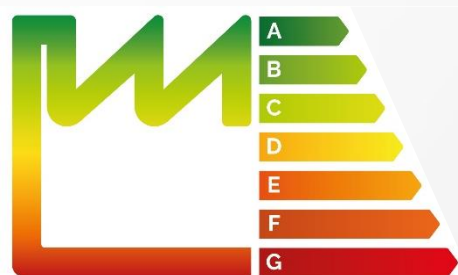
BENEFICIOS



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



EVALUACIÓN GLOBAL

MODELOS DE VAPOR

Objetivos

- Optimizar el sistema de vapor.
- Analizar diferentes alternativas de operación.

Modalidad de utilización

- En línea, conectado con el sistema de información de plantas.
- Fuera de línea.

Aplicaciones

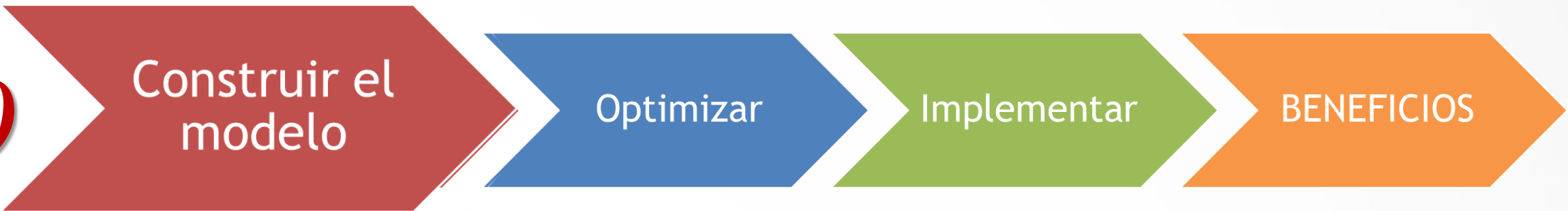
- Optimización operativa.
- Evaluación de alternativas de operación. Modificación o nuevo equipamiento.
- Desarrollar estrategias de operación (por ejemplo, para paradas de planta).

Softwares disponibles en el mercado

- Visual Mesa (Soteica).
- Prosteam (KBC - Yokogawa).
- SSAT (US DOE).

EVALUACIÓN GLOBAL

STEAM SYSTEM ASSESSMENT TOOL (D.O.E.)



Steam Modeler

[Overview](#)[Create Base Model](#)[Reload Model](#)

Using the Steam System Modeler

[watch tutorial](#)[view guide](#)

Step 1: Generate a Base Model

There are 3 ways to generate a Base Model:

- Manually enter specific steam system details [\[link\]](#)
- Load an example [\[below\]](#)
- Reload a previously downloaded model [\[link\]](#)

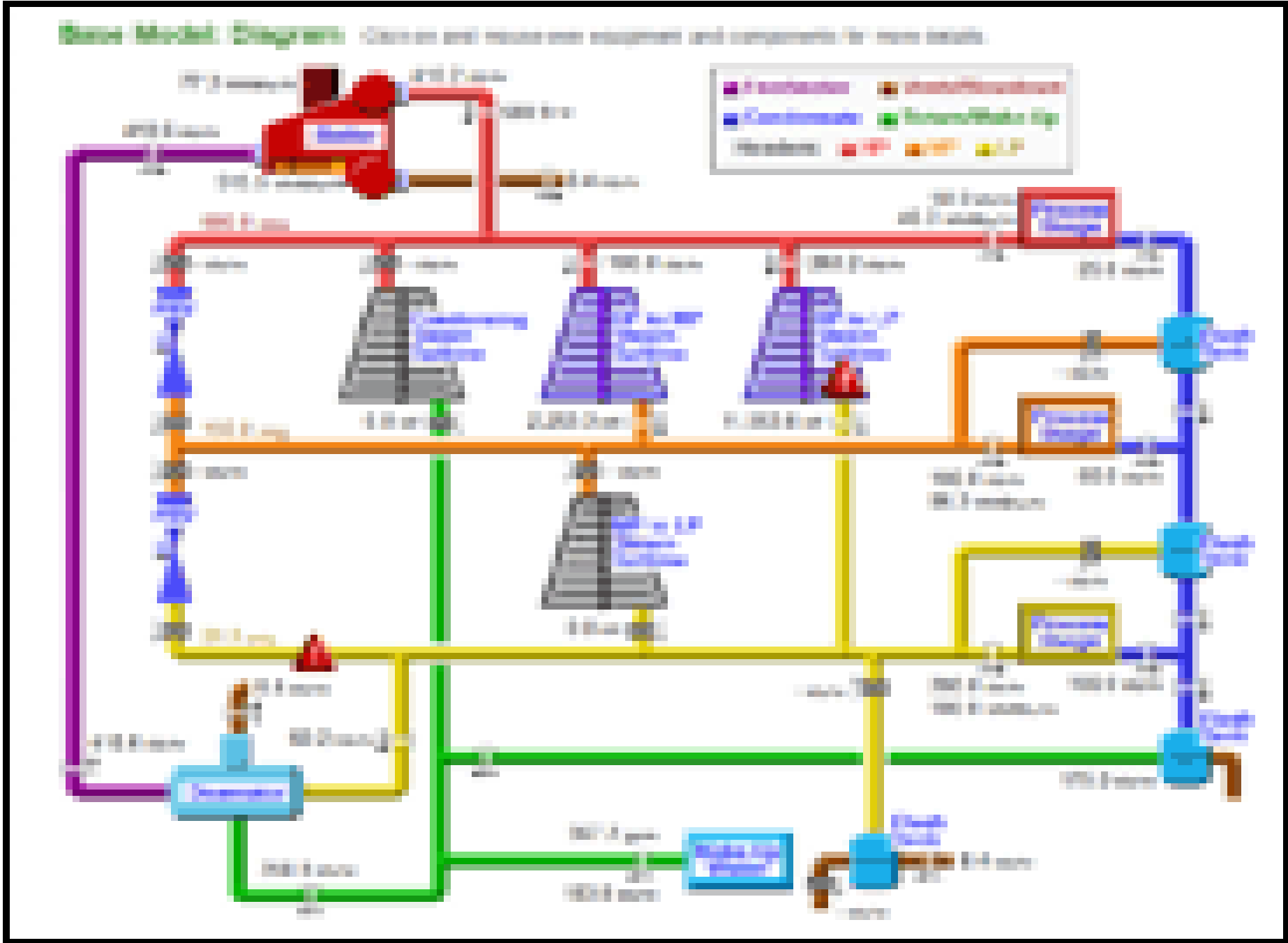
Step 2: Generate an Adjusted Model

A series of projects and system adjustments may be selected and combined with the Base Model to generate an Adjusted Model.

Step 3: Compare Base Model to Adjusted Model

A summary of Base Model vs Adjusted Model metrics will be generated once both a Base Model and Adjusted Model have been created.

A generated model may also be downloaded as an excel file and re-uploaded later.



https://www4.eere.energy.gov/manufacturing/tech_deployment/amo_steam_tool/overview



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe

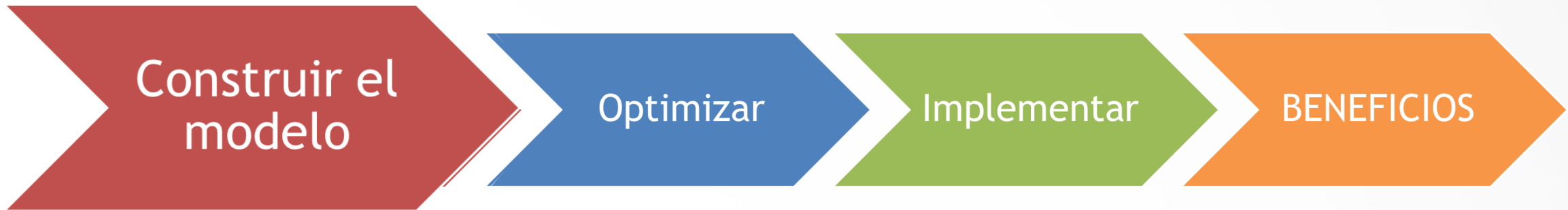


Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción

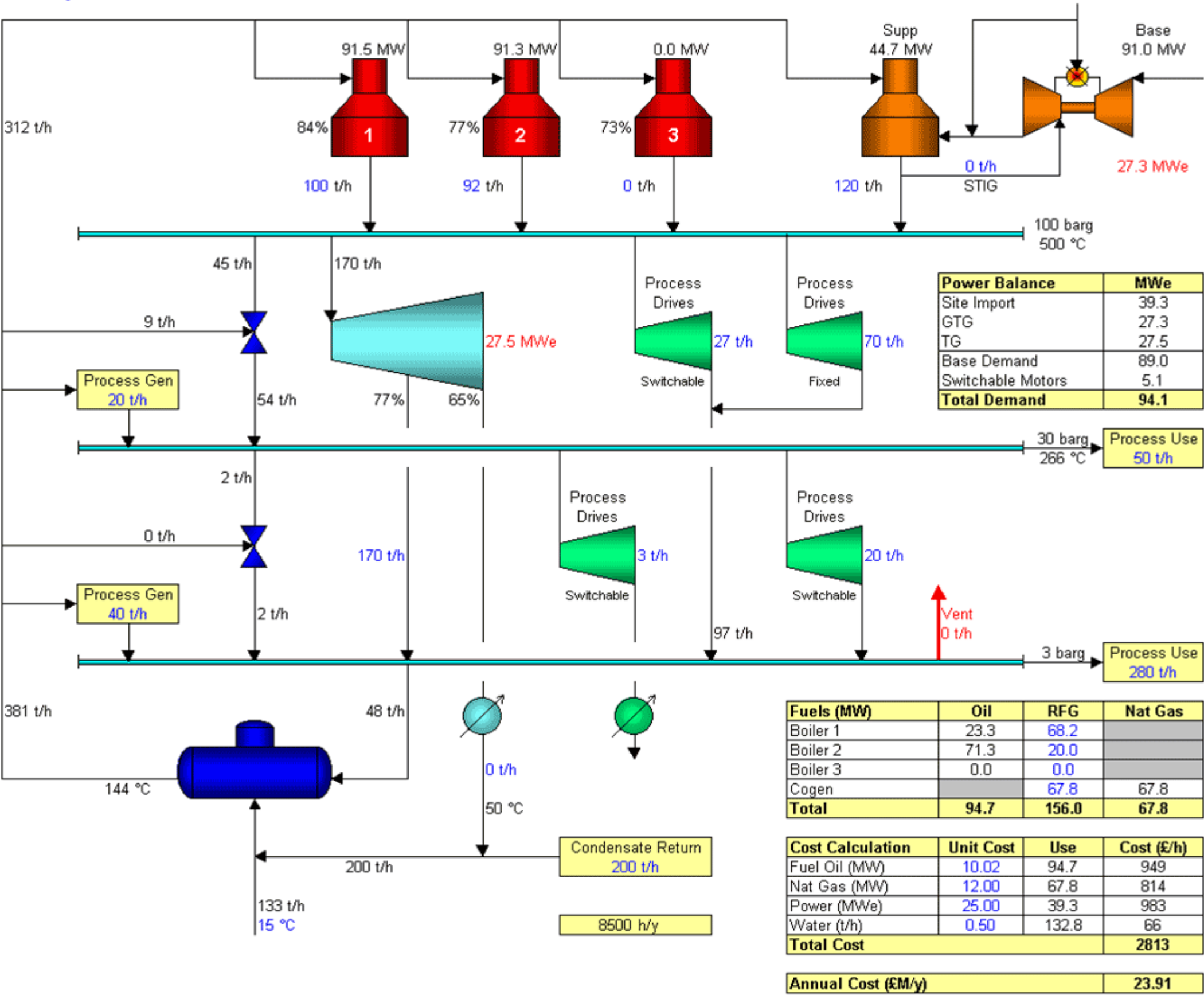


EVALUACIÓN GLOBAL

MODELOS DE VAPOR Y EE



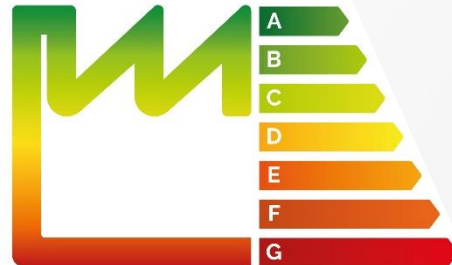
Optimised Operation



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe

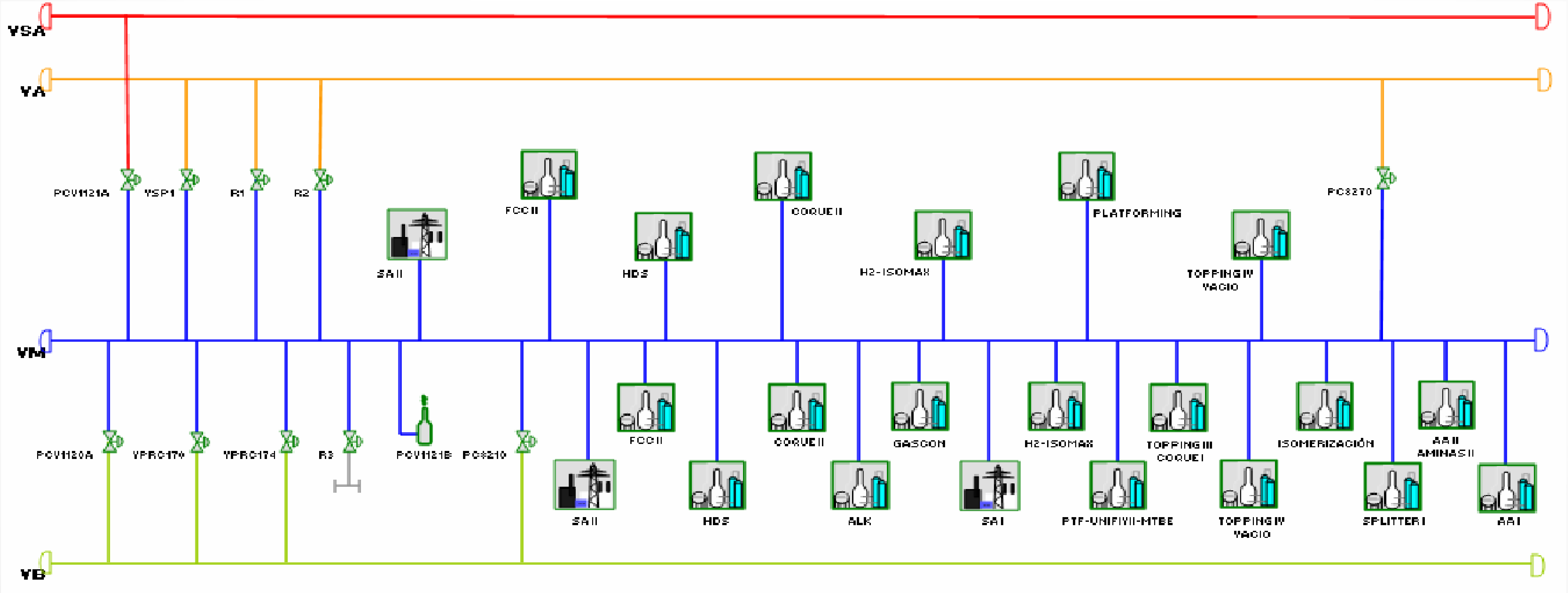
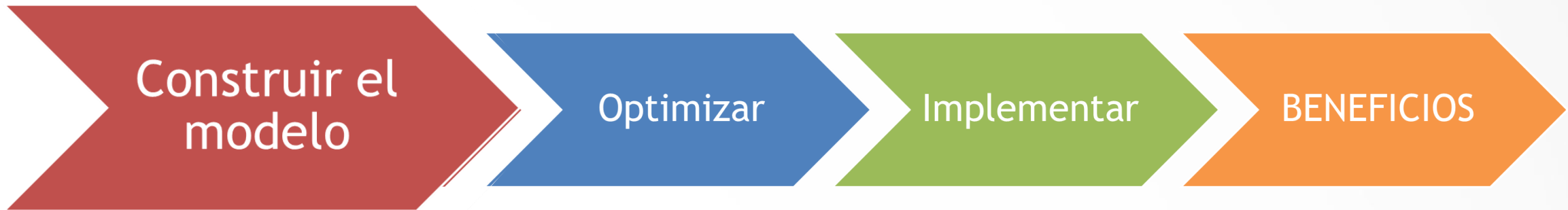


Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



EVALUACIÓN GLOBAL

MODELOS DE VAPOR Y EE



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe

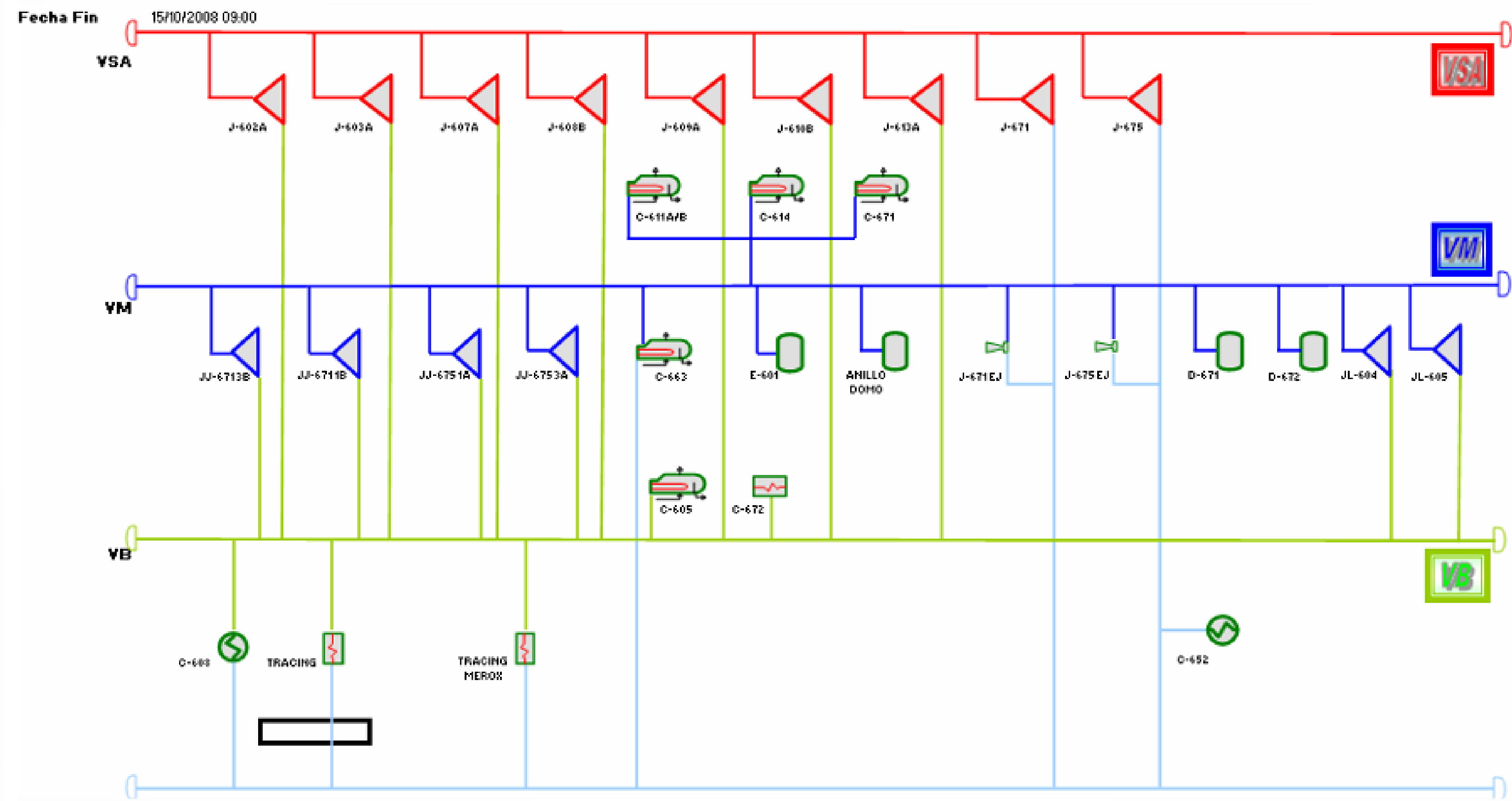
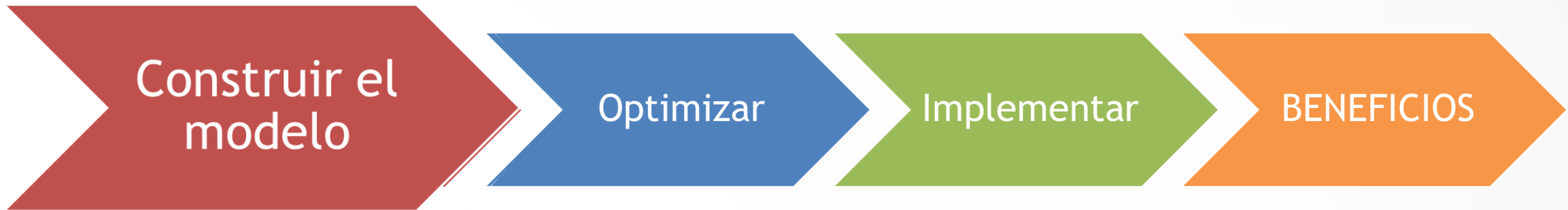


Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



EVALUACIÓN GLOBAL

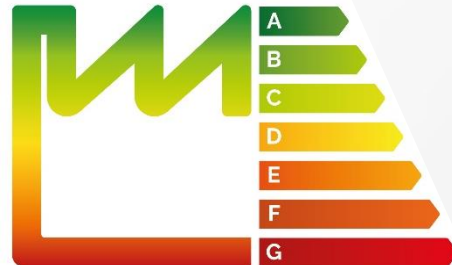
MODELOS DE VAPOR Y EE



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe

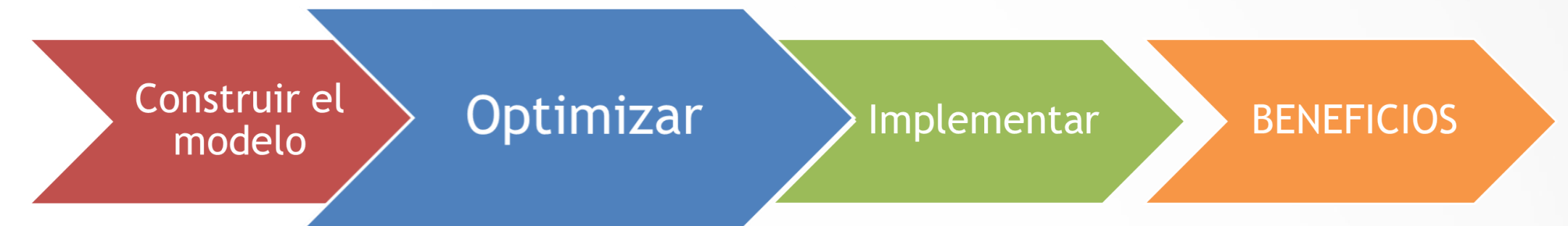


Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



EVALUACIÓN GLOBAL

MODELOS DE VAPOR Y EE



OPTIMIZACIÓN. Un modelo matemático de optimización, brinda recomendaciones acerca de cómo operar el sistema para alcanzar:

- ✓ Mínimo económico
 - ✓ Mínimo teórico
- Variables de Optimización son aquellas variables donde se tiene una elección relativamente libre sobre el valor que puede tener.
- Variables de Restricción son aquellas variables que no pueden ser elegidas libremente por el optimizador pero deben ser limitadas por razones prácticas de operación.

EVALUACIÓN GLOBAL

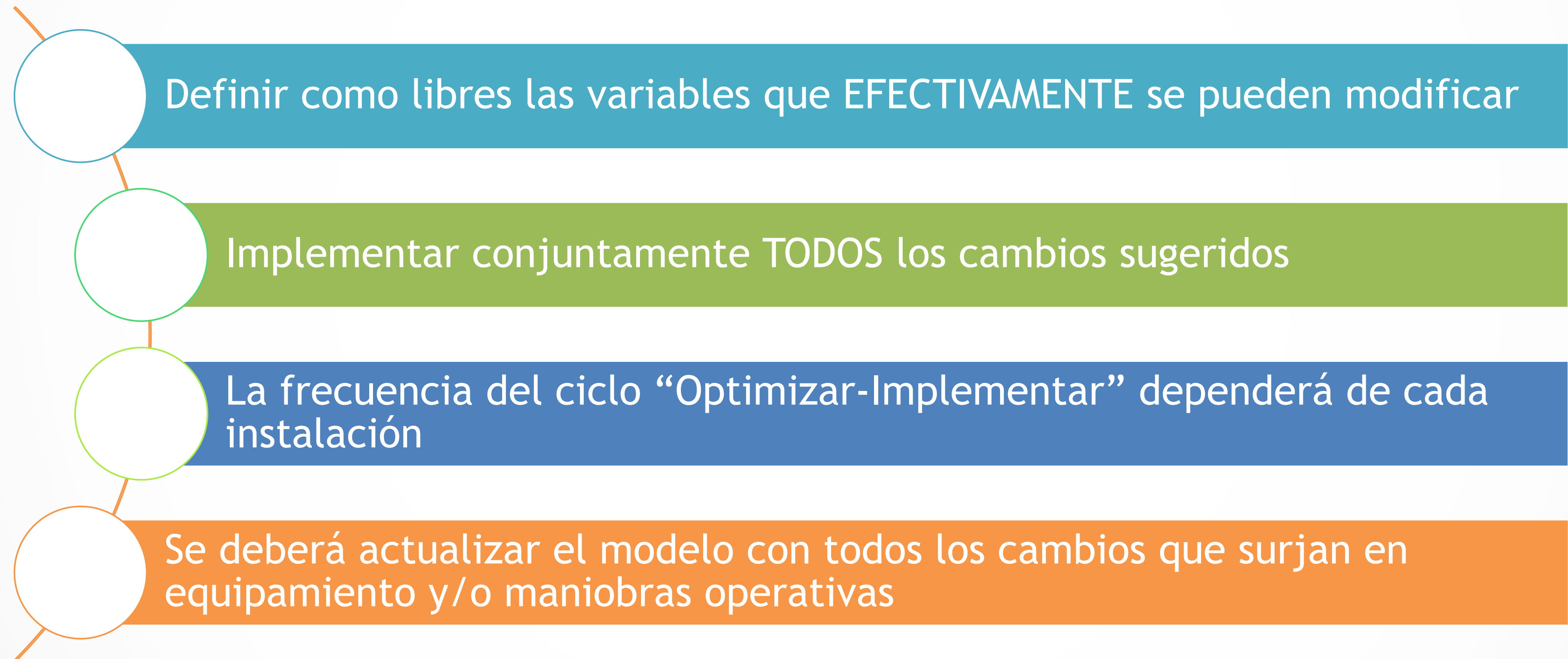
MODELOS DE VAPOR Y EE



Una vez implementados los cambios sugeridos por el modelo se puede volver a correr la optimización y debería aparecer un potencial de mejora muy bajo

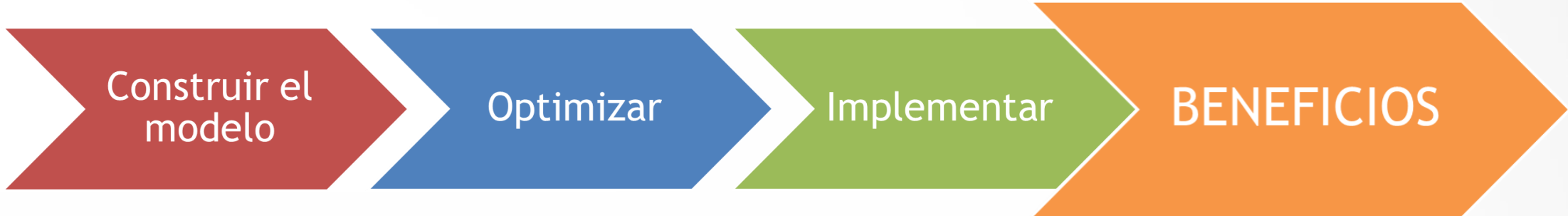
EVALUACIÓN GLOBAL

MODELOS DE VAPOR Y EE

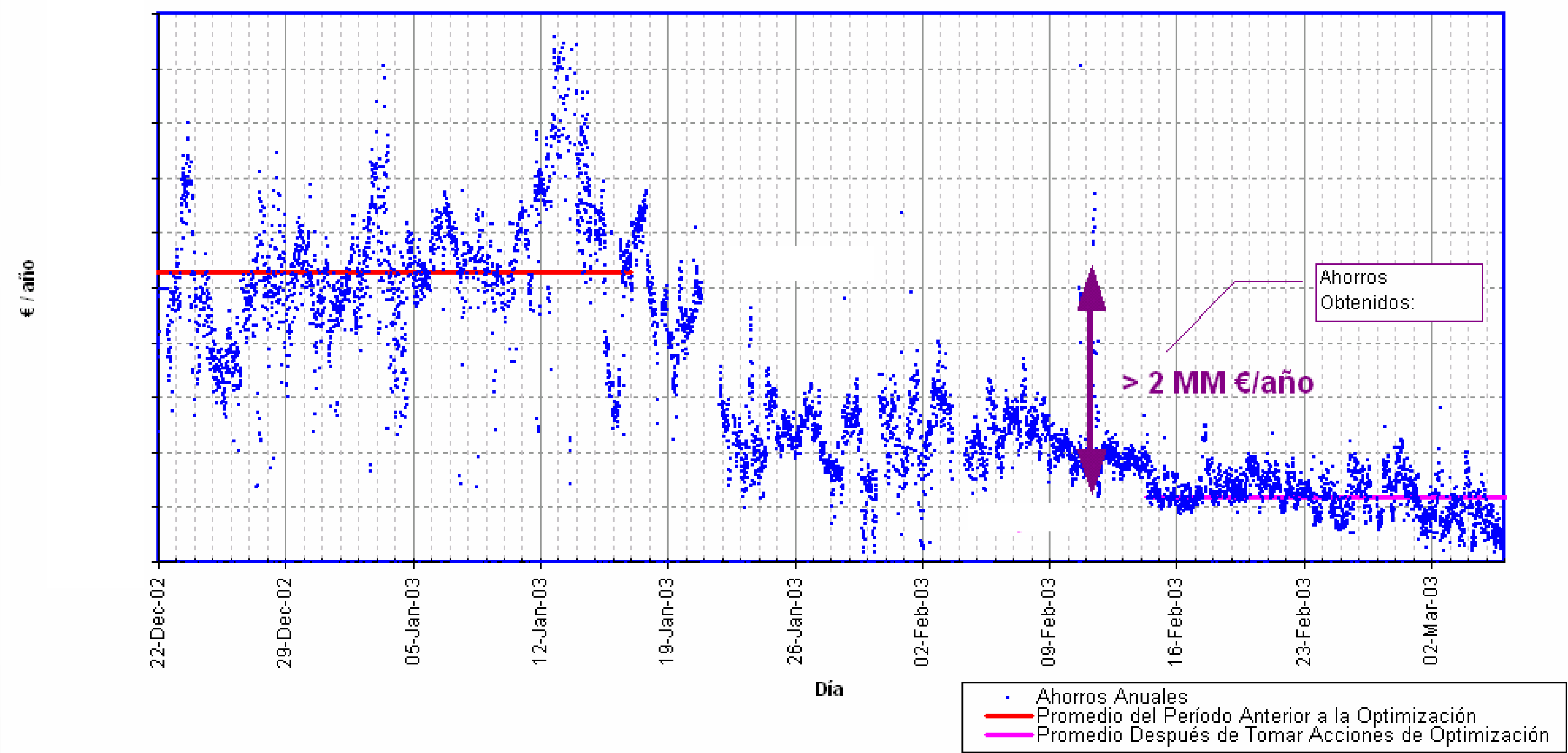


EVALUACIÓN GLOBAL

CUANTIFICACIÓN DE LOS BENEFICIOS



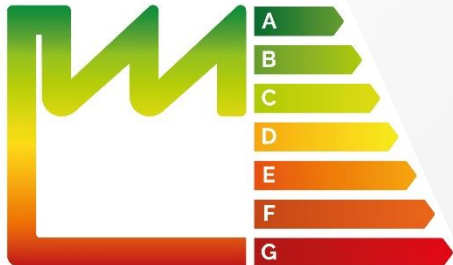
Optimización Visual Mesa
Ahorros Anuales Predichos - Siguiendo las Sugerencias de Optimización



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



EVALUACIÓN GLOBAL

EVALUACIÓN GLOBAL DE UN SISTEMA DE VAPOR

El objetivo es asistir al usuario a:

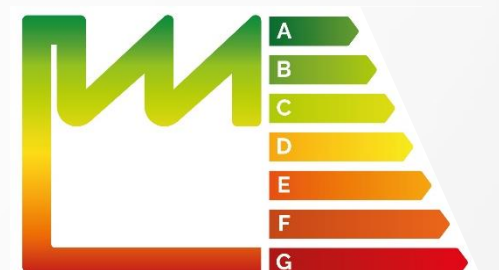
- ✓ Desarrollar una mayor conciencia de la amplitud de las oportunidades para mejorar el sistema de vapor de su planta.
- ✓ Identificar acciones para reducir los costos asociados a la producción de vapor.
- ✓ Permitir la comparación de un sistema de vapor con las mejores prácticas de la industria.
- ✓ Comparar el sistema de vapor de varias plantas



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



EVALUACIÓN GLOBAL

EVALUACIÓN GLOBAL DE UN SISTEMA DE VAPOR

Steam System Savings Identified by Industry*

Industry (No. of Assessments)	Average Energy Savings (kWh/year)	Average \$ Savings (Annual)
Aerospace (1)	66,610	\$594,000
Agriculture (3)	150,937	\$1,221,457
Automotive (20)	136,699	\$1,090,246
Chemical (53)	492,885	\$3,378,441
Electronics (3)	68,888	\$253,803
Ethanol (4)	106,514	\$907,939
Food Processing (49)	56,685	\$712,396
Forest Products (57)	294,955	\$3,765,957
General Manufacturing (24)	74,033	\$589,625
Mining (1)	59,391	\$562,515
Petroleum (9)	531,119	\$4,959,038
Plastics (7)	241,361	\$1,484,233
Rubber (4)	100,066	\$1,475,729
Steel (6)	660,194	\$6,551,367
Textiles (6)	74,414	\$1,072,248

* As of September 2008

SSTS will be a part of the upcoming Energy Management Toolkit, which will act as the primary delivery mechanism for additional tool access from the Energy Management Portal.



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



MÓDULO VIII

SISTEMAS DE VAPOR Y COGENERACIÓN

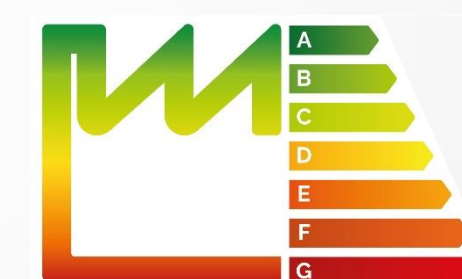
GENERACIÓN



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



GENERACIÓN

CONTENIDOS

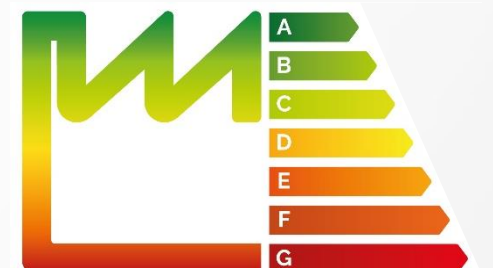
- 🔥 Calderas: tipos, usos, eficiencias, combustibles
- 🔥 BFW: tratamiento, precalentamiento y purgas
- 🔥 Generación de vapor con corrientes de proceso



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



GENERACIÓN

CALDERAS

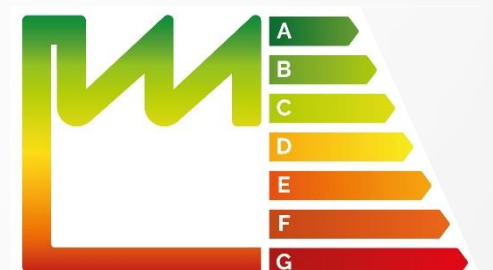
- ✓ Generalidades
- ✓ Diferentes Clasificadores
 - Calderas Pirotubulares
 - Calderas Acuotubulares
 - HRSG
- ✓ Eficiencia de Calderas - Generalidades y Limitaciones
- ✓ Cálculo de Eficiencia
 - Eficiencia Directa
 - Eficiencia Indirecta



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



GENERACIÓN

CALDERAS - GENERALIDADES

- 💧 Las **calderas** son la parte más importante del circuito vapor - **es donde se genera el vapor**.
- 💧 En una caldera se transmite la energía térmica -proveniente de la reacción de la combustión- a un fluido
- 💧 **Condicionamientos del diseño de una caldera:**
 1. La energía térmica a recuperar depende de:
 - Superficies de intercambio
 - Temperatura del agua de alimentación
 - Temperatura de chimenea
 2. Vapor a producir: determinará por la demanda de procesos ó por la disponibilidad de calor residual a recuperar



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



GENERACIÓN

CALDERAS - CLASIFICACIONES

Presión de trabajo

- Calderas de **Baja Presión** (hasta 4 o 5 kg/cm²)
- Calderas de **Media Presión** (hasta 20 kg/cm²)
- Calderas de **Alta Presión** (desde 20 kg/cm² hasta presiones cercanas a la crítica)
- Calderas **Supercríticas**

Disposición Agua-Gases

- Humotubulares
- Acuotubulares

GENERACIÓN

CALDERAS - CLASIFICACIONES

Cantidad de vapor producido

- Calderas **Chicas** (hasta 1 o 2 t/h)
- Calderas **Medianas** (hasta 20 t/h)
- Calderas **Grandes** (desde 20 t/h hasta 500 - 600 t/h - acuotubulares)

Según el tipo de Combustible utilizado

- Calderas de **Combustibles Líquidos** (viscosidades desde 30-40 cSt hasta 700 cSt - industria entre 380-450 cSt)
- Calderas de **Combustibles Gaseosos** (pueden haber calderas duales)
- Calderas de **Combustibles Sólidos** (leñas, residuos, carbón, etc.)

GENERACIÓN

CALDERAS - CLASIFICACIONES

Por la circulación de Agua dentro de la caldera

- Calderas **Natural** (diferencia de densidades - circuito cerrado)
- Calderas **Asistida** (circulación natural con ayuda de bombas - circuito cerrado)
- Calderas **Forzada** (impulsada con bombas - circuito abierto)

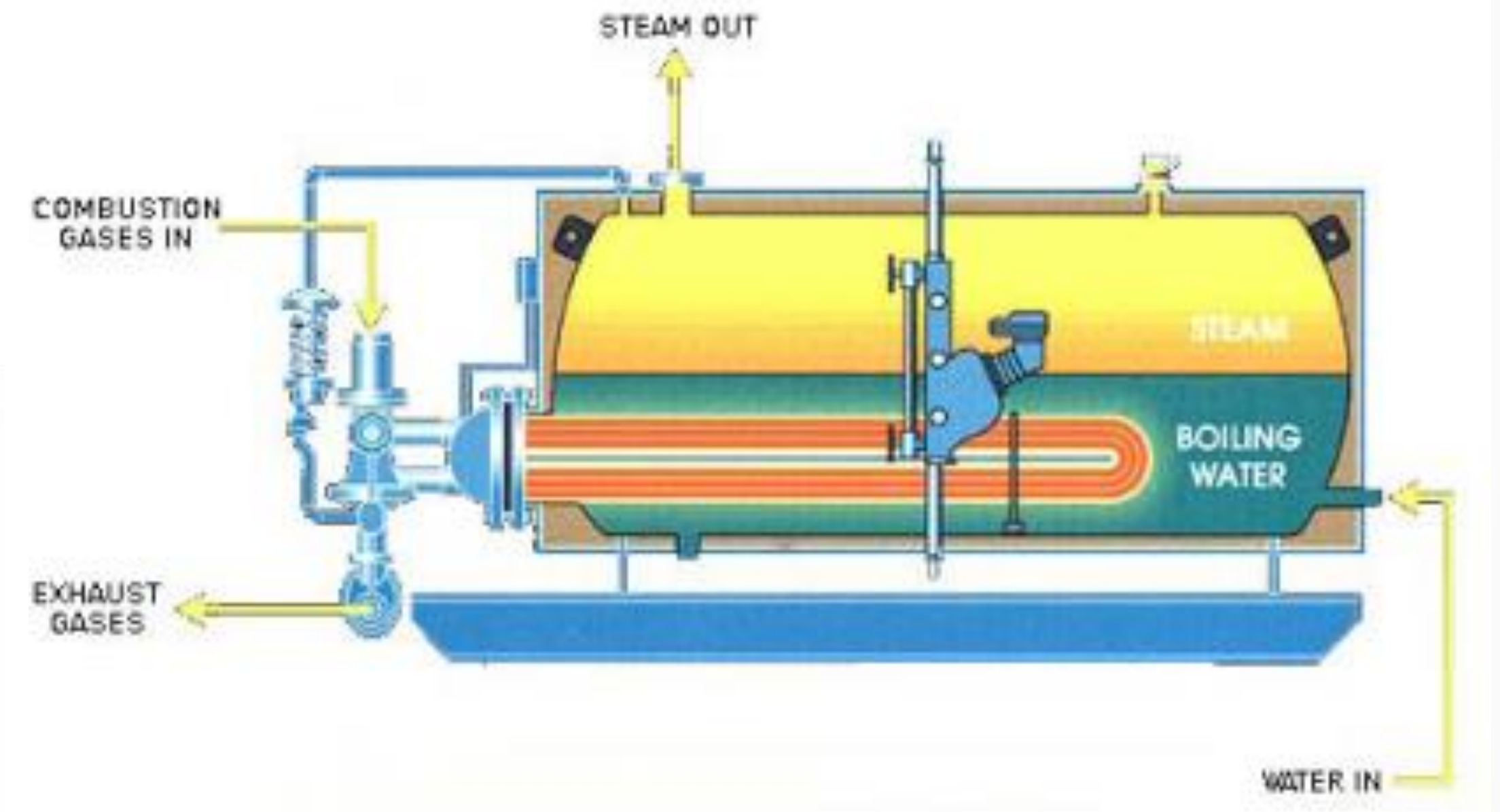
Por tipo de Intercambio de Calor Predominante

- Calderas **Radiantes** (convencionales - grandes calderas acuotubulares, donde el hogar es la mayor zona de intercambio calórico)
- Calderas **Convectivas** (HRSG - Recuperación de calor)
- Calderas de **Calentamiento Indirecto** (calientan un fluido intermediario, ejemplo: aceites)

GENERACIÓN

CALDERAS - PIROTUBULARES

- ✓ Los gases de combustión circulan por el interior de los tubos
- ✓ El agua circula por el exterior de los tubos
- ✓ Presión de vapor hasta 15 bar
- ✓ Caudales hasta 15 t/h



GENERACIÓN

CALDERAS - PIROTUBULARES



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe



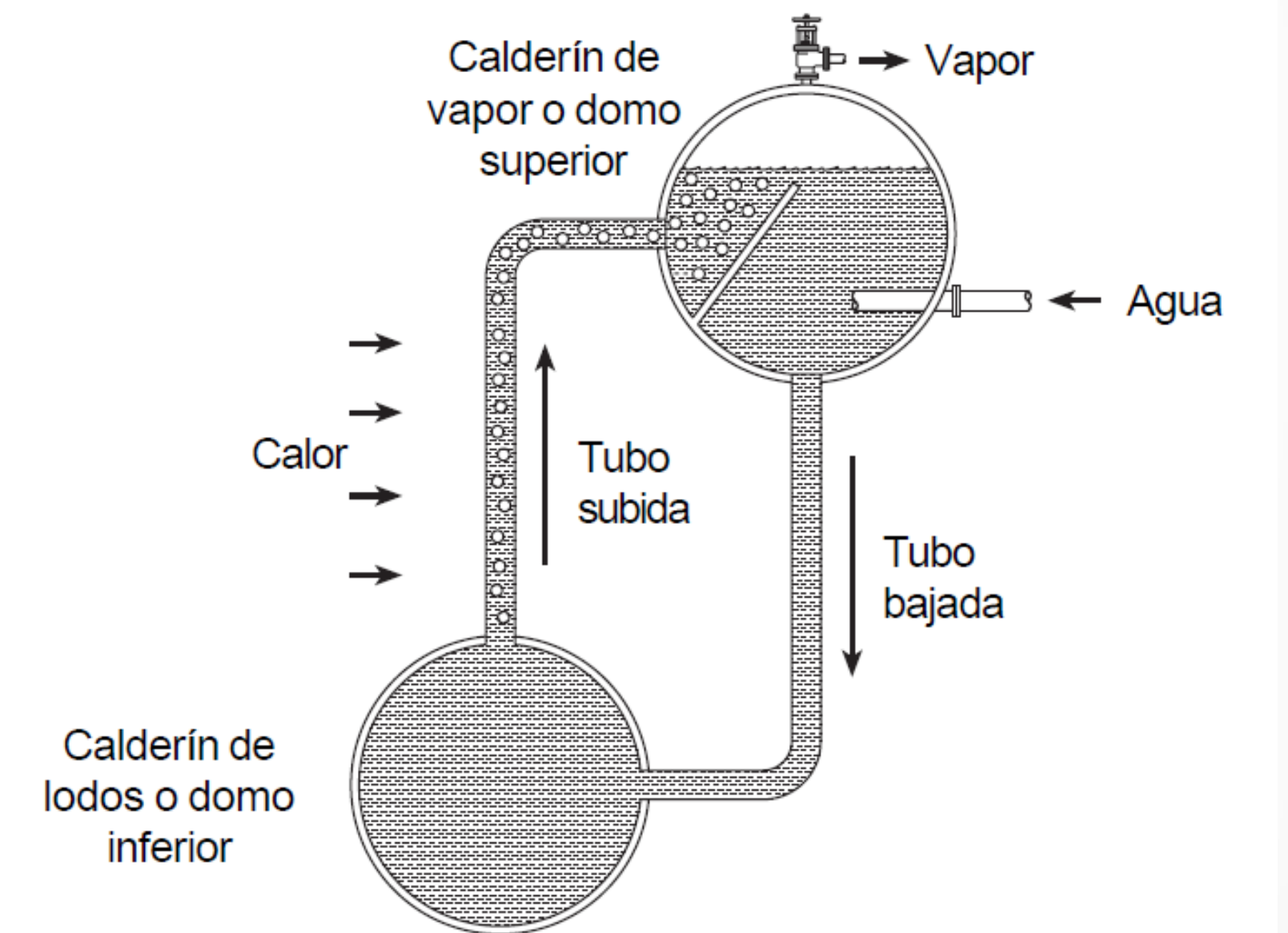
Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



GENERACIÓN

CALDERAS - ACUOTUBULARES

- ✓ Los gases de combustión circulan por el hogar (exterior de tubos)
- ✓ El agua circula por el interior de los tubos
- ✓ Presión del vapor y Caudales muy superiores a las anteriores
- ✓ Agua y Gases a contracorriente



GENERACIÓN

CALDERAS - CONVENCIONALES



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe



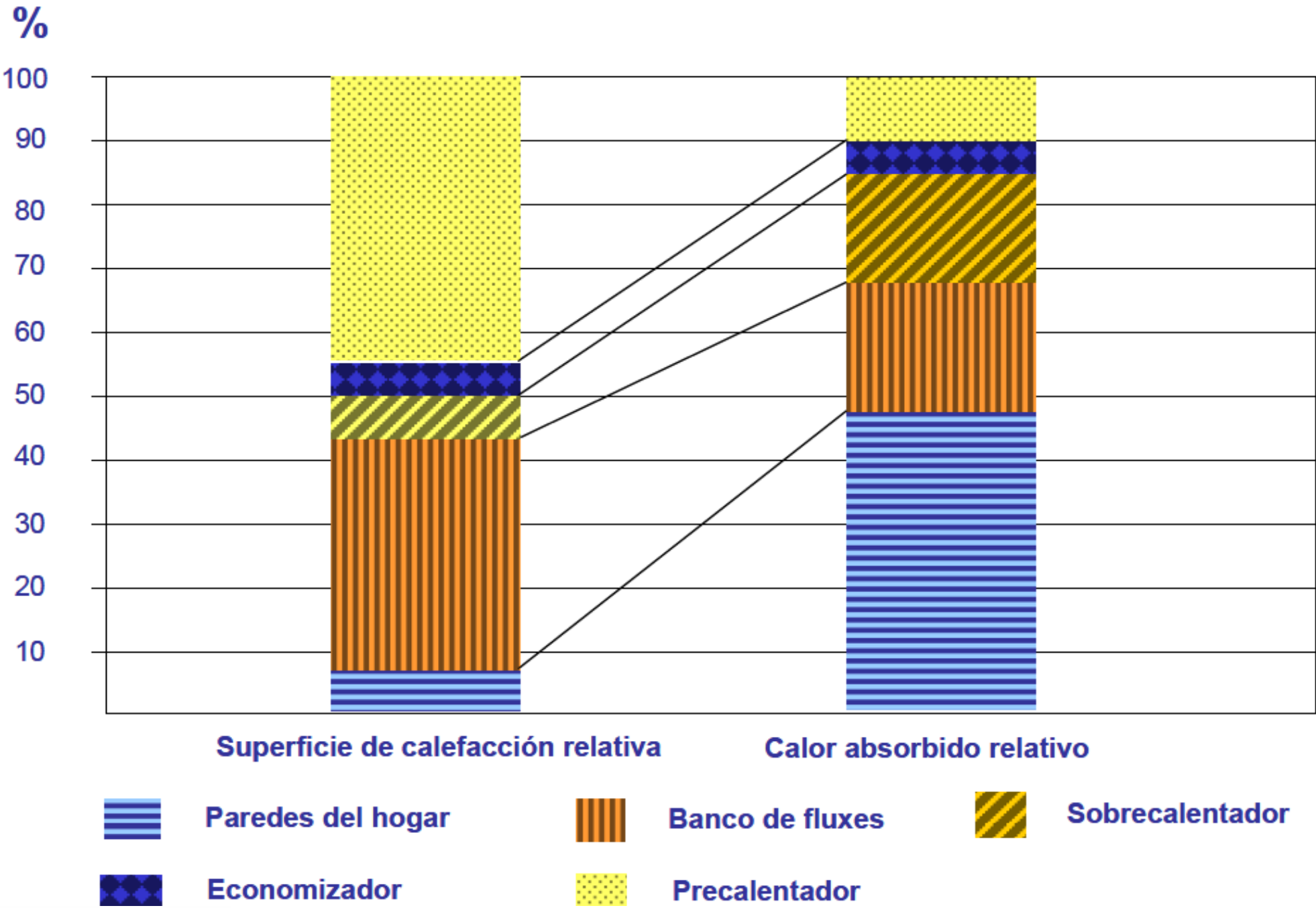
Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



GENERACIÓN

CALDERAS - CONVENCIONALES

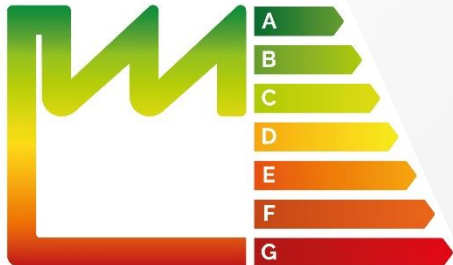
La siguiente gráfica compara las superficies por tipo de transferencia de energía vs. Calor transmitido al fluido:



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



GENERACIÓN

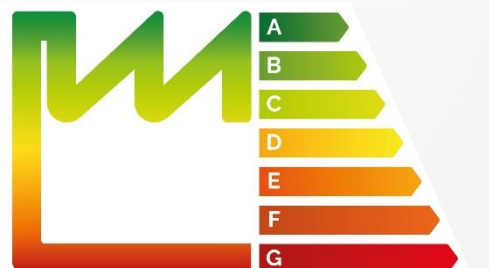
CALDERAS - CONVENCIONALES



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe

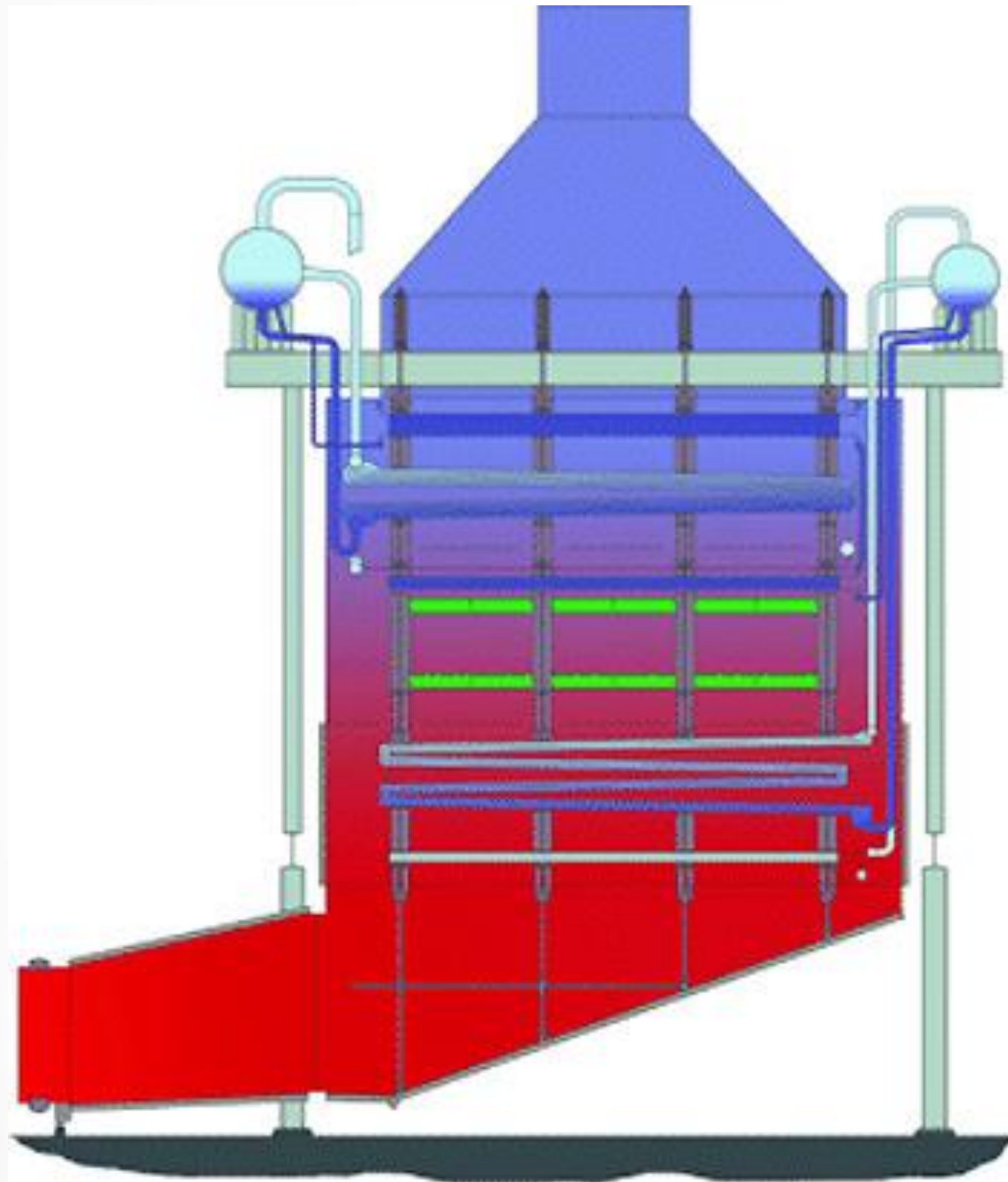


Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



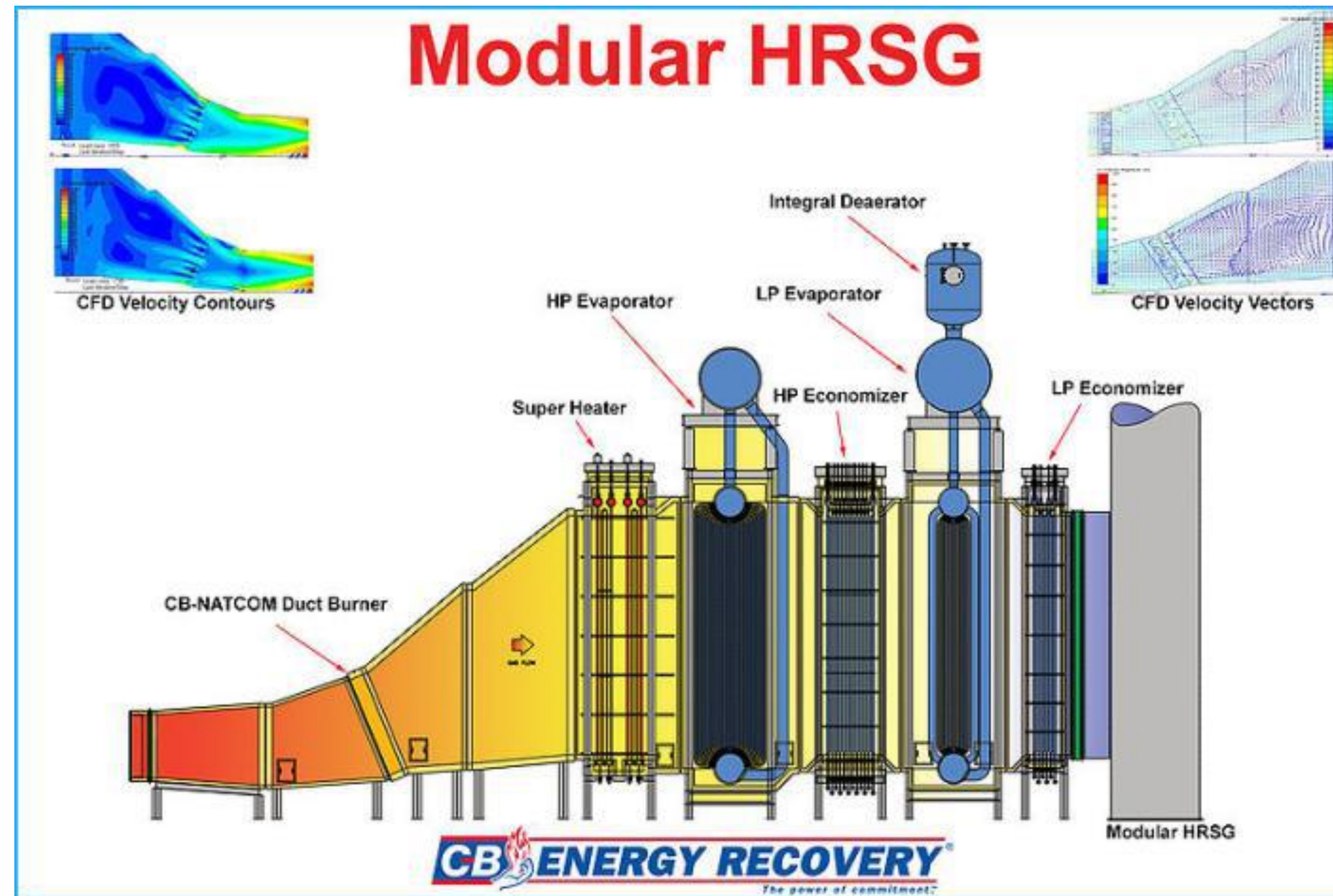
GENERACIÓN

CALDERAS - HRSG VERTICALES



GENERACIÓN

CALDERAS - HRSG VERTICALES



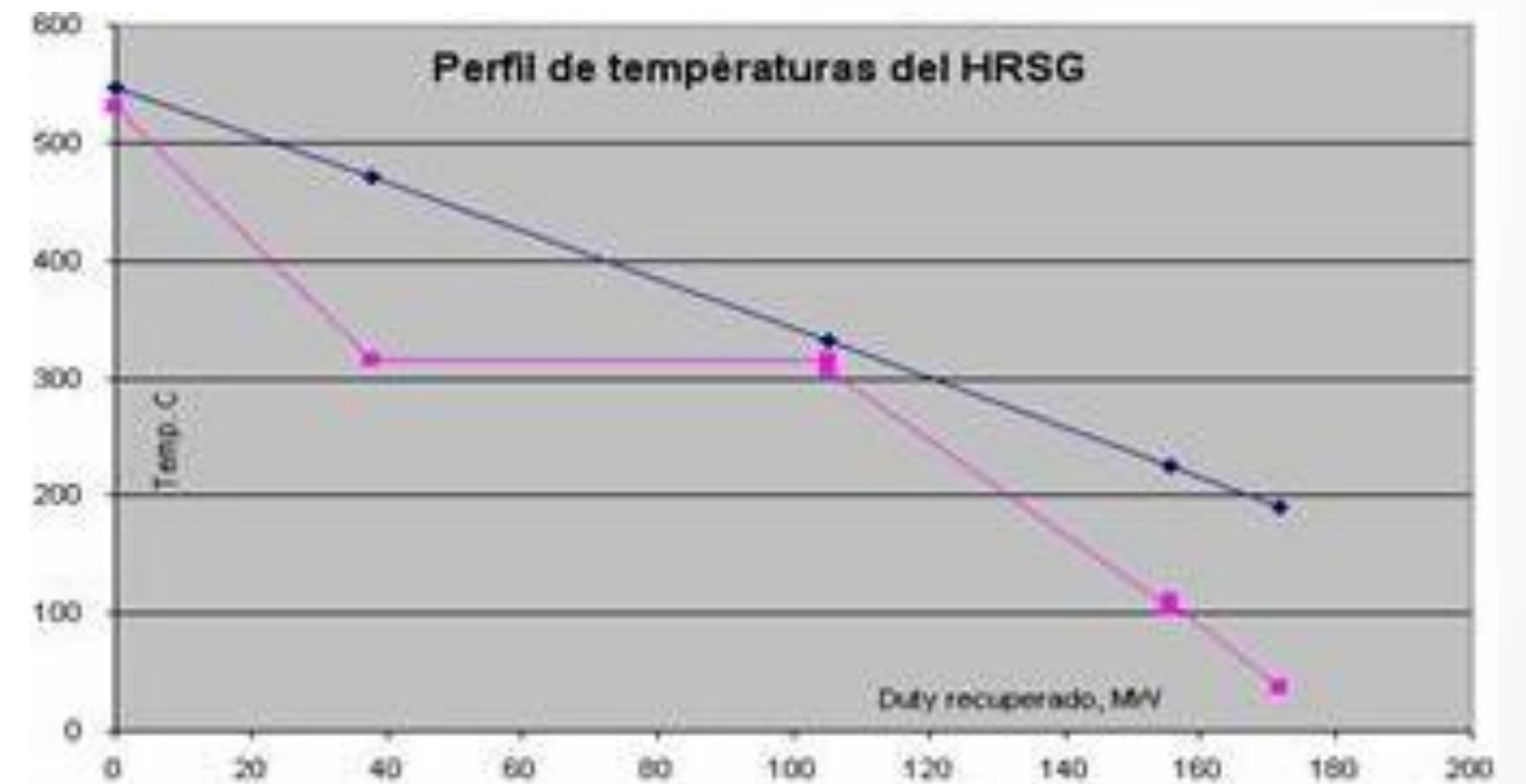
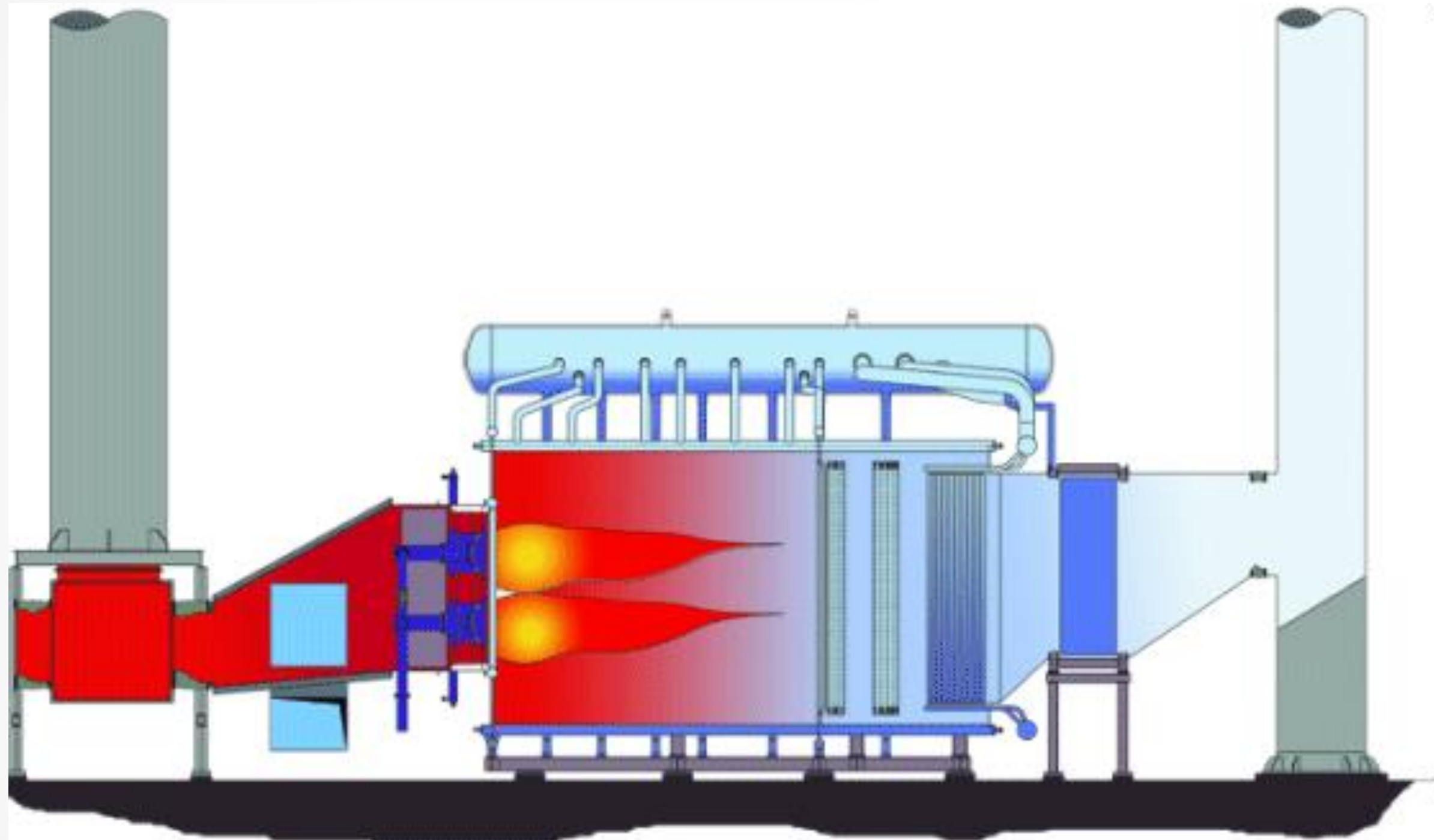
GENERACIÓN

CALDERAS - HRSG VERTICALES



GENERACIÓN

CALDERAS - HRSG HORIZONTAL CON POSTCOMBUSTIÓN



GENERACIÓN

CALDERAS - CUANTIFICACIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

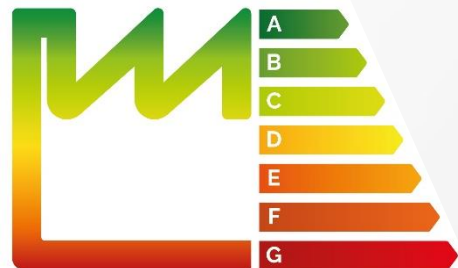
	Ahorro de Combustible	Otros Beneficios
Mejoras de Control	3%	Reducción de emisiones
Reducción de Flue Gas	2 -5%	Reducción de emisiones
Reducción de Exceso de aire	1% por cada 15% de aire menos	
Mejora de Aislación	6%-20%	Calentamiento mas rápido
Mantenimiento	10%	Reducción de emisiones
Recuperación de calor de Flue Gases	1%	
Recuperación de calor del blowdown de vapor	1.3%	Reducción de daños a la estructura



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción

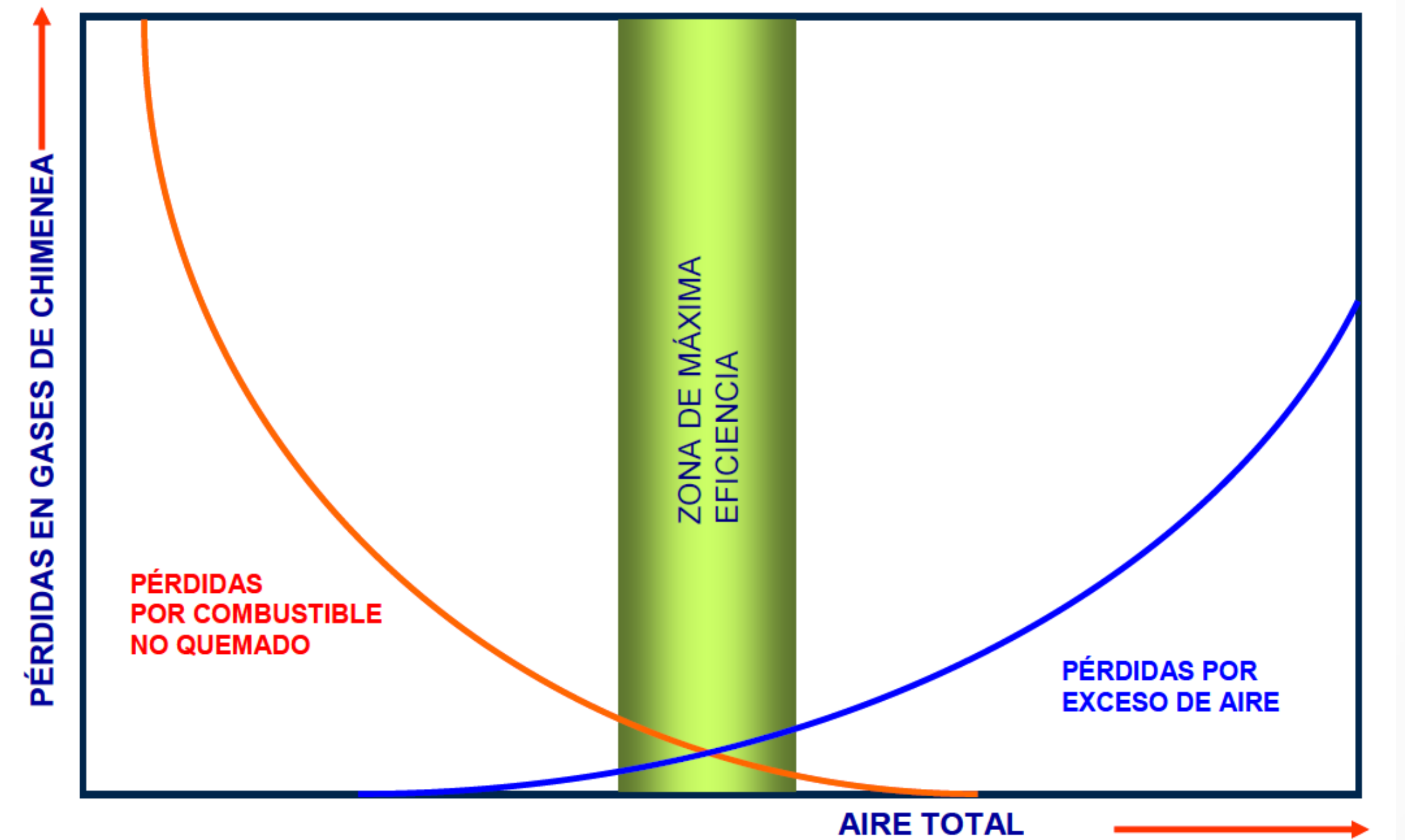


GENERACIÓN

CALDERAS - EFICIENCIA Y LIMITACIONES

A la hora de incrementar la eficiencia de la caldera sus principales limitaciones son:

- ✓ Temperatura de rocío ácida
- ✓ Exceso de aire vs. inquemados



GENERACIÓN

CALDERAS - EFICIENCIA DIRECTA

La eficiencia directa, rendimiento térmico, se estima como la relación entre el calor transferido al fluido y el calor entregado por el combustible.

$$\eta_{caldera} = \frac{\dot{E}_{Vapor}}{\dot{E}_{Comb}}$$

¿Cuánto representa la mejora de un 1% en la eficiencia de la caldera?

Asumiendo que la energía del vapor son 100u y que la caldera trabaja con un 80% de rendimiento:

$$\dot{E}_{Comb} = \frac{\dot{E}_{Vapor}}{\eta_{caldera}} = \frac{100u}{0,80} = 125u$$



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



GENERACIÓN

CALDERAS - EFICIENCIA DIRECTA

Bajo el mismo razonamiento, manteniendo la producción de vapor e incrementando un punto la eficiencia de caldera, se tiene:

$$\dot{E}_{Comb} = \frac{\dot{E}_{Vapor}}{\eta_{caldera}} = \frac{100u}{0,81} = 123,46u$$

A mayor rendimiento menor consumo de combustible.

$$Ahorro = \frac{\dot{E}_{Comb} (80\%) - \dot{E}_{Comb} (81\%)}{\dot{E}_{Comb} (80\%)} * 100 = \frac{125 - 123,46}{125} * 100 = 1,2\%$$

Una mejora del 1% de rendimiento un ahorro de combustible mayor al 1%.



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



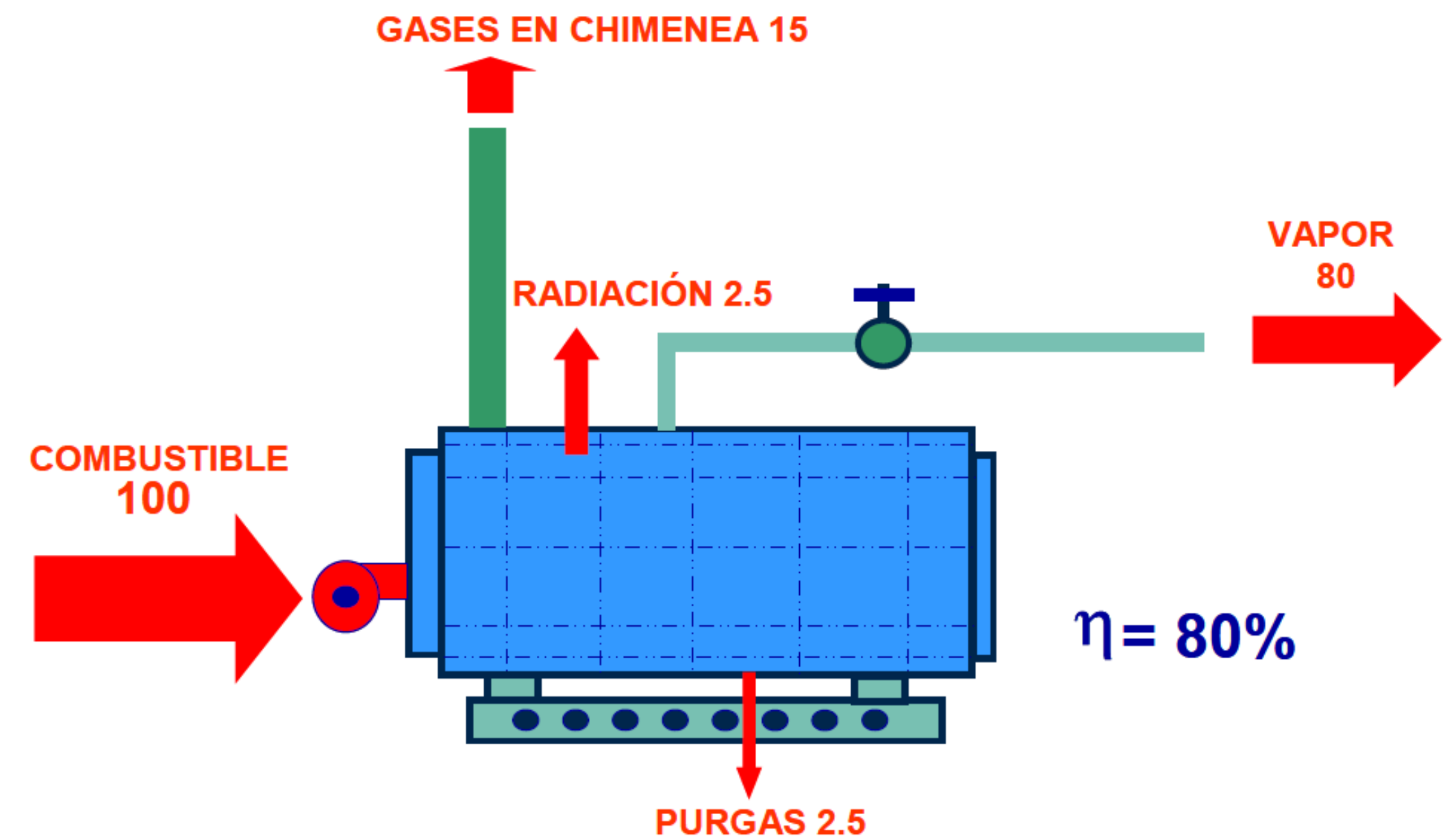
GENERACIÓN

CALDERAS - EFICIENCIA INDIRECTA

Otro método de estimación de eficiencia es el “método indirecto”. Donde se parte del 100% de rendimiento y se descuenta las pérdidas por:

- ✓ Chimenea
- ✓ Carcasa
- ✓ Purgas

$$\eta_{indirecto} = 100\% - \sum_{p\acute{e}rdidas} \lambda_i$$



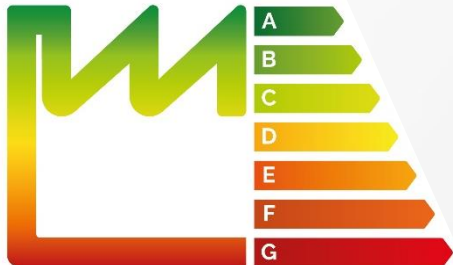
GENERACIÓN

CALDERAS - EFICIENCIA INDIRECTA. PÉRDIDAS POR CHIMENEA

Las pérdidas por chimenea depende del **exceso de oxígeno**, del **tipo de combustible** que se esté quemando y de la **temperatura de los gases de chimenea**.

Table B.1. Natural gas stack loss (%)

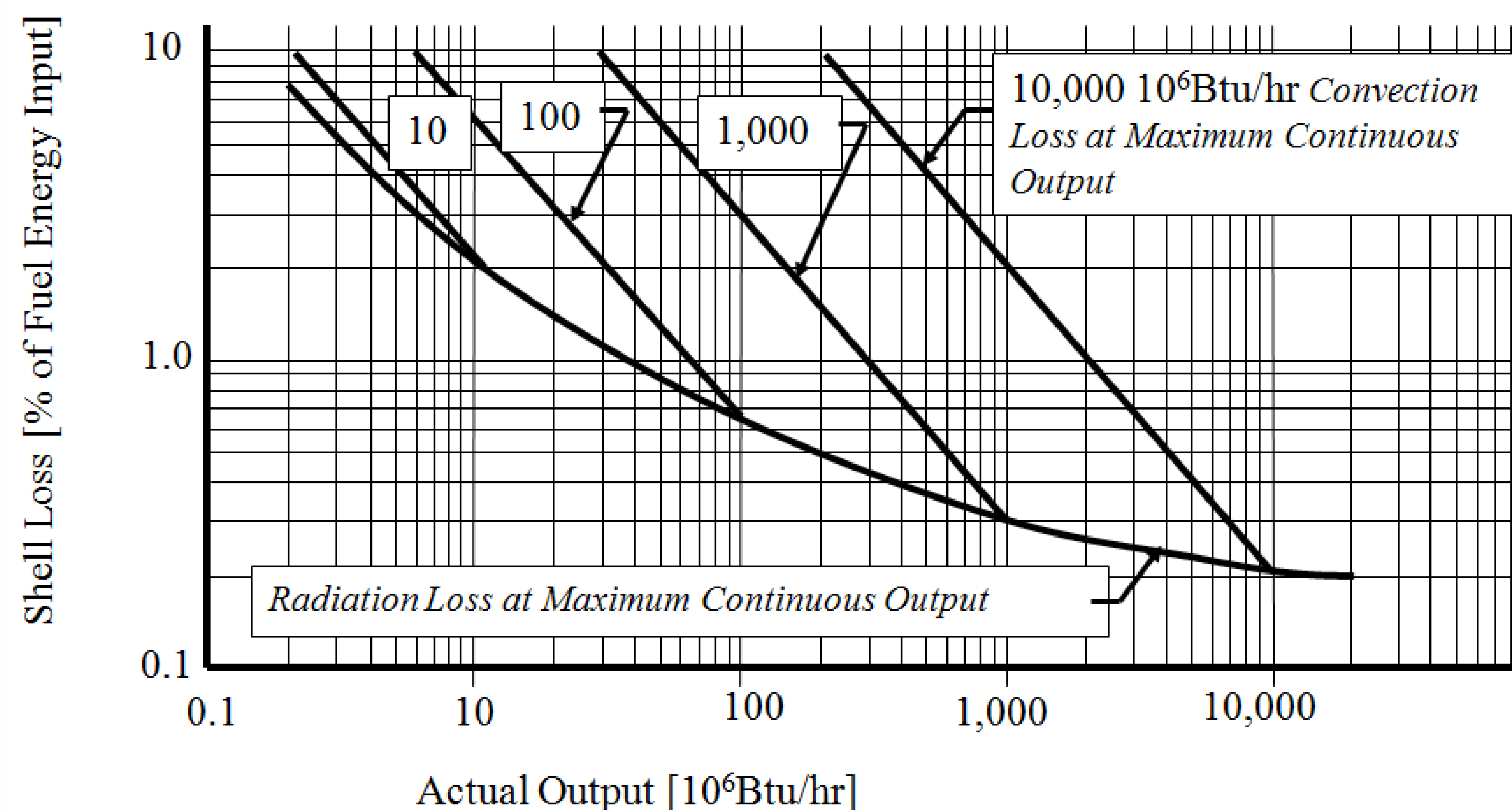
Flue gas O ₂ content (%)	Flue gas temperature—combustion air temperature (°F)														
	230	250	270	290	310	330	350	370	390	410	430	450	470	490	510
1.00	14.49	14.92	15.36	15.79	16.23	16.67	17.11	17.55	17.99	18.43	18.88	19.32	19.77	20.21	20.66
2.00	14.72	15.17	15.63	16.09	16.55	17.01	17.47	17.93	18.39	18.86	19.32	19.79	20.26	20.73	21.20
3.00	14.98	15.46	15.94	16.42	16.90	17.38	17.87	18.36	18.84	19.33	19.82	20.31	20.80	21.30	21.79
4.00	15.26	15.77	16.28	16.79	17.29	17.81	18.32	18.83	19.35	19.86	20.38	20.90	21.41	21.93	22.46
5.00	15.59	16.12	16.66	17.20	17.74	18.28	18.82	19.36	19.91	20.46	21.00	21.55	22.10	22.65	23.20
6.00	15.96	16.52	17.10	17.67	18.24	18.82	19.39	19.97	20.55	21.13	21.71	22.29	22.88	23.46	24.05
7.00	16.38	16.98	17.59	18.20	18.82	19.43	20.04	20.66	21.28	21.90	22.52	23.14	23.77	24.39	25.02
8.00	16.86	17.51	18.16	18.82	19.48	20.14	20.80	21.46	22.12	22.79	23.46	24.12	24.79	25.47	26.14
9.00	17.42	18.13	18.83	19.54	20.25	20.96	21.68	22.39	23.11	23.83	24.55	25.27	25.99	26.72	27.44
10.00	18.09	18.86	19.62	20.39	21.16	21.94	22.71	23.49	24.27	25.05	25.83	26.62	27.41	28.19	28.98
11.00	18.89	19.73	20.57	21.42	22.26	23.11	23.96	24.81	25.67	26.52	27.38	28.24	29.10	29.97	30.83
12.00	19.87	20.80	21.73	22.66	23.60	24.54	25.48	26.43	27.37	28.32	29.27	30.22	31.18	32.13	33.09



GENERACIÓN

CALDERAS - EFICIENCIA INDIRECTA. PÉRDIDAS POR CARCASA

Para la determinación de las pérdidas por carcasa -calderas acuotubulares- se utiliza el gráfico publicado por la ABMA.



GENERACIÓN

CALDERAS - EFICIENCIA INDIRECTA. PÉRDIDAS POR PURGA

Para la estimación de las pérdidas por purga primero se estima el caudal de purga

$$\dot{m}_{purga} = \left(\frac{\%Purga}{1 - \%Purga} \right) \dot{m}_{vapor}$$

A mayor % de purga mayor es el caudal a purgar

Luego se determina la pérdida en relación al consumo de combustible

$$\lambda_{purga} = \frac{\dot{m}_{vapor} (h_{Liq.Sat.} - h_{BFW})}{\dot{E}_{Comb}} * (100)$$

A menor temperatura del agua de alimentación a la caldera, mayor es la pérdida por purga

GENERACIÓN

OTRAS CONSIDERACIONES: AGUA CON EL VAPOR

Las calderas producen arrastres de agua con el vapor por:

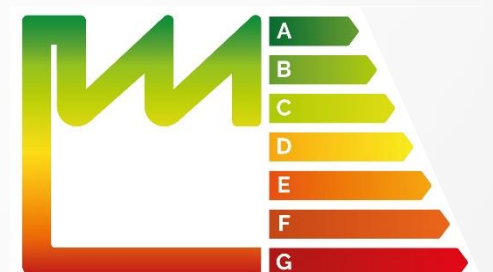
- ✓ Producción a baja presión
- ✓ Demanda excesiva de vapor por el proceso
- ✓ Nivel de agua alto en la caldera
- ✓ Formación de espuma por alta concentración de sales.



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



GENERACIÓN

AGUA DE ALIMENTACIÓN A CALDERAS

- 💧 Generalidades
- 💧 Requerimientos
- 💧 Problemas - Corrosión
- 💧 Problemas - Incrustaciones



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe



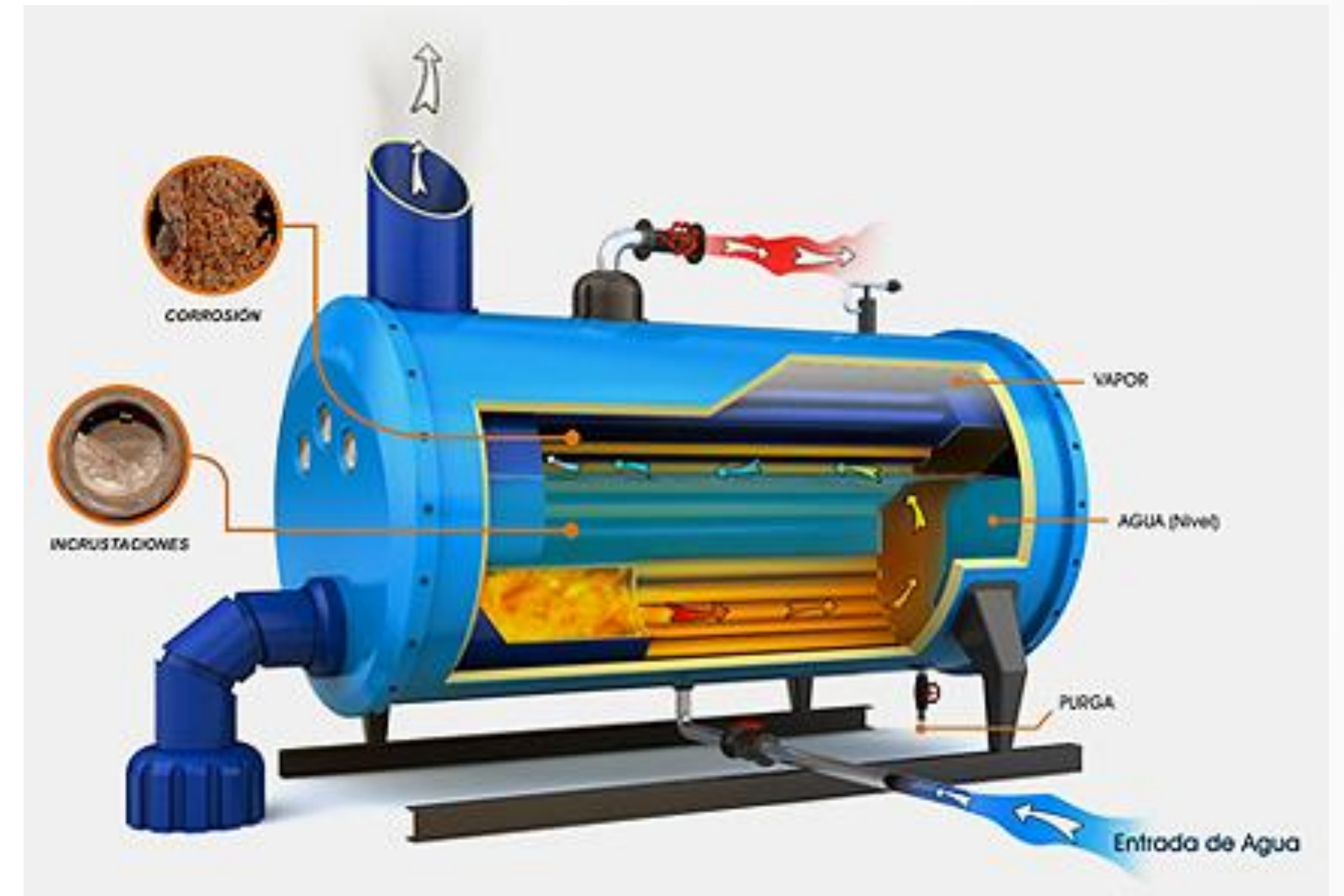
Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



GENERACIÓN

AGUA DE ALIMENTACIÓN A CALDERAS. GENERALIDADES

- ✓ La calidad del agua de alimentación a la caldera impacta en la vida útil de la misma
- ✓ Un buen tratamiento del agua evita problemas de corrosión, incrustaciones o taponamientos
- ✓ Las condiciones del agua de calderas afecta al rendimiento térmico de la misma



GENERACIÓN

AGUA DE ALIMENTACIÓN A CALDERAS. GENERALIDADES

- ✓ Antes de su ingreso al circuito el BFW requiere de acondicionamientos previos.
- ✓ Los tratamientos previos a realizar en el agua de suministro al sistema de vapor van a depender de la fuente primaria (río, lago, etc.).
- ✓ Es de suma importancia conocer las sustancias que pueden encontrarse en el agua, definen el tipo de tratamiento a implementar



GENERACIÓN

AGUA DE ALIMENTACIÓN A CALDERAS. REQUERIMIENTOS

Se utilizan las recomendaciones de la Norma Británica BS, la ABMA (American Boiler Manufacturing Association) y el TÜV.

BFW para Calderas Humotubulares

Presión máxima de servicio P en kgf/cm²	p ≤ 0.5	p > 0.5 (1)
Aspecto visual	Transparente, sin color ni sedimentos	
Dureza en mg/ ℓ de CO ₃ Ca	≤10	≤10
pH a 20 °C	7.5 a 8.5	7.5 a 8.5 (2)
Materias orgánicas valoradas en mg/ℓ de MnO ₄ K consumido (3)	≤10	≤10
Aceites y grasas, en mg/ℓ	≤3	≤1

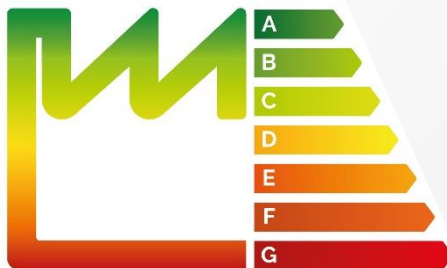
- (1) Si p>13 kgf/cm², deberán evitarse los efectos del oxígeno disuelto.
- (2) Estos valores podrán modificarse según la naturaleza del agua de alimentación.
- (3) En caso de alta concentración de materias orgánicas no oxidables con MnO₄K y si oxidables con CrO₃K₂, se consultara a un especialista.



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



GENERACIÓN

AGUA DE ALIMENTACIÓN A CALDERAS. REQUERIMIENTOS

BFW para Calderas Humotubulares

Presión máxima de servicio P en kgf/cm ²	$p \leq 11$	$11 < p \leq 17$	$p > 17$
Aspecto visual	Transparente, sin color ni sedimentos		
Dureza en grados hf.	≤ 1	≤ 0.6	≤ 0.2
pH a 20 °C	8.5 a 9.5	8.5 a 9.5	8.5 a 9.5
Materias orgánicas en mg/ℓ de MnO ₄ K consumido	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Aceite, en mg/ℓ	≤ 3	≤ 2	≤ 1

Se puede observar que la norma no hace referencia a los gases disueltos en el agua (O₂ y CO₂) y cabe señalar que es recomendable (y hasta exigido por los fabricantes de calderas) la degasificación a partir de 10kgf/cm².



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



GENERACIÓN

AGUA DE ALIMENTACIÓN A CALDERAS. REQUERIMIENTOS

BFW para Calderas Acuotubulares

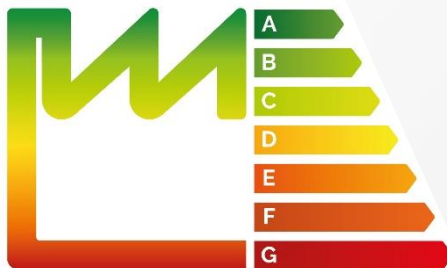
Tipos de calderas y presiones máximas de servicio, p en kgf/cm²	Calderas de circulación forzada y agua de inyección para atemperación de vapor	Calderas de circulación natural o asistida (1)			
		p≤20	20<p≤40	40<p≤64	p>64
Aspecto Visual	Transparente, sin color ni sedimentos				
Dureza en °hf	≤0.01	≤0.1	≤0.05	≤0.05	≤0.02
pH a 20 °C	8 a 9.5	8 a 9.5	8 a 9.5	8 a 9.5	8 a 9.5
O ₂ mg/ℓ	≤0.02				
CO ₂ libre	No detectable				
CO ₂ combinado como (CO ₃ H ⁻ + CO ₃ ⁼) mg/l (2)	≤1	Recomendado ≤20			≤1
Fe, mg/ℓ	≤0.02	Recomendado ≤0.05			≤0.03
Cu, mg/ℓ	≤0.005	≤0.01			≤0.005
Materias orgánicas valoradas en mg/l de MnO ₄ K consumido	≤5	≤10			≤5
Aceite, mg/ℓ	≤0.3	≤1	≤0.5		≤0.5
Si O ₂ , mg/ℓ	Función de los limites impuestos para el agua en el interior de la caldera				
(1)	Para flujos de calor absorbidos superiores a 2 x 10 ⁵ kcal/m².h, serán aplicables los valores de p > 64 kgf/cm² cualquiera que sea la presión máxima de servicio.				
(2)	Para calderas de presión inferior a 11 kgf/cm² y baja producción, se consideraran estos valores como aconsejables.				



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



GENERACIÓN

AGUA DE ALIMENTACIÓN A CALDERAS. PROBLEMAS - CORROSIÓN

Las principales fuentes de corrosión en calderas son:

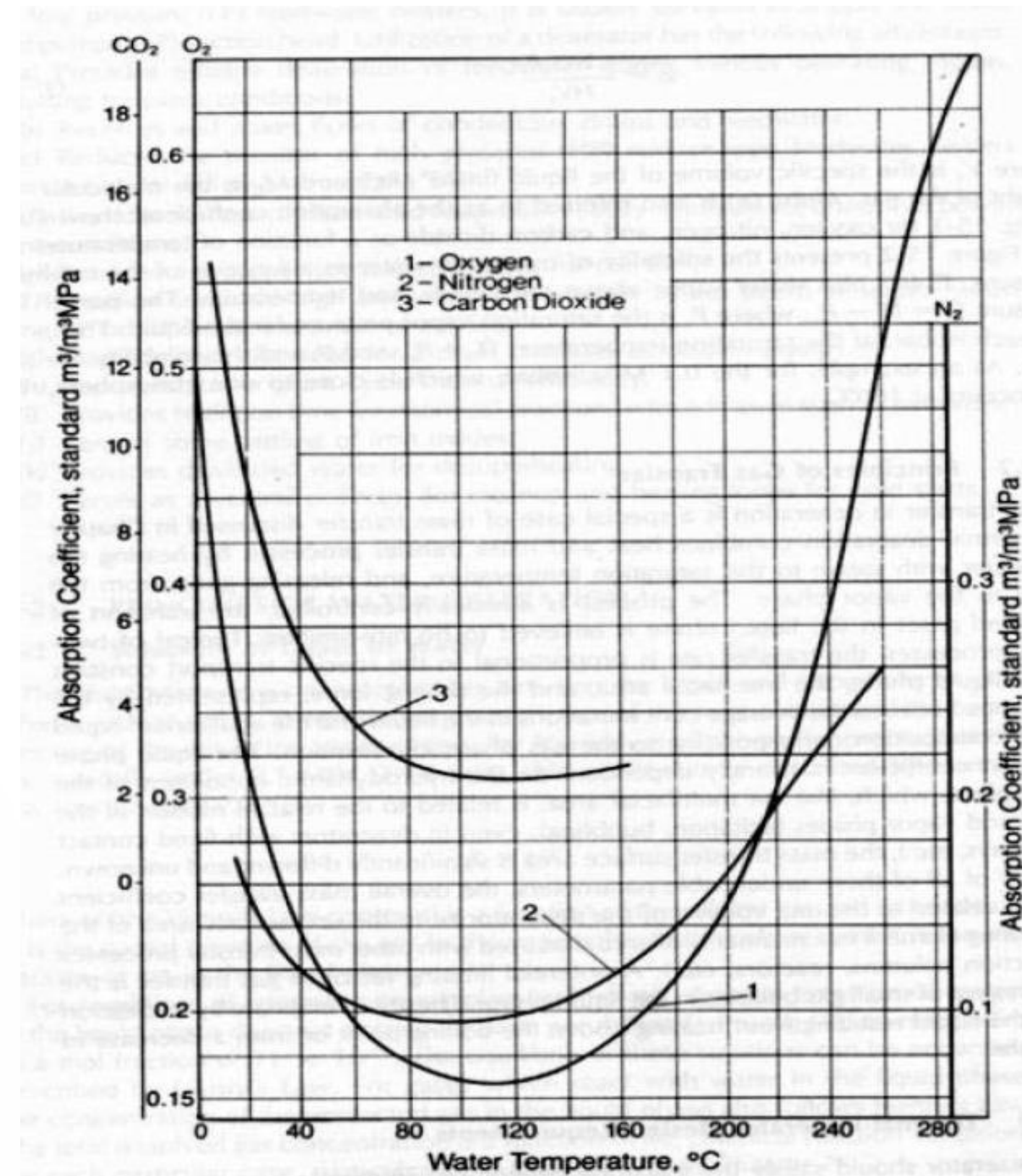
- ✓ Corrosión por Oxígeno o Pitting: es la reacción del oxígeno disuelto en el agua con los componentes metálicos de la caldera (disolución o formación de óxidos insolubles)
- ✓ Corrosión Cáustica: se produce por sobreconcentración local en zonas de elevadas cargas térmicas de sales alcalinas



GENERACIÓN

AGUA DE ALIMENTACIÓN A CALDERAS. PROBLEMAS - CORROSIÓN

- ✓ Solubilidad del oxígeno en función de la temperatura del agua



GENERACIÓN

AGUA DE ALIMENTACIÓN A CALDERAS. PROBLEMAS - INCRUSTACIONES

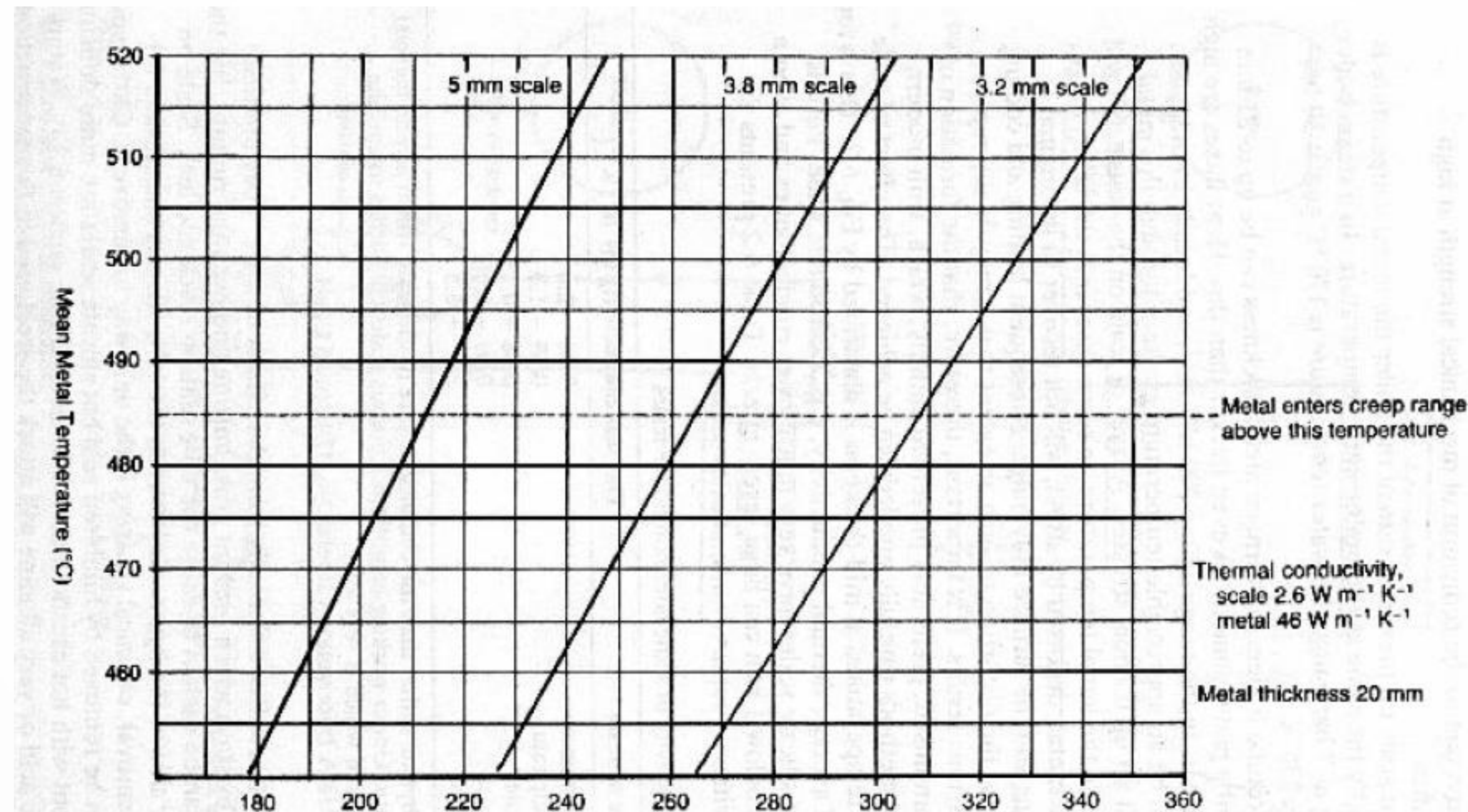
- ✓ Son deposiciones de carbonatos y silicatos de calcio y magnesio. Causas: altas concentraciones en el BFW y purga insuficiente.
- ✓ Las incrustaciones tienen baja conductividad térmica y hacen las veces de aislantes térmicos
→ afectan al rendimiento y pueden causar daños.



GENERACIÓN

AGUA DE ALIMENTACIÓN A CALDERAS. PROBLEMAS - INCRUSTACIONES

Efectos del espesor de la capa de incrustaciones de una caldera en la temperatura del metal

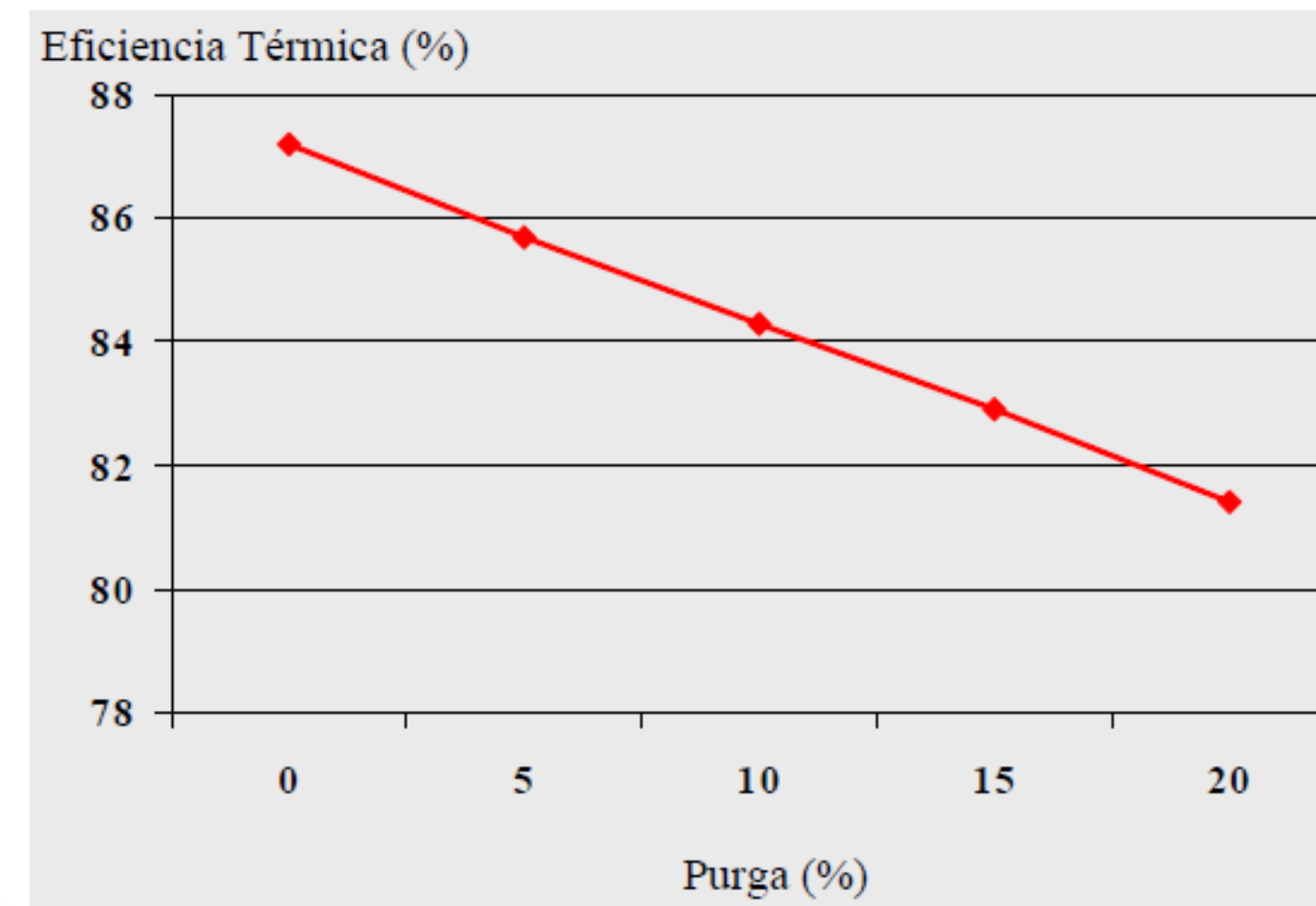


GENERACIÓN

AGUA DE ALIMENTACIÓN A CALDERAS. PROBLEMAS - EFICIENCIAS

Existen dos tipos de pérdidas de eficiencia fundamentales:

- ✓ Mala transferencia de calor (deposiciones)
- ✓ Purgas: a mayor % purga menor eficiencia térmica



- ✓ La relación entre la concentración de impurezas en la caldera y la concentración de impurezas en el agua de calderas determina los ciclos de concentración

GENERACIÓN

GENERACIÓN DE VAPOR EN CORRIENTES DE PROCESOS

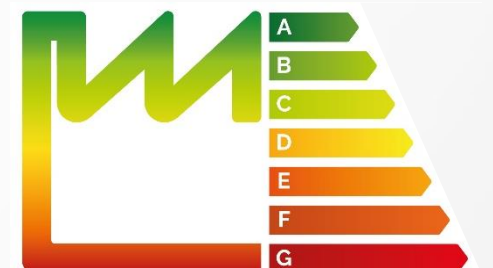
- 🔥 Generalidades
- 🔥 Consideraciones
- 🔥 Ejemplos



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



GENERACIÓN

GENERALIDADES

Qué corrientes de proceso pueden utilizarse para generar vapor?

- Corrientes con alto nivel térmico que deban ser enfriadas y no pueden aprovecharse para calentar otra corriente de proceso.
- Corrientes con alto nivel térmico que deban ser enfriadas pero no tengan un servicio permanente (operación eventual a tanque).
- Flue gases con alta temperatura (hornos, FCC, reformado de naftas, steam reforming, etc.)
- Calor de reacción (por ejemplo síntesis de Metanol o ácido sulfúrico, catalyst cooler enFCC).
- Corrientes circulantes de fraccionadoras de destilación al vacío y coke.
- Corrientes de slurry/GOP de FCC.

GENERACIÓN

CONSIDERACIONES

- Si se trata de vapor en una cantidad considerable, se debe prever el recalentamiento a una temperatura cercana a la del colector.
- Verificar la real necesidad del vapor a producir. No producir para laminar o ventear.
- Si la ventaja de generar vapor no es muy clara, evaluar precalentar BFW.
- Si la temperatura de la corriente caliente es muy elevada, verificar cuidadosamente la especificación de materiales para evitar roturas por fatiga térmica.
- Tener en cuenta la diferencia de presión para el diseño mecánico, las corrientes de proceso (y más aún los flues gases) suelen estar a baja presión.
- Evitar el intercambio con corrientes que no pueden contaminarse con agua ante una eventual pinchadura

GENERACIÓN

CONSIDERACIONES

¿Qué condiciones deben cumplirse?

- Perfil temperatura suficientemente plano o alto DT respecto del vapor a generar.
- Tener en cuenta el requerimiento de área para precalentar BFW hasta la temperatura de saturación.

Qué condiciones deben cumplirse?

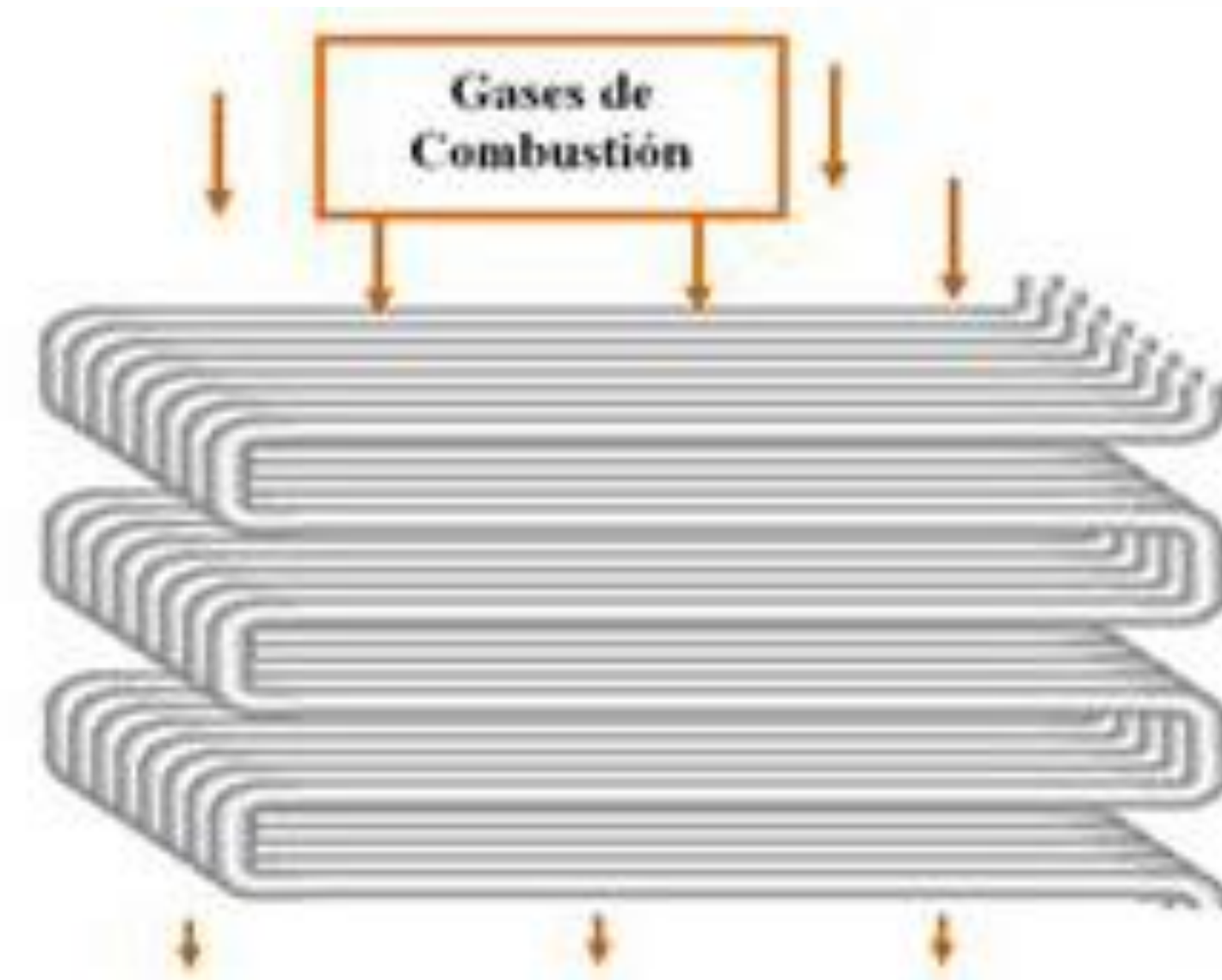
- Se utilizan típicamente los tipo TEMA AKT
 - A para una mejor limpieza de tubos
 - K permite una buena separación del vapor generado
 - T buena limpieza de todo el largo de tubos
- Materiales: Carcasa de CS y tubos de 410 SS

GENERACIÓN

EJEMPLOS: RECUPERACIÓN DE GASES CALIENTES

Son intercambiadores de calor que recuperan el calor residual de los gases de escape para calentar otra corriente

- ✓ En las calderas se incorporan con esta función: economizadores y precalentadores de aire.
- ✓ En hornos de procesos
- ✓ Equipo de intercambio en ductos



MÓDULO VIII

SISTEMAS DE VAPOR Y COGENERACIÓN

DISTRIBUCIÓN



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



DISTRIBUCIÓN

CONTENIDOS

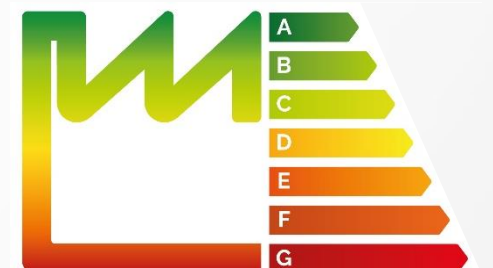
- 🔥 Turbinas: tipos, usos y aplicaciones, eficiencias
- 🔥 Reducciones de presión (laminaciones)
- 🔥 Trampas de vapor
- 🔥 Aislaciones
- 🔥 Pérdidas y venteos



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



DISTRIBUCIÓN

TURBINAS DE VAPOR

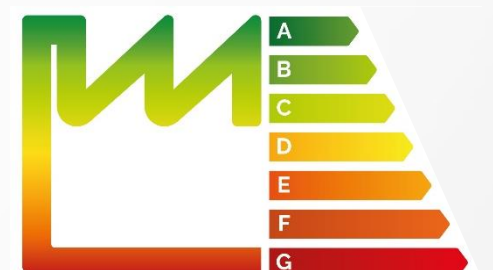
- ✓ Descripción
- ✓ Generalidades
- ✓ Clasificaciones
- ✓ Turbinas a condensación y contrapresión
- ✓ Eficiencias
- ✓ Importancia de las TV en un sistema de vapor
- ✓ Criticidad y Rotación



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe



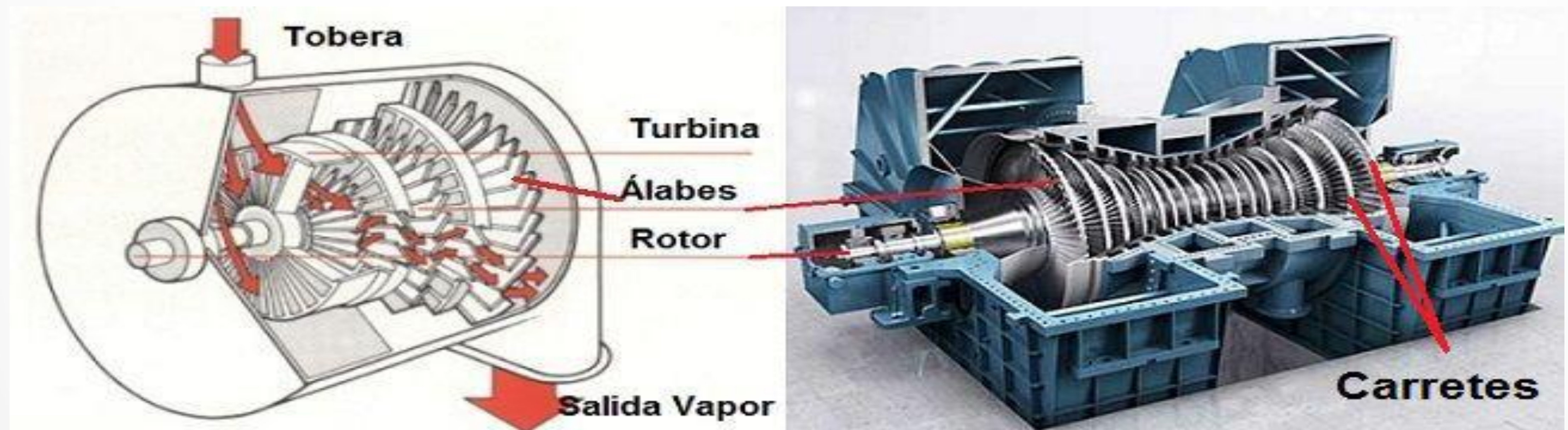
Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



DISTRIBUCIÓN

TURBINAS - DESCRIPCIÓN

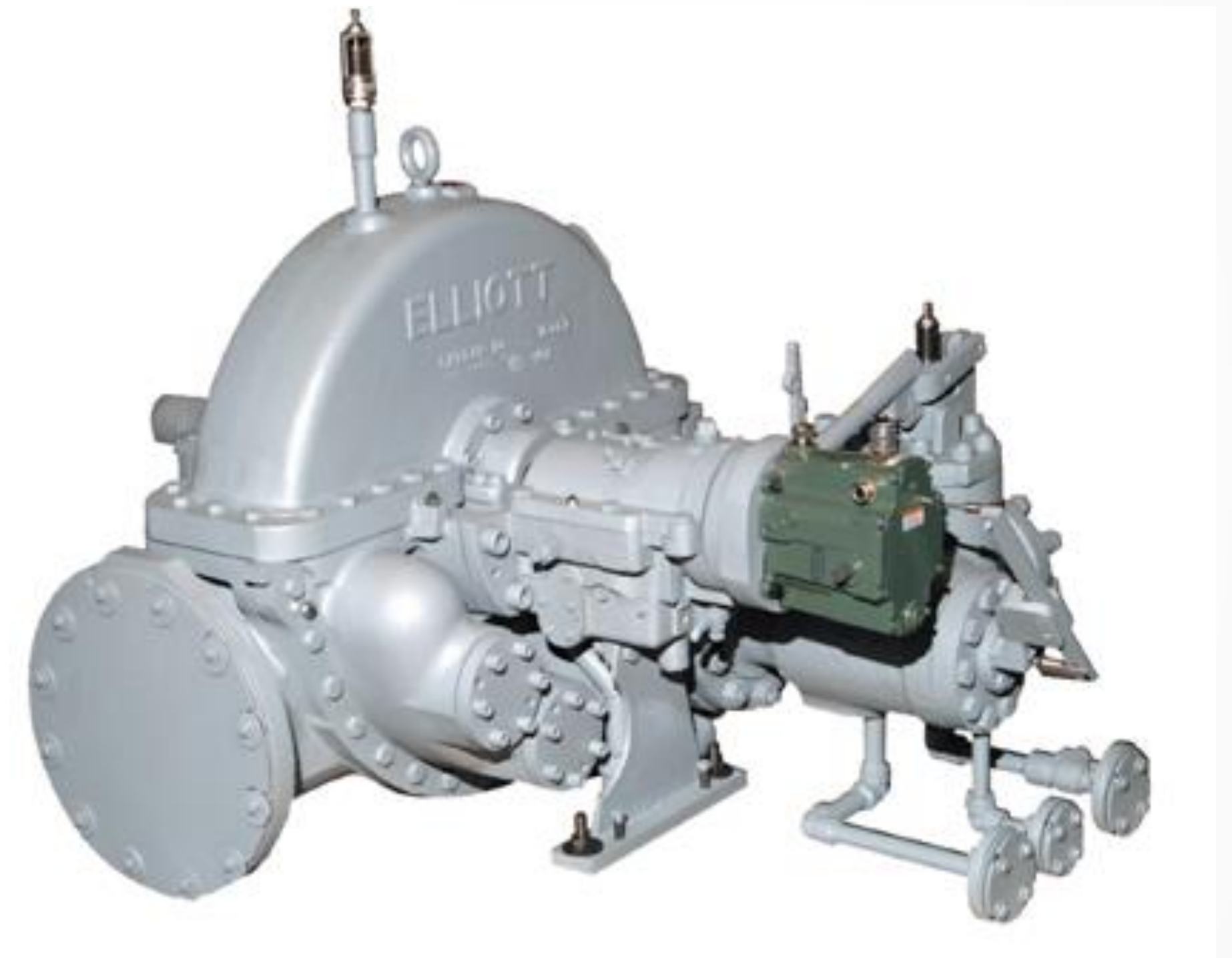
El vapor de alta presión empuja las palas de la turbina y las hace girar. Las palas fijas situadas en la pared interior de la turbina canalizan el vapor hacia las palas giratorias en el ángulo más efectivo. Cuando el vapor impulsa las palas, se dilata y baja la presión y temperatura.



DISTRIBUCIÓN

TURBINAS - GENERALIDADES

- ✓ Están disponibles para un amplio rango de condiciones de vapor, potencia y velocidades.
- ✓ Dependiendo de la función que cumpla la TV en el proceso tendrán
 - Turbinas que operan dentro de un rango de velocidades a contrapresión ó,
 - Turbinas a potencia fija, pueden trabajar a condensación, o contrapresión



DISTRIBUCIÓN

TURBINAS DE VAPOR - CLASIFICACIONES

Existen varias clasificaciones de las turbinas dependiendo del criterio utilizado, aunque los tipos fundamentales son:

Según mecanismo de conversión

- Turbinas de acción
- Turbinas de reacción

Según aplicación

- Turbinas de Contrapresión
- Turbinas de Condensación
- Turbinas con Extracciones

Según etapas de escalonamiento

- Turbinas Monoetapa
- Turbinas Multietapas

Según flujo en el rodete

- Turbinas Axiales
- Turbinas Radiales

DISTRIBUCIÓN

TURBINAS DE VAPOR - CLASIFICACIÓN DE REDES DE VAPOR

Existen varias clasificaciones de las turbinas dependiendo del criterio utilizado, aunque los tipos fundamentales son:

A contrapresión

- Más eficientes
- La entalpía remanente en el vapor exhausto se aprovecha en el proceso

A condensación total

- Poco eficientes
- La energía entregada por el combustible se desperdicia en el agua de condensación

A extracción

- Se encuentran en todo tipo de aplicaciones
- El vapor es liberado en diversas etapas y aprovechado en distintos procesos industriales

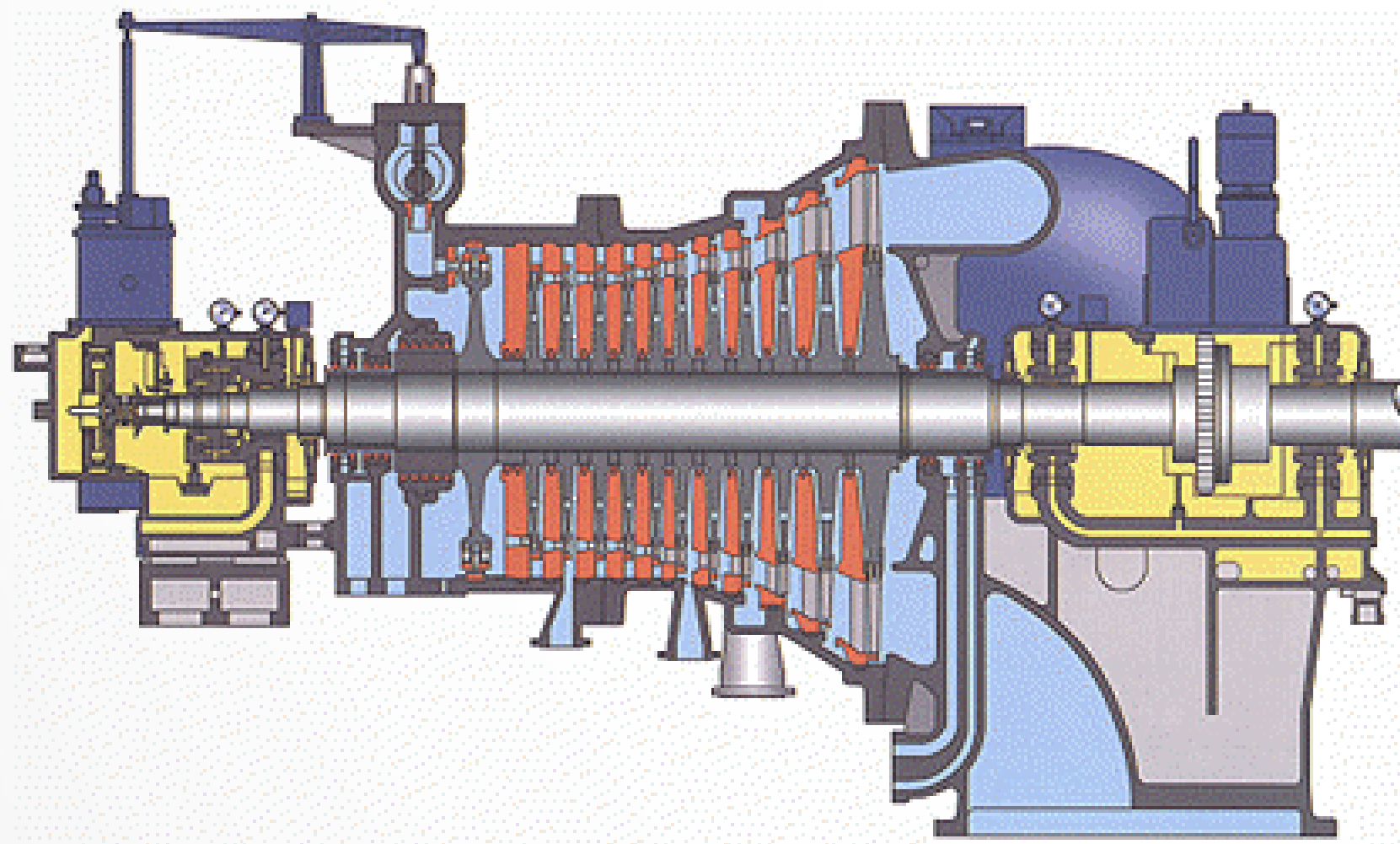
El trabajo mecánico más barato es el obtenido a través de una Turbina a contrapresión, siempre y cuando el vapor exhausto no se ventee. Caso contrario es la TE.

DISTRIBUCIÓN

TURBINAS DE VAPOR A CONDENSACIÓN Y CONTRAPRESIÓN

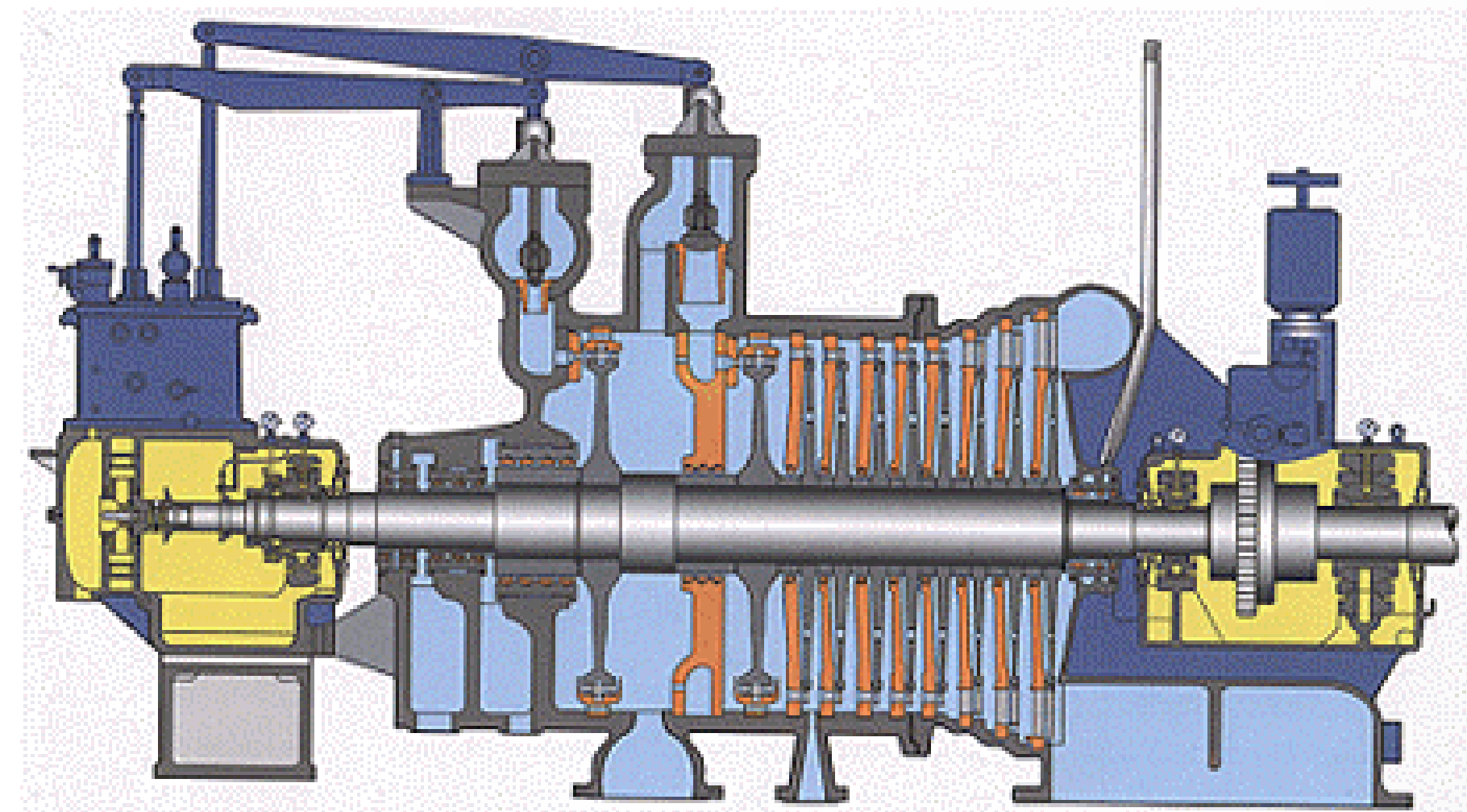
TV a Condensación

- ✓ Equipos de entre 6 y 152 MW. Los más desarrollados pueden superar los 250 MW.
- ✓ Aplicables a industrias de Cemento, Metalúrgica, Química, Alimentación, Oil&Gas, Textil, Papelera, Refinerías, Tratamientos de desechos, CC y Centrales térmicas



TV a Contrapresión

- ✓ Permite configurar diferentes condiciones de vapor a la entrada, en las extracciones y a la salida. Esquema típico de TV de 30MW.



DISTRIBUCIÓN

TURBINAS DE VAPOR - ROTOR Y ESTATOR

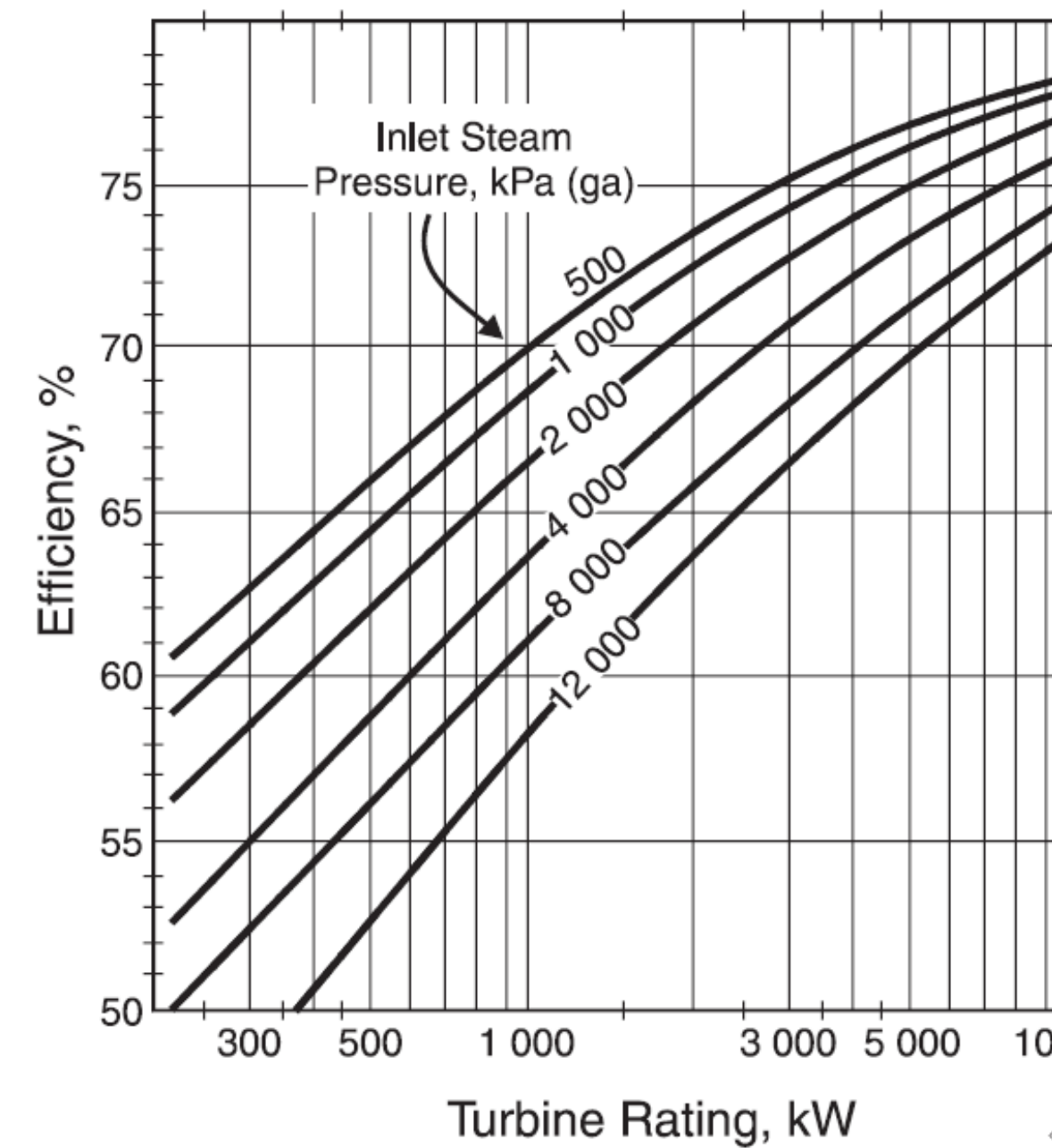


DISTRIBUCIÓN

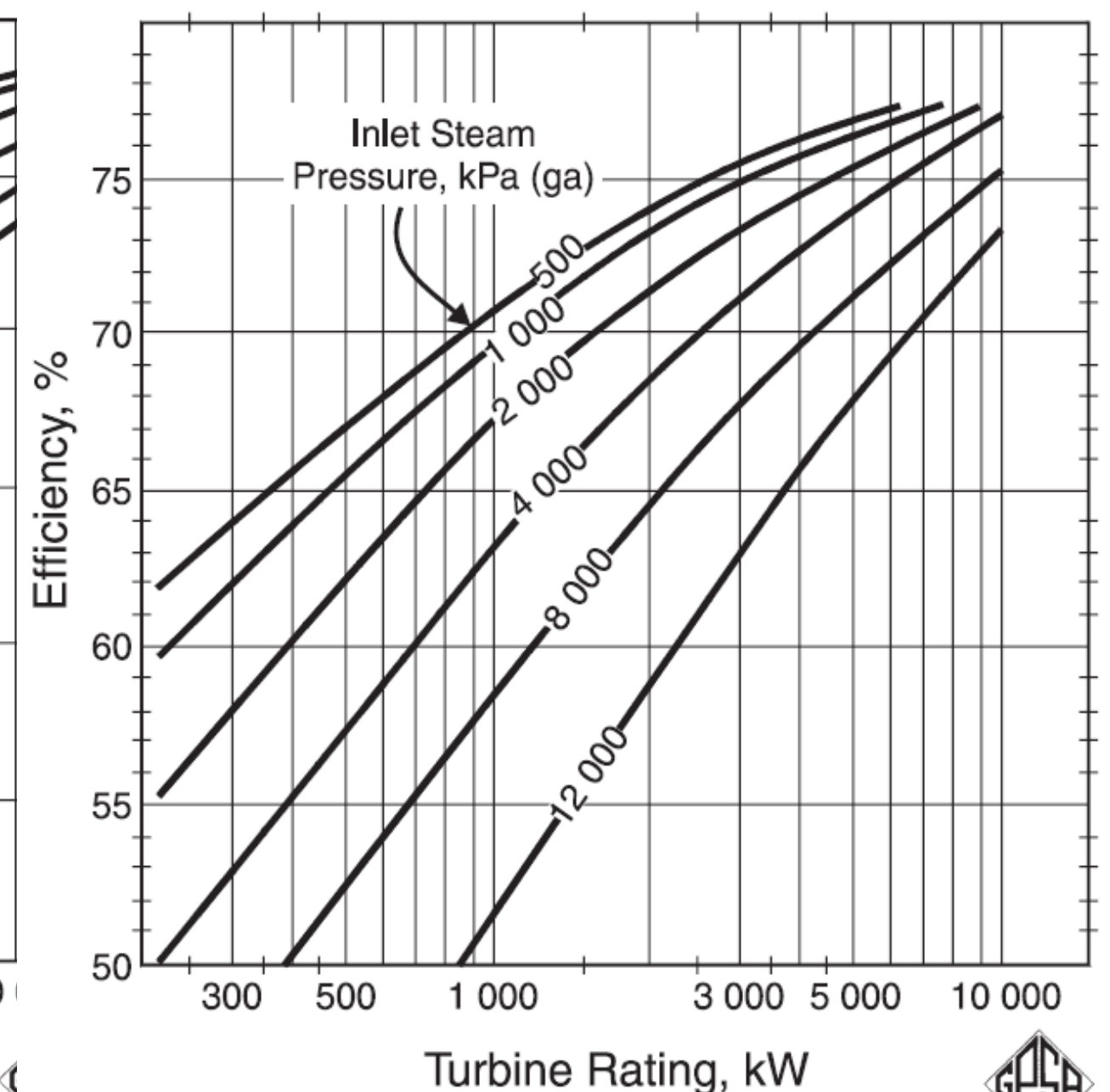
TURBINAS DE VAPOR - EFICIENCIAS

- ✓ La eficiencia se afecta por: pérdidas por estrangulamiento, fugas de vapor, fricción del vapor, pérdidas en cojinetes, etc.
- ✓ Las eficiencias van desde un 40% (baja potencia y una etapa) hasta casos especiales del 90% (grandes turbinas multietapa y multi válvulas).

Gráficas de eficiencias de turbinas multietapas y multiválvulas



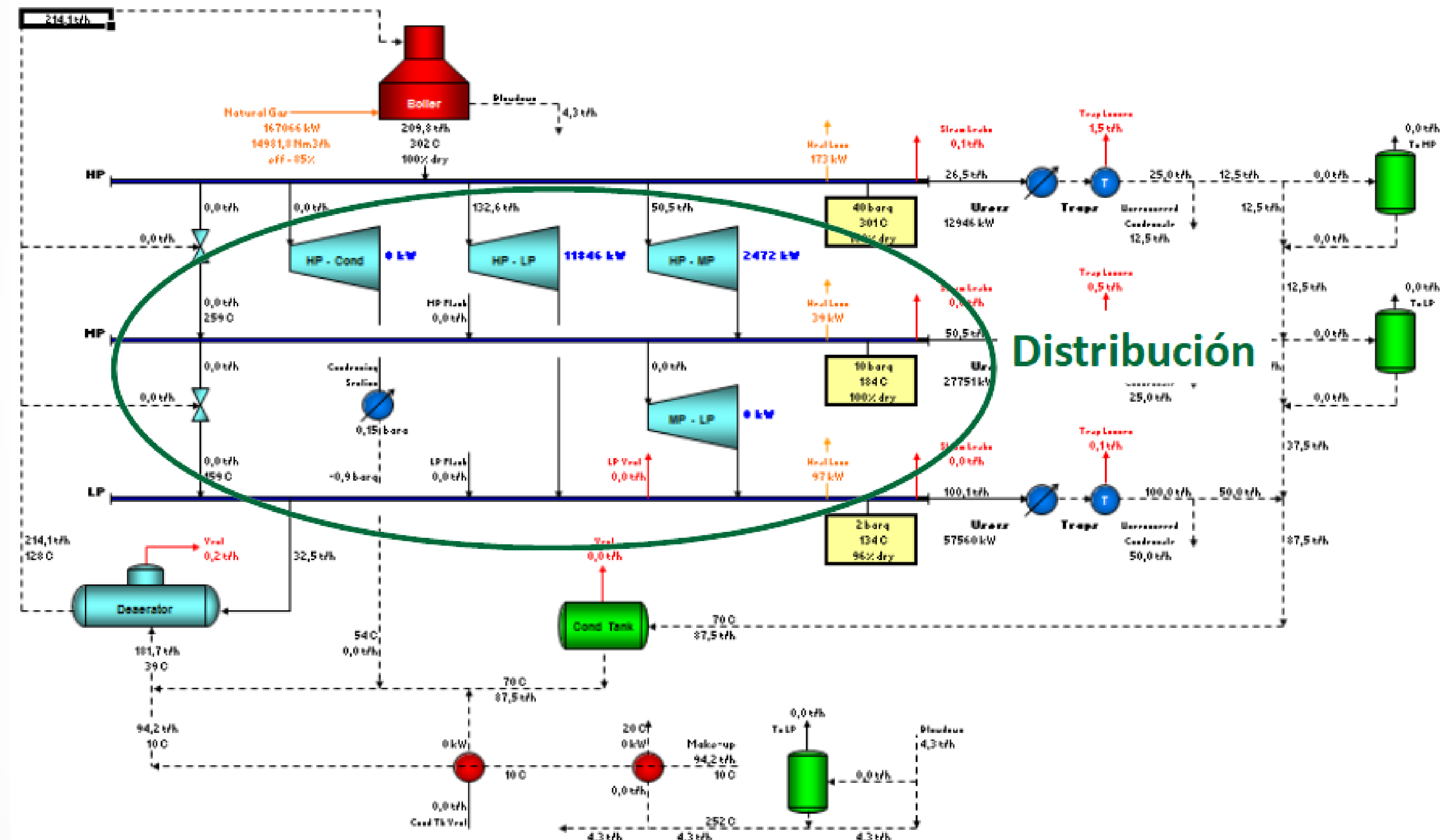
TV a condensación



TV a contrapresión

DISTRIBUCIÓN

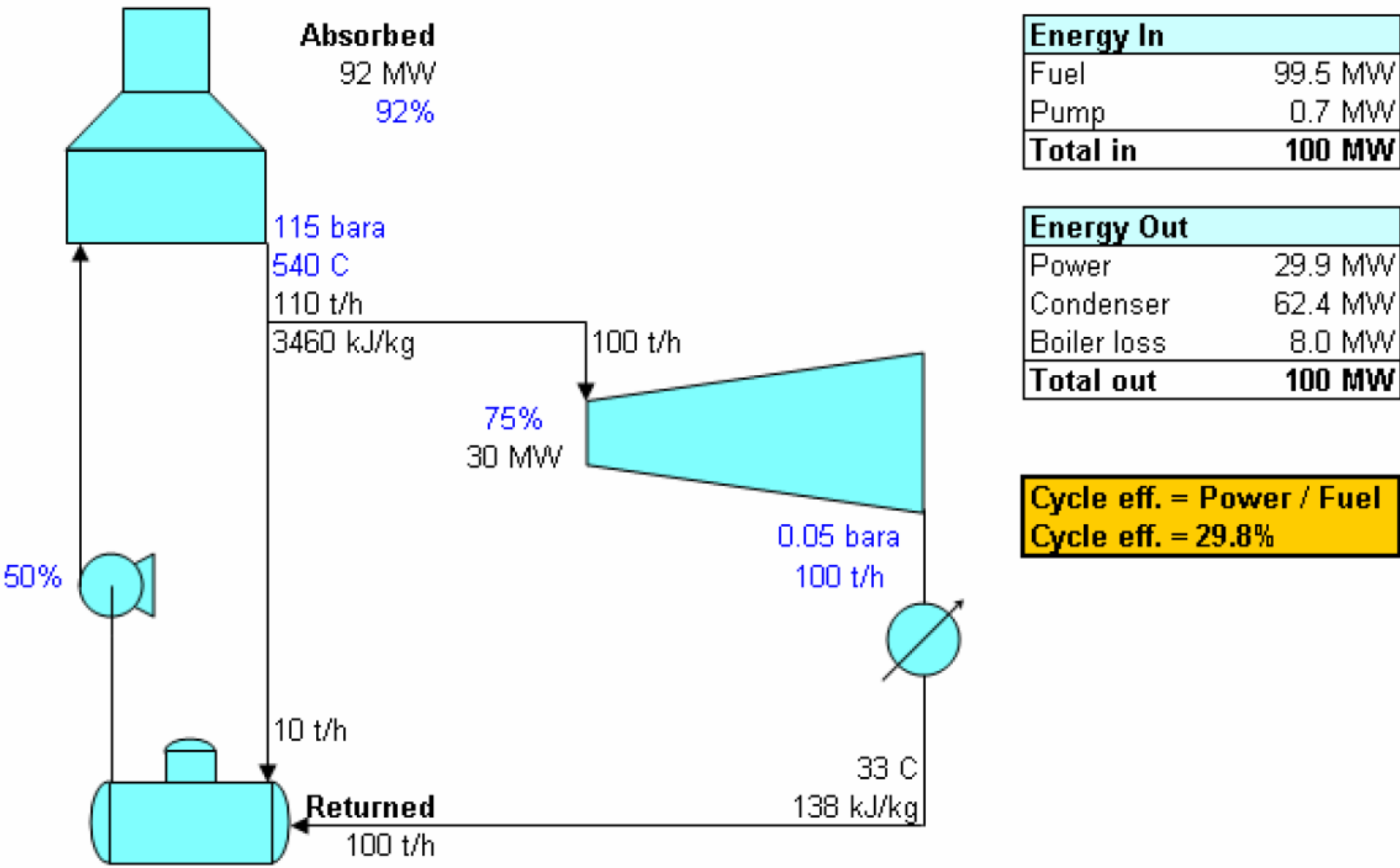
TURBINAS DE VAPOR EN UNA RED



DISTRIBUCIÓN

TURBINAS DE VAPOR - CONDENSACIÓN EN UNA RED DE VAPOR

Los ciclos de condensación son inherentemente ineficientes, una baja porción de la energía disponible como calor es aprovechada para generar potencia.



DISTRIBUCIÓN

TURBINAS - CRITICIDAD Y ROTACIÓN

Estado

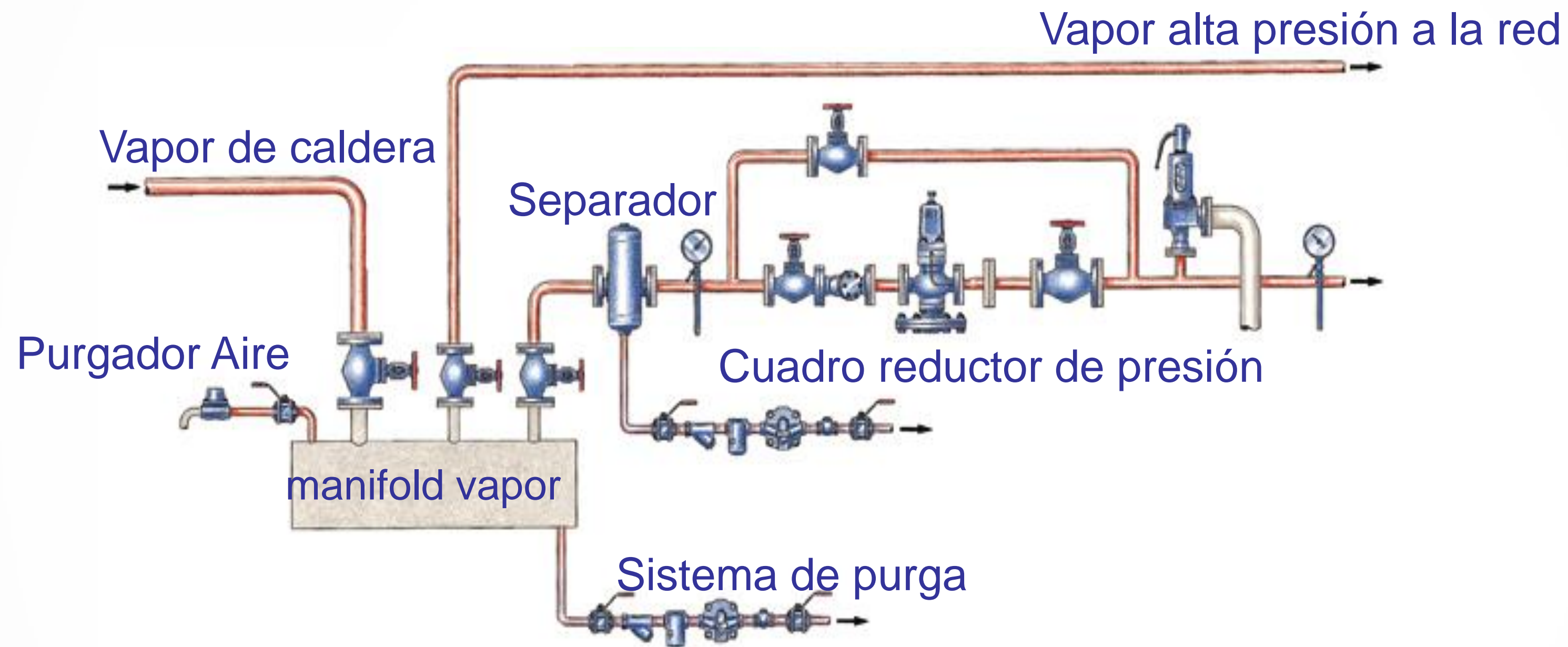
- En servicio
- Fuera de servicio
- Rotando en caliente
- Reserva caliente sin rotar

Clase

- Crítica, si sale F/S genera paro de la Unidad (*)
- No Crítica, si sale F/S no para la Unidad
- Titular, no posee reemplazo eléctrico

DISTRIBUCIÓN

DISTRIBUCIÓN DEL VAPOR EN REDES

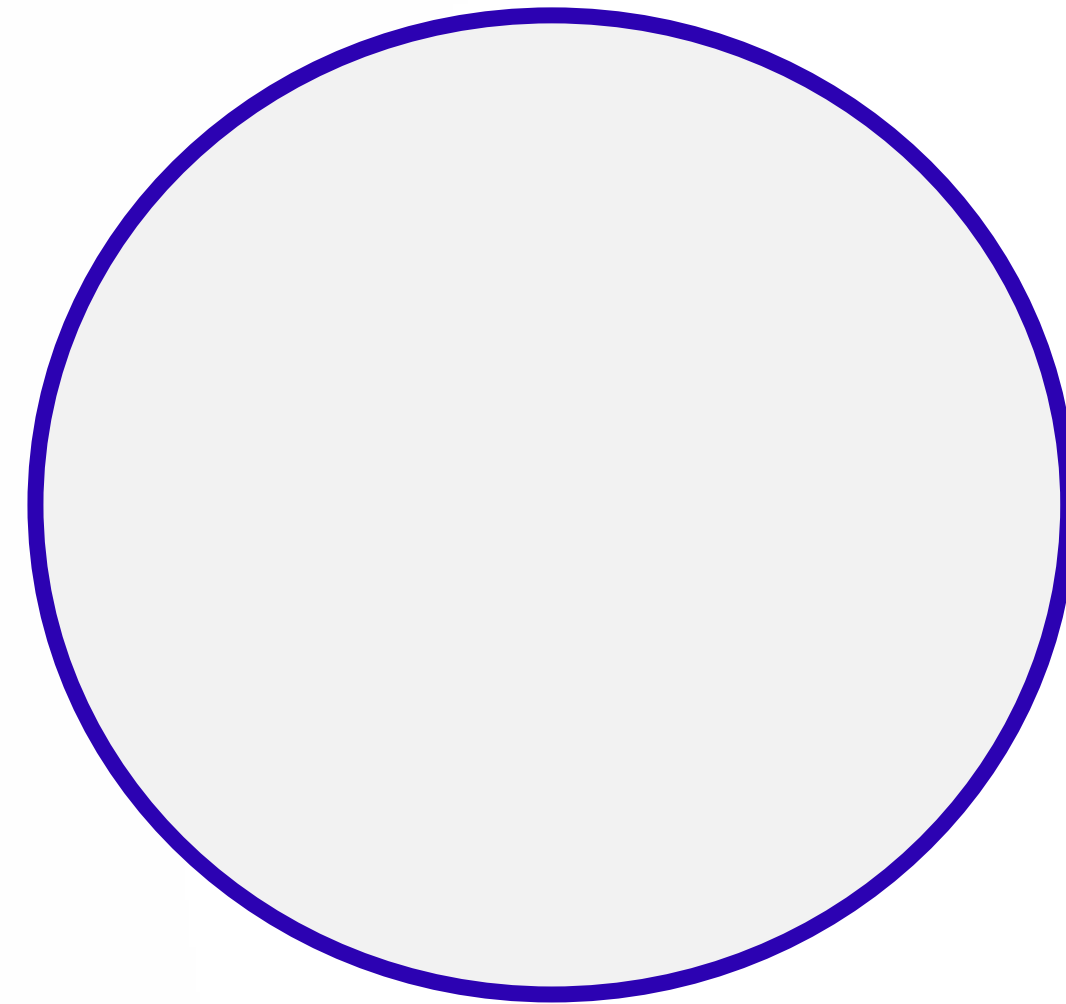


La distribución a alta presión tiene las siguientes ventajas:

- ✓ Tubería de vapor mas pequeña con menor pérdida de calor y coste de material
- ✓ En los procesos con presión mas baja, la reducción mejora la calidad del vapor
- ✓ La caldera tiene mayor rendimiento trabajando con presión alta.

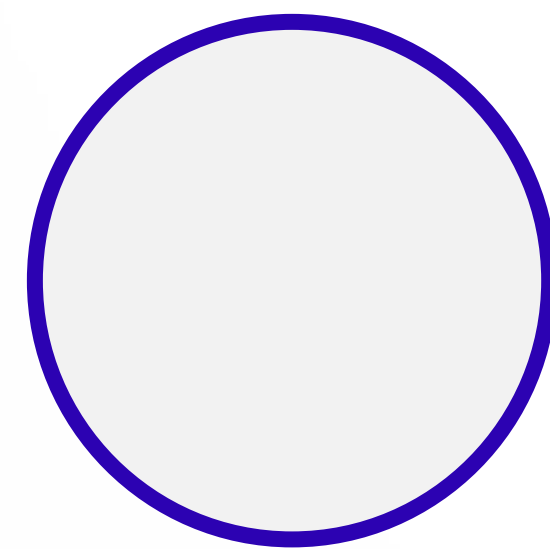
DISTRIBUCIÓN

DIMENSIONADO DE CAÑERÍAS



Sobredimensionada

- + Coste
- + Pérdidas calor
- + Condensado



Subdimensionada

- + Velocidad
- + Caída de presión
- + Erosión

DISTRIBUCIÓN

¿CÓMO DETERMINAR EL DIÁMETRO DE LA CAÑERÍA?

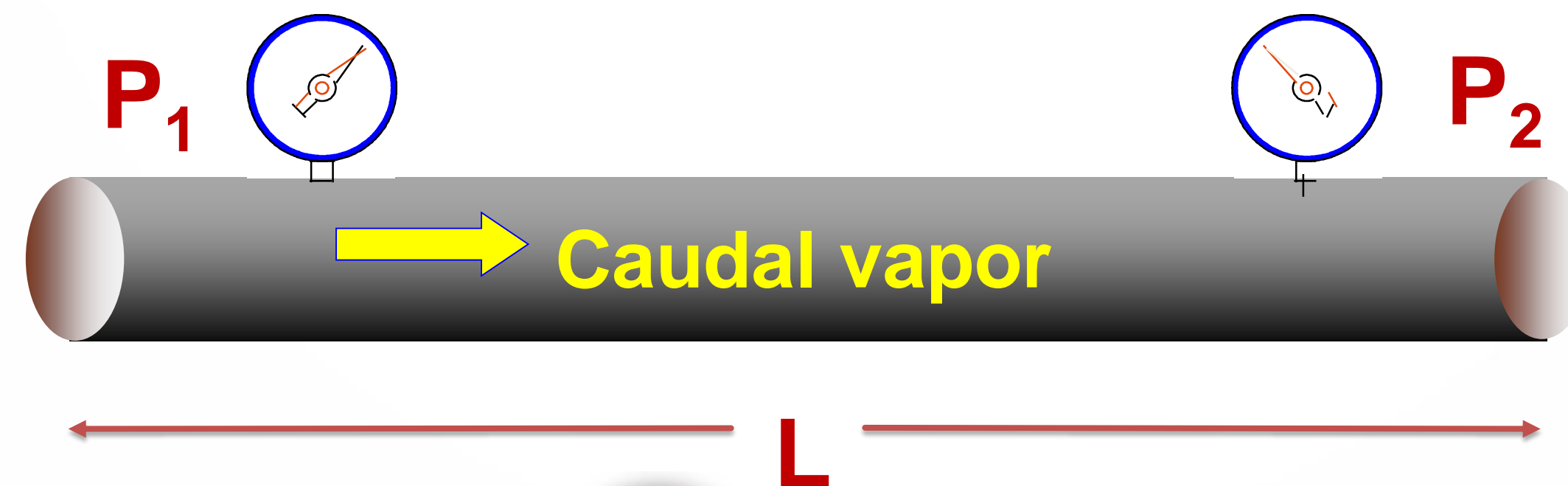
✓ Parámetros a tener en cuenta: **Velocidad y Caída de presión**

✓ La velocidad del vapor no debe sobrepasar:

En líneas principales 25 a 35 m/seg

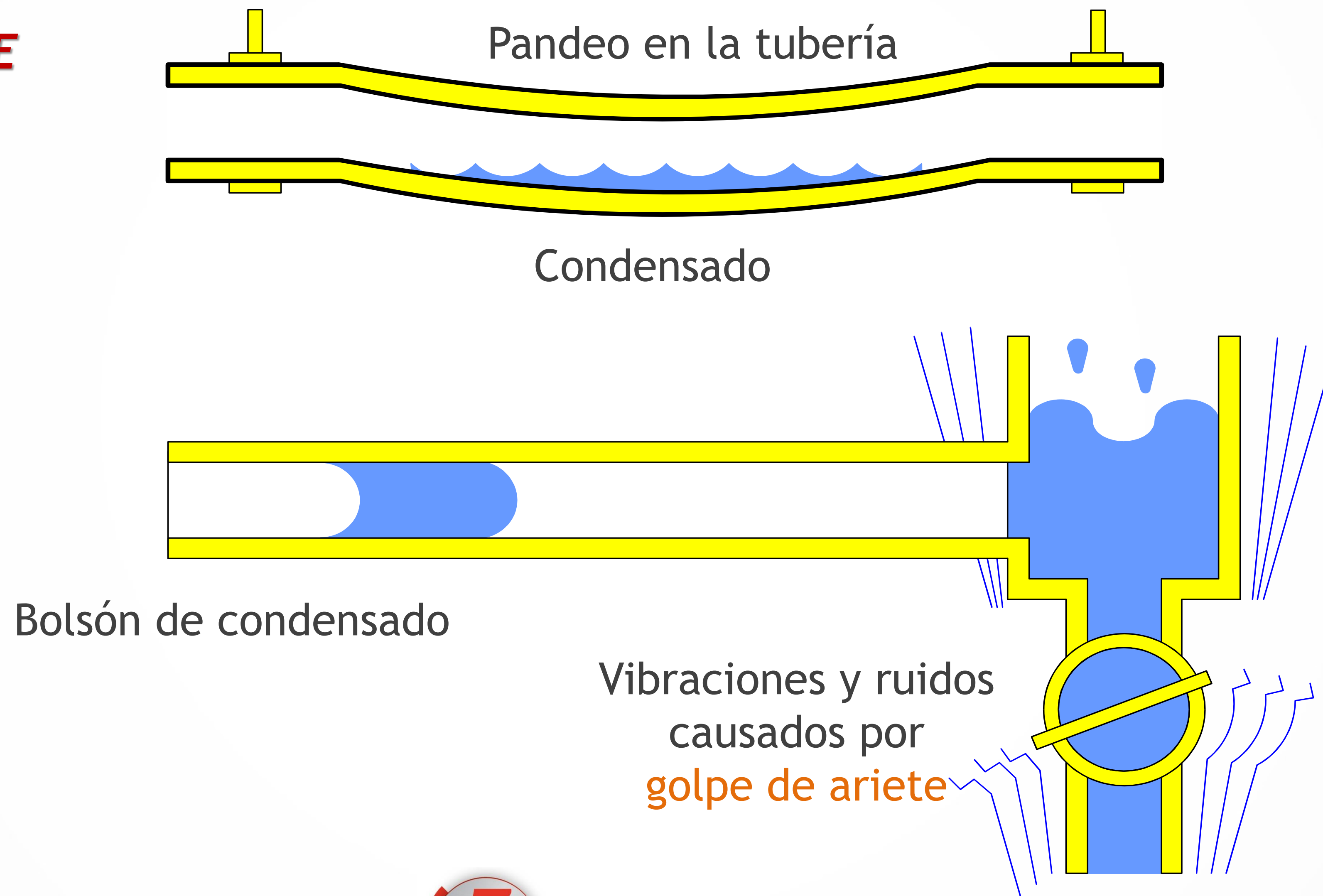
En derivaciones 20 a 25 m/seg.

✓ La caída de presión no debe superar un determinado valor, para asegurar que el vapor llega a los puntos de consumo con *la presión necesaria*



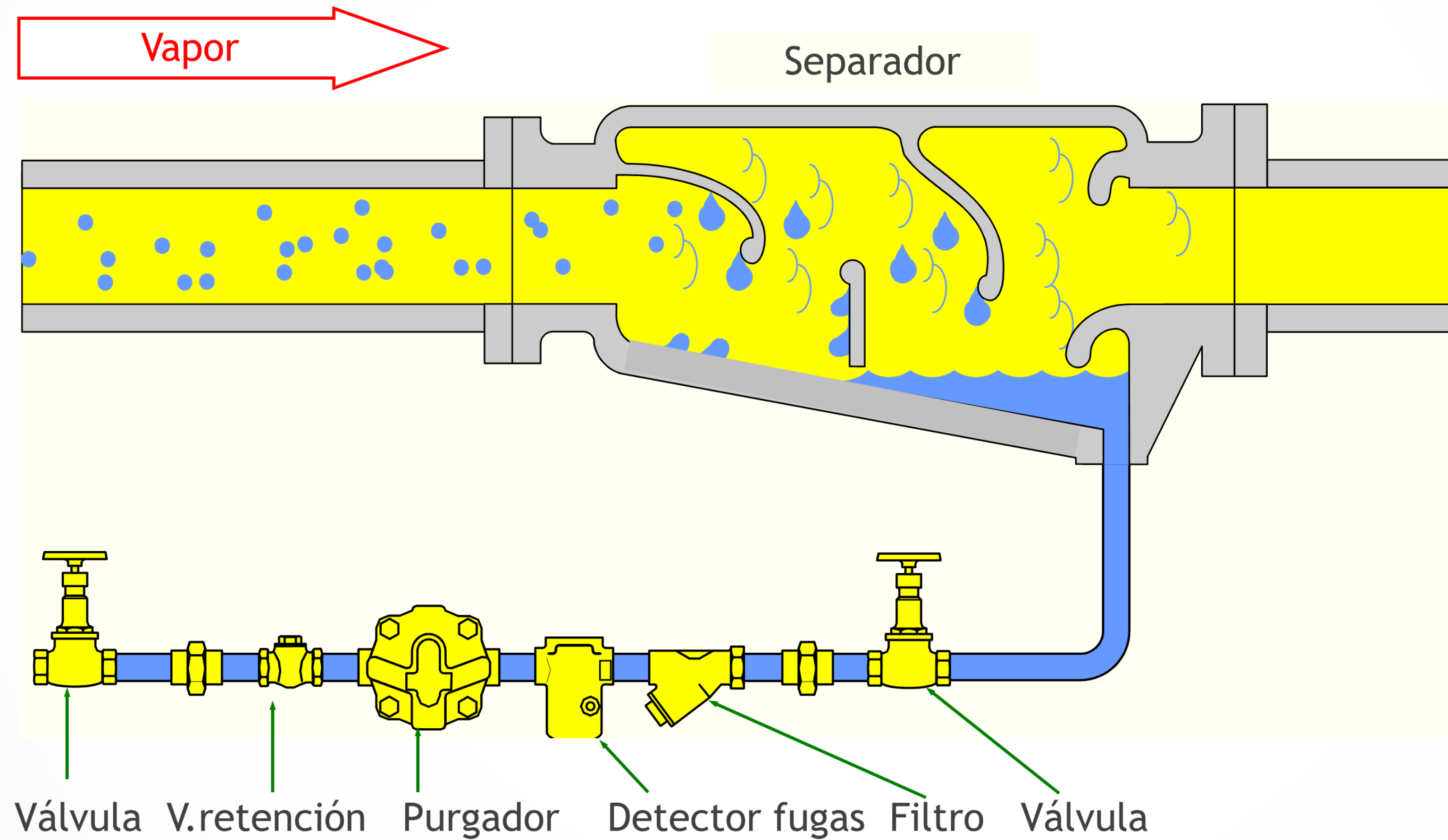
DISTRIBUCIÓN

GOLPE DE ARIETE



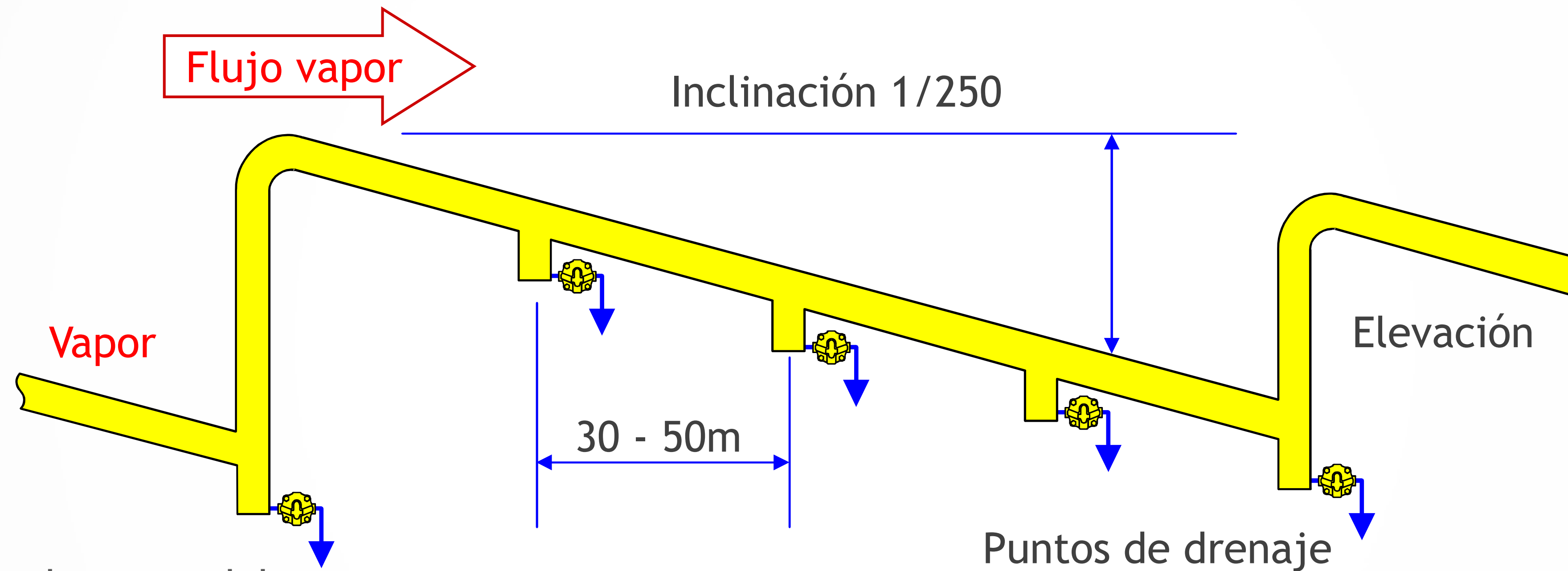
DISTRIBUCIÓN

DRENAJE EN CAÑERÍAS



DISTRIBUCIÓN

PENDIENTE Y PURGADO DE CAÑERÍAS

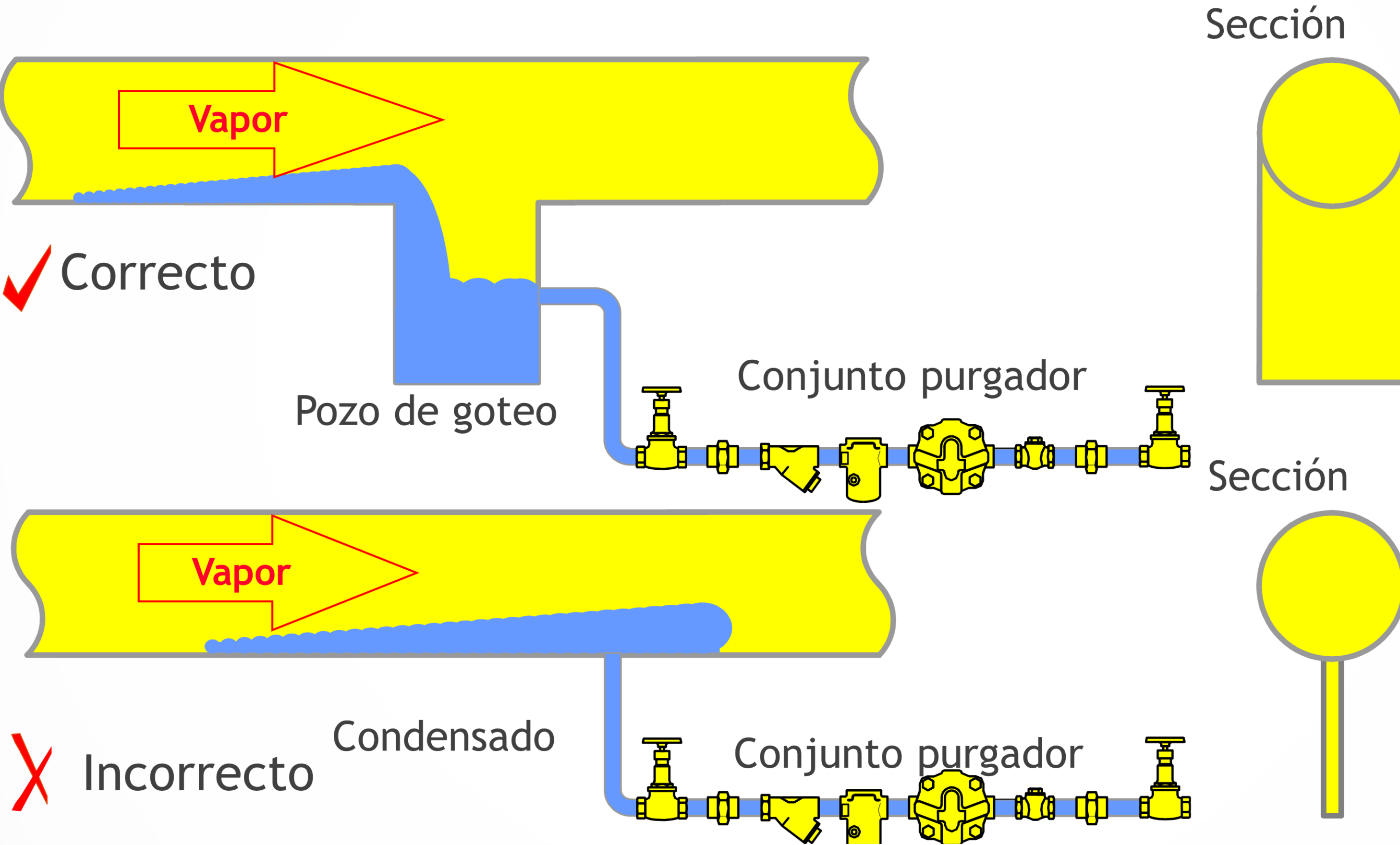


Las tuberías de vapor deben purgarse en :

- ✓ Puntos bajos
- ✓ Tramos rectos (cada 50 metros máximo colocar un punto de drenaje)
- ✓ Finales de línea.

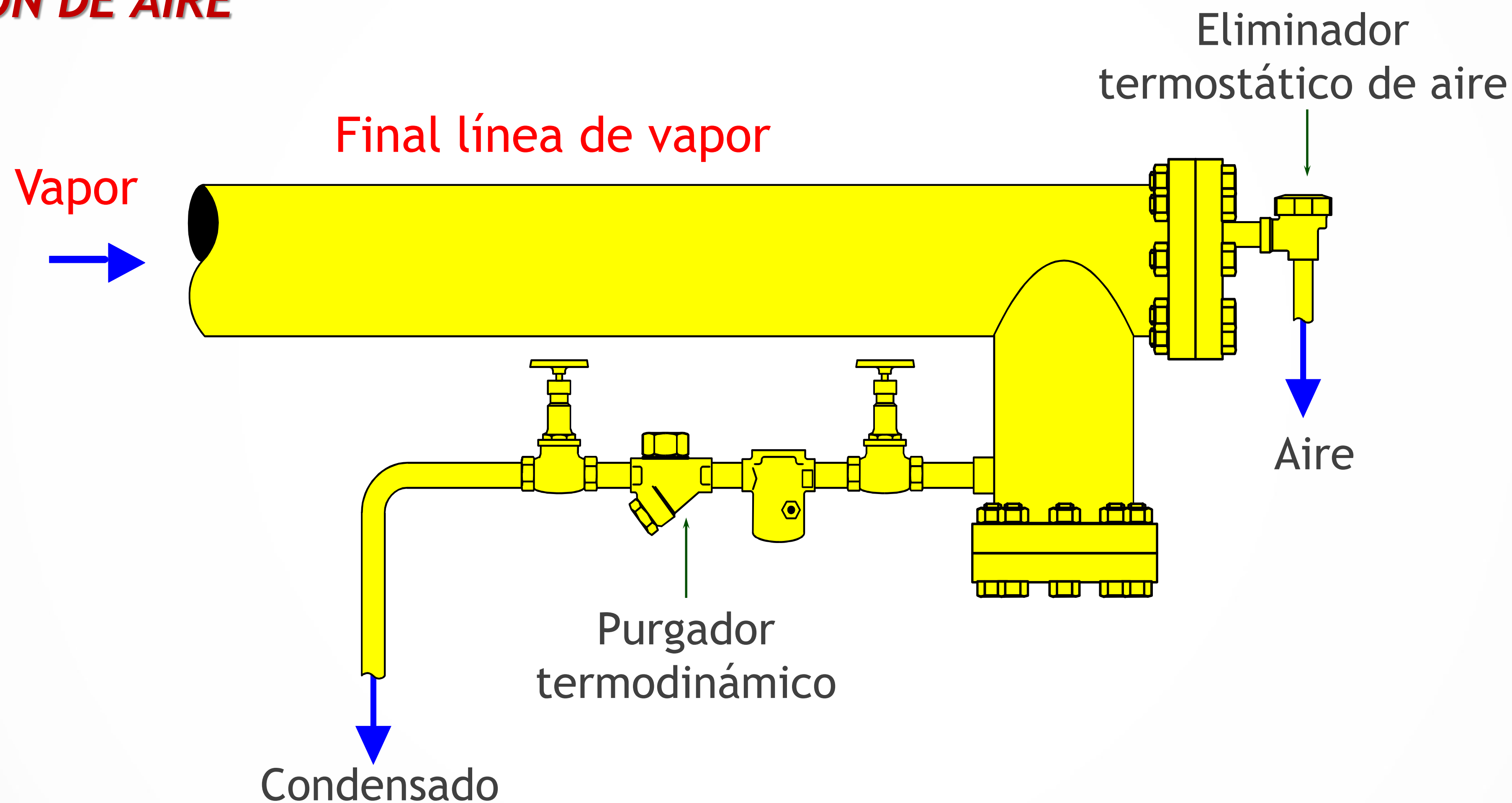
DISTRIBUCIÓN

PUNTOS DE PURGA



DISTRIBUCIÓN

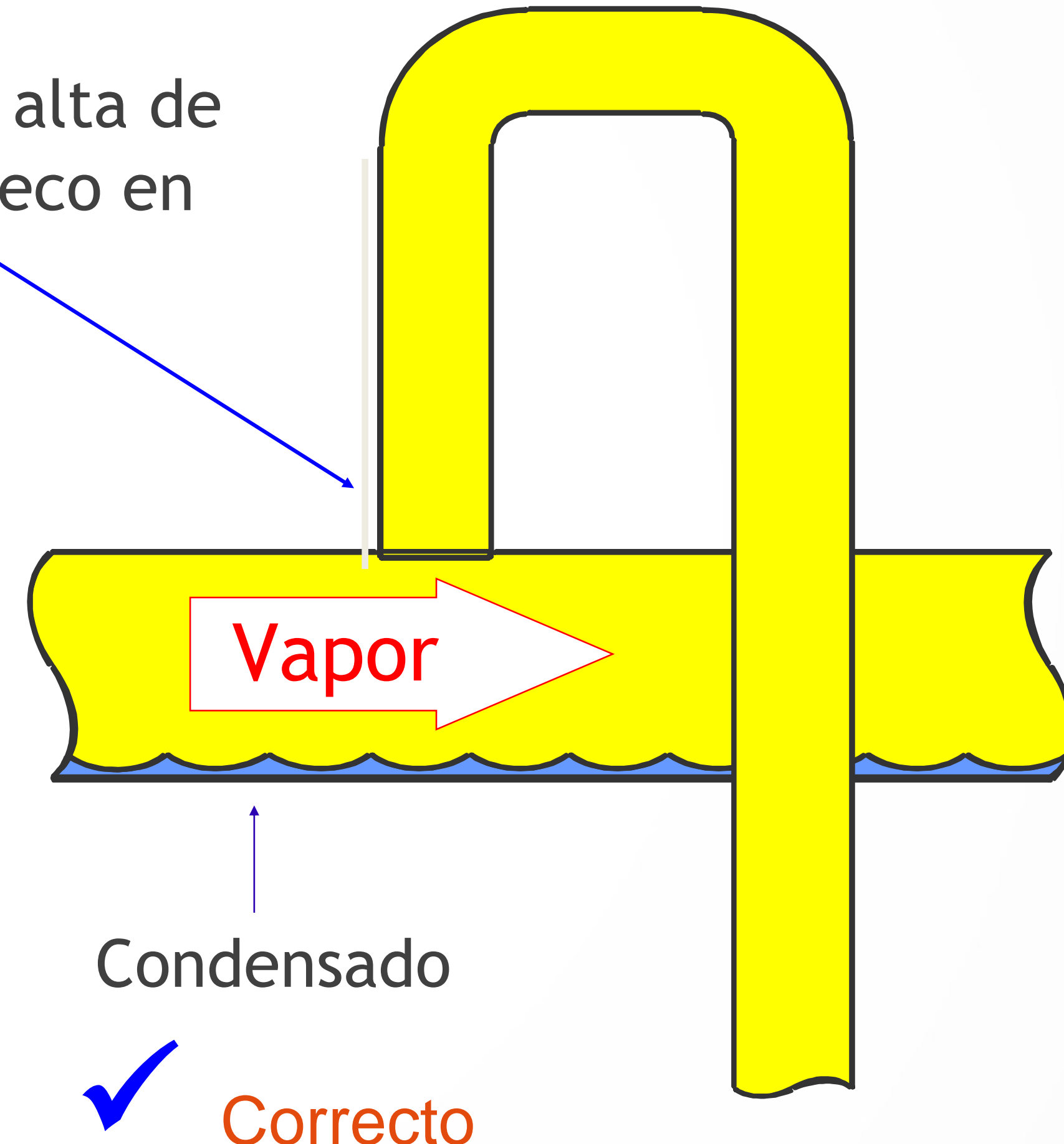
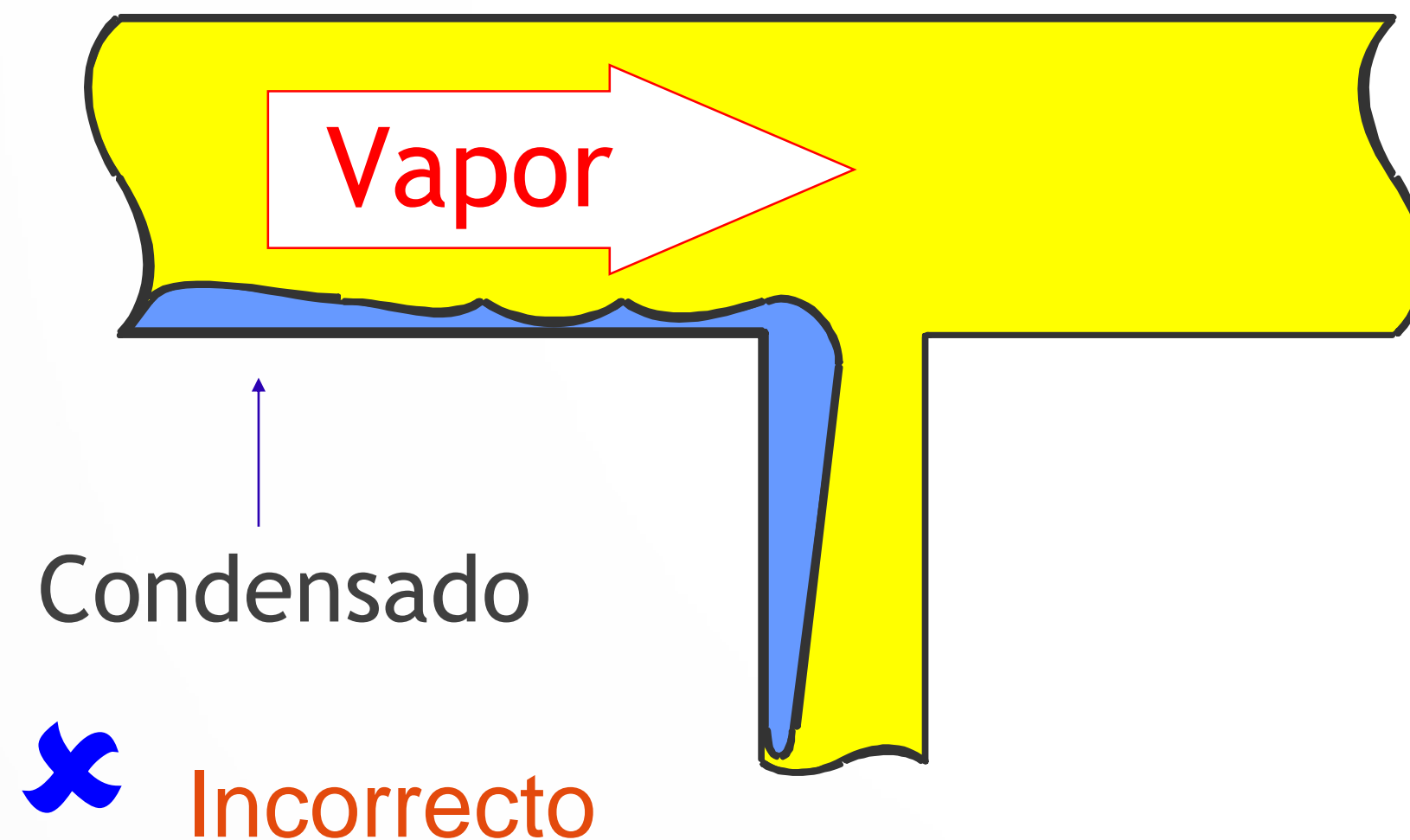
ELIMINACIÓN DE AIRE



DISTRIBUCIÓN

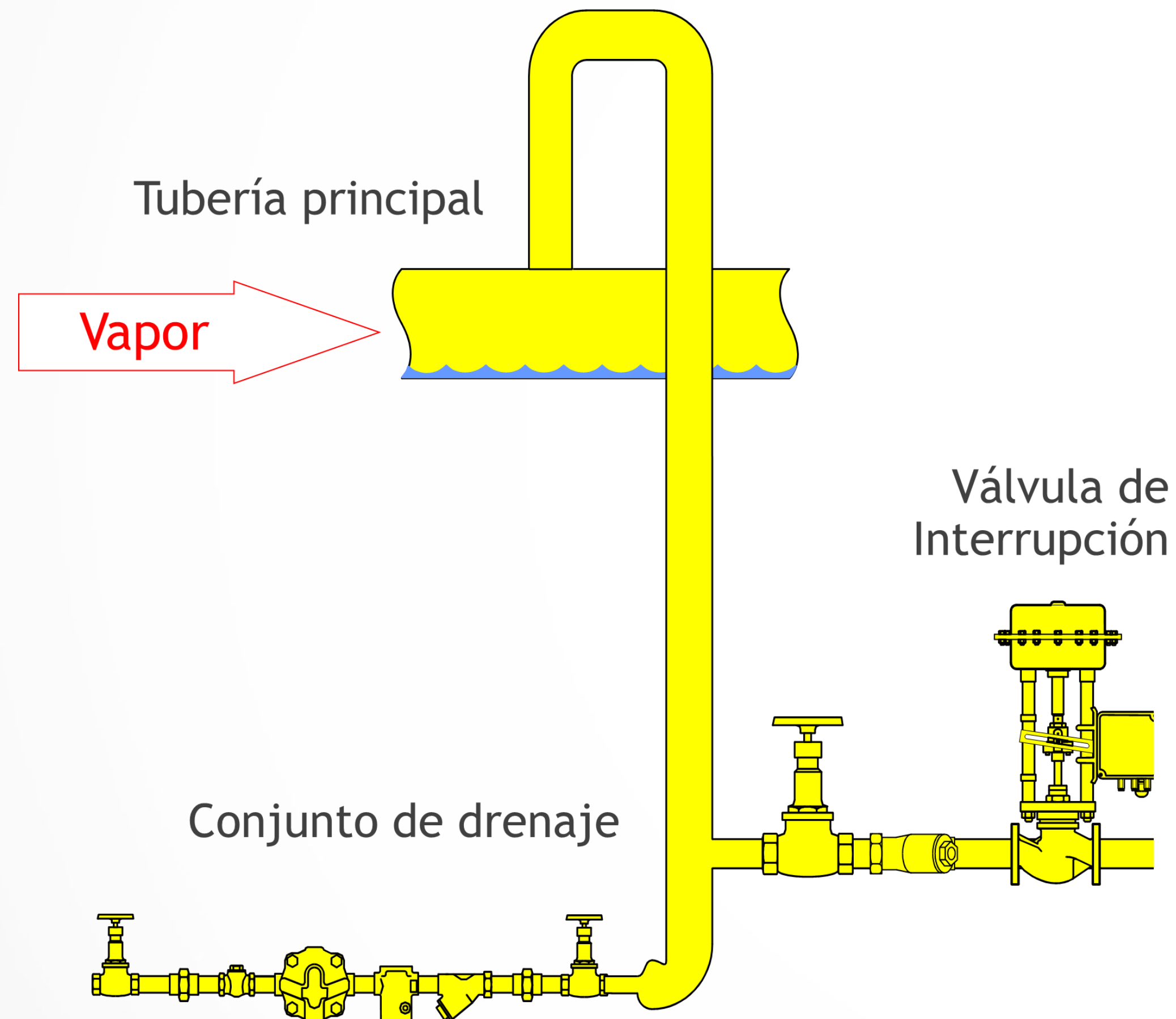
CONEXIÓN DE LAS DERIVACIONES

La conexión de una derivación por la parte alta de la tubería principal asegura un vapor más seco en el proceso.



DISTRIBUCIÓN

DRENAJE EN UNA DERIVACIÓN

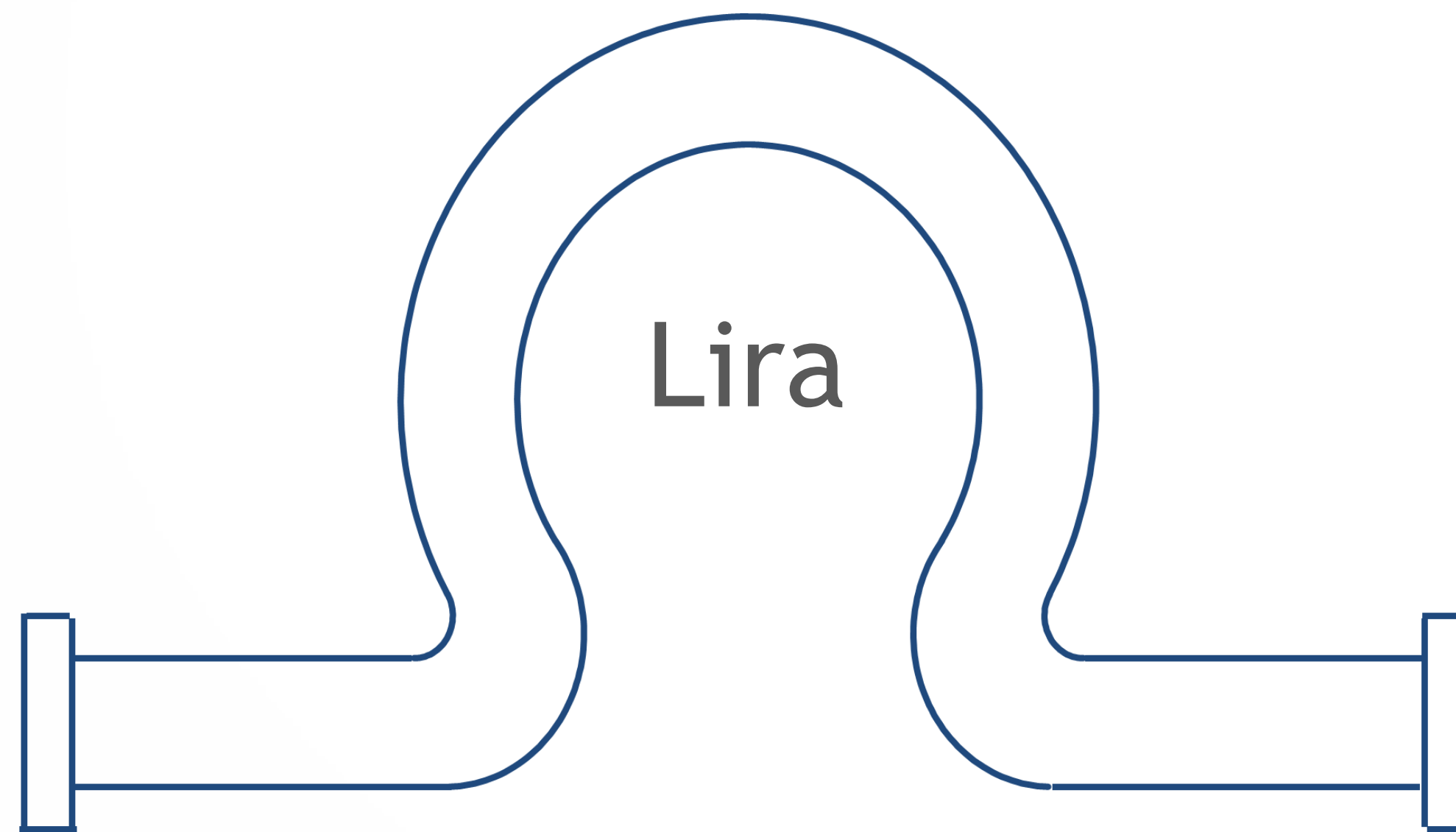


- ✓ El condensado se acumula delante de la válvula cerrada y se introducirá con el vapor cuando abra
- ✓ Es aconsejable ubicar el drenaje en el punto bajo de la derivación.

DISTRIBUCIÓN

COMPENSACIÓN DE DILATACIONES

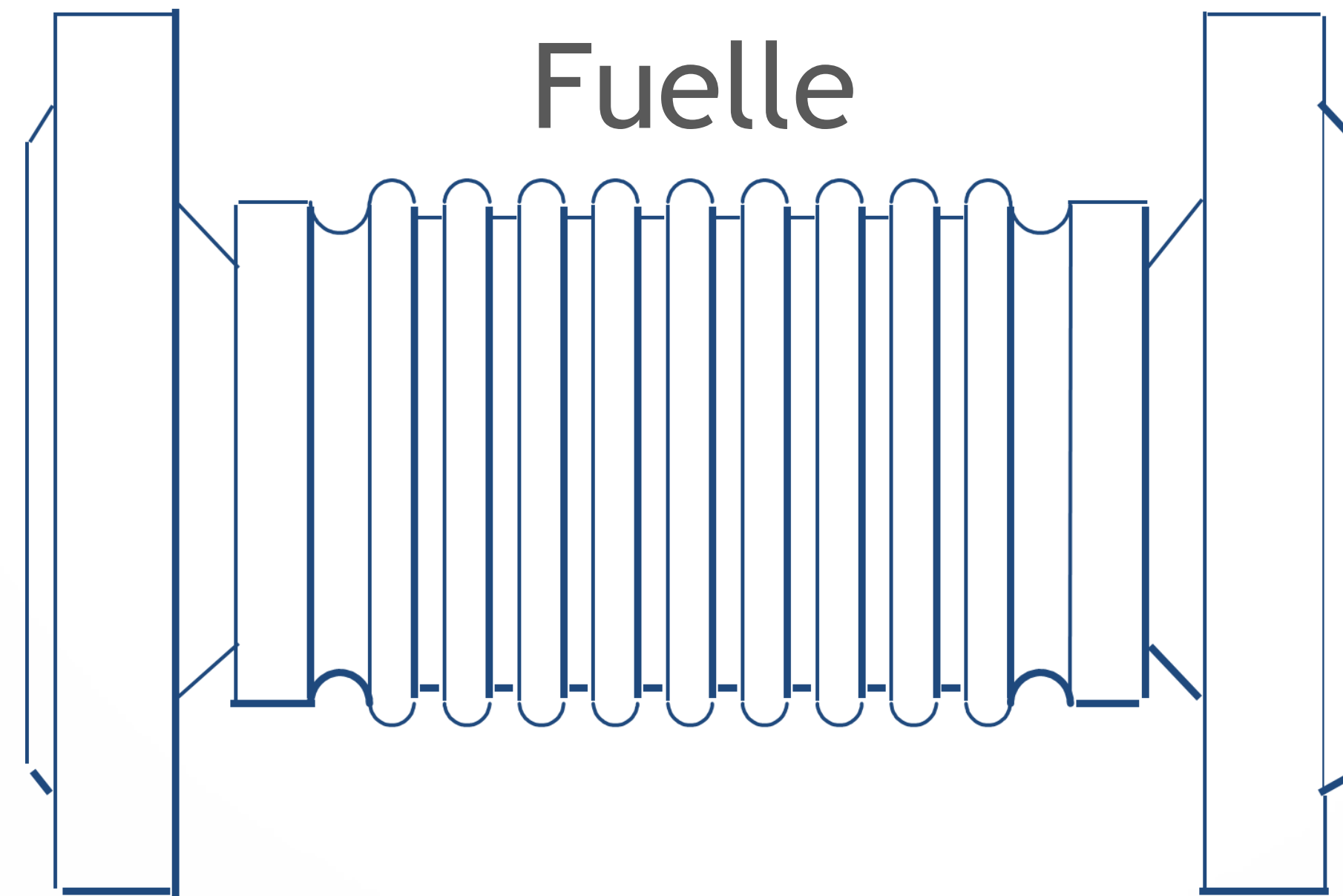
- ✓ Se utiliza cuando se dispone de espacio
- ✓ Debe montarse en el mismo plano que la cañería, horizontal, para evitar puntos de acumulación de condensado.



DISTRIBUCIÓN

COMPENSACIÓN DE DILATACIONES

- ✓ Se intercalan en la cañería cuando hay poco espacio
- ✓ Deben estar perfectamente alineados con la cañería y esta debe estar bien anclada y guiada para que las fuerzas laterales no sean soportadas por el fuelle.



DISTRIBUCIÓN

TRAMPAS DE VAPOR

La trampa para vapor es una válvula automática que cierra en presencia de vapor y abre cuando le llega condensado.

De una Trampa de Vapor se requiere:

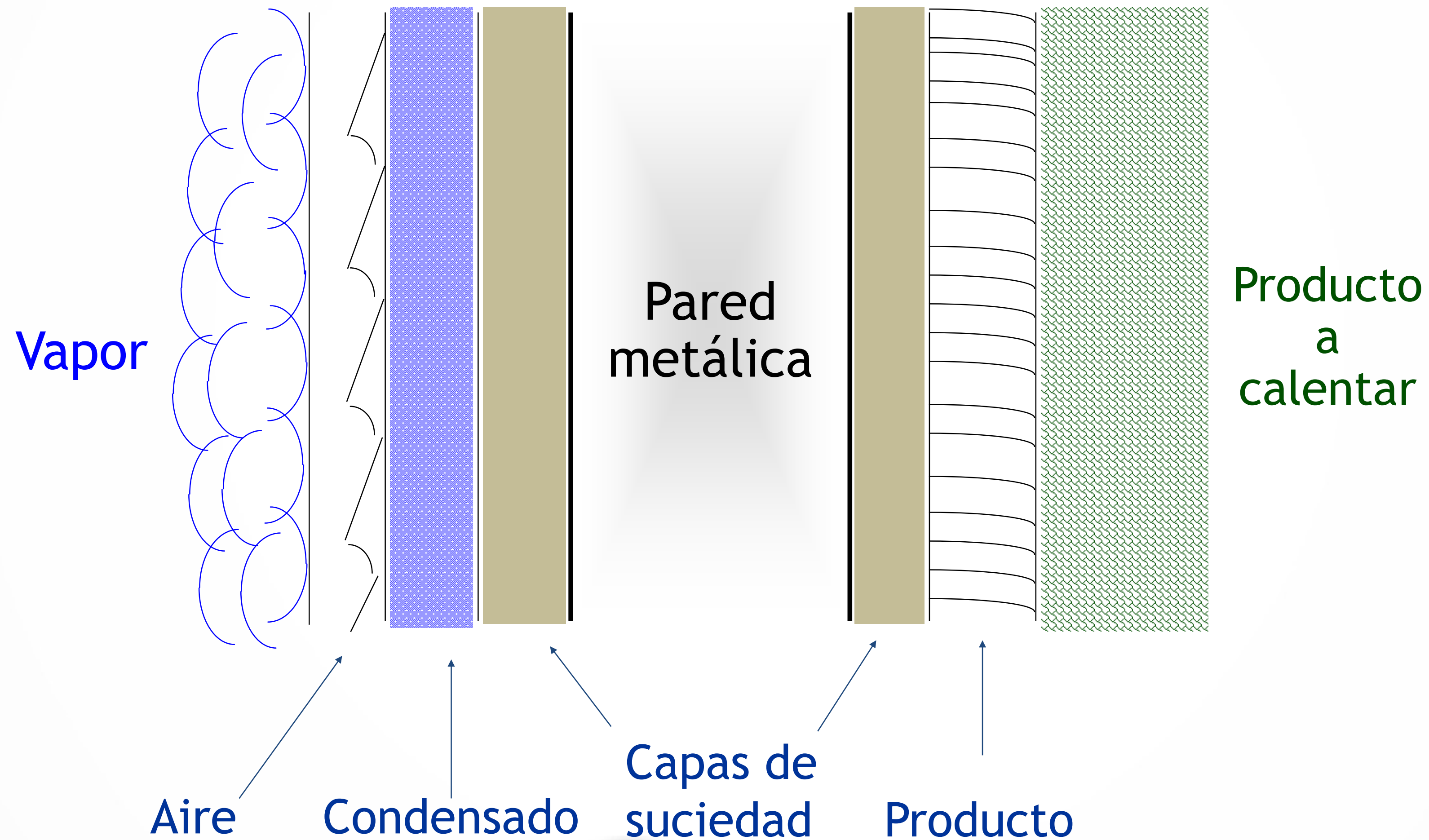
- Descarga inmediata y completa de condensado
- No fugar vapor cuando se utilice durante largos períodos de tiempo
- Descargar gases no compresibles, como el aire

Dependiendo el tipo de trampa, varía:

- Principio de operación
- Fortalezas y debilidades relativas
- Aplicaciones

DISTRIBUCIÓN

BARRERAS EN LA TRANSFERENCIA DE CALOR



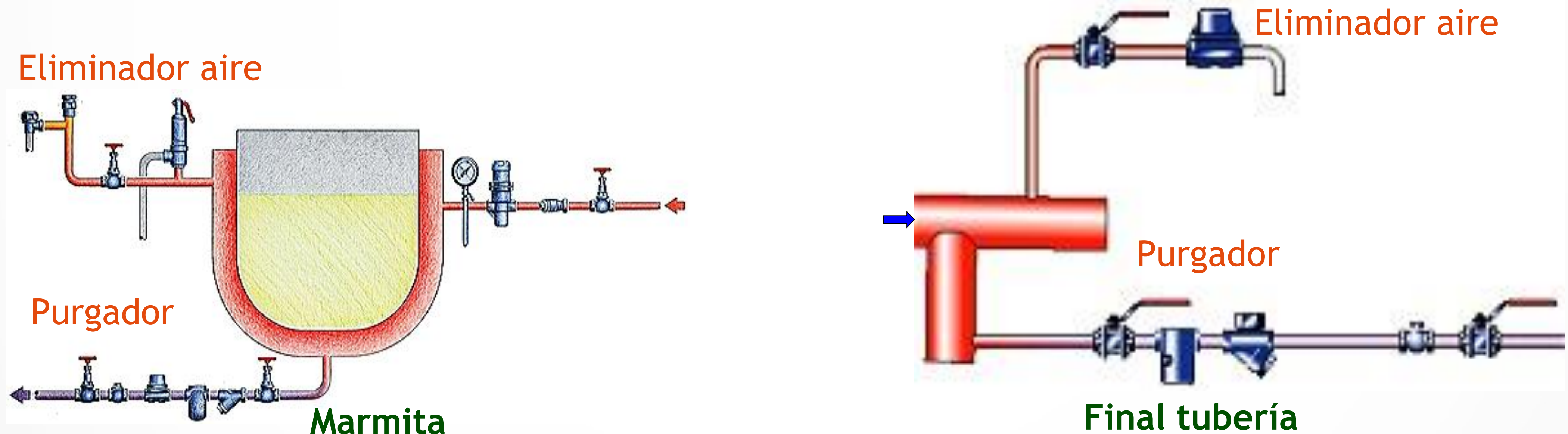
DISTRIBUCIÓN

ELIMINACIÓN DE AGUA Y AIRE EN EL VAPOR

Para eliminar el agua o aire del sistema se utilizan:

- ✓ Purgadores
- ✓ Eliminadores

Son válvulas automáticas (trampas) que abren en presencia de agua o aire y cierran con vapor



DISTRIBUCIÓN

TIPOS DE TRAMPAS DE VAPOR



Boya o Flotador



Cubeta Invertida



Termodinámico

Válvula de presión equilibrada



Termostático a fuelle



Termostático bimetalico

Válvula de presión no equilibrada



Termostático - termodinámico

DISTRIBUCIÓN

SELECCIÓN DE TRAMPAS DE VAPOR

Se debe tener en cuenta su aplicación:

Debe seleccionarse la trampa más adecuada para cada aplicación; a modo de puede utilizarse los siguientes tips:

Tipo de trampa	Consideraciones
Termostáticas	Purga de aire, Acompañamiento no crítico de vapor, Equipos que pueden ser inundados para poder aprovechar calor sensible
Mecánicas	Procesos con control de temperatura
Termodinámicas	Drenaje de líneas de distribución de vapor, Acompañamiento crítico de vapor

Hay que tener en cuenta las condiciones de trabajo:

Presión, Temperatura, Caudal de condensado y Presión diferencial.



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe







Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



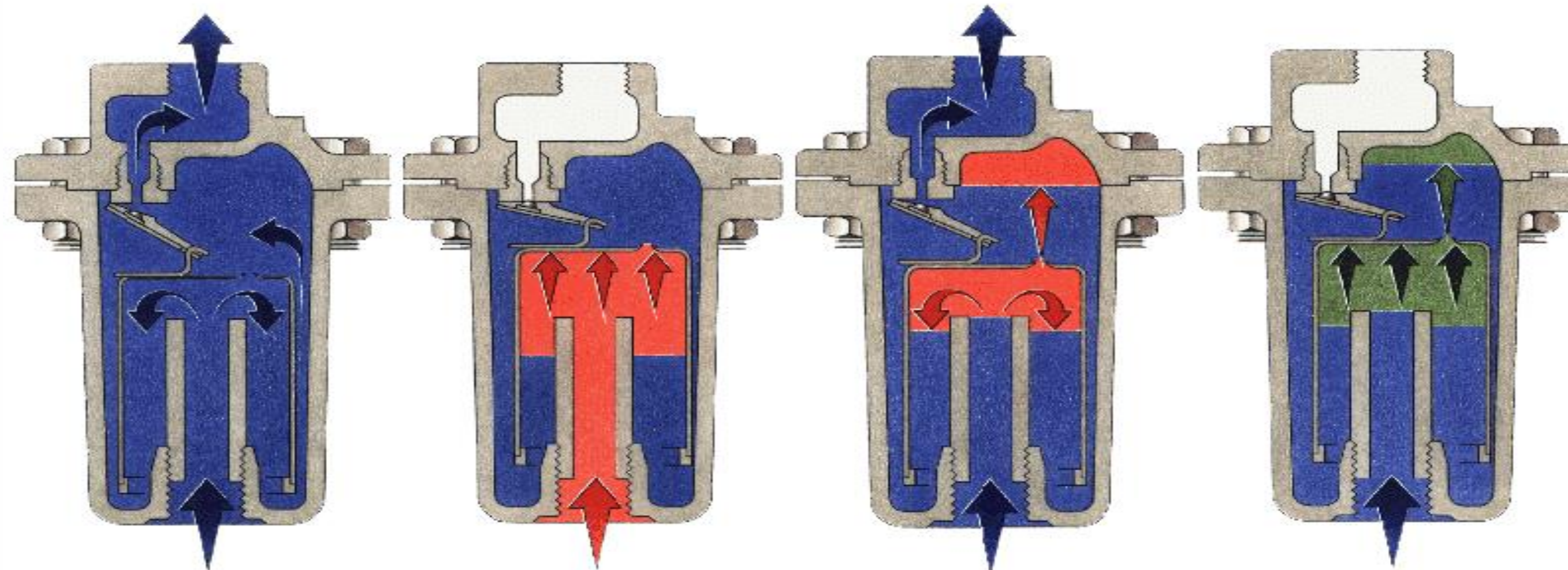
DISTRIBUCIÓN

TRAMPAS DE VAPOR

Tipo de Trampa	Ventajas	Desventajas
Balde invertido 	<ul style="list-style-type: none"> •Robustas •Resisten golpes de ariete 	<ul style="list-style-type: none"> •No resisten bien las heladas •No eliminan bien el aire •Pueden perder el sello de agua
Termostáticas de presión balanceada 	<ul style="list-style-type: none"> •Pequeñas pero de gran capacidad •Eliminan aire •Resisten heladas y golpes de ariete •Autoajustables a variaciones de presión 	<ul style="list-style-type: none"> •No usar cuando no se acepte anegamiento de condensado (normalmente fallan cerradas)
Bimetálicas 	<ul style="list-style-type: none"> •Eliminan aire •Resisten heladas y golpes de ariete •Amplio margen de presiones •Descarga a temperatura inferior al vapor, aprovechando el calor sensible 	<ul style="list-style-type: none"> •Poca rapidez a cambios de caudal o presión •No usar cuando no se acepte anegamiento de condensado
Termodinámicas 	<ul style="list-style-type: none"> •Amplia gama de presiones •Robustas, compactas •Resisten golpes de ariete, vapor recalentado y heladas •Fácil verificación y mantenimiento •Normalmente fallan en posición abierta 	<ul style="list-style-type: none"> •No adecuadas para presión de entrada muy baja o contrapresión mayor al 80% de la presión de entrada •No son buenas eliminadoras de aire

DISTRIBUCIÓN

OPERACIÓN DE LA TRAMPA DE BALDE INVERTIDO



El condensado llega a la trampa y forma un sello de agua. El peso del balde mantiene a la válvula abierta. El mecanismo de condensado fluye desde abajo de la trampa y sale.

Cuando ingresa el vapor, el balde se eleva haciendo el orificio de venteo. Parte del vapor atrapado condensa y parte sale por el orificio de venteo. El peso del balde hará que la válvula se aleje de su asiento repitiendo el ciclo.

El orificio de venteo en el balde hará que se acumule aire en la parte superior de la trampa. El orificio, por ser pequeño ventea el aire lentamente. Puede requerirse un venteo separado.

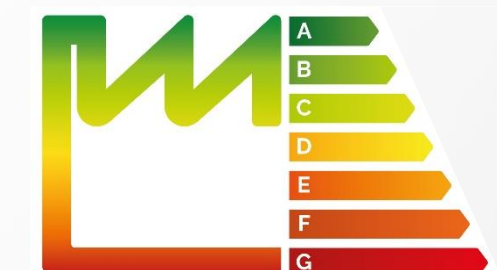
Fuente: "Purga de vapor y eliminación de aire", Spirax Sarco



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción

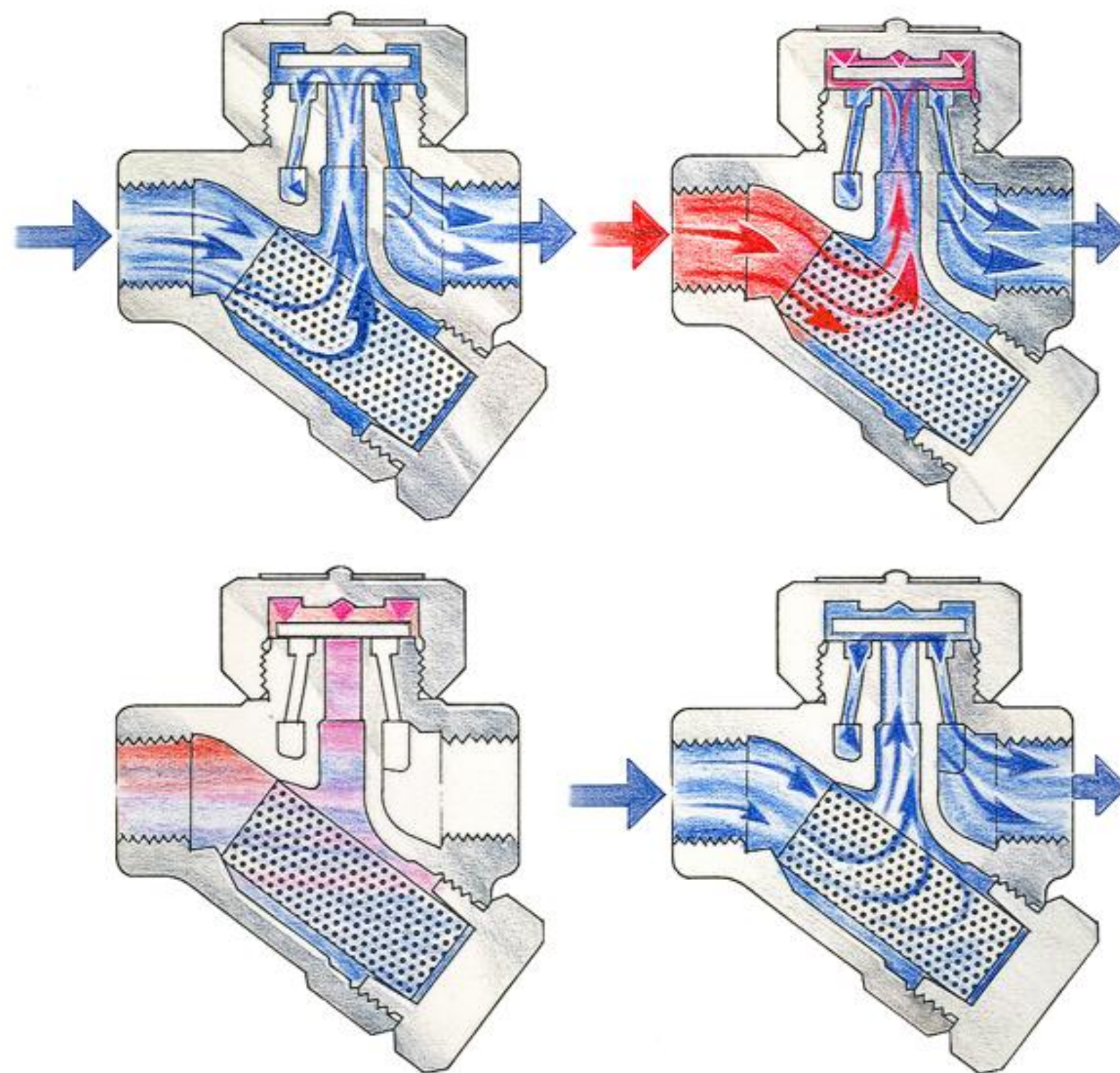


DISTRIBUCIÓN

TRAMPAS DE VAPOR

Al comienzo, la presión entrante eleva el disco.
El condensado frío es descargado inmediatamente.

El disco asienta en el anillo interior y cierra la entrada.
El disco también se asienta en el anillo exterior y mantiene la presión en la cámara.



El condensado caliente que fluye a través de la trampa libera vapor flash.

La alta velocidad provoca baja presión debajo del disco haciendo que apoye en su asiento. Simultáneamente la presión del vapor flash creada en la cámara sobre el disco, fuerza a éste hacia abajo oponiéndose a la presión del condensado que llega.

La presión en la cámara disminuye debido a la condensación del vapor flash y el disco se eleva. Luego, el ciclo se repite y el condensado circula libremente a través de la trampa.

DISTRIBUCIÓN

SELECCIÓN DE TRAMPAS DE VAPOR

A - Mejor elección, B - Alternativa aceptable. Ver comentarios en la parte inferior de la tabla.

Aplicación	Gama FT (boya- termostático)	FT-C (boya-termos- tático con SLR)	TD (Termodinámico)	BPT (Presión equilibrada)	SM (Bimetálico)	No.8 (Expansión liquida)	Gama IB (Cubeta invertida)
Equipos de procesos industriales							
Calderetas fijas	A	B	8 ¹	B			
Calderetas basculantes	B	A					
Alambiques para cerveza	A ¹	B					
Autoclaves con camisa	A ¹		8 ¹				
Evaporadores	A ¹	B					B ¹
Mesas calientes	B		8 ⁶	A ²			
Autoclaves inyec. directa	A						
Tanques de almacenamiento	A						B ¹
Autoclaves vulcanización	A		B ¹ (solo camisa)				B ¹
Calefacción de locales							
Intercambiadores de calor	A ⁴						
Baterías calefactoras	A ⁴						
Paneles y tubos radiantes	A	8 ¹	8 ¹				B ¹
Radiadores	B			A	B		
Serpentines suspendidos	B			A			B ¹
Tuberías de vapor							
Tramos horizontales	B		A				B
Separadores	A		B				B
Final de línea	B		A ¹				B ¹
Drenaje de parada (protección de heladas)					B ³	B	A
Drenaje de calentadores	A		8 ⁶				B
Depósitos y recipientes							
Depósitos (descarga por elevación)	B	B	A	8 ⁵			B
Depósitos (descarga por gravedad)	A		8 ⁶	8 ⁵			
Depósitos pequeños (hervido rápido)	A			8 ⁵			
Depósitos pequeños (hervido lento)					B	A	

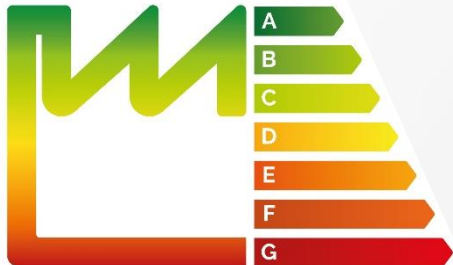
1. Con eliminador de aire en paralelo. 2. Con tubo de enfriamiento. Longitud mínima 1 m. 3. Usar elementos con temperatura fija de descarga.
Si el equipo está controlado por temperatura, puede necesitar una bomba purgador. 5. Con cápsula de temp. descarga prox. a vapor. 6. Con disco antibloqueo por aire



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



DISTRIBUCIÓN

PÉRDIDAS EN TRAMPAS DE VAPOR

Requerimientos de vapor para operación normal de una trampa

Tabla 2 - Necesidades energéticas de los purgadores - expresados en kg/h de vapor

	Sin carga			Carga normal		
	A través del purgador	Desde el purgador	Total	A través del purgador	Desde el purgador	Total
Termostático	0,50	0,50	1,00	Cero	0,50	0,50
Boya	Cero	1,40	1,40	Cero	1,40	1,40
Cubeta invertida	0,50	1,20	1,70	Cero	1,20	1,20
Termodinámico	0,50	0,25	0,75	Cero	0,25	0,25

El Estándar Internacional ISO 7841 (1988) y Estándar Europeo CEN 27841 (1991) - Determinación de pérdida de vapor de un purgador automático - describe una metodología de prueba fiable y exacta para determinar las pérdidas de cualquier tipo de purgador. **Los resultados de la prueba de cualquier fabricante que no estén dentro de los parámetros de estas normas deben tratarse con cautela.**

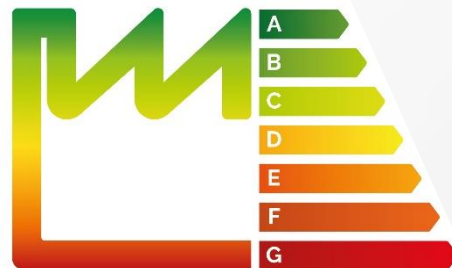
Fuente: “Purga de vapor y eliminación de aire”, Spirax Sarco



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe

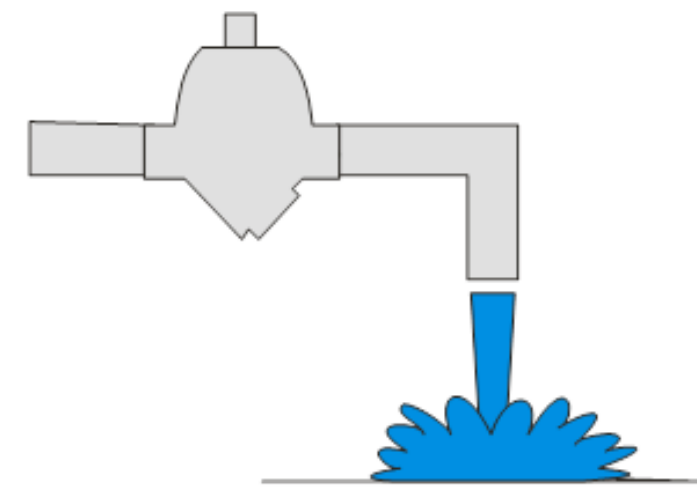


Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción

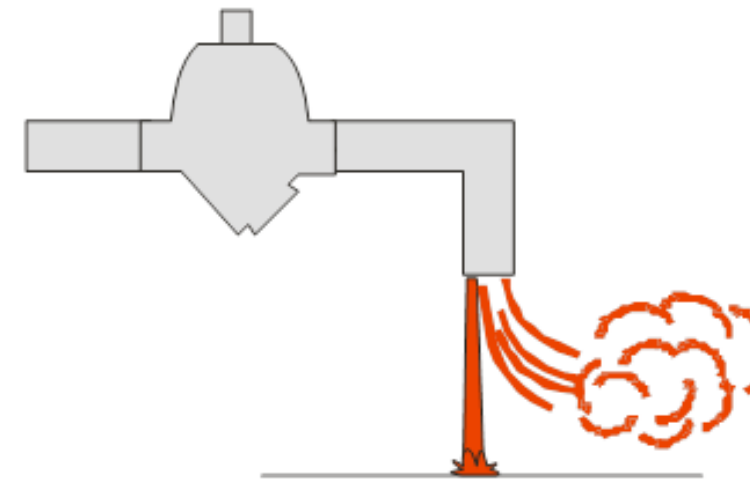


DISTRIBUCIÓN

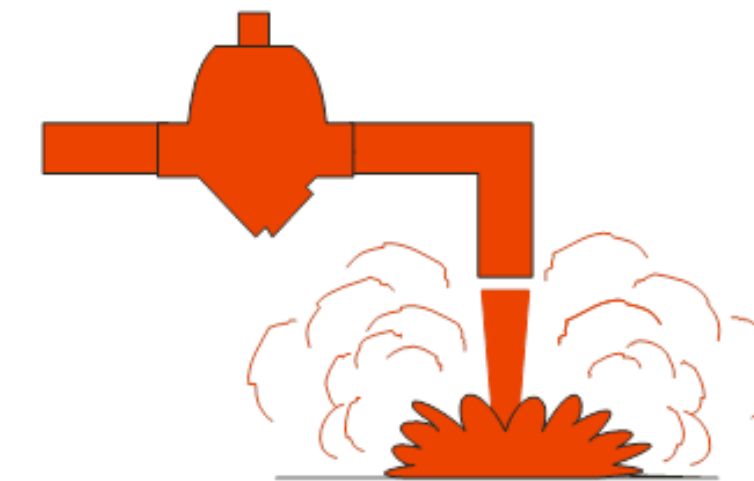
PÉRDIDAS EN TRAMPAS DE VAPOR



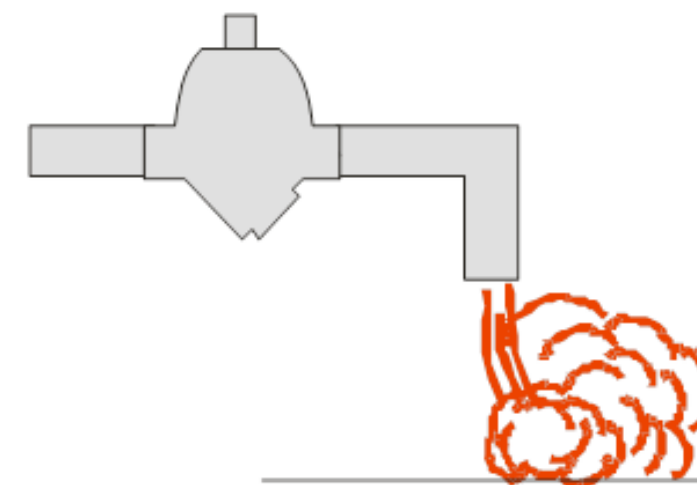
Infradimensionado



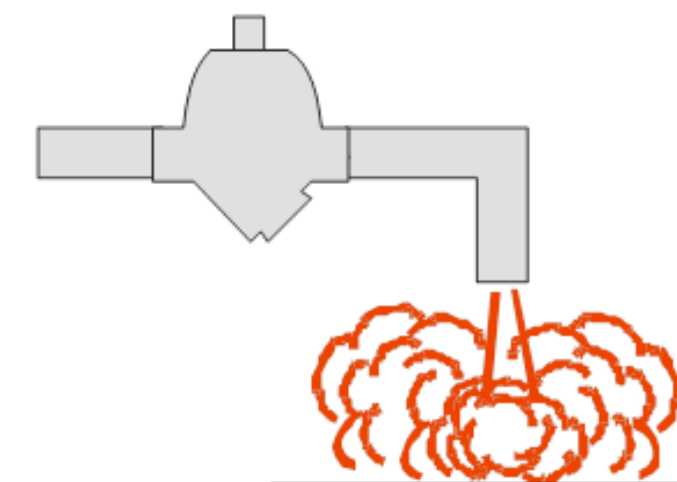
Correcto



Correcto



Pérdida directa de vapor pequeña



Pérdida directa de vapor grande

DISTRIBUCIÓN

FUGAS DE VAPOR EN PURGADORES

Las fugas de vapor en trampas (y las pérdidas de vapor en general) causan **pérdidas de energía y económicas** y, problemas de funcionamiento en otros equipos por aumento en la contrapresión.



DISTRIBUCIÓN

PÉRDIDAS EN TRAMPAS DE VAPOR

Mantenimiento y pérdidas de vapor:

- ✓ Una trampa fallando abierta pierde de 10 a 25 kg/h
- ✓ El 20% de las trampas de las refinerías fallan abiertas
- ✓ Con un buen mantenimiento se pueden reducir al 5%
- ✓ Métodos de testeo: visual, ultrasónico, de temperatura, de conductividad
- ✓ Para servicios de baja presión se deben testear de 1 a 4 veces por año, para alta presión de 3 a 5. Cambiar o reemplazar las partes principales

Equipamiento de monitoreo: dado por los proveedores

Trabajo con el proveedor para la instalación y selección



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



DISTRIBUCIÓN

PÉRDIDAS DE VAPOR EN TRAMPAS (EJEMPLO)

Considerando una trampa de 1/2" con un orificio de 4 mm, trabajando con presión de 10 bar(r) y contrapresión de 2 bar(r)

$$W = D^2 \times P \times 0,41$$

$$W = 16 \times 8 \times 0.41 = 52,48 \text{ kg/h}$$

W = Fuga de vapor en kg/h

D = Diámetro orificio en mm

P = Presión diferencial en bar

Las trampas que tienen pérdidas de vapor también descargan condensado y no todos quedan abiertos totalmente, por lo cual consideramos que pierden la cuarta parte del valor calculado:

$$52,48 : 4 = 13 \text{ kg/h}$$

Pérdidas económicas anuales:

$$13 \text{ kg/h} \times 24 \text{ h/día} \times 350 \text{ días/año} = 109.200 \text{ kg/año} = 109 \text{ t/año}$$

A un coste de 10 euros/t de vapor

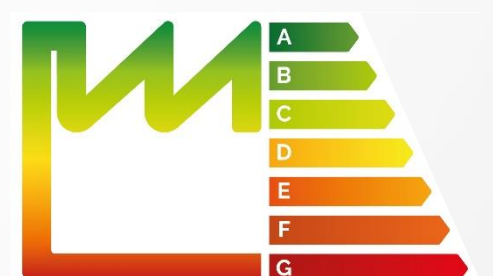
$$109 \text{ t/año} \times 10 \text{ euros/t} = 1.090 \text{ euros/año}$$



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



DISTRIBUCIÓN

DETECCIÓN DE FUGAS EN PURGADORES

Por ultrasonidos

- ✓ Se requiere experiencia
- ✓ Puede utilizarse para detectar fugas en otros elementos y otros fluidos



Sistemas comerciales

- ✓ No se requiere experiencia
- ✓ Sólo utilizable en trampas
- ✓ Necesita montar una cámara delante de la trampa o instalar trampas que ya la incorporan



DISTRIBUCIÓN

OTRAS INEFICIENCIAS

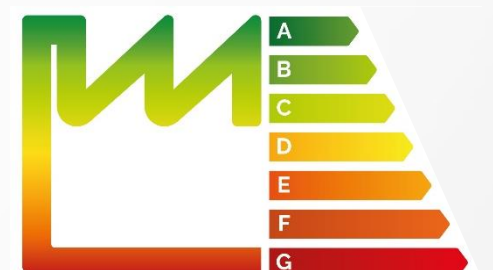
- 🔥 Pérdidas y Venteos
- 🔥 Reducciones de presión (laminaciones)
- 🔥 Aislaciones



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



DISTRIBUCIÓN

PÉRDIDAS Y VENTEOS

Pérdidas

- Típicamente en líneas, válvulas, juntas, cabezales y turbinas
- Deficiencia de mantenimiento

Venteos

- Operativos
- Muchas veces son necesarios aunque no siempre en la cantidad venteadada
- En general no suele haber medición y/o control de los mismos

DISTRIBUCIÓN

EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS Y VENTEOS

Hay métodos y estimaciones del vapor venteado o perdido en función de la altura de la pluma y la presión del vapor

Son estimados, pero muy útiles para determinar el orden de magnitud de la pérdida

Se debe considerar solo el tramo recto de la pluma (no la “nube”)

Algunos métodos corrigen por temperaturas ambiente

Los resultados se suelen disparar para alturas mayores a 2 metros

DISTRIBUCIÓN

EJEMPLOS DE PÉRDIDAS Y VENTEOS



Condensadores de superficie de
turbinas a condensación:
1.6 tnFOE/d – 115,000 U\$S/año

DISTRIBUCIÓN

EJEMPLOS DE AISLACIONES



Ineficiencia!!!



Aislación
correcta!!!

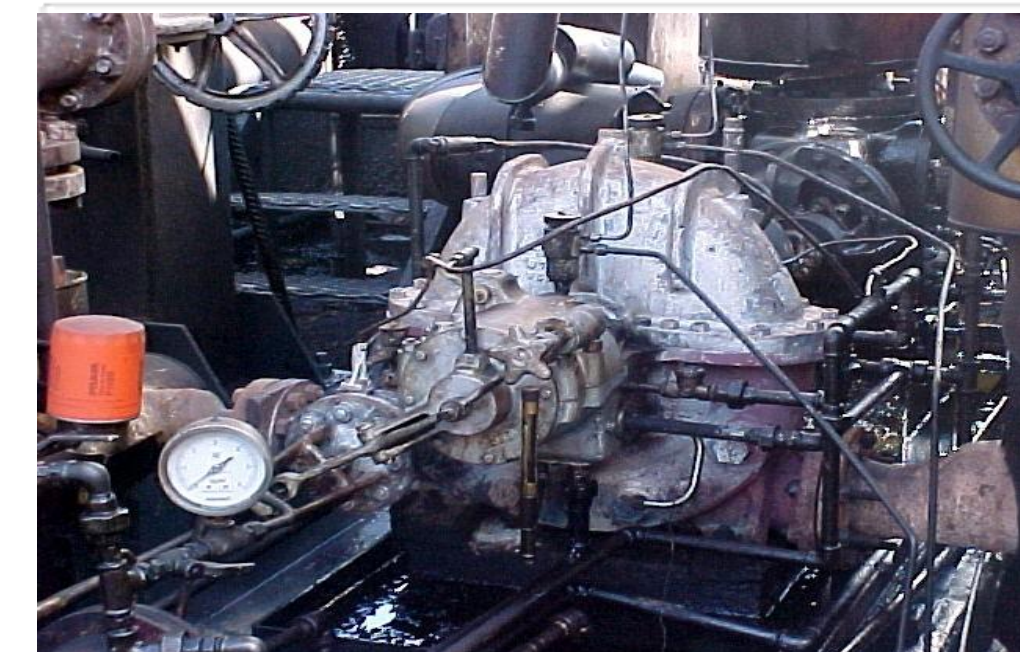


DISTRIBUCIÓN

EJEMPLOS DE AISLACIONES



Ineficiencia!!!

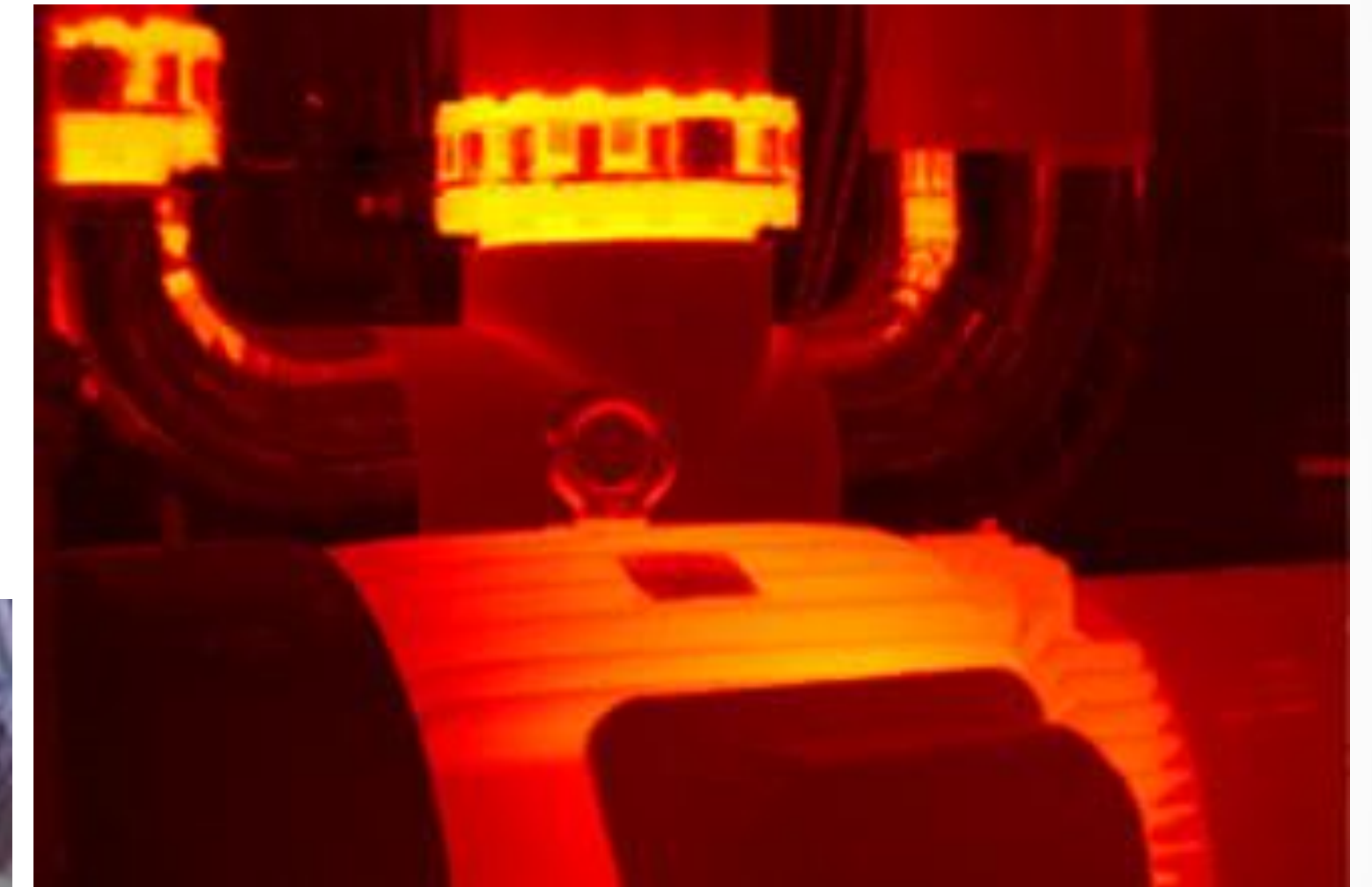
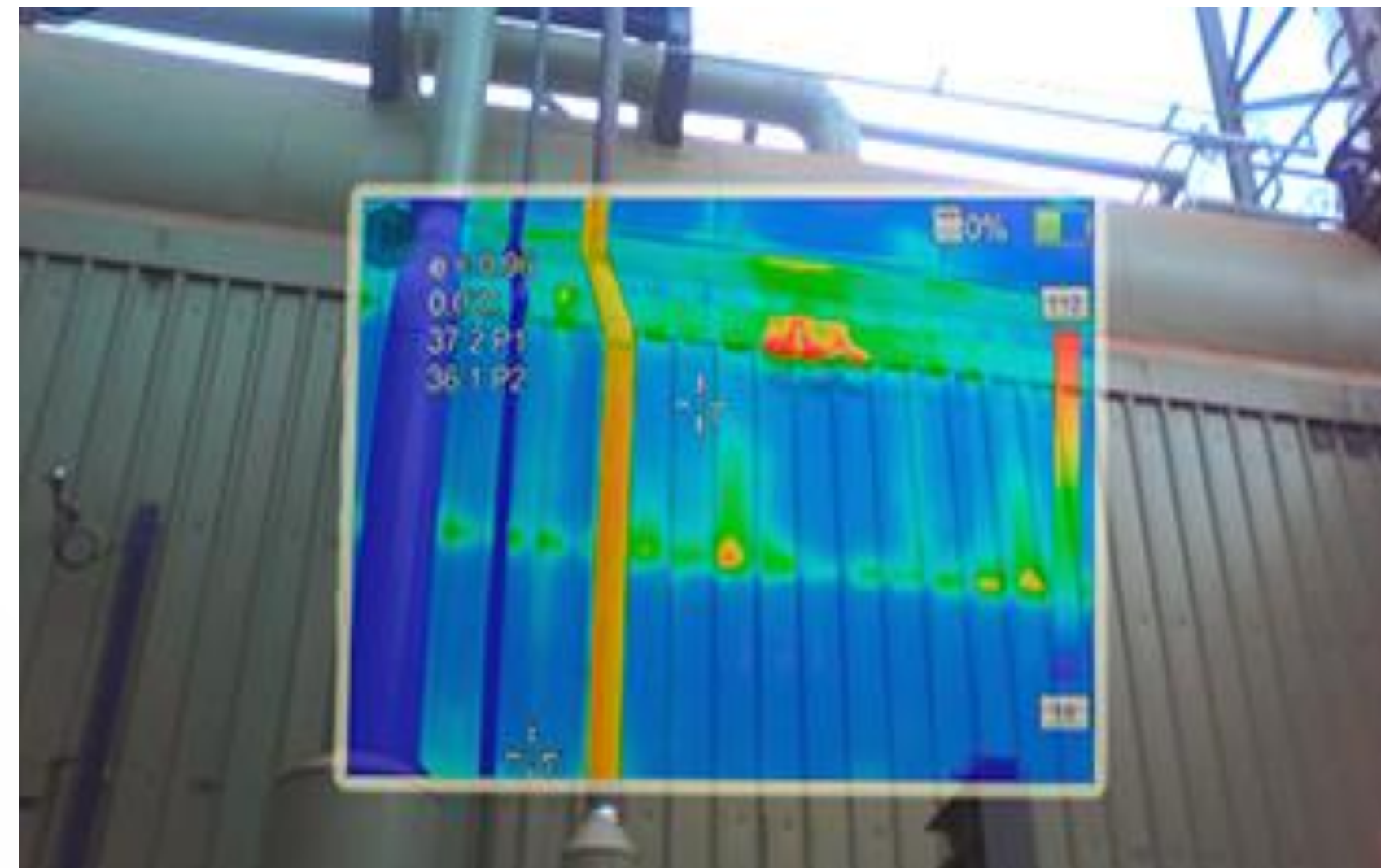
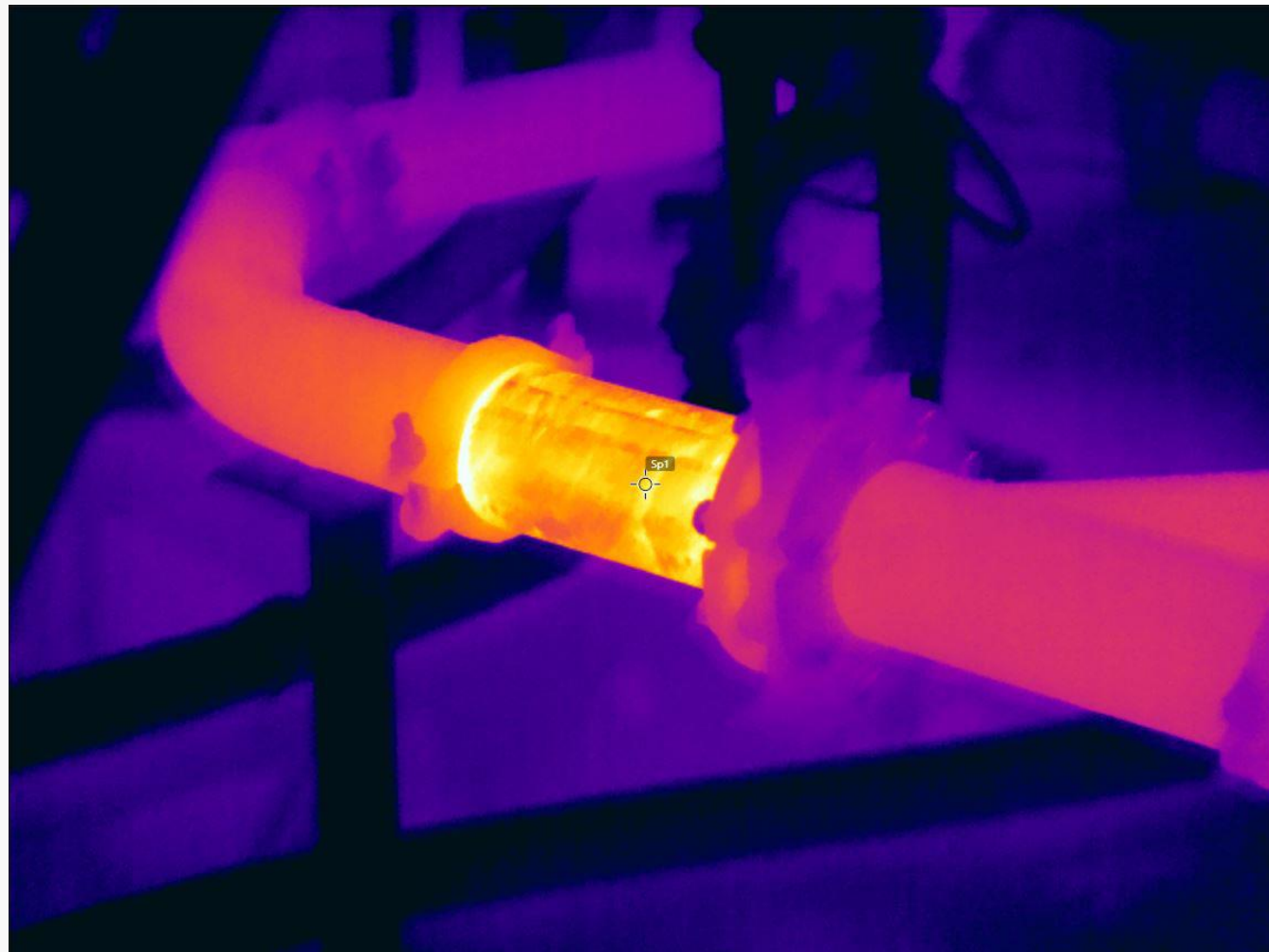


**Aislación
correcta!!!**



DISTRIBUCIÓN

CHEQUEO DE AISLACIONES



DISTRIBUCIÓN

PÉRDIDAS ENERGÉTICAS EN TUBERÍAS DE VAPOR

	Presión 8 bar		Presión 12 bar	
Tamaño tubería	Sin aislamiento Euros/metro x mes	Con aislamiento (eficacia 80%) Euros/metro x mes	Sin aislamiento Euros/metro x mes	Con aislamiento (eficacia 80%) Euros/metro x mes
3/4"	3,43	0,69	4,51	0,90
1"	4,15	0,83	5,53	1,11
1.1/4"	5,11	1,02	6,73	1,35
1.1/2"	5,71	1,14	7,57	1,51
2"	7,03	1,41	9,32	1,86
2.1/2"	8,29	1,66	11,00	2,20
3"	9,92	1,98	12,92	2,58
4"	12,50	2,50	16,89	3,38

Se ha considerado un coste del vapor de 12 euros/tonelada

Ejemplo:

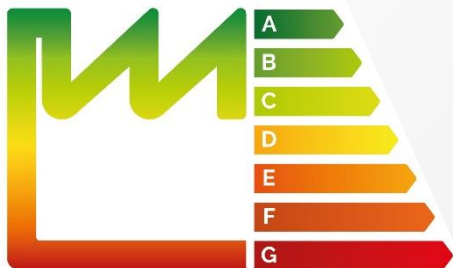
En 100 metros de tubería de 4” con presión 12 bar, el aislamiento supone un ahorro anual de 16.200 euros.



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



DISTRIBUCIÓN

REDUCCIONES DE PRESIÓN (LAMINACIONES)

En todo sistema que tenga 2 o más niveles de vapor habrá una estación de regulación de presión o válvulas laminadoras entre cada nivel

Las laminadoras deben existir como parte de la flexibilidad operativa

Pero...

...DEBEN SER MÍNIMAS!!

El vapor que pasa por las válvulas laminadoras es energía que se degrada y que podría aprovecharse para generar trabajo mecánico o potencia eléctrica



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe

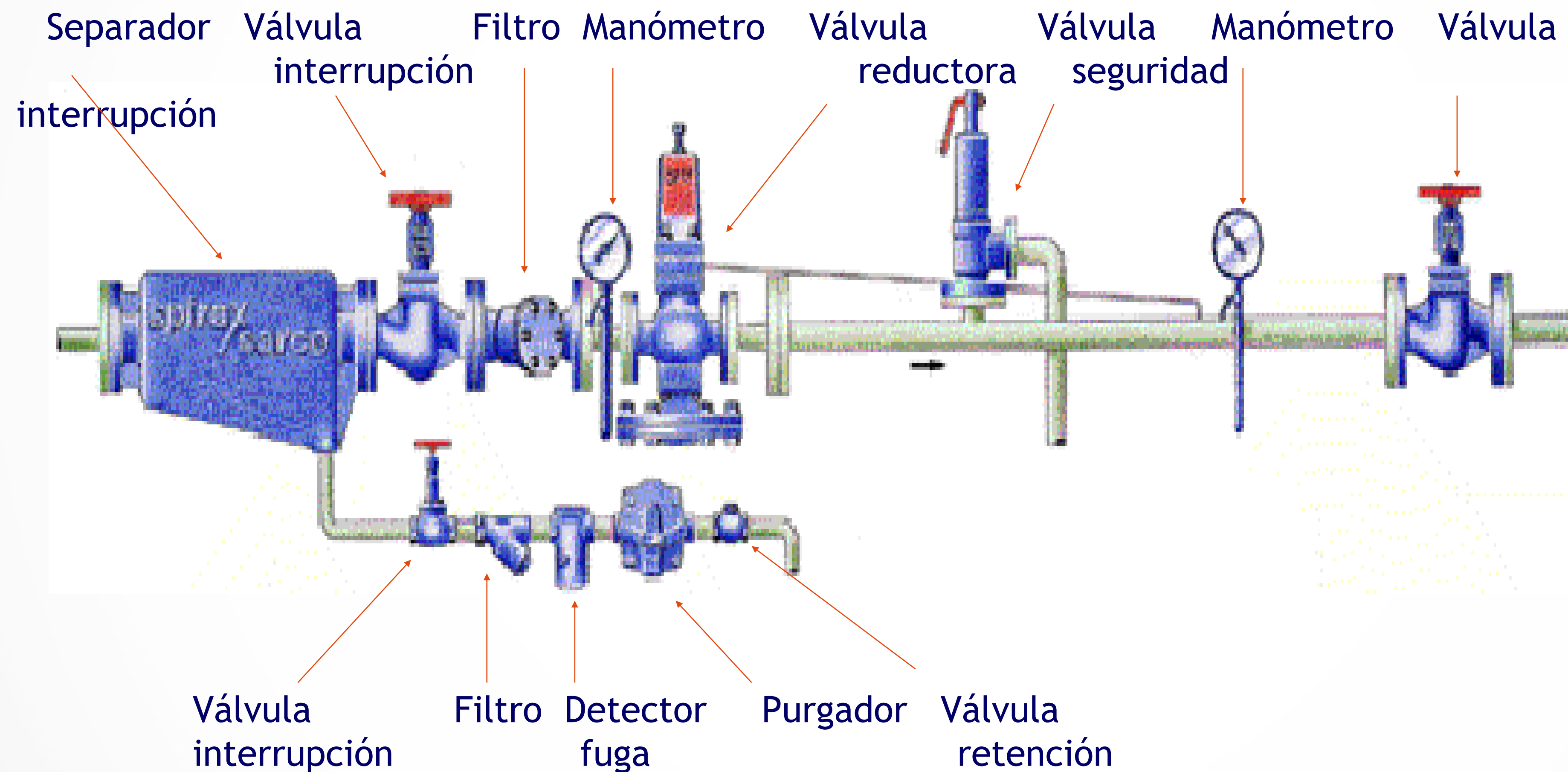


Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



DISTRIBUCIÓN

INSTALACIÓN VÁLVULAS REDUCTORAS



MÓDULO VIII

SISTEMAS DE VAPOR Y COGENERACIÓN

CONSUMOS



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



CONSUMOS

CONTENIDOS

- ¿Dónde se usa el vapor?
 - Fuerza motriz
 - Medio de transferencia de calor
 - Vapor de procesos
 - Recuperación del condensado



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



CONSUMOS

¿DÓNDE SE USA EL VAPOR?

Los usos principales del vapor suelen ser los siguientes:

- ✓ Fuerza motriz: en la producción de energía eléctrica, accionamiento de equipos (bombas y compresores) o en redes de vapor (aprovechamiento energético de saltos de presión).(ver sección de distribución)
- ✓ Vapor de procesos: insumo o MMPP en un proceso, stripping, fundir, esterilizar, secar, humidificar, cocinar, lavar, planchar, vacío, etc.
- ✓ Como medio de transferencia de calor: para calentar o evaporar una corriente o producto



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



CONSUMOS

VAPOR DE PROCESOS - VAPOR DE STRIPPING

Tiene como objetivo ayudar a la vaporización de los componentes más volátiles debido a una disminución de la presión parcial de la mezcla

No actúa por calentamiento

- Pero debe tener buena temperatura para no enfriar la columna

Se debe seleccionar la presión de vapor adecuada

- Dependiendo de la presión de la columna

Valores recomendados para destilación atmosférica de crudo

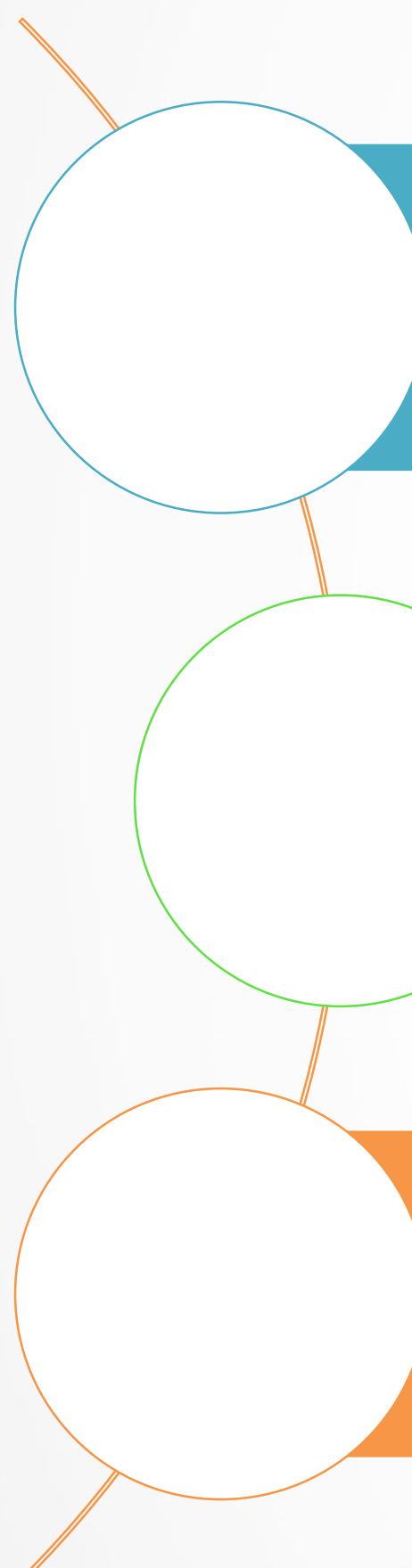
- 5-10 kg vapor/m³ producto
- 24-30 kg vapor/m³ residuo

El exceso tiene dos efectos negativos

- Enfriamiento de la columna (pérdida de rendimientos o mayor consumo en horno de carga).
- Pérdidas innecesarias de vapor

CONSUMOS

VAPOR DE PROCESOS - VAPOR DE CALEFACCIÓN



Se recomienda la real necesidad de calefacción, en función de la temperatura ambiente y la temperatura requerida en línea o tanque en cuestión

Es importante, aunque no siempre ocurre, contar con medición y regulación del vapor de calefacción. SI NO SE MIDE NO SE PUEDE OPTIMIZAR

Revisar el diseño (T, P y DP) al momento de agregar nuevos requerimientos sobre el mismo servicio, si el vapor condensa antes de lo necesario no se cumplirá con el objetivo de temperatura y seguramente se consumirá más.



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



CONSUMOS

VAPOR DE PROCESOS - VAPOR A ANTORCHAS



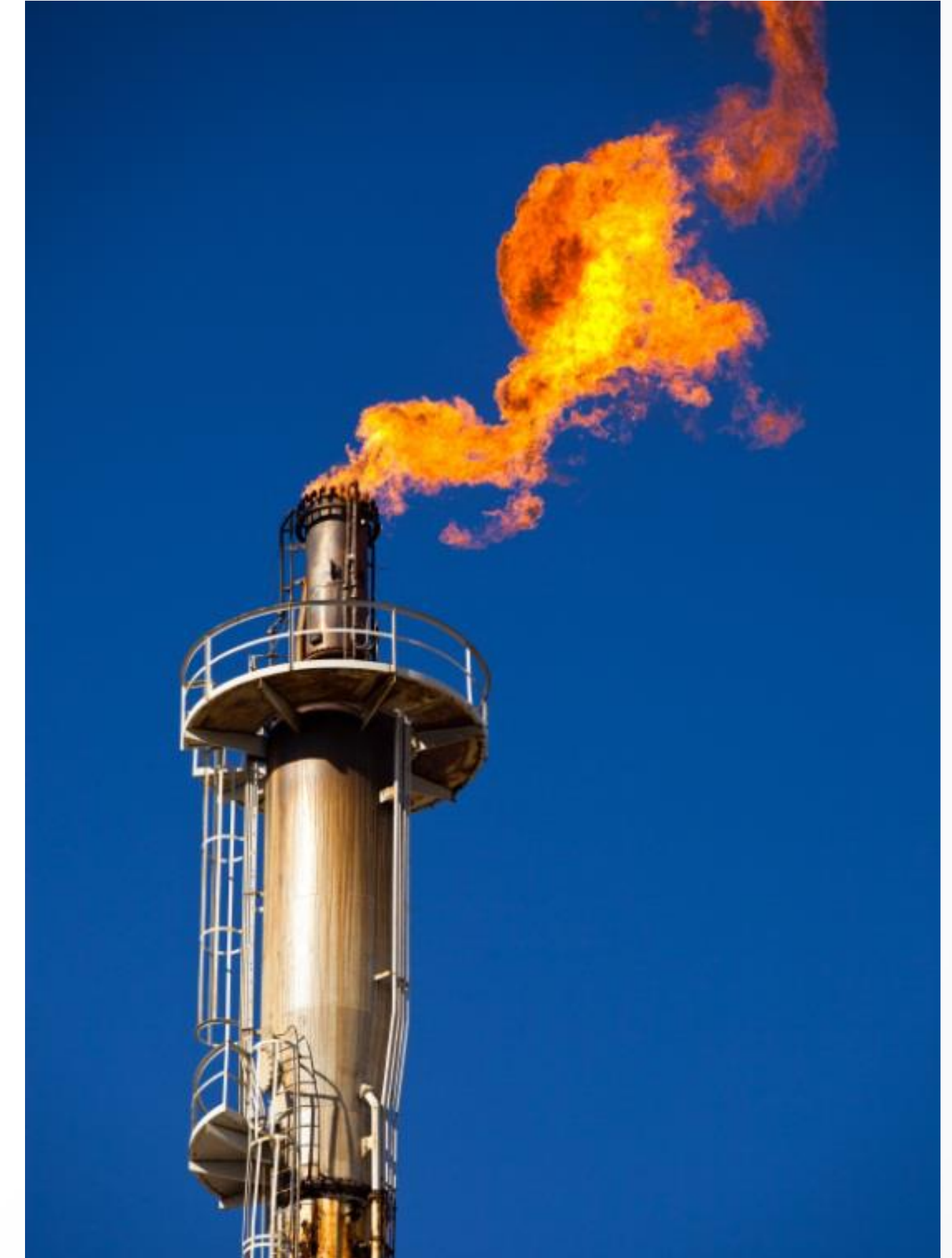
El objetivo es inyectar vapor a las antorchas es mejorar la combustión y evitar las emisiones ocasionadas por la combustión incompleta

La Norma API 521 determina el caudal de vapor mínimo requerido en función del Peso Molecular del gas quemado, para que la antorcha no humee

Para su regulación es necesario disponer de medición de caudal de gas a antorcha (mermas de producto) y vapor (pérdida de energía), además de una buena estimación del PM del gas

CONSUMOS

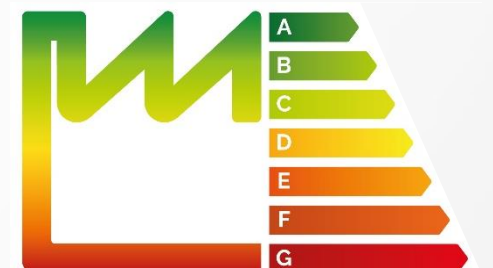
VAPOR DE PROCESOS - VAPOR A ANTORCHAS



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



CONSUMOS

VAPOR DE PROCESOS - RECOMENDACIONES

En general el vapor de procesos es una salida o consumo, a suministrar por la caldera y por ello es importante:

- ✓ Analizar el proceso según norma, buenas prácticas y/o condiciones de diseño.
- ✓ En caso de que una parte importante del vapor generado en las calderas sea consumido como “vapor de procesos”, es recomendable contar con mediciones.
- ✓ Que sea un consumo, no quiere decir que no se pueda optimizar.
- ✓ Los procesos que requieren “vapor de procesos” deben ser estudiados de manera ad hoc, debido a que presentan particularidades que pueden guiarlo a



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe

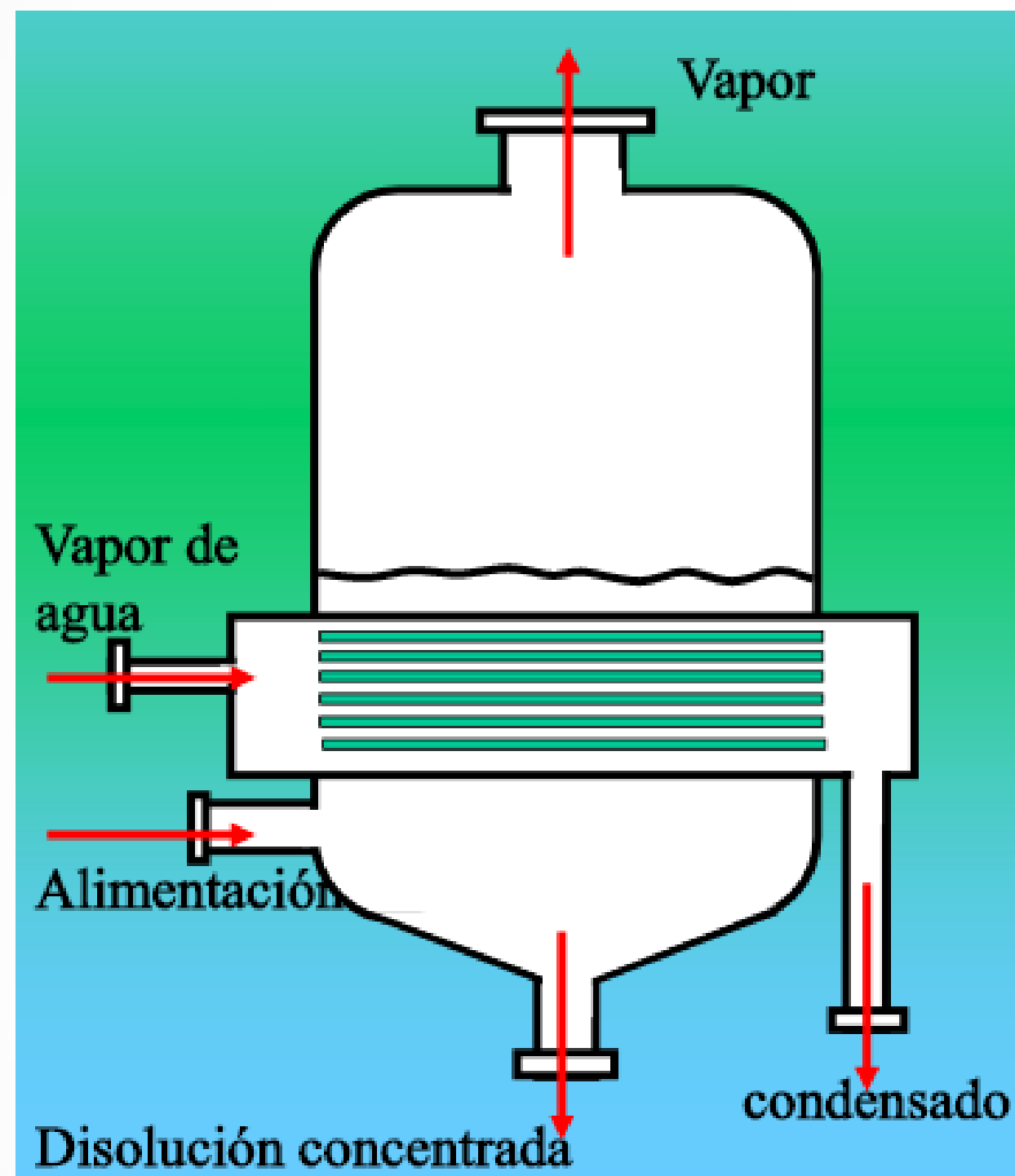


Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



CONSUMOS

TRANSFERENCIA DE CALOR (CONDENSACIÓN DEL VAPOR)



- ✓ En un recipiente con un producto calentado con vapor a través de un serpentín, el vapor condensa cediendo su entalpía de evaporación a la pared metálica del serpentín, el cual la transfiere al producto.
- ✓ A medida que el vapor condensa, se forma agua que debe ser drenada.

Cuando el vapor condensa cede calor
(entalpía de evaporación)

CONSUMOS

ELIMINACIÓN DE CONDENSADO EN INTERCAMBIADORES DE CALOR

- ✓ Mucho procesos utilizan como medio de calentamiento la transferencia de calor del vapor a otro fluido, para ello utilizan **intercambiadores de calor**
- ✓ Cuando el vapor cede calor se forma condensado que se drena a través de una trampa
- ✓ Los problemas más frecuentes suelen ser:
 - Temperaturas inestables
 - Corrosión excesiva
- ✓ Ruido y daños en los equipos por golpes de ariete
- ✓ La principal causa de estos problemas es una eliminación del condensado deficiente.



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe

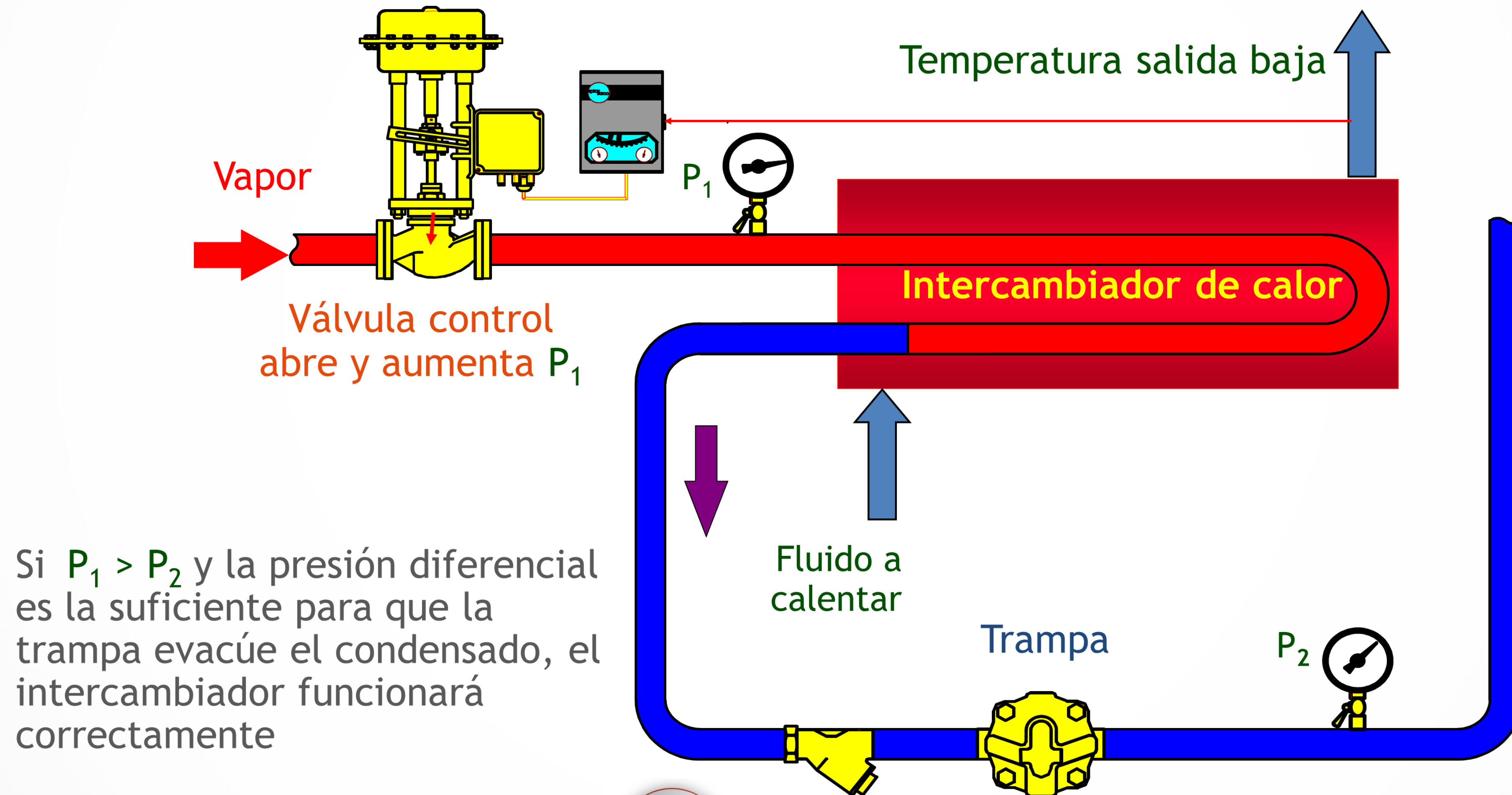


Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



CONSUMOS

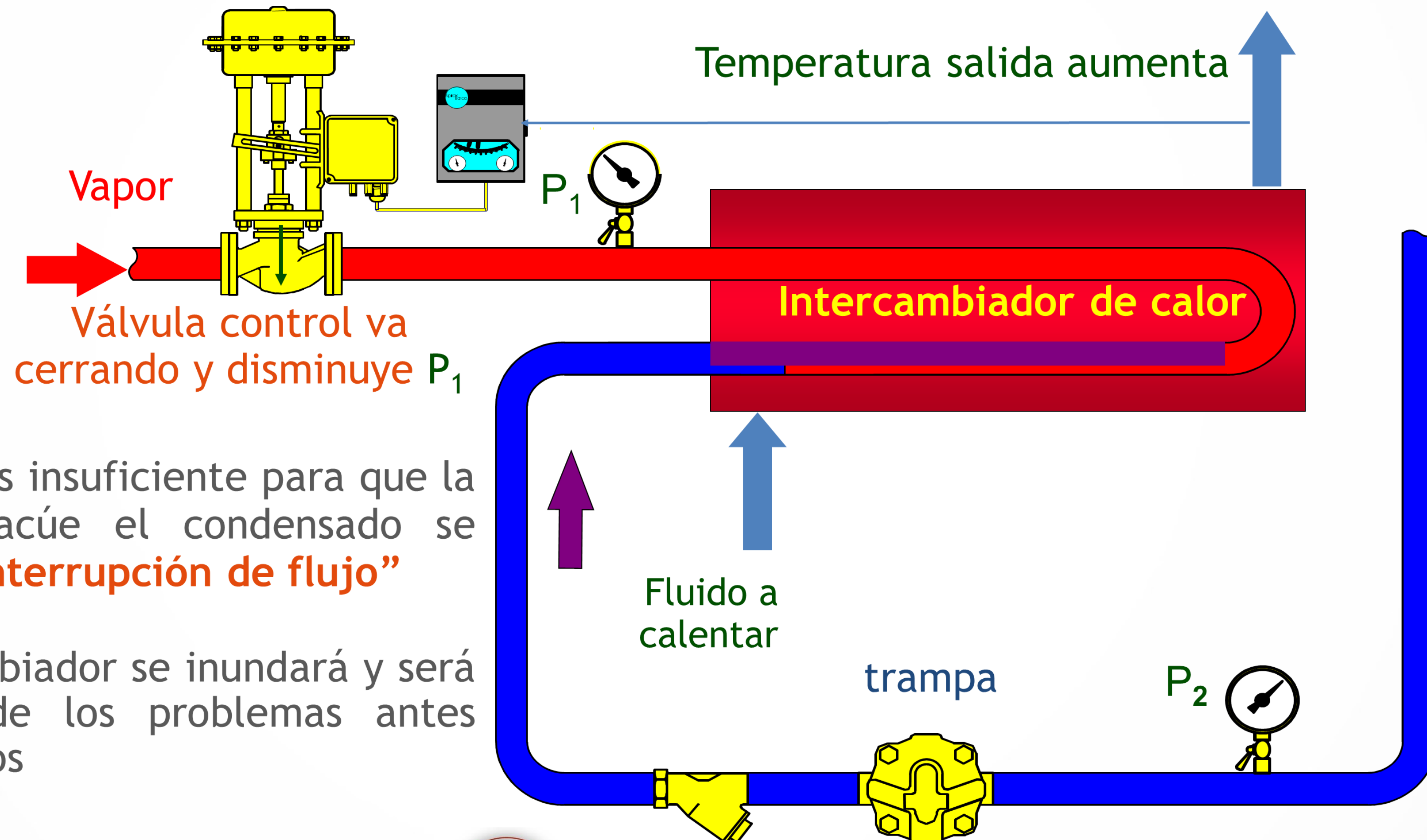
FUNCIONAMIENTO INTERCAMBIADOR DE CALOR (✓)



Si $P_1 > P_2$ y la presión diferencial es la suficiente para que la trampa evacúe el condensado, el intercambiador funcionará correctamente

CONSUMOS

FUNCIONAMIENTO INTERCAMBIADOR DE CALOR (*)



Si $P_1 - P_2$ es insuficiente para que la trampa evacúe el condensado se produce “**interrupción de flujo**”

El intercambiador se inundará y será la causa de los problemas antes mencionados

CONSUMOS

CONTRAPRESIÓN EN TRAMPAS DE VAPOR

La presión en la línea de condensados (**contrapresión en las trampas**) es igual a:

Presión hidrostática (altura manométrica)

+

Resistencia por rozamiento al paso del fluido (pérdida de carga de la cañería)

La capacidad de descarga de las trampas depende de la **Presión Diferencial** que es:

Presión entrada - Contrapresión

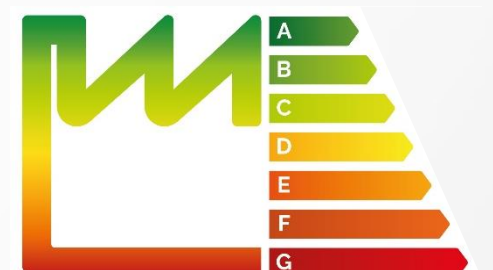
Cuando no hay suficiente diferencial de presión, no se puede recuperar el condensado y por ello se instala una bomba (del tipo mecánico principalmente).



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción

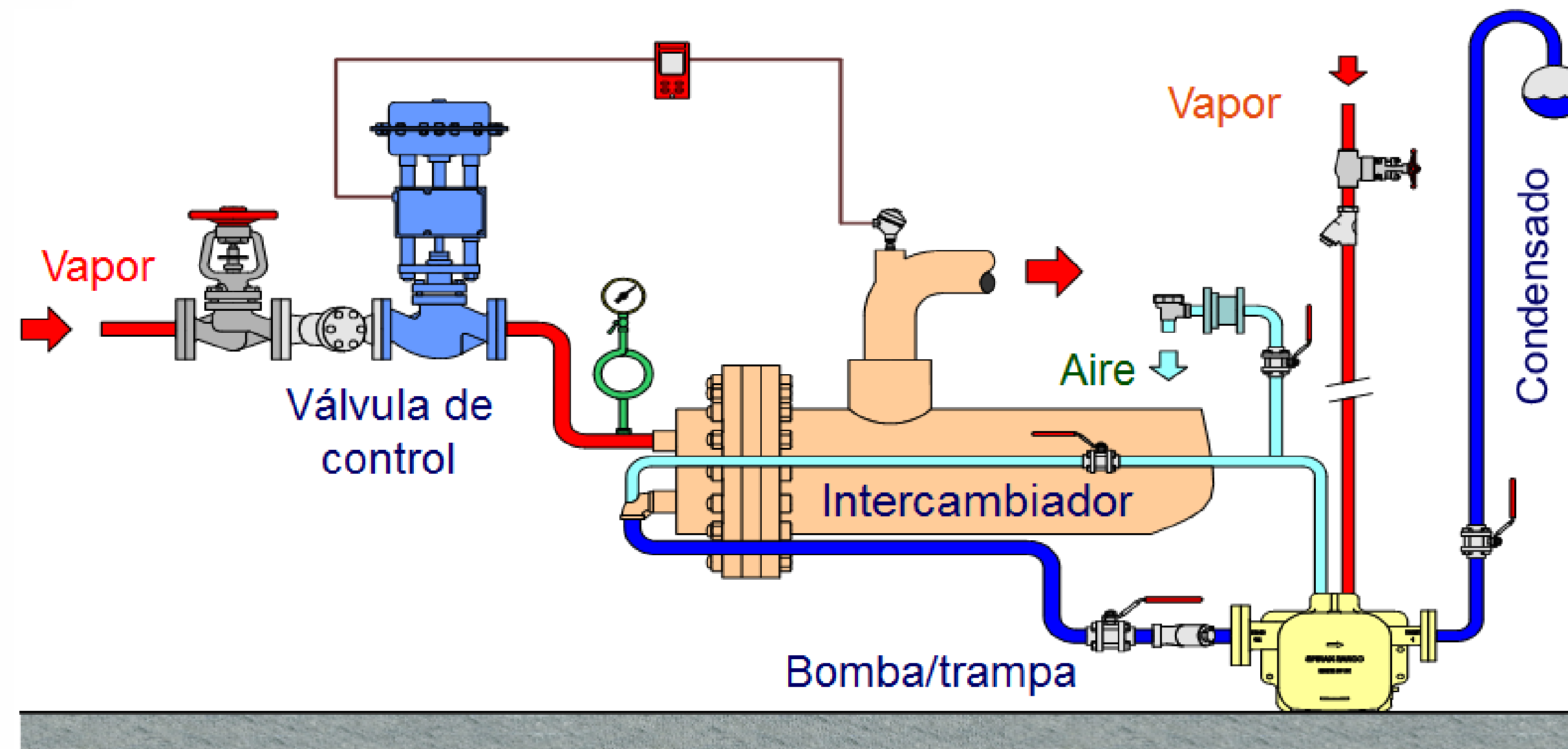


CONSUMOS

¿CÓMO EVITAR LA INUNDACIÓN EN INTERCAMBIADORES?

Los problemas de inundación en sistemas de intercambio de calor se resuelven con la instalación de un sistema bomba/trampa, accionado por vapor

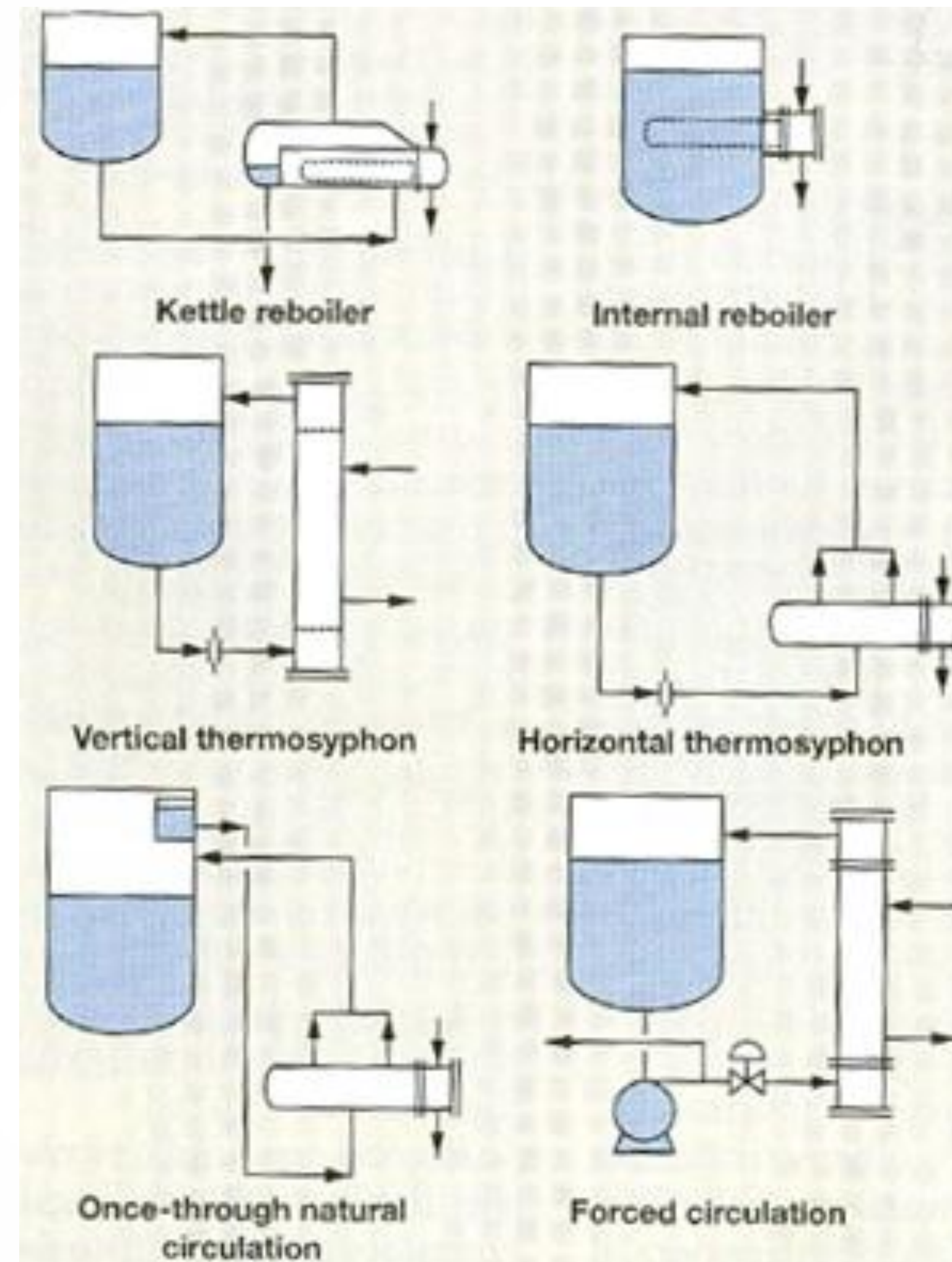
Cuando hay presión diferencial suficiente actúa como trampa y cuando no la hay el mecanismo de bombeo permite la entrada de vapor, que impulsa el condensado a la cañería de retorno.



CONSUMOS

REBOILERS

Tipo de Reboilers



CONSUMOS

REBOILERS



Reboiler interno



Termosifón vertical

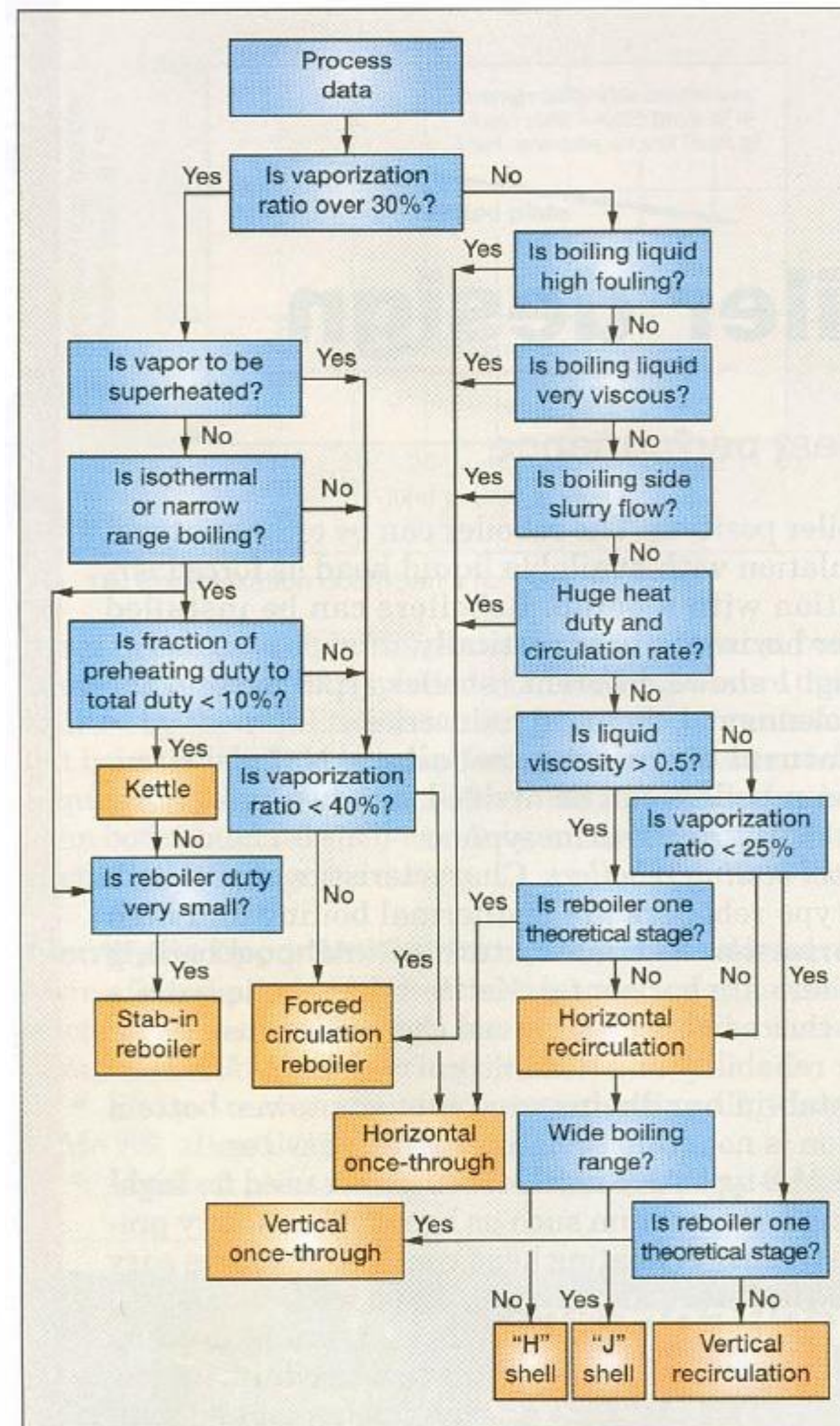
Termosifón horizontal



CONSUMOS

REBOILERS

Selección del tipo de reboiler



CONSUMOS

REBOILERS

- Utilizar preferentemente vapor saturado. El vapor sobrecalentado genera una zona seca cerca de la placa portatubos que puede ocasionar rotura de tubos
- Evitar el subenfriamiento del condensado, utiliza mucha área con poca transferencia
- Se recomienda la instalación de una trampa de vapor o un pote de condensado para un mejor aprovechamiento energético (ver Fig. adjunta)
- Utilizar BP siempre que sea posible, siempre y cuando no provenga de MP laminado
- Considerar en el diseño el DP de la válvula reguladora de caudal

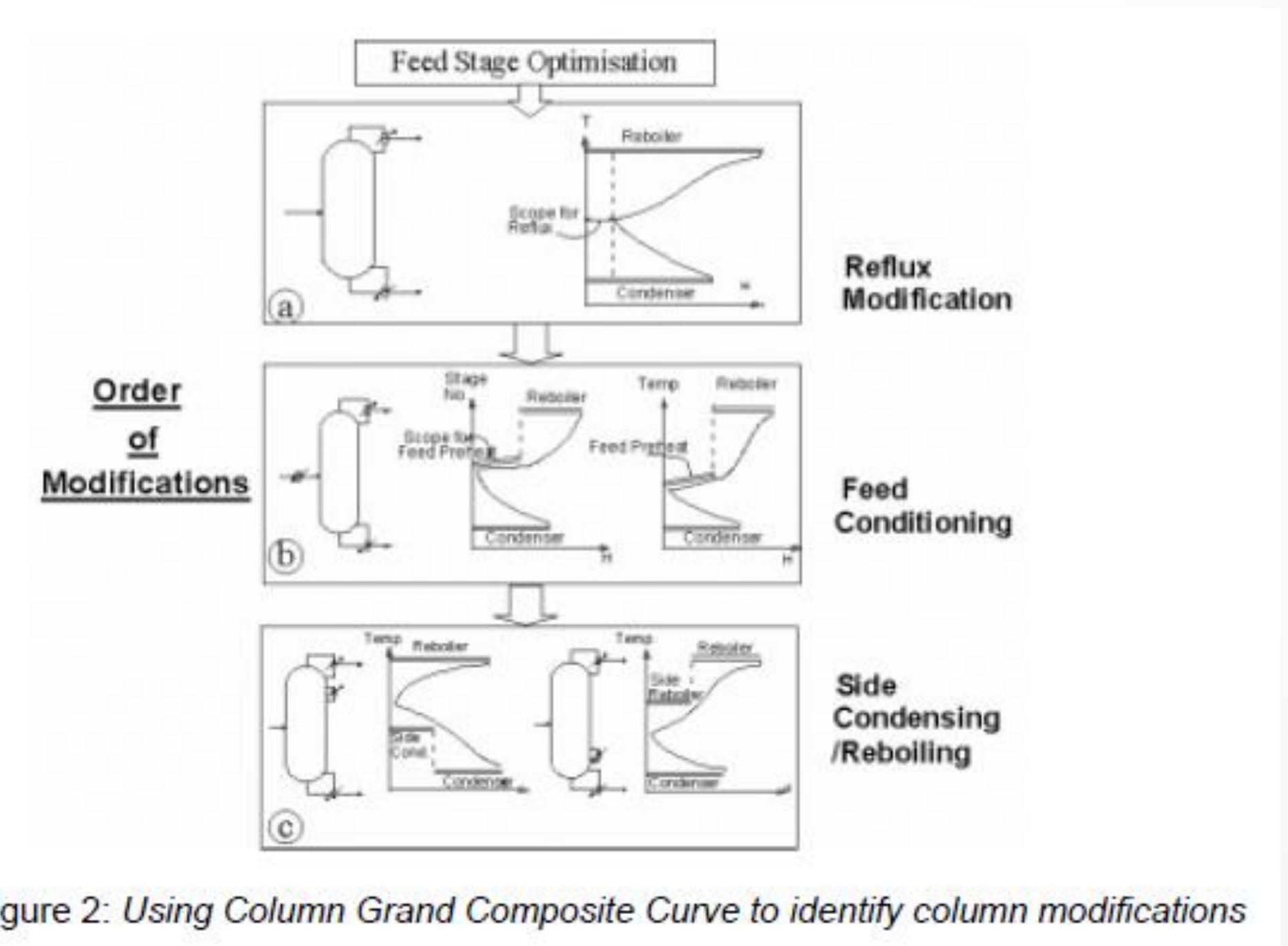
CONSUMOS

REBOILERS

Optimización energética de columnas de destilación

Existen diferentes alternativas de ahorro de energía, tanto en el reboiler como en el condensador:

- ✓ Optimización del caudal de reflujo
- ✓ Acondicionamiento de la temperatura de alimentació
- ✓ Ubicación de la alimentación
- ✓ Enfriamientos/calentamientos laterales



CONSUMOS

RECUPERACIÓN DEL CONDENSADO

La recuperación del condensado es un proceso que reutiliza el agua y el calor sensible contenidos en el condensado descargado.

Ejemplos de utilización del condensado

Agua caliente de alimentación

Para precalentamiento

Vapor a menor presión

Agua caliente para otros usos



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe

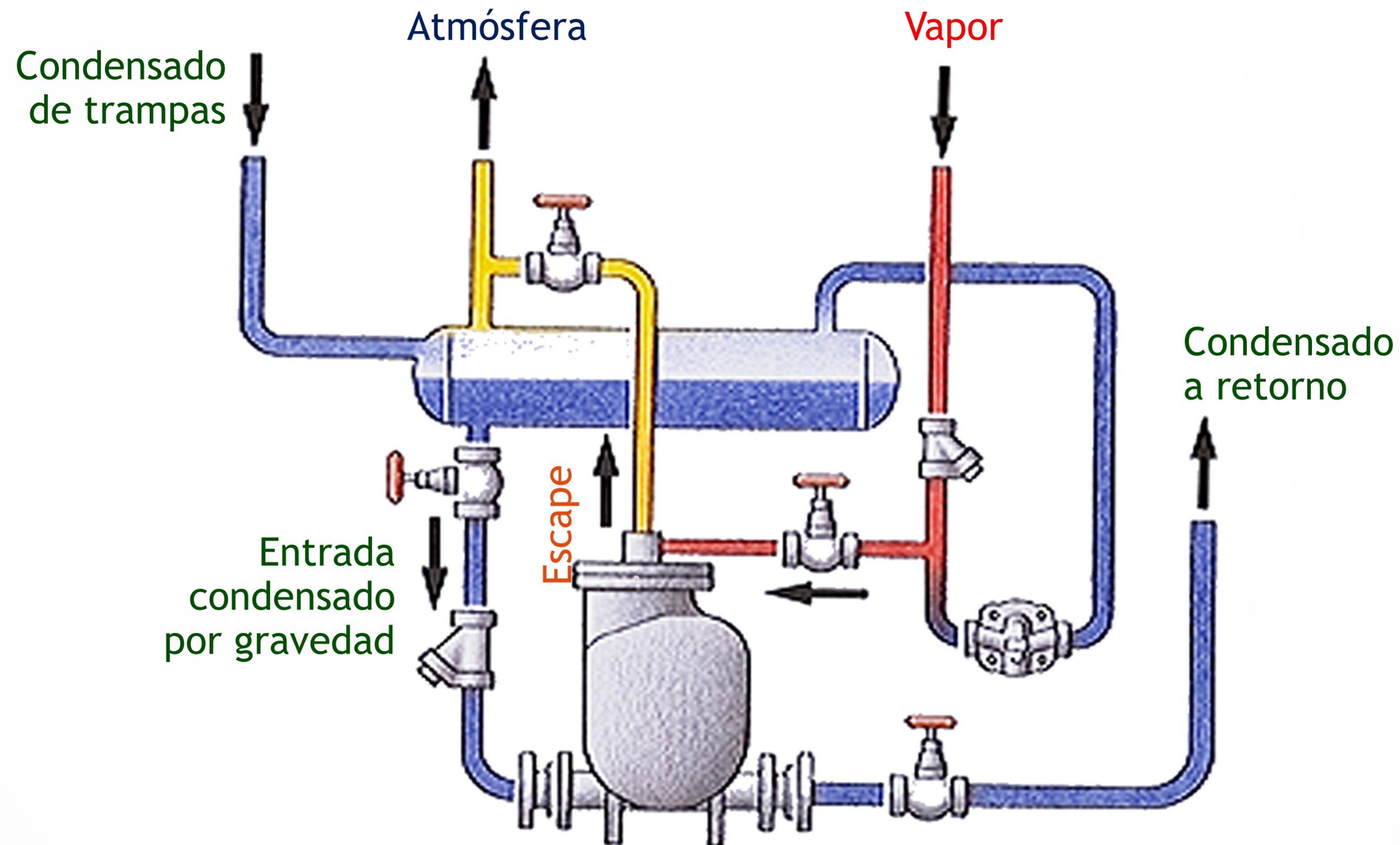


Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



CONSUMOS

INSTALACIÓN BOMBAS ACCIONADAS POR VAPOR



CONSUMOS

BENEFICIOS DE LAS BOMBAS DE CONDENSADO MECÁNICAS

- ✓ Elimina el condensado bajo todas las condiciones de carga, incluso vacío.
- ✓ No necesita potencia eléctrica (accionada con vapor o aire).
- ✓ Especialmente adecuada para lugares peligrosos.
- ✓ Eliminación de problemas de cavitación reduciendo mantenimiento.
- ✓ No hay sellos mecánicos o estopadas por donde pueda fugar.
- ✓ Disponible en una gama de materiales, tamaños y conexiones para adaptarse a una gran variedad de aplicaciones.



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe

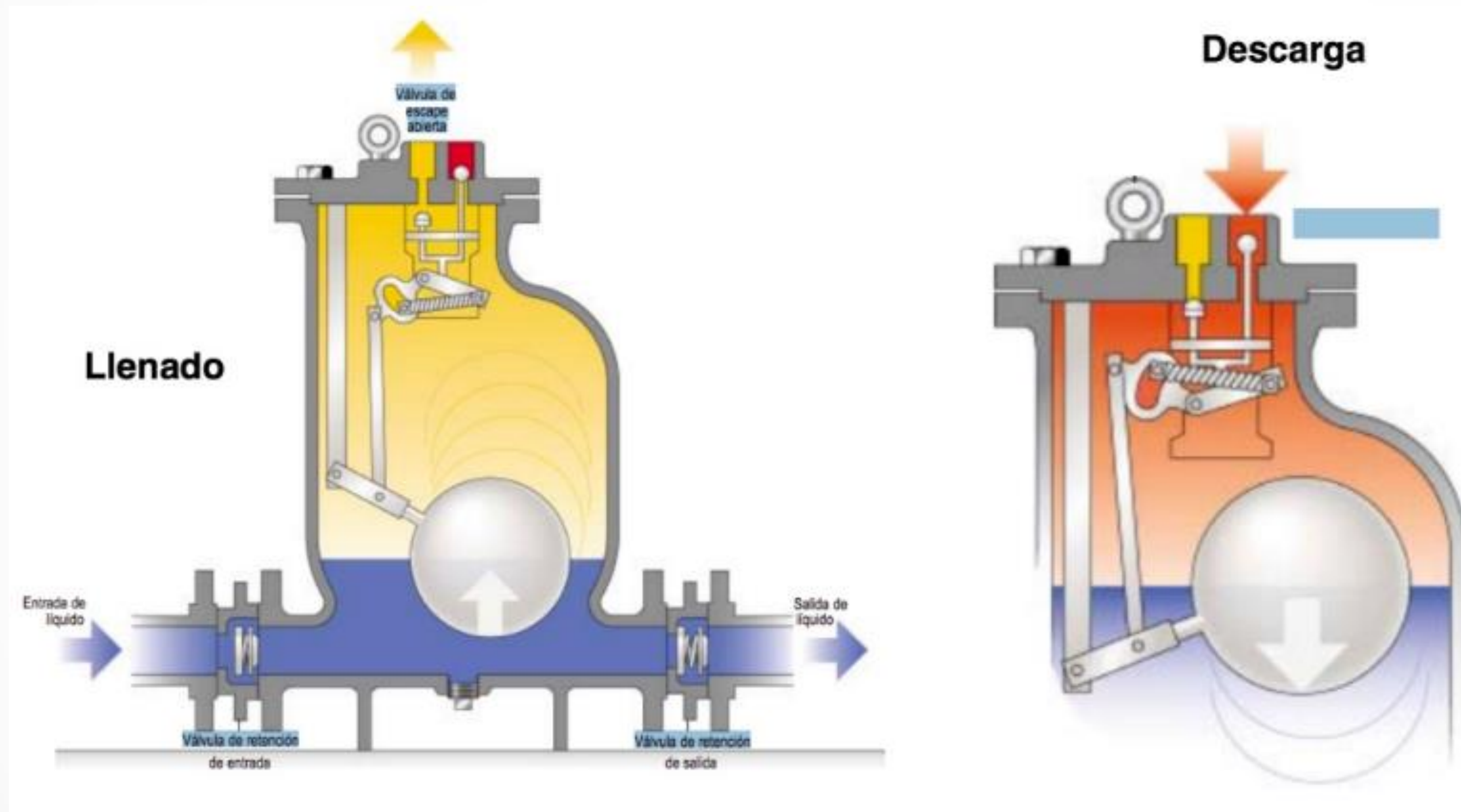


Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



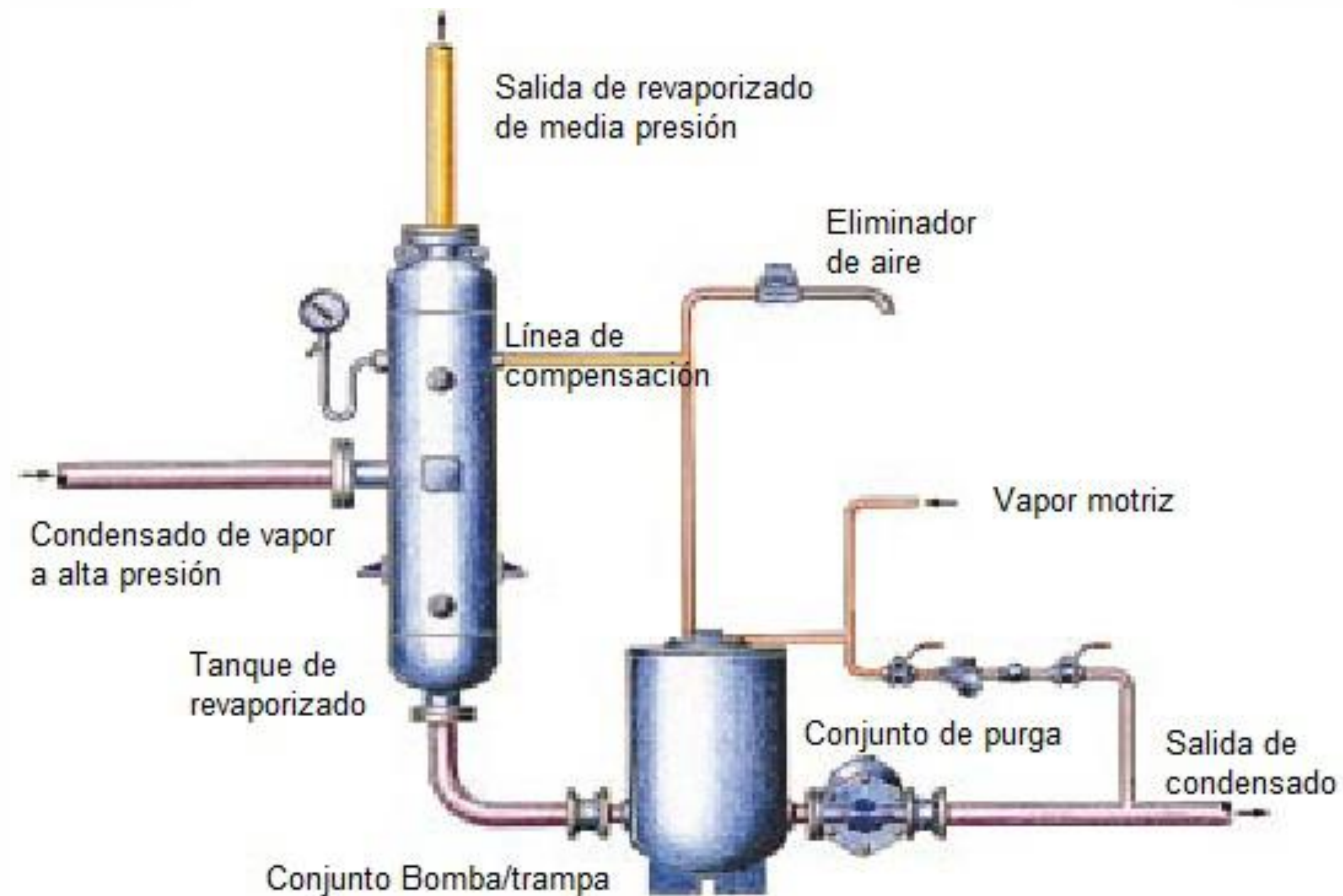
CONSUMOS

BOMBAS DE CONDENSADO ACCIONADAS POR VAPOR FUNCIONAMIENTO



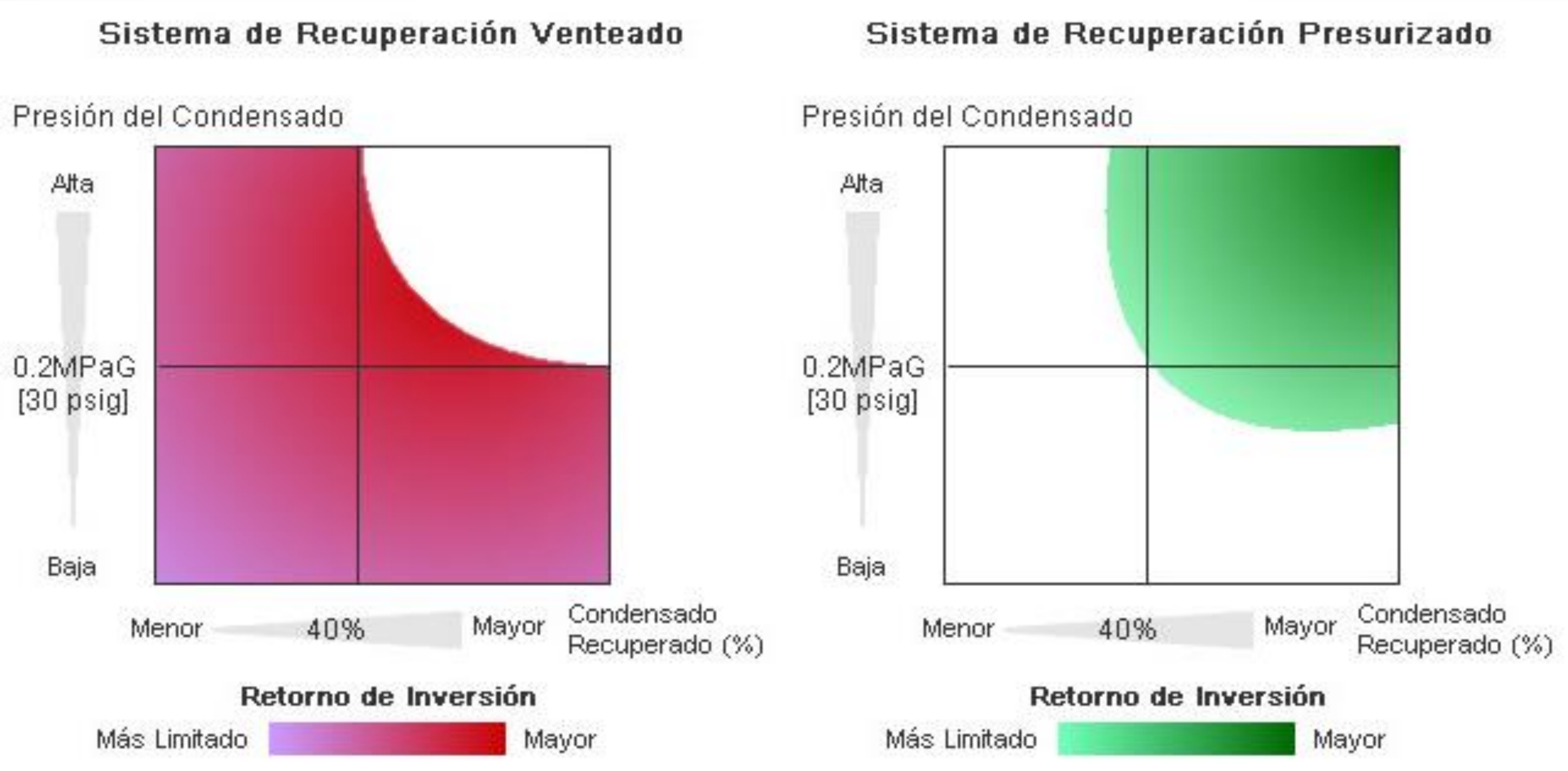
CONSUMOS

RECUPERACIÓN DEL CONDENSADO



CONSUMOS

SISTEMAS DE RECUPERACIÓN DE CONDENSADOS - VENTEADO VS. PRESURIZADO



CONSUMOS

RECUPERACIÓN DEL CONDENSADO

Beneficios

Reducción de costos de combustibles

Disminución de gastos relacionados con el agua

Impactos positivos en seguridad y ambiente



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



CONSUMOS

INEFICIENCIAS DE UN SISTEMA DE VAPOR

Ineficiencias	Generación	Distribución	Consumos
Estructurales	<ul style="list-style-type: none"> Recuperación de calor en calderas Blowdown Precalentamiento de BFW Calidad de BFW 	<ul style="list-style-type: none"> Utilización de vapor de mayor nivel Sin recuperación de condensado Selección e instalación de trampas de vapor 	<ul style="list-style-type: none"> Eficiencia de intercambiadores Selección del tipo de reboiler Regulación del vapor de calefacción
Mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> Calderas Aislaciones Entradas parásitas de aire Pérdidas 	<ul style="list-style-type: none"> Aislación de colectores y turbinas Funcionamiento de trampas de vapor Pérdidas 	<ul style="list-style-type: none"> Ensuciamiento de intercambiadores Pérdidas en sistemas de calefacción
Operacionales	<ul style="list-style-type: none"> Exceso de O2 Blowdown Venteos 	<ul style="list-style-type: none"> Turbinas auxiliares rotando Laminaciones Venteos 	<ul style="list-style-type: none"> Optimización de vapor de stripping Regulación del vapor de calefacción Exceso de vapor a antorchas

MÓDULO VIII

SISTEMAS DE VAPOR Y COGENERACIÓN

COGENERACIÓN



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe

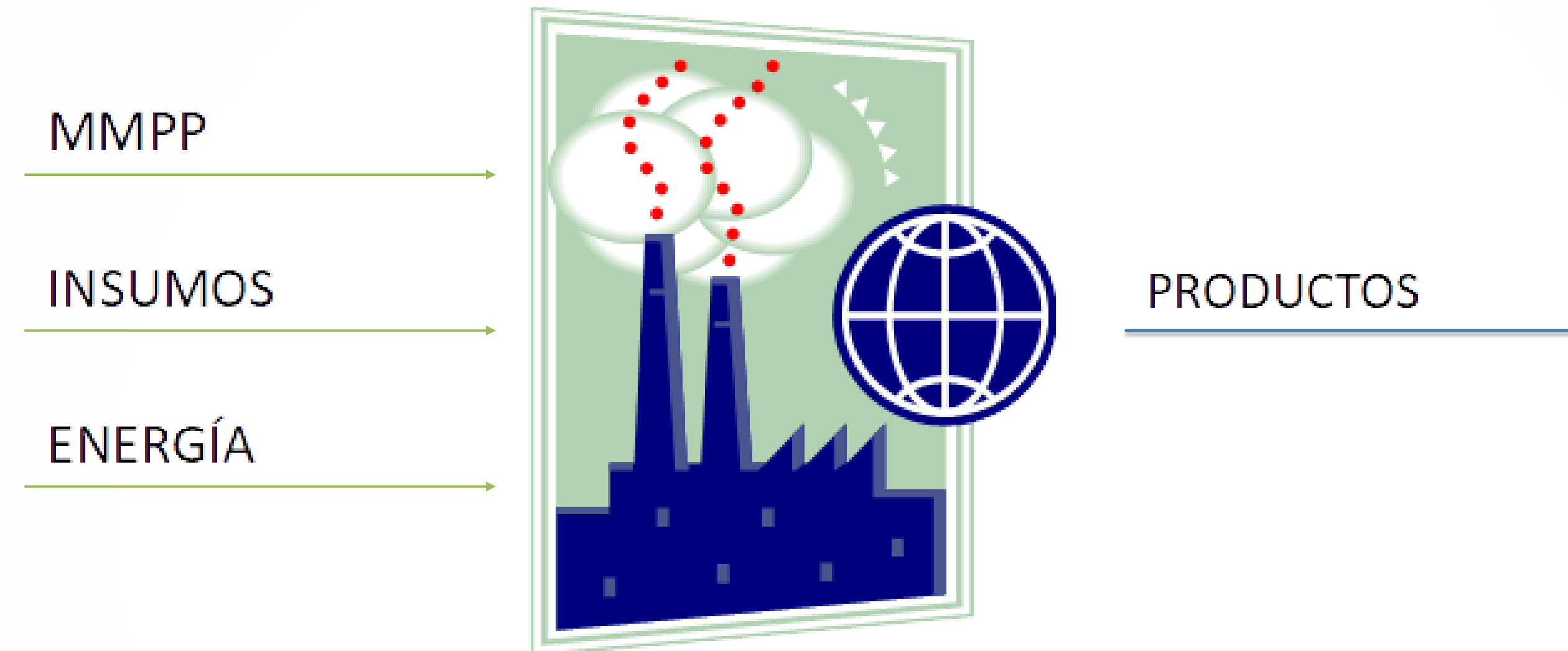


Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



COGENERACIÓN

INTRODUCCIÓN: ENERGÍA EN LA INDUSTRIA



¿Cómo cubre la industria estas necesidades?

Por lo general:

- 🔥 Compra EE de la red
- 🔥 Genera, puertas adentro, su propia energía térmica
- 🔥 Requerimientos de frío son también una demanda térmica que las industrias autogeneran en la mayoría de los casos

COGENERACIÓN

INTRODUCCIÓN: SISTEMAS NO INTEGRADOS

Sistemas NO integrados



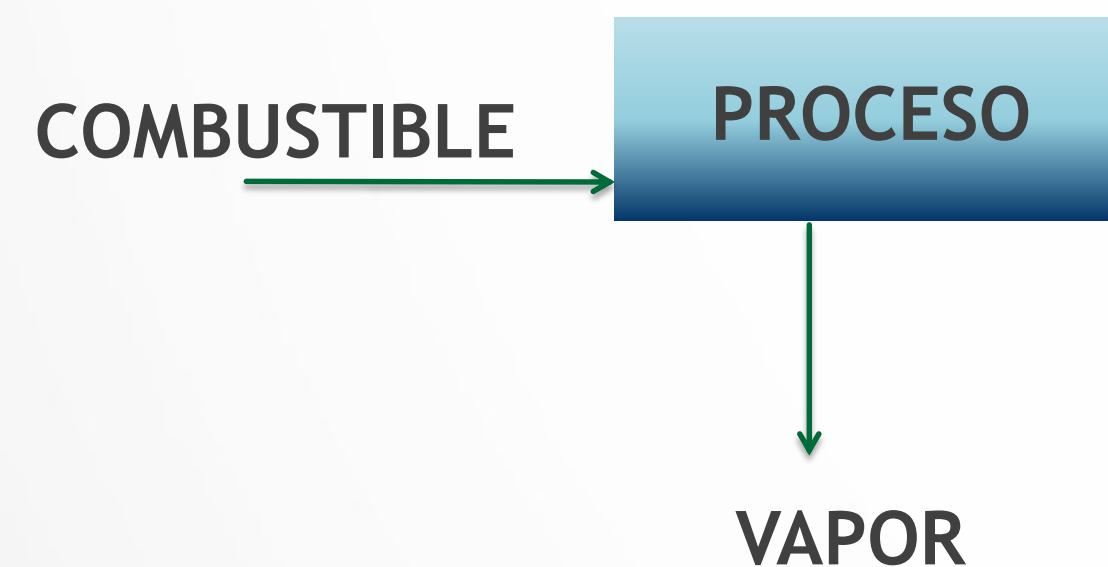
MONOPROPÓSITO

Combustible a trabajo: (Work only)

Máquinas térmicas, motores térmicos, centrales termo-eléctricas convencionales

Máquinas de combustión interna y externa

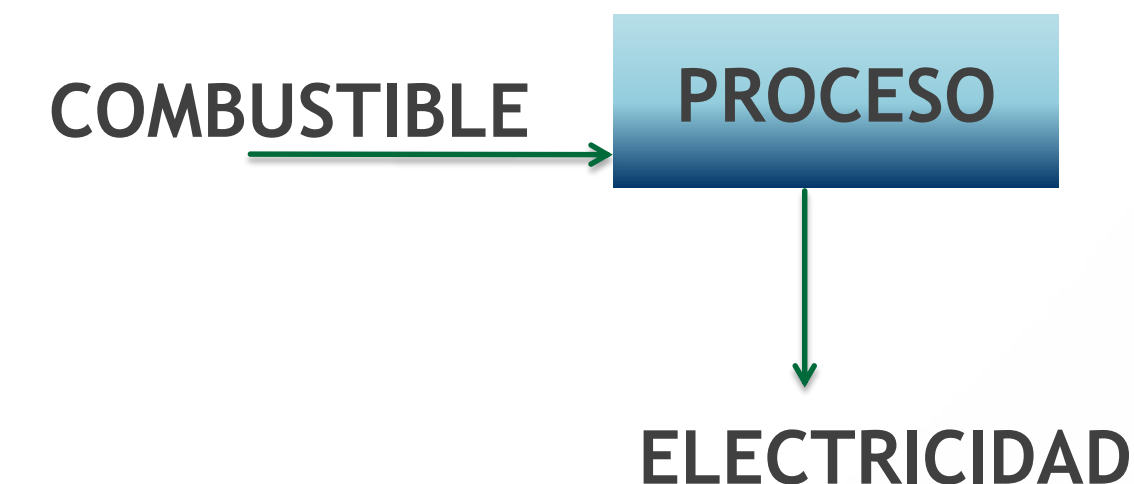
Generación de VAPOR



Combustible a calor: (Heat only)

Hornos, calderas, quemadores, etc.

Generación de ELECTRICIDAD

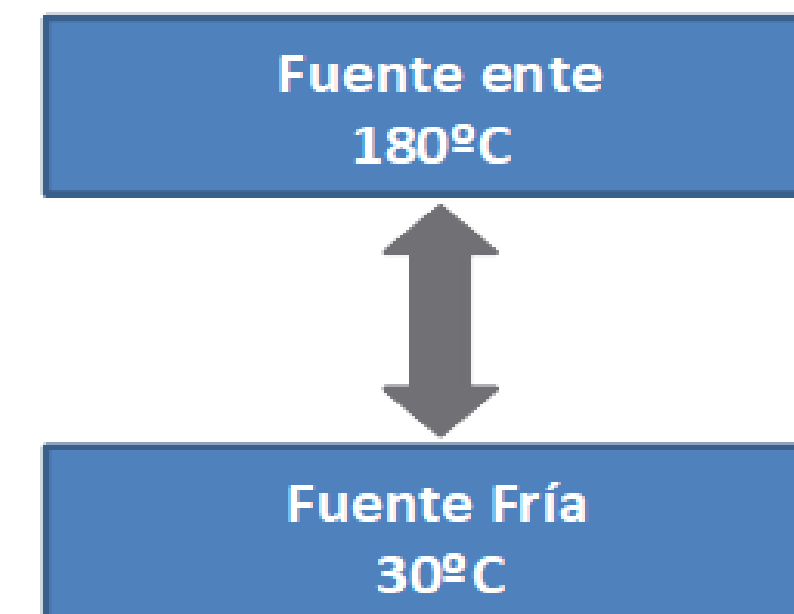
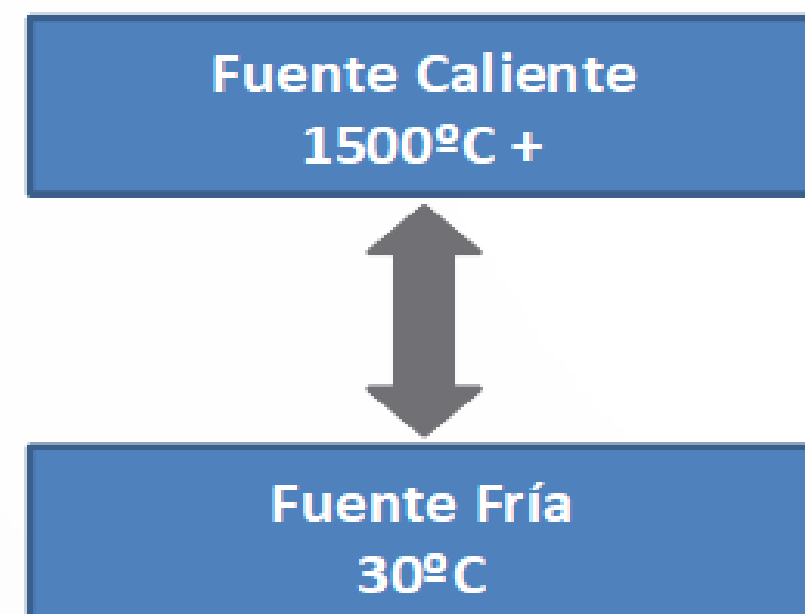


COGENERACIÓN

INTRODUCCIÓN: COMBUSTIBLE A CALOR

PROCESO: calderas y hornos convencionales

- Entrada de energía: combustible (gas) + aire
 - Gases de combustión
- Salida de energía: Vapor de agua saturado
 - Turbinas que operan dentro de **un rango de velocidades a contrapresión** ó,
 - Turbinas a **potencia fija**, pueden trabajar a condensación, o contrapresión
- Alrededor a 30°C



COGENERACIÓN

INTRODUCCIÓN: EFICIENCIAS TÍPICAS

Tecnología	Eficiencia Neta Típica
Motores de ciclo Otto	30%
Motores de ciclo Diesel	40%
Turbinas de gas antiguas	20-30%
Turbinas de gas modernas	30-40% y más
Turbinas de vapor a condensación chica	20-30%
Turbinas de vapor subcríticas grandes	30-40%
Turbinas de vapor supercríticas	>40%
Calderas Industriales	70-90%
Generadores de vapor de centrales	88-95%

Eficiencias netas típicas de sistemas térmicos no integrados
(o monopropósitos)



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



COGENERACIÓN

INTRODUCCIÓN: LA INTEGRACIÓN DE PROCESOS

La **ineficiencia** intrínseca de los **procesos no integrados** puede ser remediado mediante la integración

Tipos de Integraciones

- ✓ Por encima de la aplicación energética (**Topping**)
- ✓ Por debajo de la misma (**Bottoming**)
- ✓ O por **ambas formas a la vez**



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción

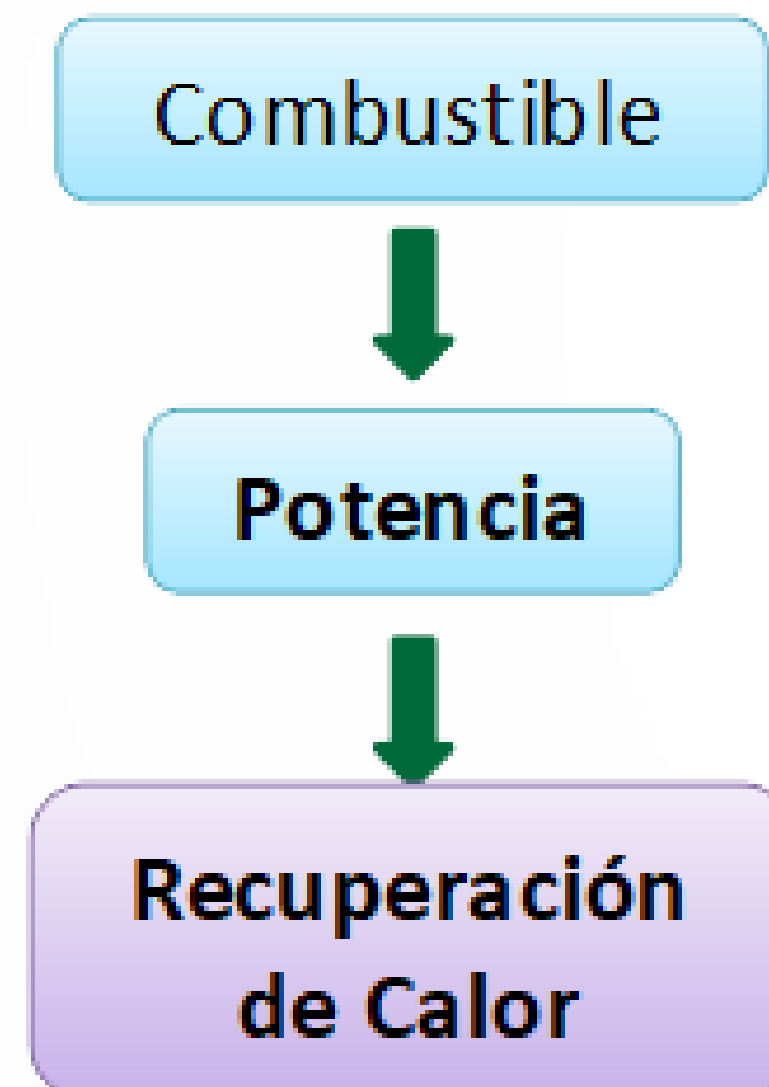


COGENERACIÓN

INTRODUCCIÓN: CICLOS INTEGRADOS

INTEGRACIÓN POR TOPPING

Integración por encima de la aplicación energética (térmica)



✓ La eficiencia total del Ciclo de Topping es más alta que la de Bottoming

INTEGRACIÓN POR BOTTOMING

Integración por debajo de la aplicación energética (térmica)

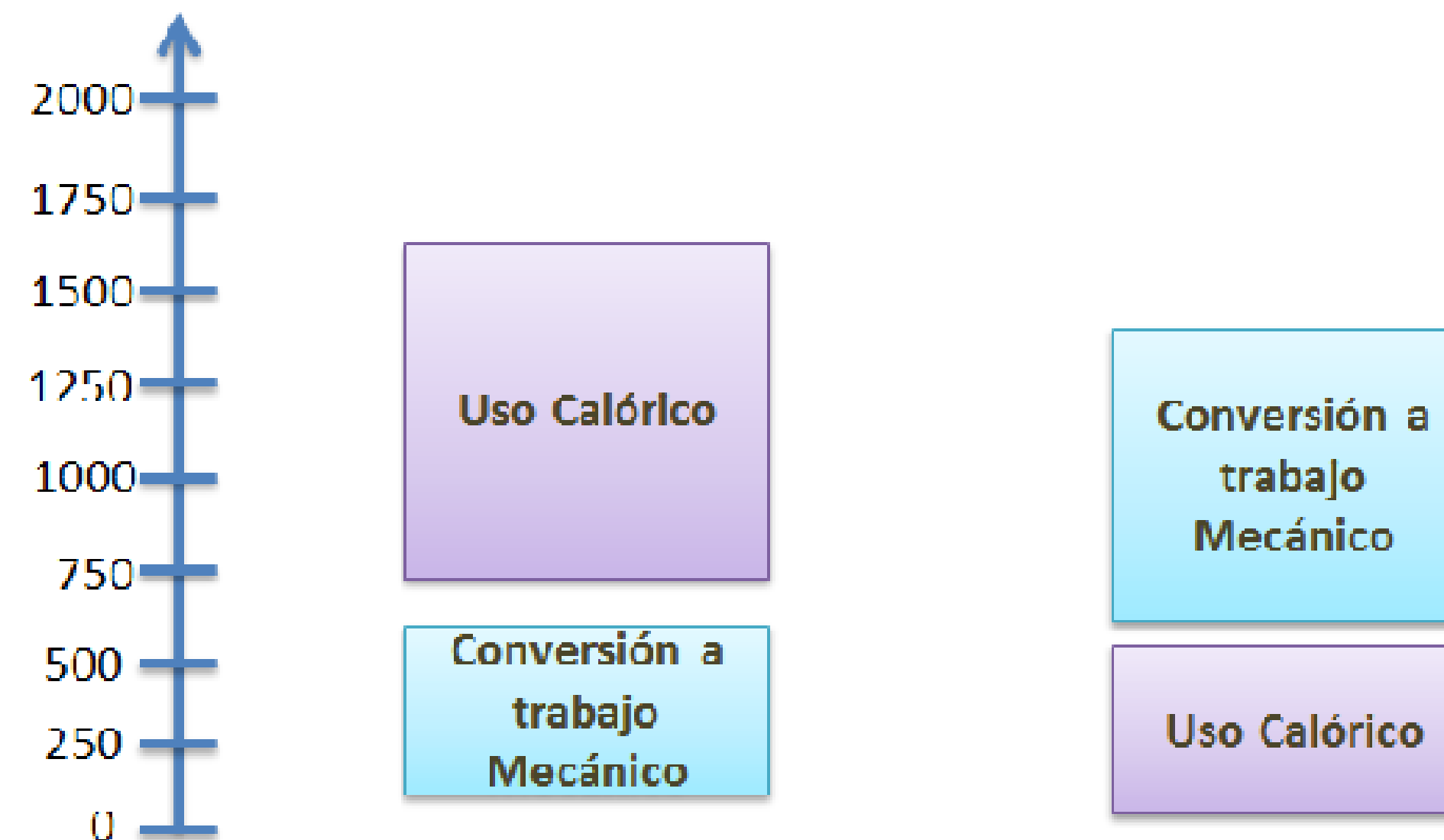


✓ La ventaja del Ciclo de Bottoming es la alta temperatura disponible para uso calórico

COGENERACIÓN

INTRODUCCIÓN: *BOTTOMING VS. TOPPING*

Temperaturas (°C)



Cogeneración por:

Bottoming

Topping

El tipo de cogeneración a aplicar está definido por los requerimientos que impone la industria

COGENERACIÓN

INTRODUCCIÓN: DEFINICIONES

Ciclo de Cogeneración, CHP, es un proceso integrado para la “obtención” de energía en varias de sus formas a partir de un recurso de energía térmica, que minimiza la degradación y la pérdida de parte de la energía.

La **Cogeneración** es un:

“Sistema de **producción de electricidad a partir de combustibles**” basado en el **aprovechamiento del calor** para atender una demanda térmica económicamente justificable

Este **aprovechamiento del calor** es la base de su mayor eficiencia respecto a las centrales
del tipo convencional



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe



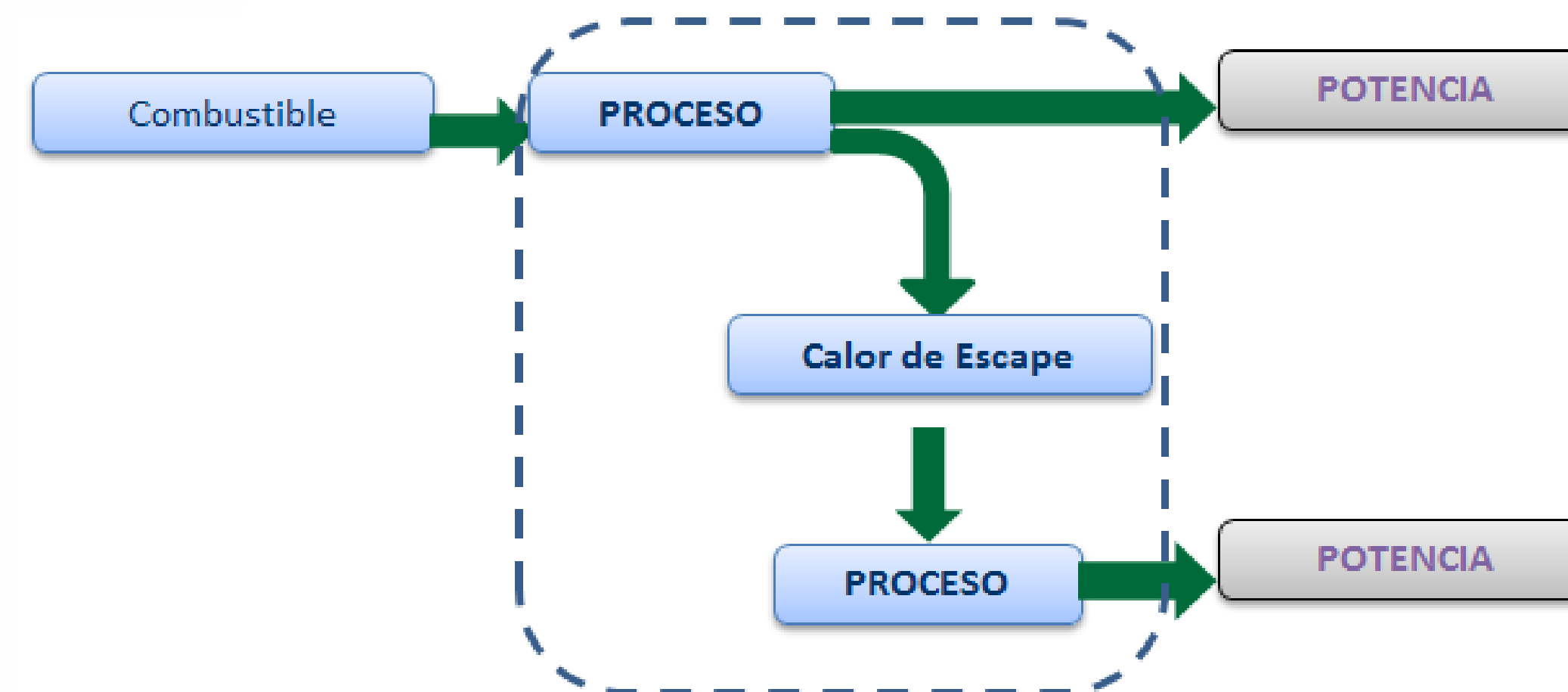
Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



COGENERACIÓN

INTRODUCCIÓN: CICLOS INTEGRADOS

Ciclo Combinado, surge de la combinación de turbina de gas y turbina de vapor para **maximizar la transferencia de energía en la forma de trabajo**

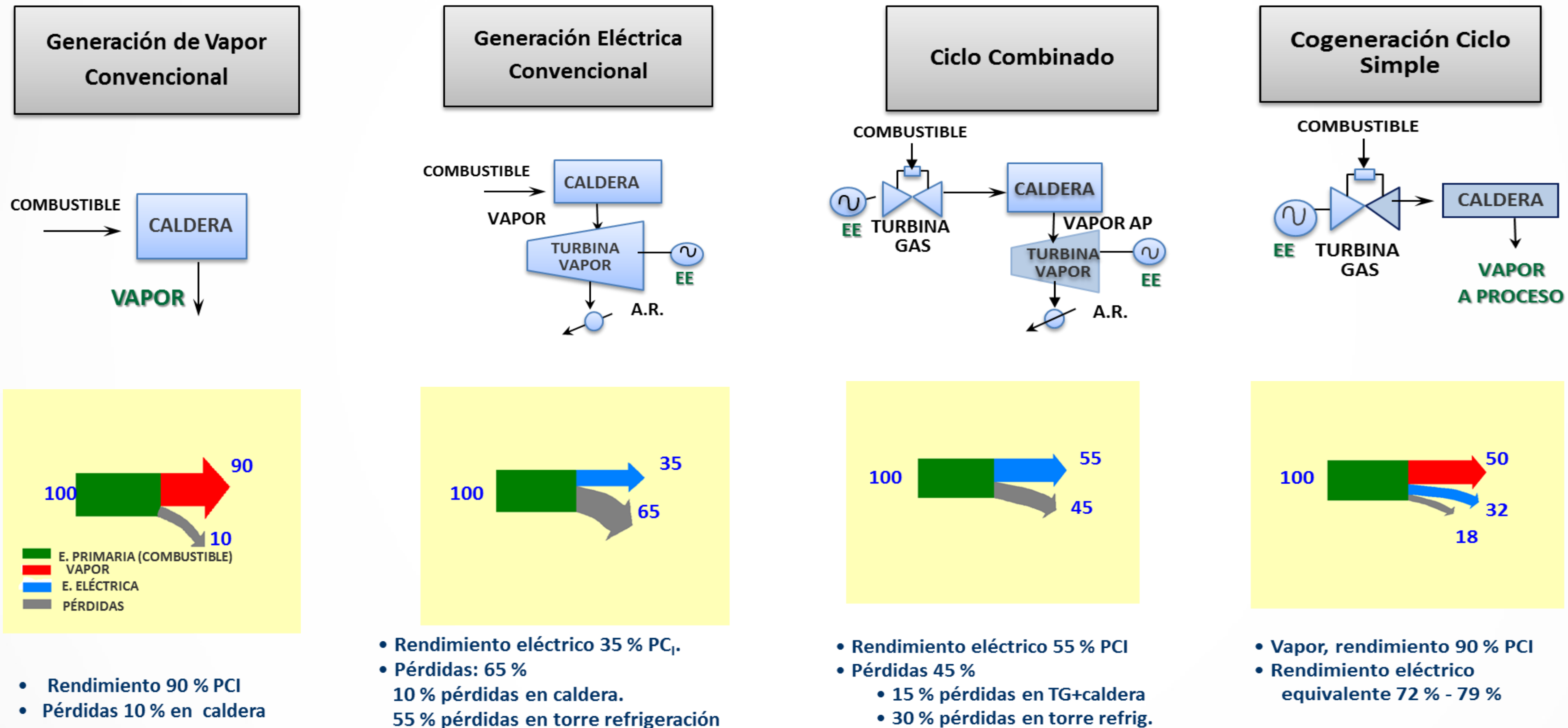


Ciclos de Cogeneración vs. Ciclos Combinados

- Distintos campos de aplicación
- No compiten entre ellos

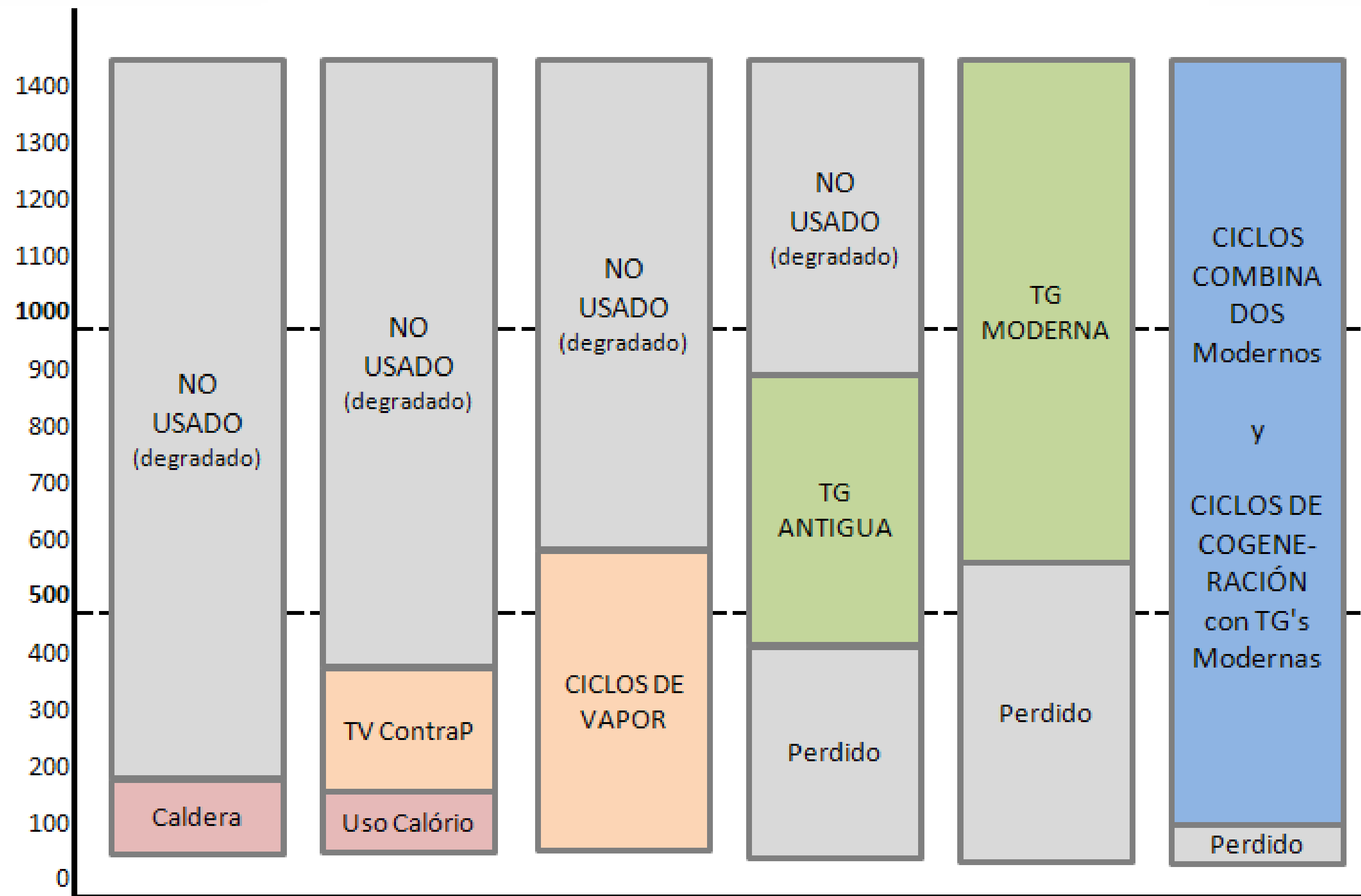
COGENERACIÓN

INTRODUCCIÓN: ESQUEMAS GENERACIÓN VAPOR Y ELECTRICIDAD



COGENERACIÓN

INTRODUCCIÓN: SISTEMAS ENERGÉTICOS



COGENERACIÓN

CALIDAD DE UN SISTEMA DE COGENERACIÓN

- 🔥 El trabajo se puede convertir 100% en calor
- 🔥 El calor no se puede convertir 100% en trabajo

El sistema de Cogeneración produce **dos energéticos de calidades diferente** => la asignación de costos se hace:

- Método físico: por cantidades de energía entregada
- Método termodinámico: por las cantidades de trabajo que las energías entregadas tienen

“Marecki” recomienda la asignación de costos de los energéticos por criterios comerciales y no técnicos



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe

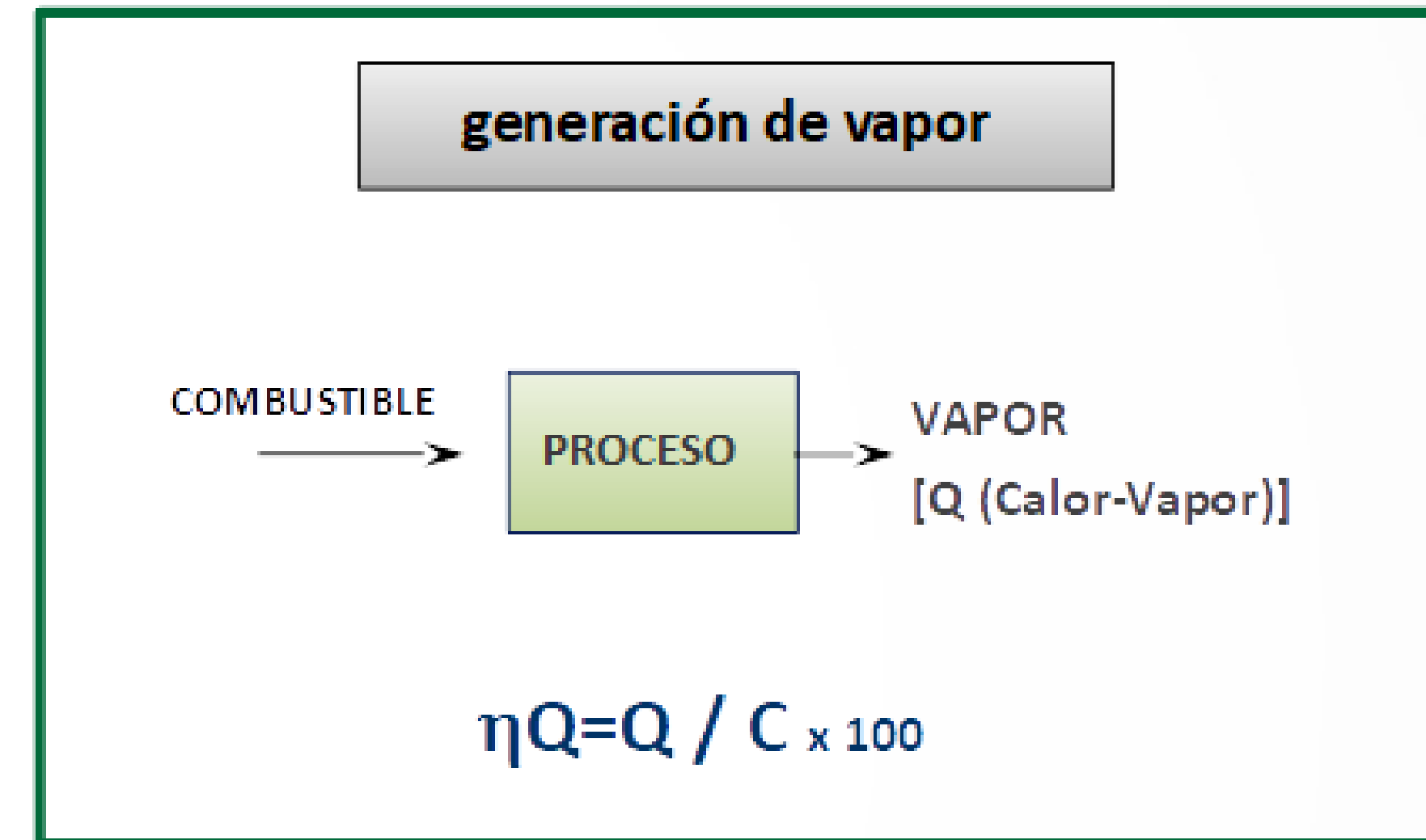
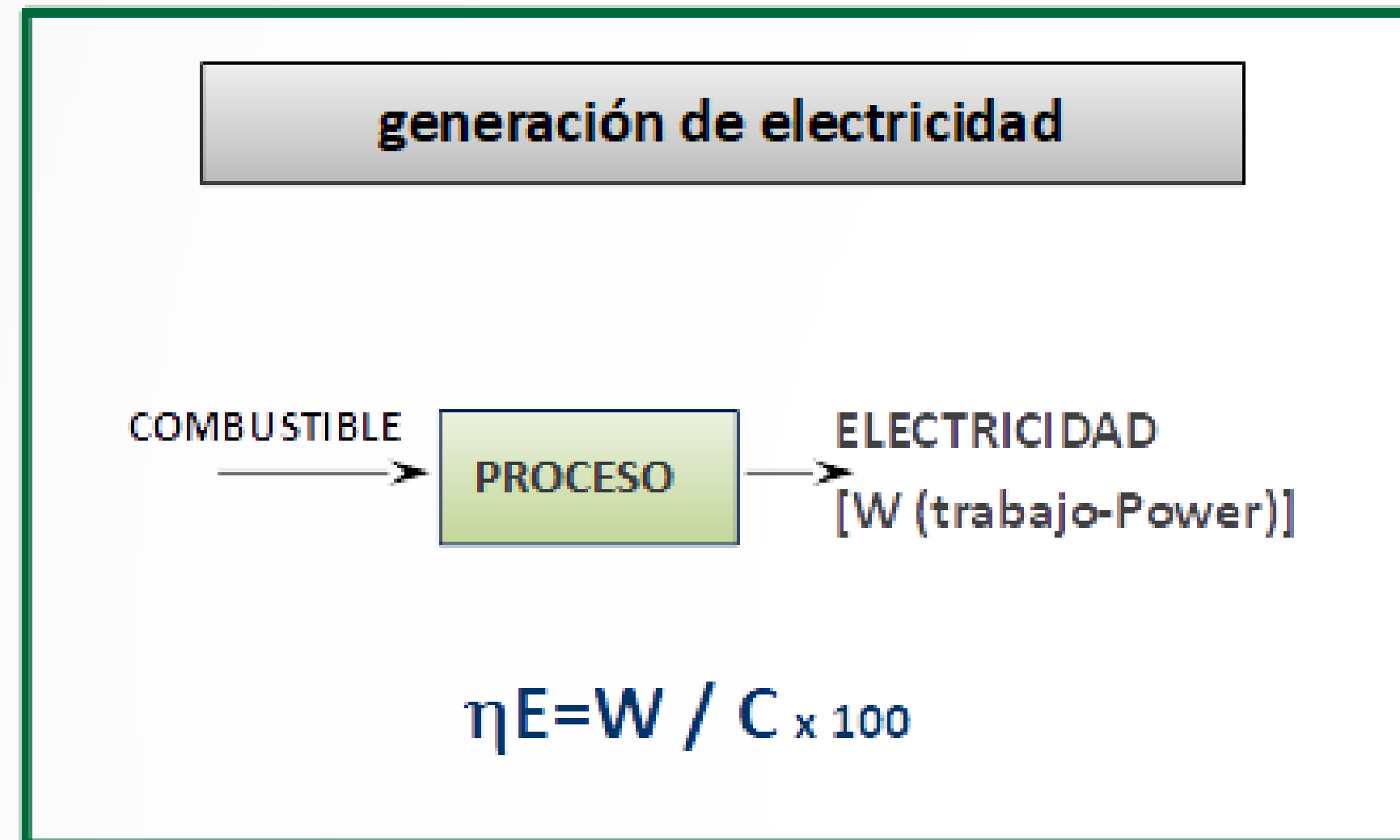


Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción

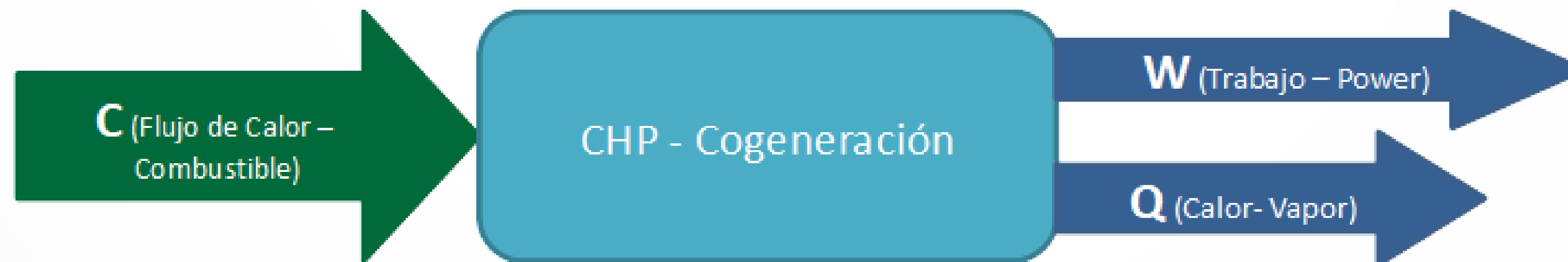


COGENERACIÓN

SISTEMA DE GESTIÓN DE LA ENERGÍA



En un sistema CHP, los flujos de energía de interés son:



COGENERACIÓN

CALDERAS - EFICIENCIA DIRECTA

RENDIMIENTO TÉRMICO:

$$\eta_T = \frac{(W + Q)}{C} \times 100$$

RENDIMIENTO ELÉCTRICO EQUIVALENTE:

$$\eta_{EE} = \frac{W}{C - \left(\frac{Q}{(\eta Q)} \right)} \times 100$$

RENDIMIENTO CATEGORIZACIÓN DE INSTALACIONES DE COGENERACIÓN:

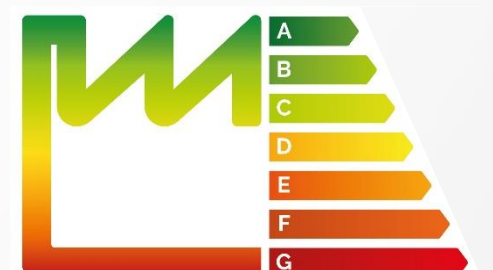
$$\eta_{EE} = \frac{W + k * Q}{C} \times 100$$



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



COGENERACIÓN

CALDERAS - EFICIENCIA DIRECTA

AHORRO DE ENERGÍA PRIMARIA:

EP es el consumo de energía primaria necesario para la producción monopropósito

$$EP = \frac{E}{\eta E} + \frac{Q}{\eta Q}$$

AHORRO DE ENERGÍA PRIMARIA:

$$AEP = \frac{E}{\eta E} + \frac{Q}{\eta Q} - Ccog$$

AHORRO PORCENTUAL DE ENERGÍA PRIMARIA

El ahorro porcentual de energía primaria (PES) es el cociente entre el ahorro de energía primaria y el consumo de energía primaria monopropósito

$$PES(\%) = \frac{AEP}{EP} \times 100$$

$$PES(\%) = \left(1 - \frac{Ccog}{\frac{E}{\eta E} + \frac{Q}{\eta Q}} \right) \times 100$$

COGENERACIÓN

CALIDAD DE UN SISTEMA DE COGENERACIÓN

RENDIMIENTO TÉRMICO GLOBAL DE LA COGENERACIÓN

$$\eta_T = \frac{(W + Q)}{C} \times 100$$

COMPARACIÓN CON UN SISTEMA MONOPROPÓSITO



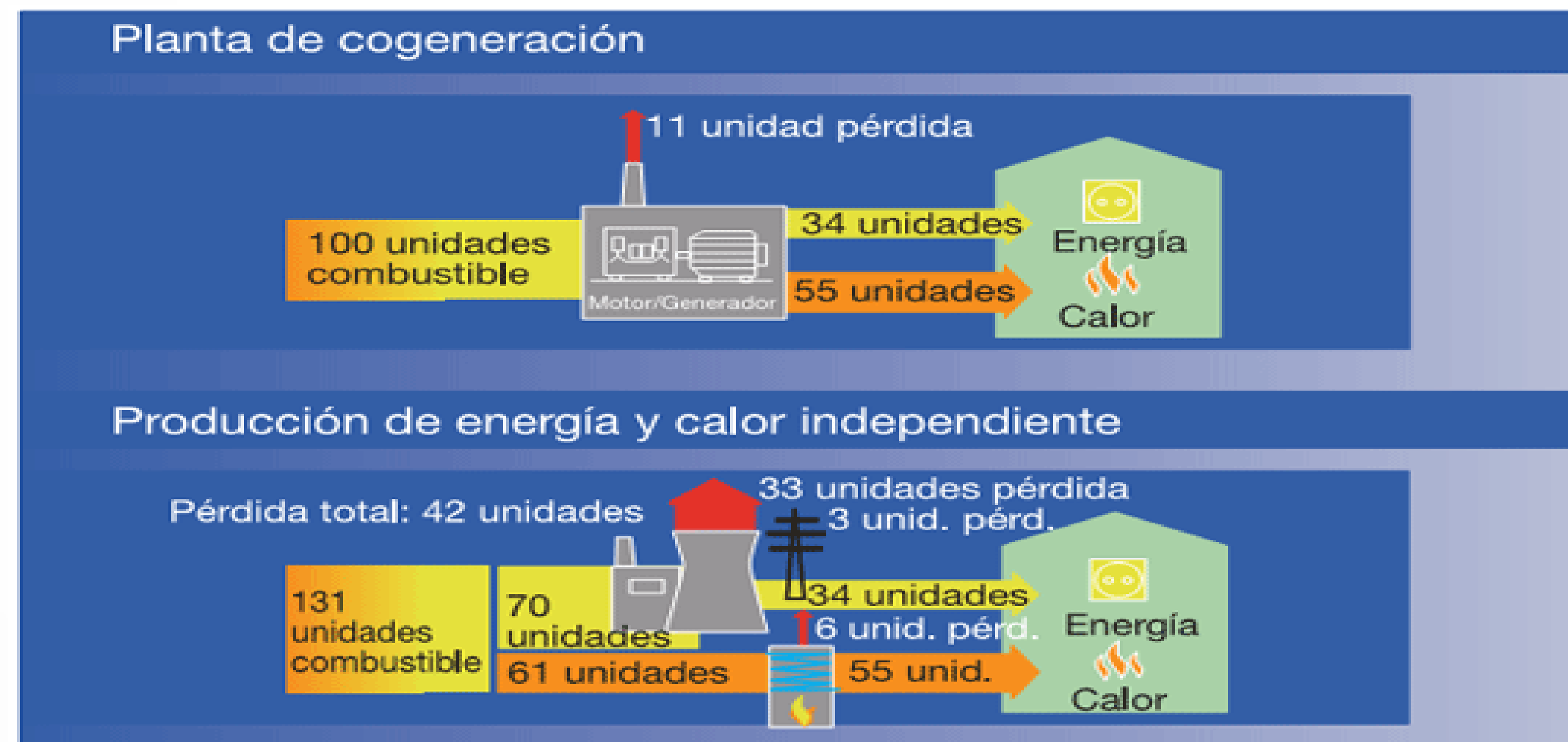
COGENERACIÓN

CALIDAD DE UN SISTEMA DE COGENERACIÓN

RENDIMIENTO TÉRMICO GLOBAL DE LA COGENERACIÓN

$$\eta_T = \frac{(W + Q)}{C} \times 100$$

COMPARACIÓN CON UN SISTEMA MONOPROPÓSITO



COGENERACIÓN

CALIDAD DE UN SISTEMA DE COGENERACIÓN

LA RELACIÓN W/Q SE DENOMINA “FACTOR ENERGÉTICO”

- 🔥 Factor energético de la demanda
- 🔥 Factor energético del suministro

EL ÓPTIMO SERÍA:

$$\left(\frac{W}{Q}\right)_{demanda} = \left(\frac{W}{Q}\right)_{suministro}$$

SI NO SE CUMPLE SE INCLUYEN MECANISMOS DE FLEXIBILIZACIÓN, QUE DEGRADAN
LOS RESULTADOS DEL SISTEMA



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



COGENERACIÓN

DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL A COGENERAR EN UNA INDUSTRIA

Determinación de la demanda Térmica

- *Determinación la carga calórica*
- *Detección de las particularidades de la demanda calórica.*

No siempre todo el vapor puede ser cubierto por procesos de cogeneración.

COGENERACIÓN

DETERMINACIÓN DE DEMANDA TÉRMICA - ANÁLISIS DE DEMANDA

OBJETIVOS

- ✓ Definir los datos básicos
- ✓ Determinar la demanda de calor útil y la forma en que es utilizado

¿QUÉ HAY QUE DETERMINAR?

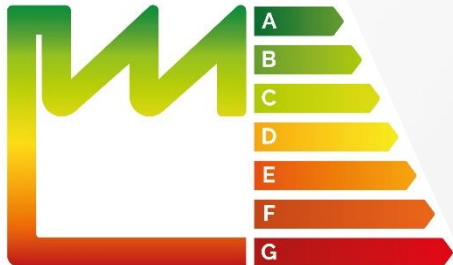
Tipología de la demanda	vapor, agua caliente, aceite térmico, agua fría
Características de la demanda	temperatura y presión de consumo, temperatura de retorno, porcentaje de retorno de condensados
Modelización de la demanda	Perfil diario, semanal y mensual.
Equipos de producción de la demanda	caldera de vapor y/o aceite térmico y/o agua caliente (rendimiento), chiller eléctrico COP).....



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



COGENERACIÓN

DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL A COGENERAR EN UNA INDUSTRIA

Determinación de la demanda Térmica

- *Determinación la carga calórica.*
- *Detección de las particularidades de la demanda calórica.*
- *No siempre todo el vapor puede ser cubierto por procesos de cogeneración.*

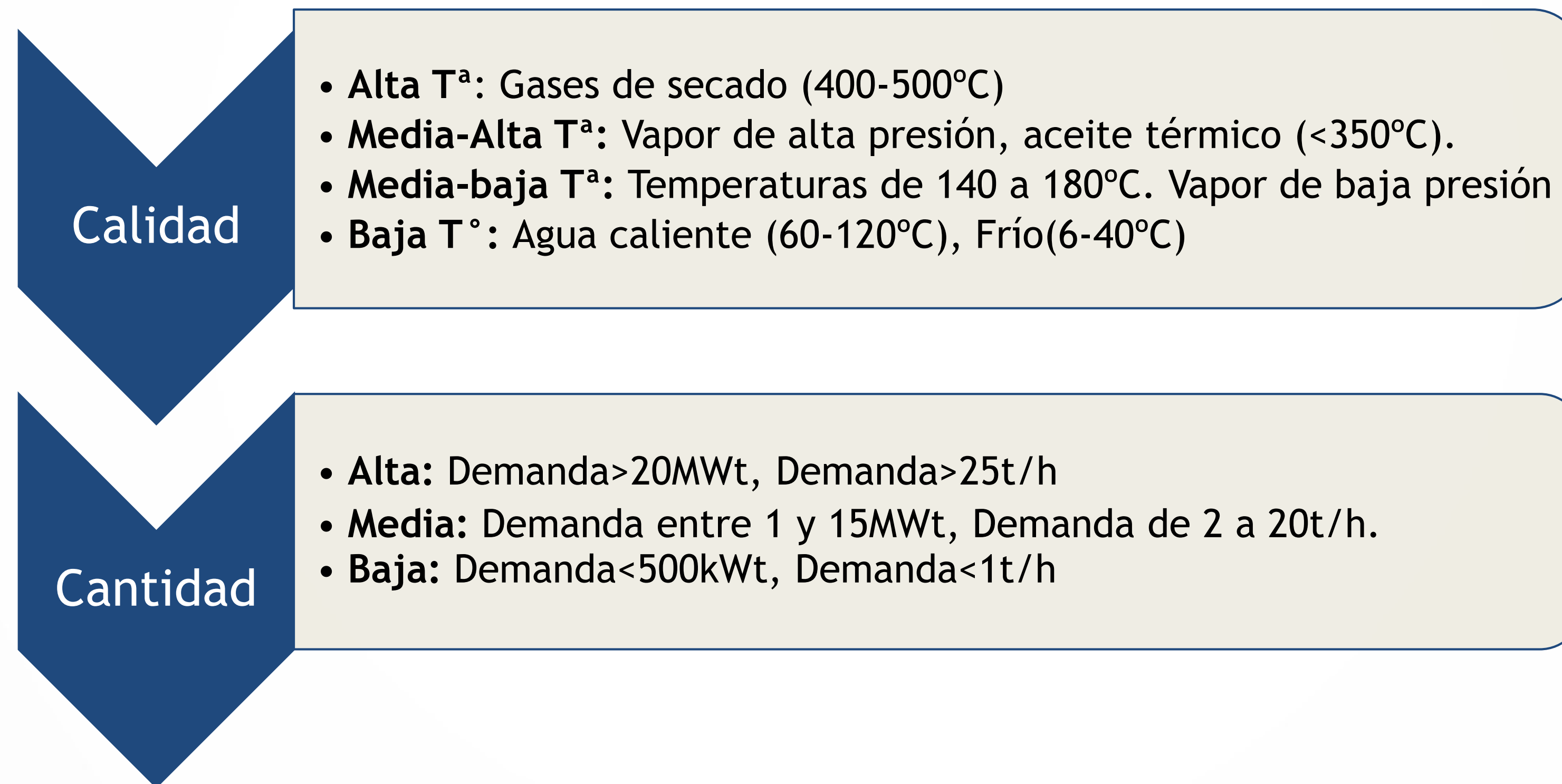
Definición de la Cogeneración

- *Se busca la manera de cubrir la DT con cogeneración.*
- *Ajustes de la planta de cogeneración.*

COGENERACIÓN

DETERMINACIÓN DE COGENERACIÓN - SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

Selección de la Tecnología EN FUNCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA DEMANDA



COGENERACIÓN

DETERMINACIÓN DE COGENERACIÓN - TECNOLOGÍA SEGÚN LA CALIDAD Y CANTIDAD

Turbina de Gas	Calidad	Cantidad
Ciclo Simple	Alta/media/baja	Alta/media
Ciclo Combinado	Alta/media/baja	Alta/media
Trigeneración (1)	Media/baja	Alta/media
Secado	Alta	Alta/media
Microtrigeneración	Media/baja	Baja

Motor de Gas	Calidad	Cantidad
Ciclo Simple (2)	Alta/media/baja	Media
Trigeneración (1)	Media/baja	Media
Secado	Alta	Media
Microtrigeneración	Media/baja	Baja

- (1) Generalmente de frío mediante máquinas de absorción de BrLi calidad baja y Amoníaco calidad media
- (2) El 50% de la capacidad de producción de calor es siempre agua caliente (camisas).



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe



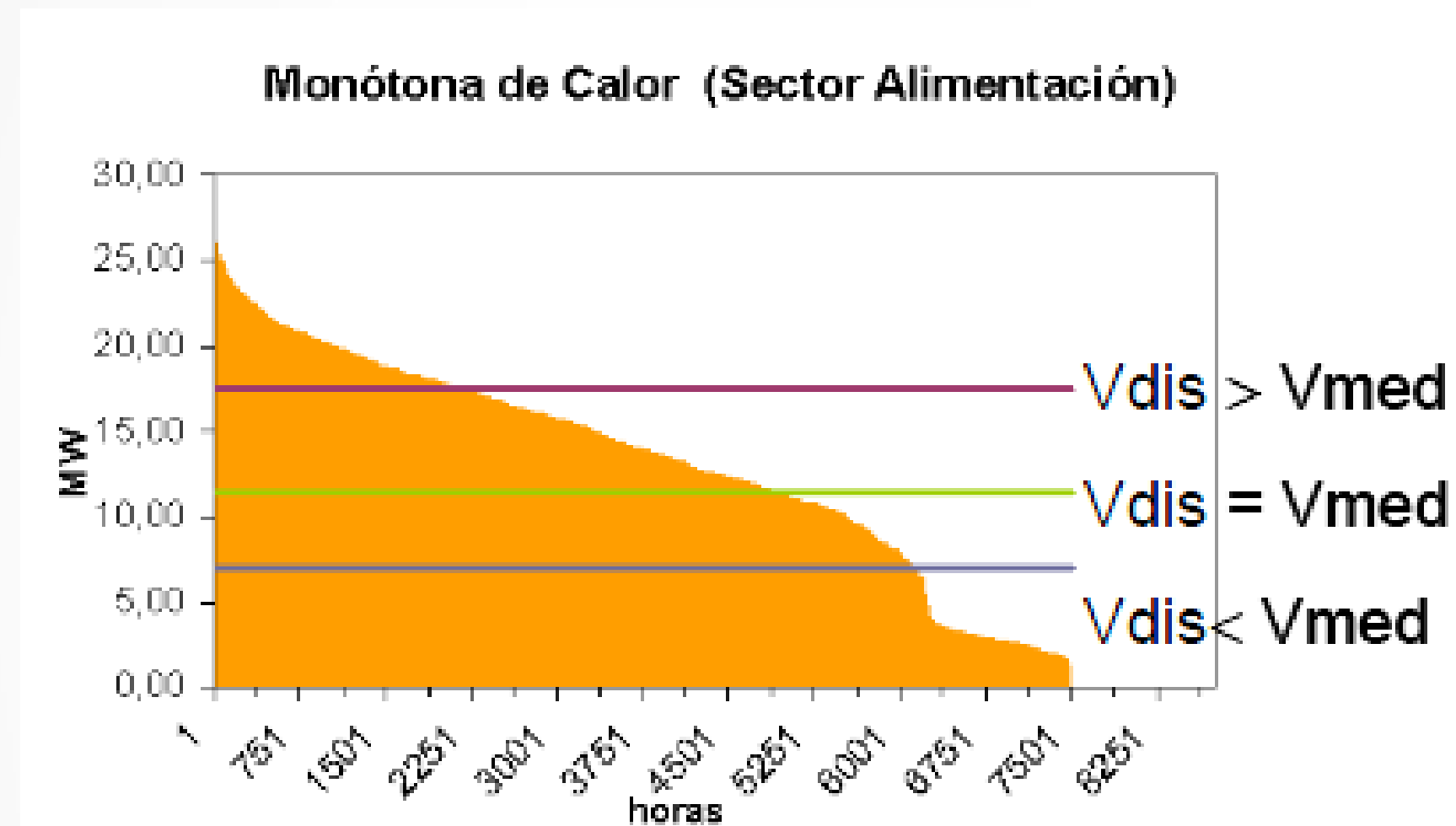
Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



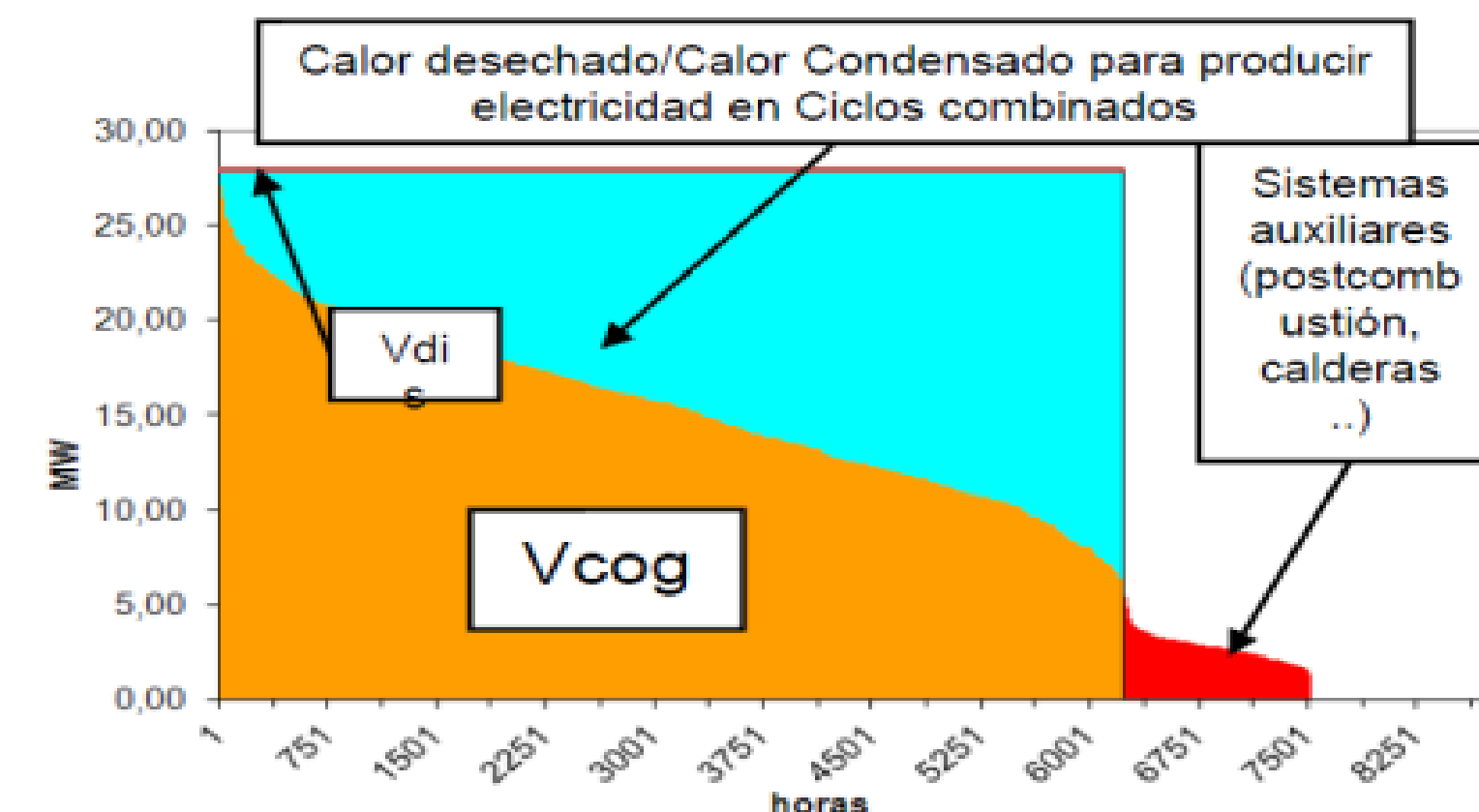
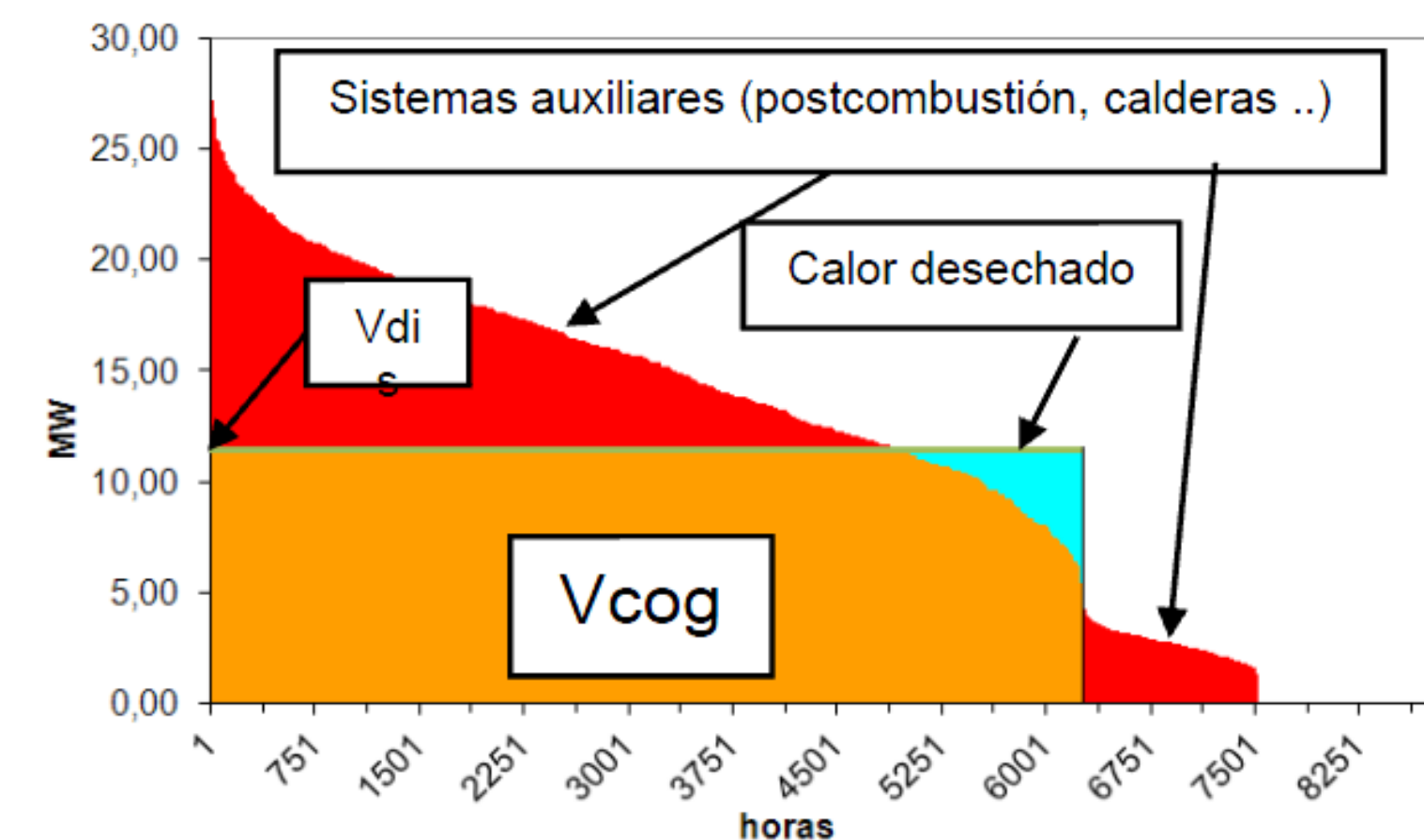
COGENERACIÓN

DETERMINACIÓN DE COGENERACIÓN - POTENCIA TÉRMICA

- Tres posibles potenciales analizables

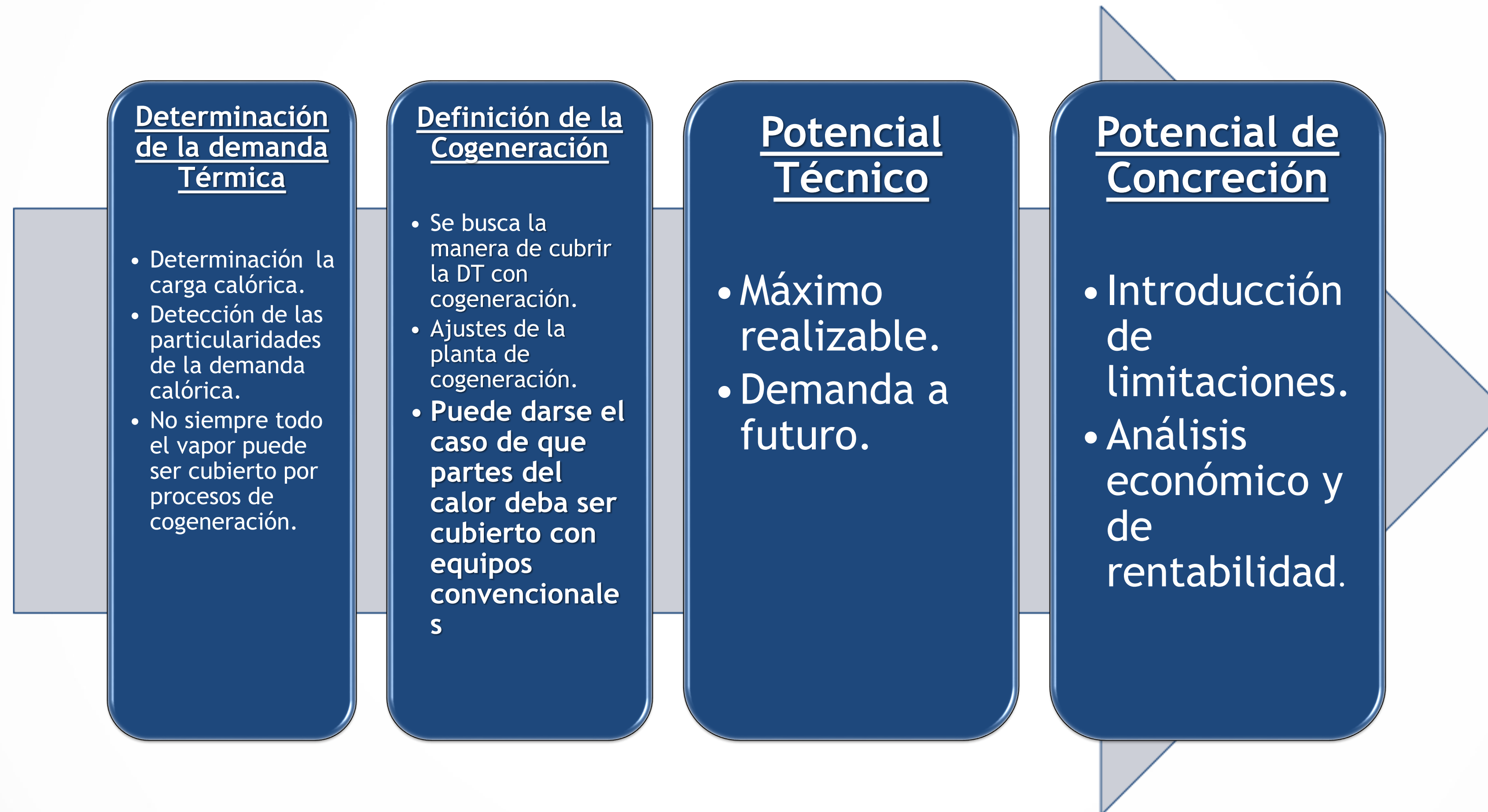


- Alternancia e implicancia



COGENERACIÓN

DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL A COGENERAR EN UNA INDUSTRIA



COGENERACIÓN

CICLOS DE COGENERACIÓN. RESUMEN - APLICACIONES

COGENERACIÓN DE TOPPING:

- 🔥 Ciclo de POTENCIA por encima del ciclo de CALOR
- 🔥 Mayor aprovechamiento de todo el potencial (salto de T)
- 🔥 Aplicable a casos en los cuales la demanda térmica está por debajo de los 450-600° C (aprox.)

COGENERACIÓN DE BOTTOMING:

- 🔥 Ciclo de CALOR por encima del ciclo de POTENCIA
- 🔥 Menores rendimientos (no aprovecha todo el salto de T)
- 🔥 El proceso requiere de muy altas temperaturas (en general superiores a los 500° C)



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



COGENERACIÓN

CICLOS DE COGENERACIÓN - TG A CICLO SIMPLE

CARACTERÍSTICAS:

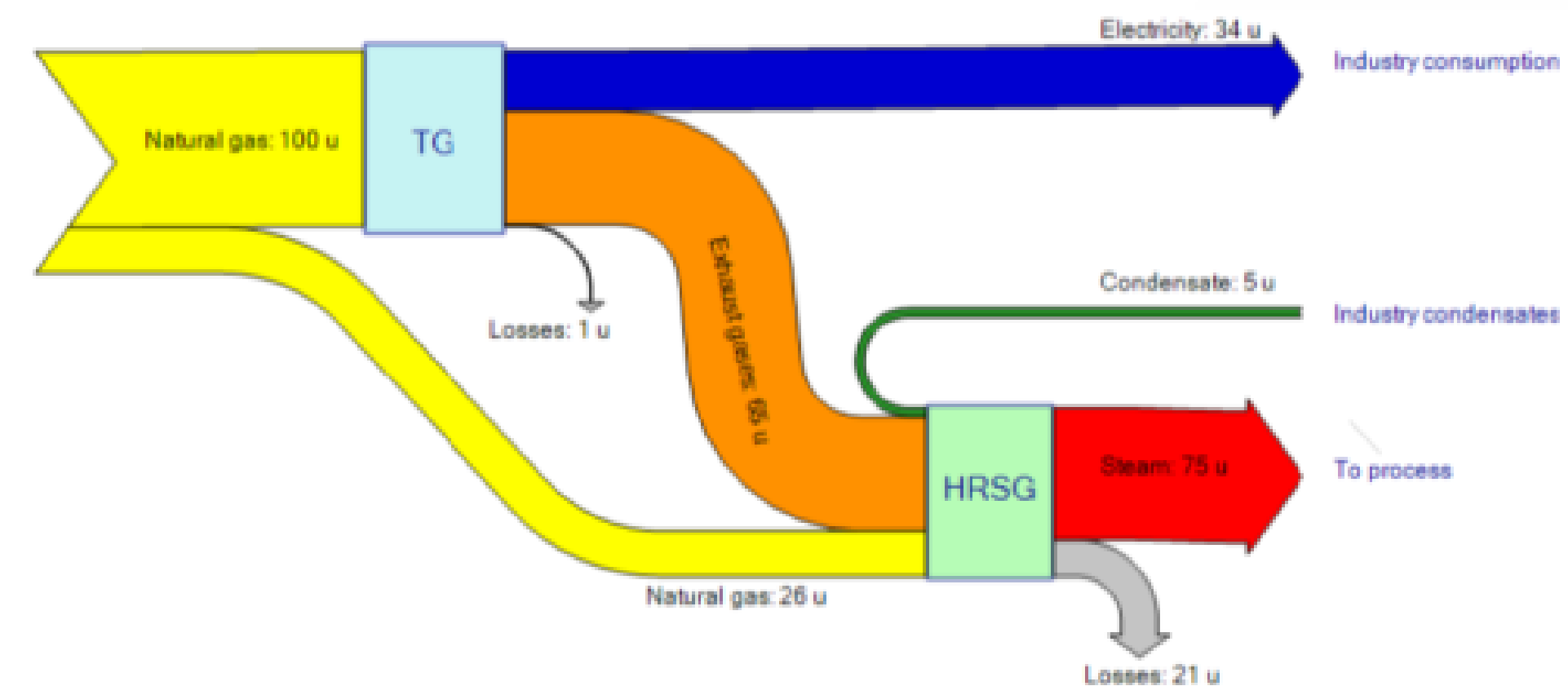
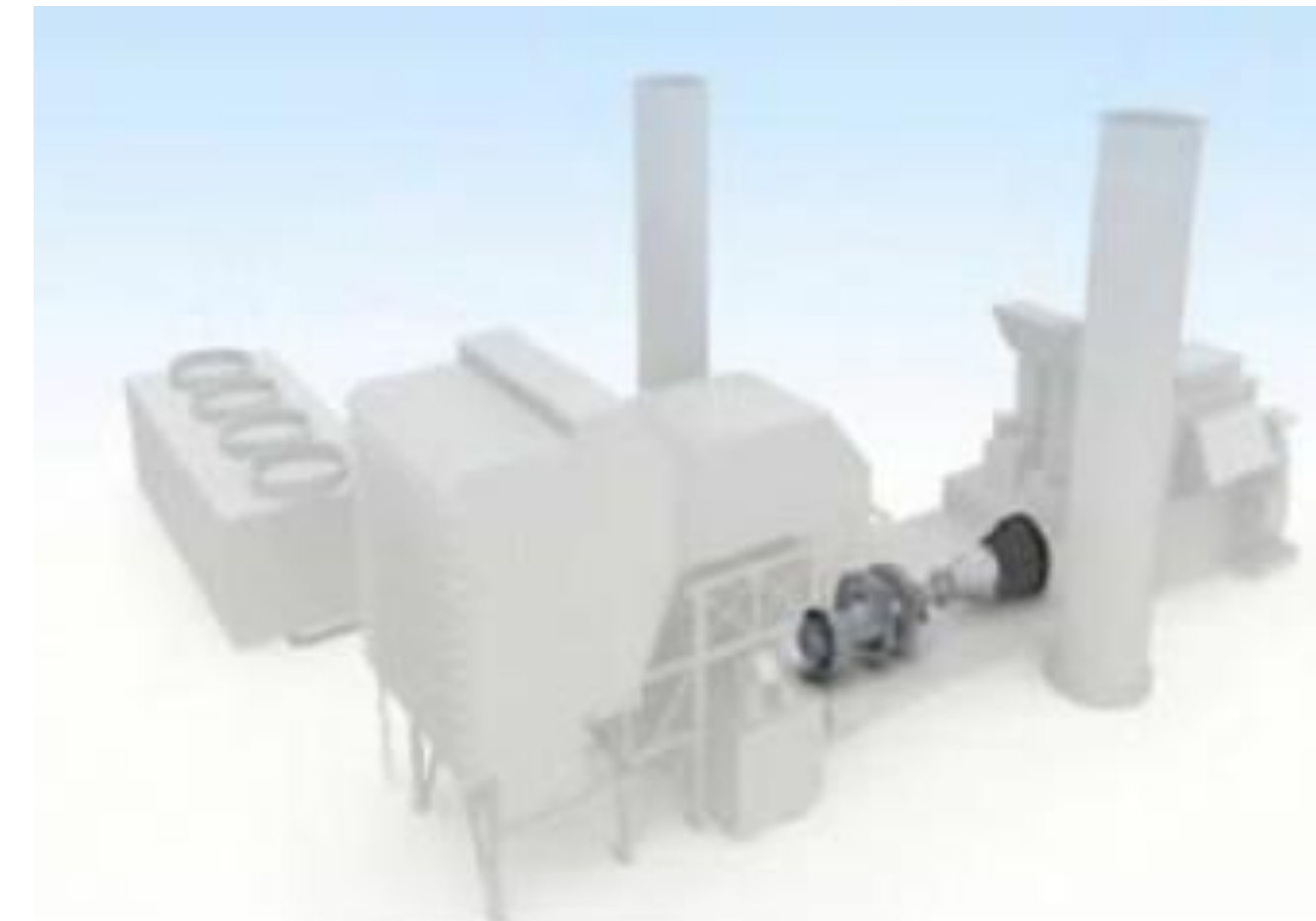
- ✓ Demanda de vapor > 10 t/h
- ✓ Turbinas > 4MW
- ✓ $30\% < \eta_{\text{elect.}} < 40\%$
- ✓ $\eta_{\text{global}} \approx 80-85\%$

USOS:

Industria del papel, químicas, refinerías, alimenticias, etc.

OTROS:

Operativamente muy simple y robusto.



COGENERACIÓN

CICLOS DE COGENERACIÓN - MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

CARACTERÍSTICAS:

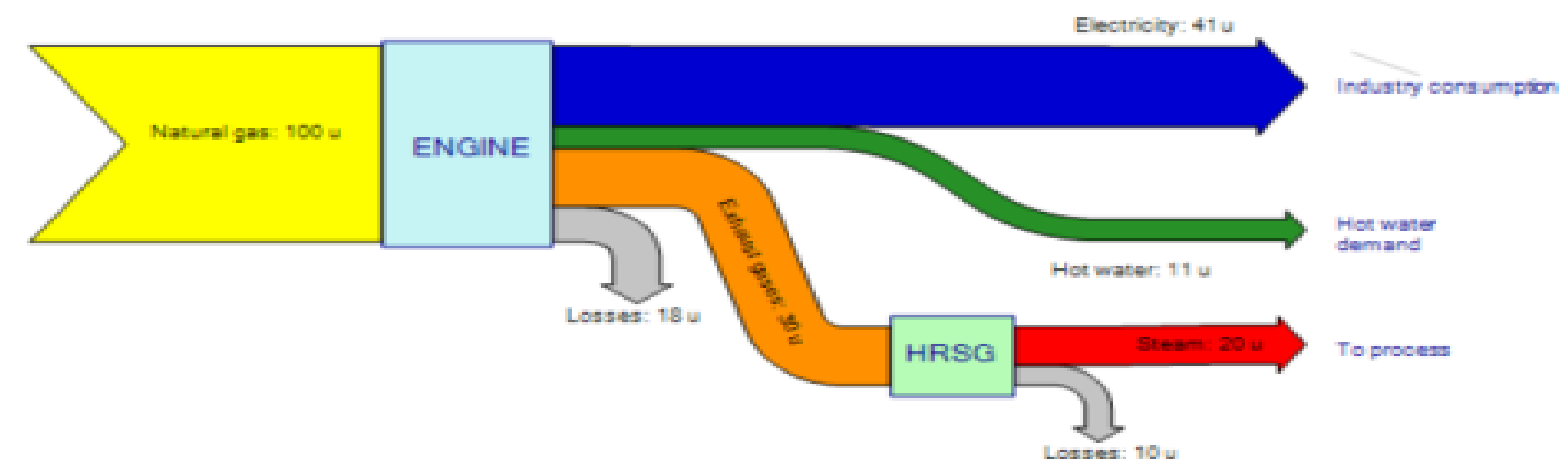
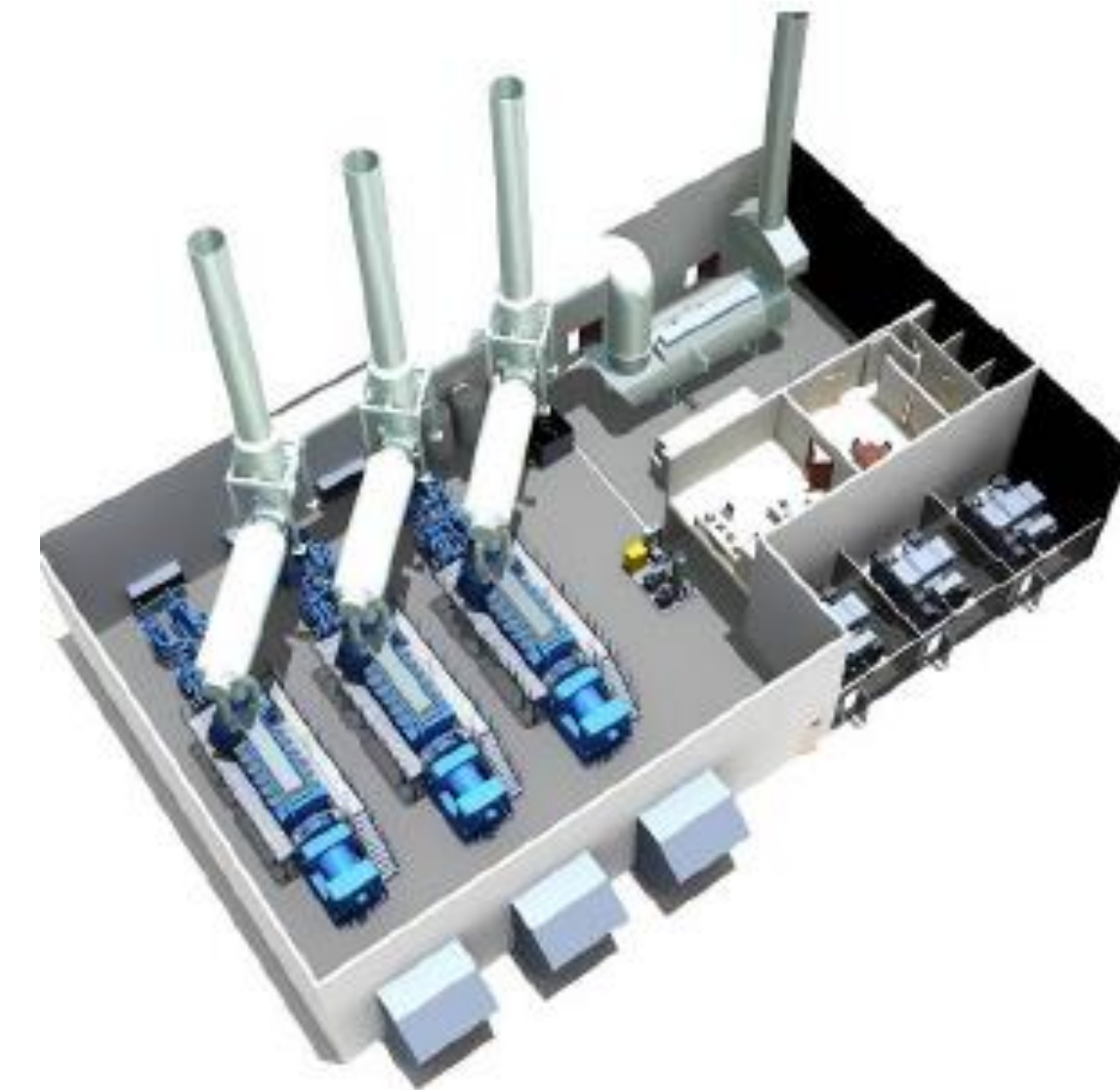
- ✓ Demanda de vapor > 10 t/h
- ✓ Turbinas < 1MW hasta varios MW
- ✓ $30\% < \eta_{\text{elect.}} < 50\%$
- ✓ $\eta_{\text{global}} \approx 70\%$

USOS:

Industria textil, químicas, alimenticias

OTROS:

Operativamente muy simple y robusto

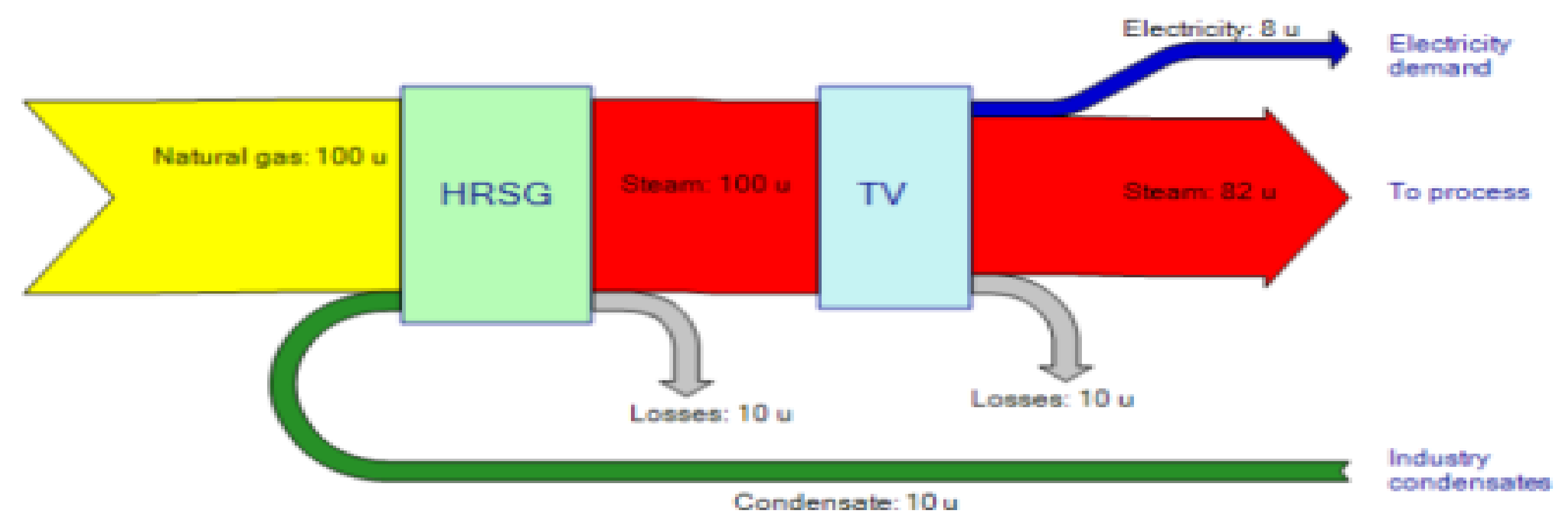


COGENERACIÓN

CICLOS DE COGENERACIÓN - CICLO SIMPLE CON TV

CARACTERÍSTICAS:

- ✓ Hace muchos años que se usa en cogeneración
- ✓ Bajo rendimiento eléctrico
- ✓ Rendimientos globales buenos si se emplean TV a contrapresión
- ✓ Baja relación electricidad - calor útil
- ✓ Elevada confiabilidad



COGENERACIÓN

CICLOS DE COGENERACIÓN - CICLO COMBINADO A CONTRAPRESIÓN

CARACTERÍSTICAS:

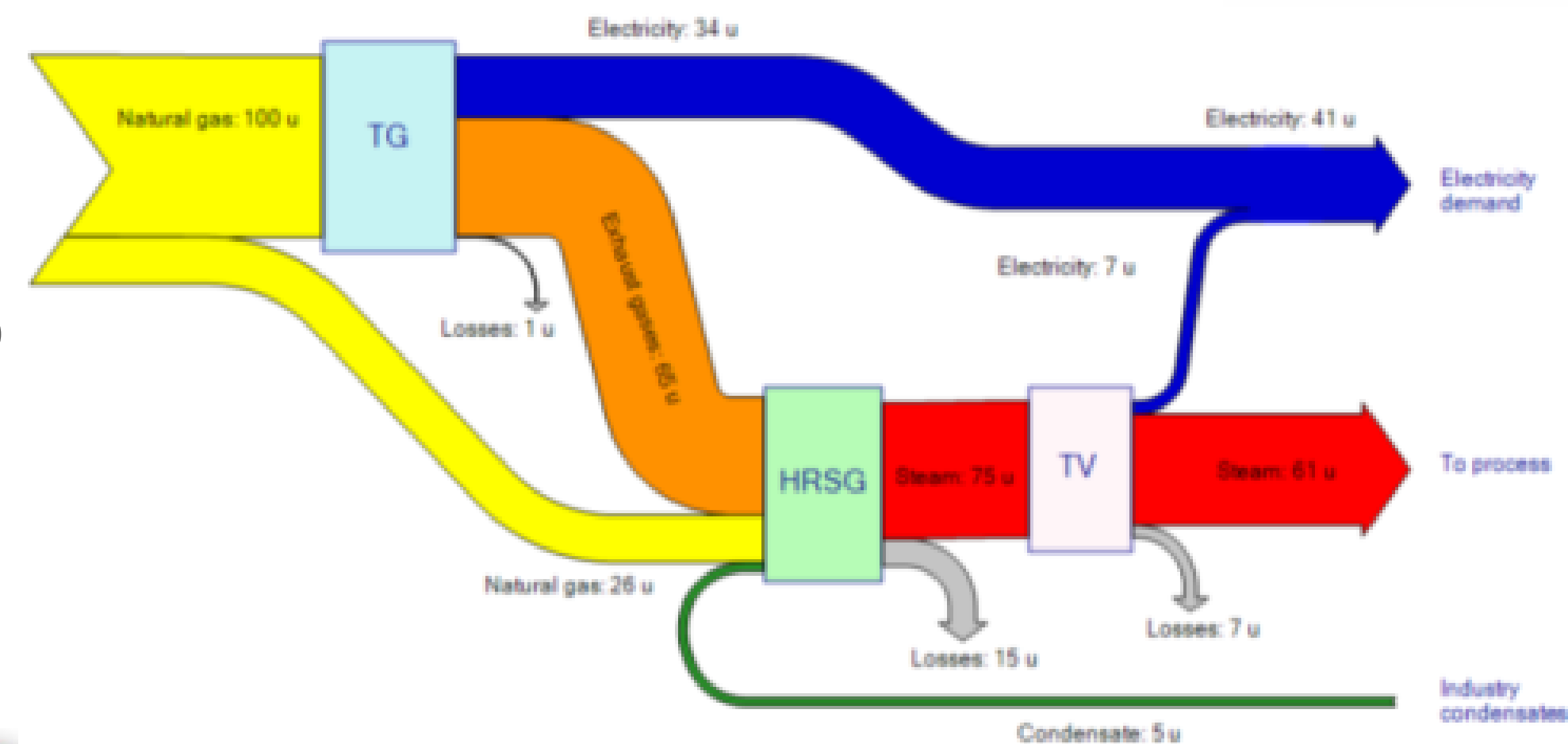
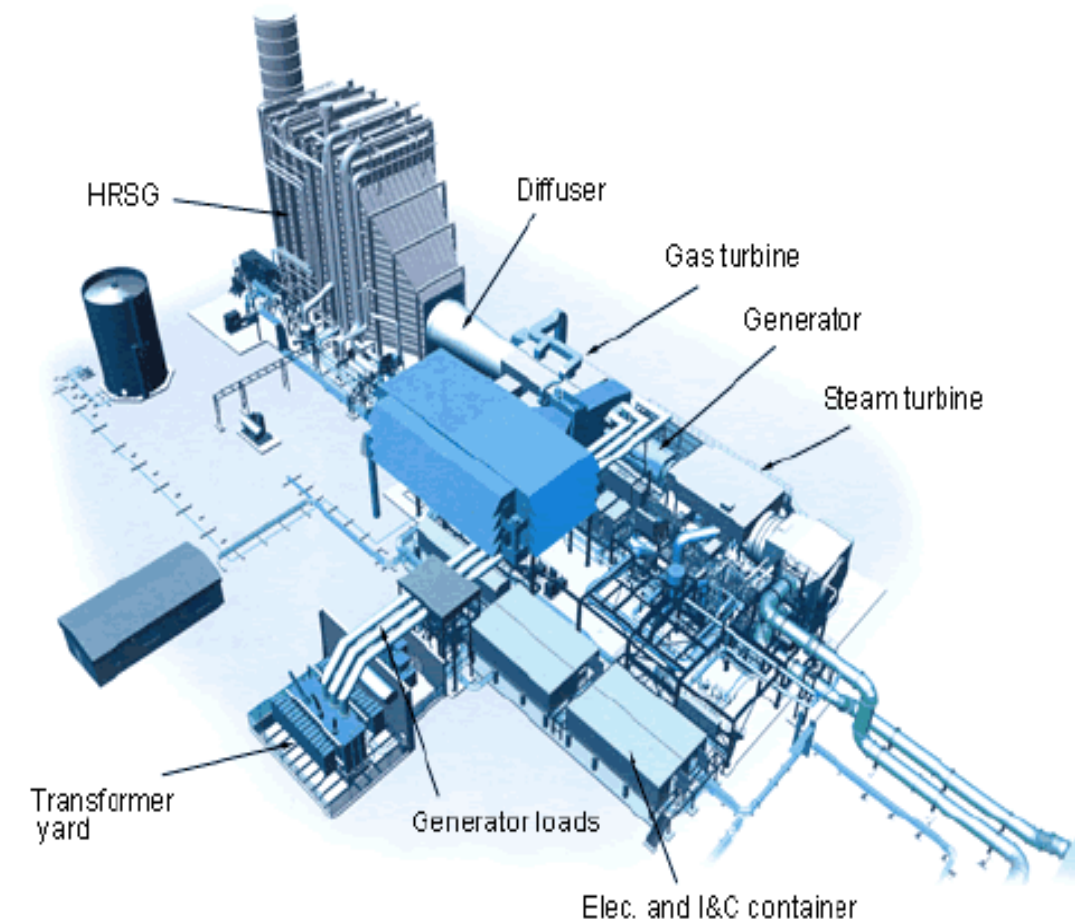
- ✓ $\eta_{\text{elect.}} >$ al Ciclo Simple
- ✓ Alta relación Electricidad - Calor Útil
- ✓ $7 \text{ MW} < \text{Potencias} < 400 \text{ MW}$

USOS:

Se puede usar en diversos sectores

OTROS:

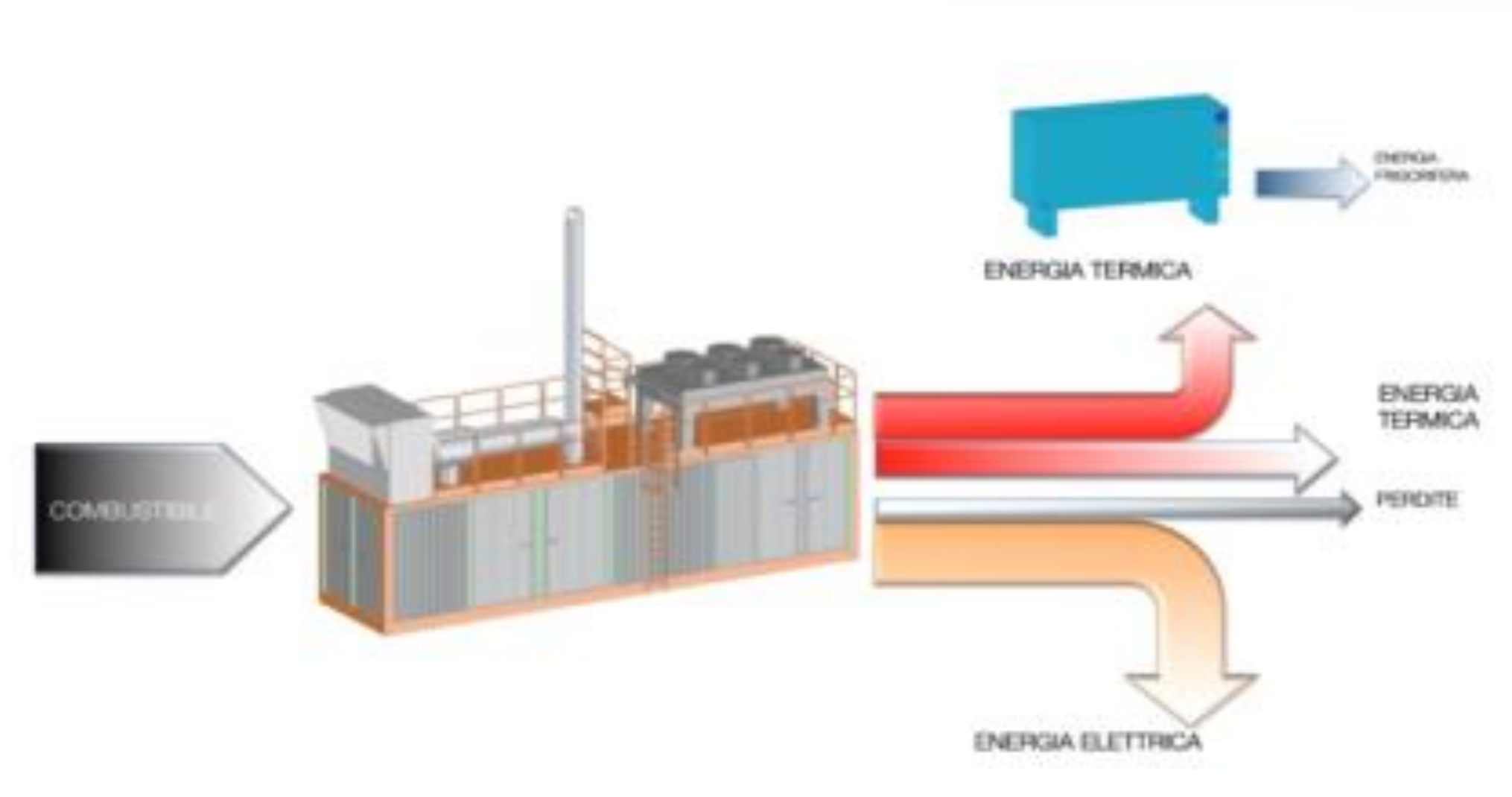
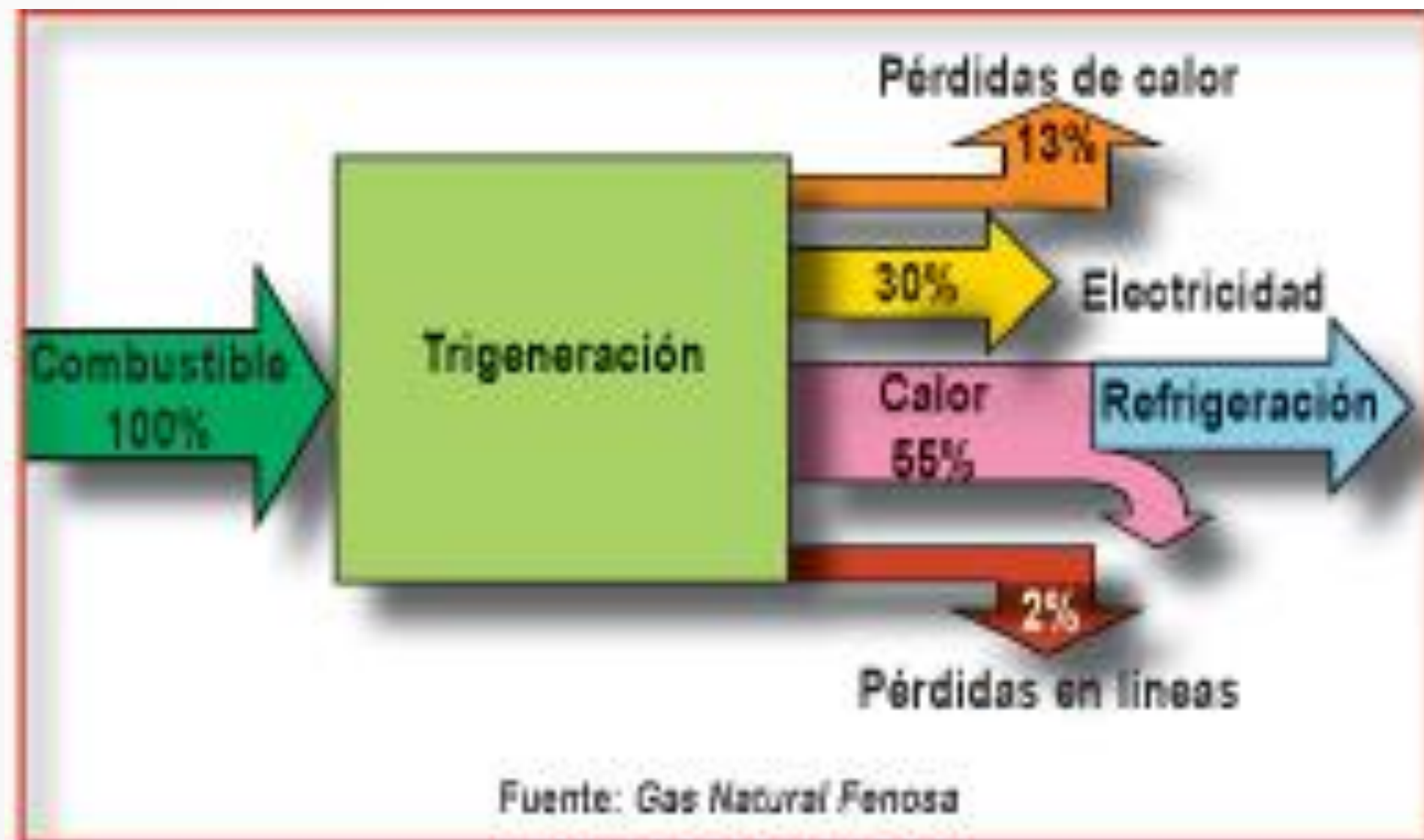
Las TV a contrapresión dan un margen acotado de flexibilidad



COGENERACIÓN

CICLOS DE COGENERACIÓN - TRIGENERACIÓN

- ✓ A la generación de electricidad y vapor, se le agrega la producción de “frío” (agua a 7°C), mediante una máquina de absorción y una torre de refrigeración.
- ✓ Puede darse con motores de CI, TG, Calderas + TV y CC con TV



COGENERACIÓN

EQUIPOS PRINCIPALES - PRESENTACIÓN GENERAL

Generación de Potencia

- Turbinas de gas
- Microturbinas
- Motores de combustión interna
- Turbinas de vapor

Generación de Calor

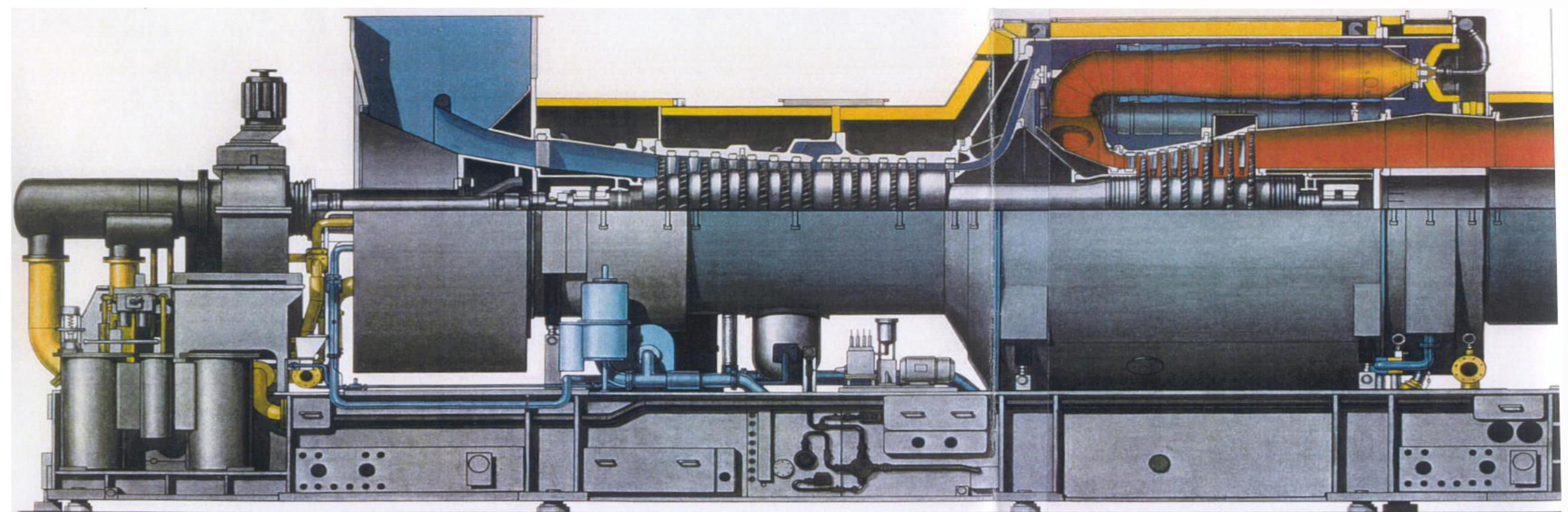
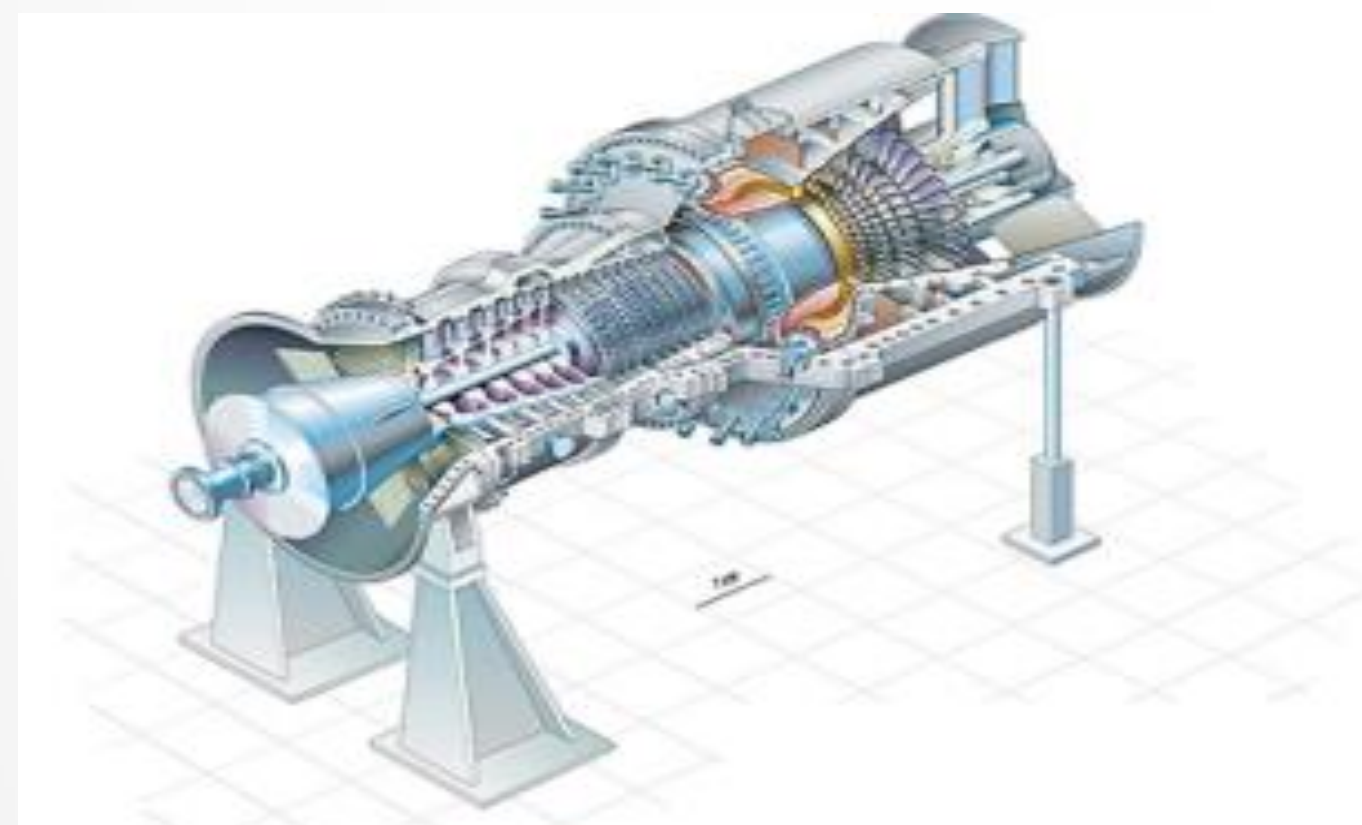
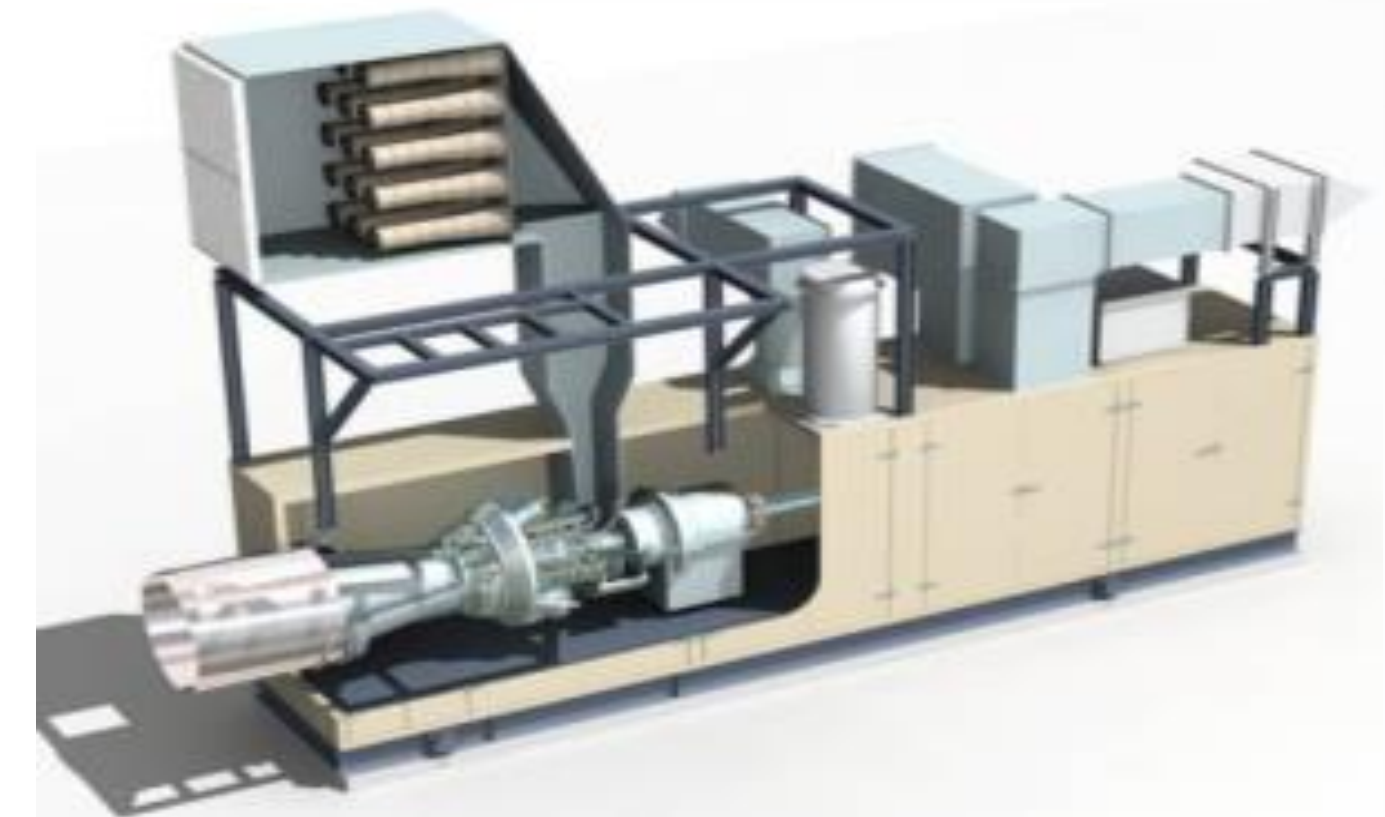
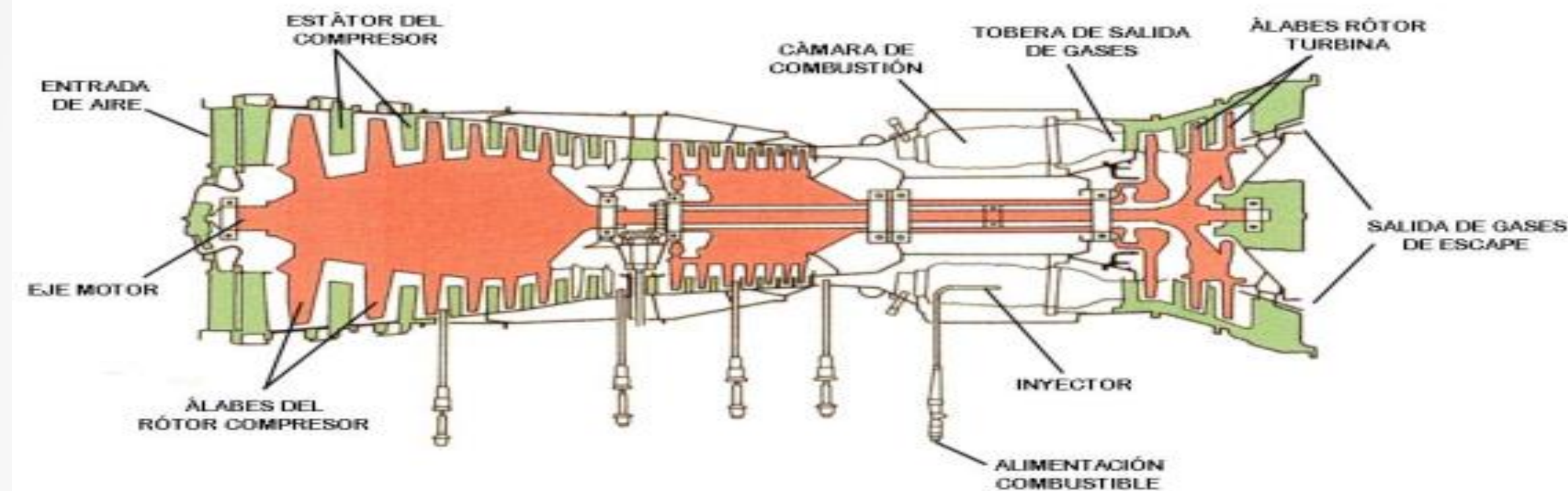
- Calderas / Recuperadores de Calor
- Hornos
- Intercambiadores

Generación de frío

- Unidad de Absorción

COGENERACIÓN

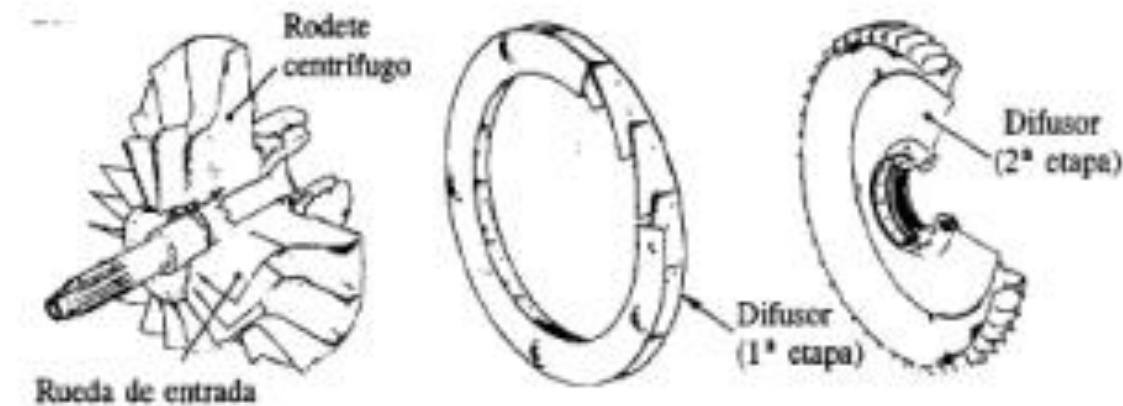
EQUIPOS - POTENCIA - TURBINAS DE GAS



COGENERACIÓN

EQUIPOS - POTENCIA - TURBINAS DE GAS

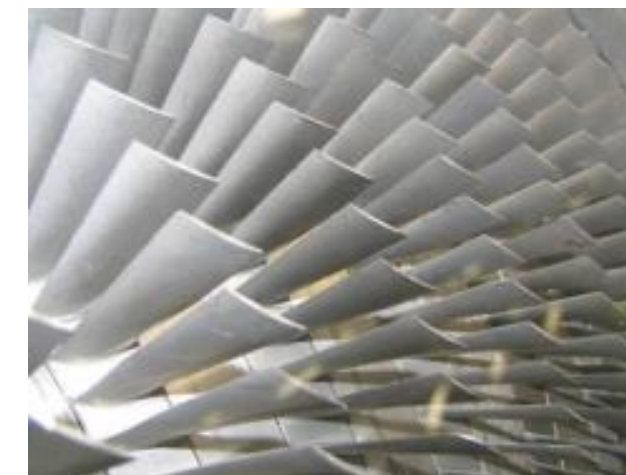
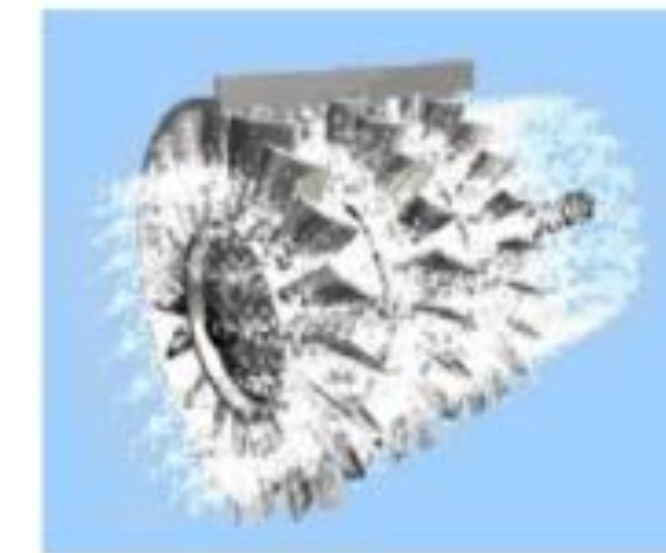
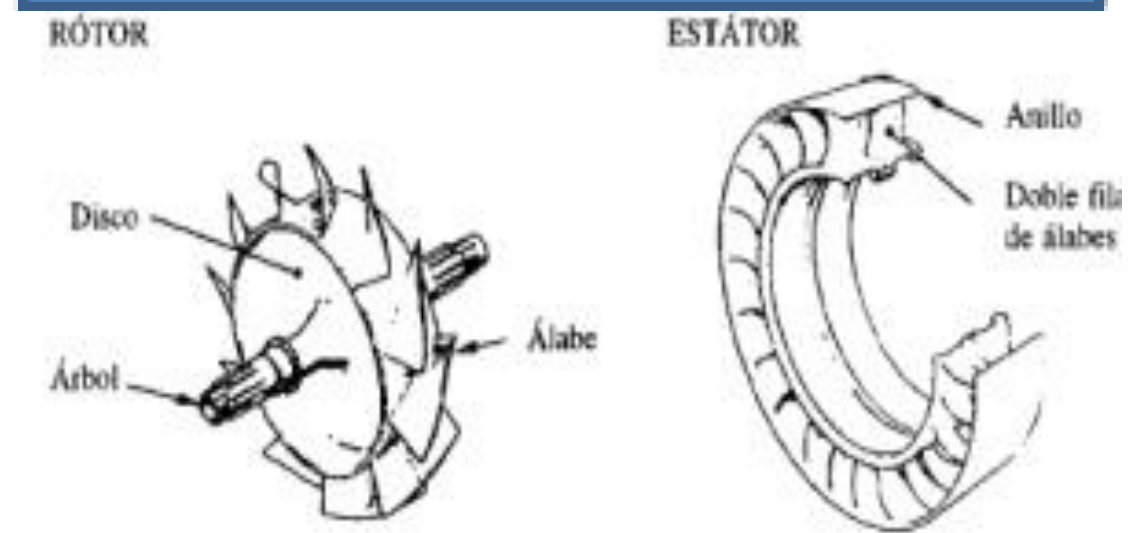
Compresor Centrífugo



Álabes



Compresor Axial



COGENERACIÓN

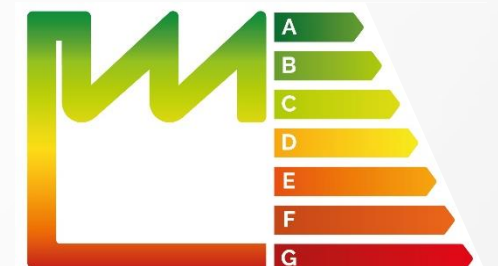
EQUIPOS - POTENCIA - TURBINAS DE GAS



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



COGENERACIÓN

EQUIPOS - POTENCIA - TURBINAS DE GAS



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



COGENERACIÓN

EQUIPOS - POTENCIA - TURBINAS DE GAS



Relación Combustible/aire << Relación Estequiométrica

Permite controlar la temperatura, sino serían muy elevadas para los materiales constructivos de las turbinas.



COGENERACIÓN

EQUIPOS - POTENCIA - TURBINAS DE GAS



- Turbogenerador de 2x5,7 MW
- Caldera de recuperación, Acuotubular con Postcombustión
- Vapor saturado a 14 bar
- Uso: sector petroquímico

- Turbogenerador de 3,5 MW
- Ciclo abierto
- Uso: Sector Investigación



COGENERACIÓN

EQUIPOS - POTENCIA - TURBINAS DE GAS - EFICIENCIAS

La relación de consumo de combustible y potencia son muy dependientes de las condiciones ambientales (temperatura, altitud, presión y humedad ambiente).

El fabricante provee su hoja de datos en condiciones ISO:

- Temperatura ambiente = 15°C
- Altitud a nivel del mar = 0
- Presión atmosférica = 101,325 kPa (abs)
- Humedad relativa = 60%



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe

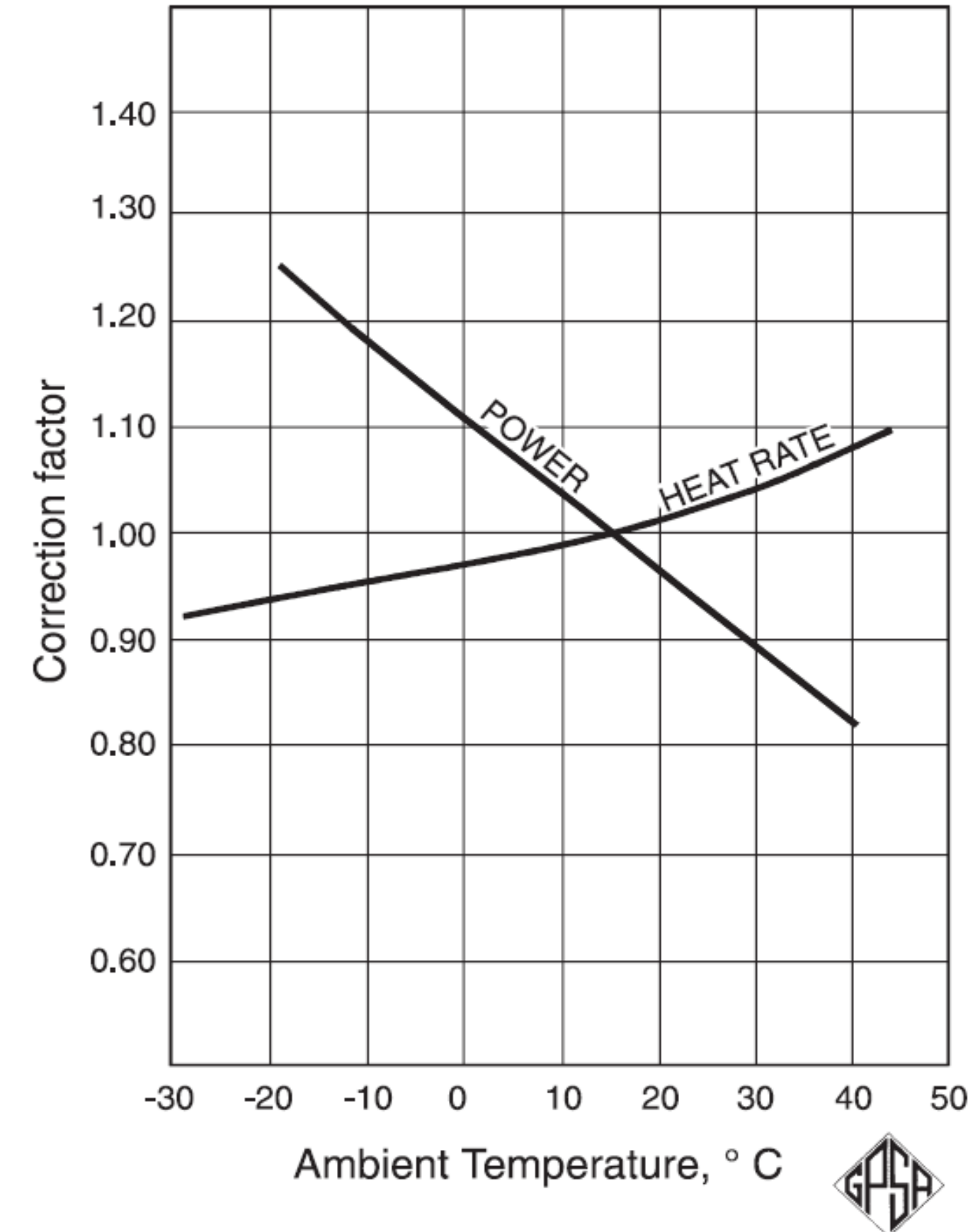
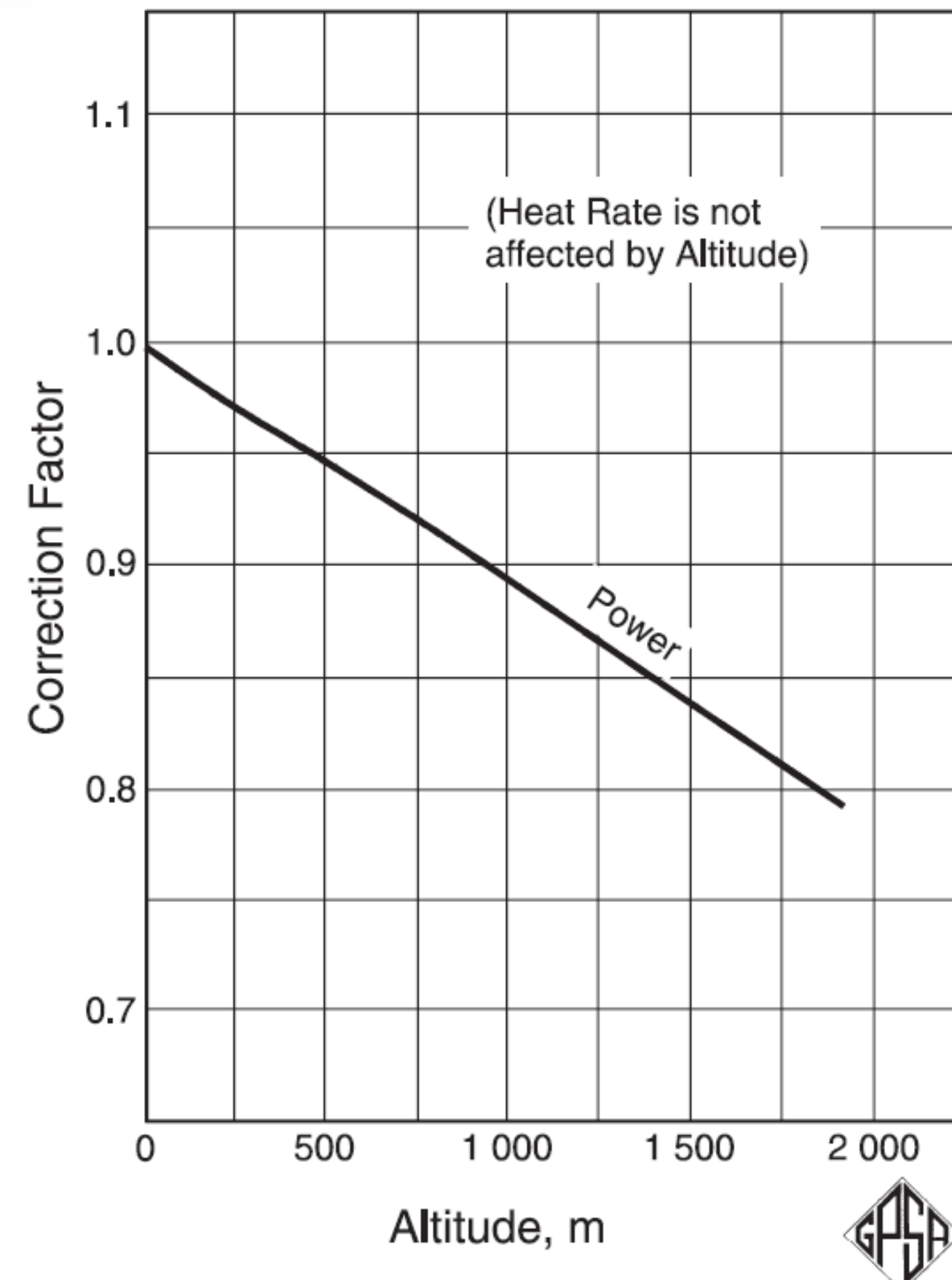


Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



COGENERACIÓN

EQUIPOS - POTENCIA - TURBINAS DE GAS - EFICIENCIAS

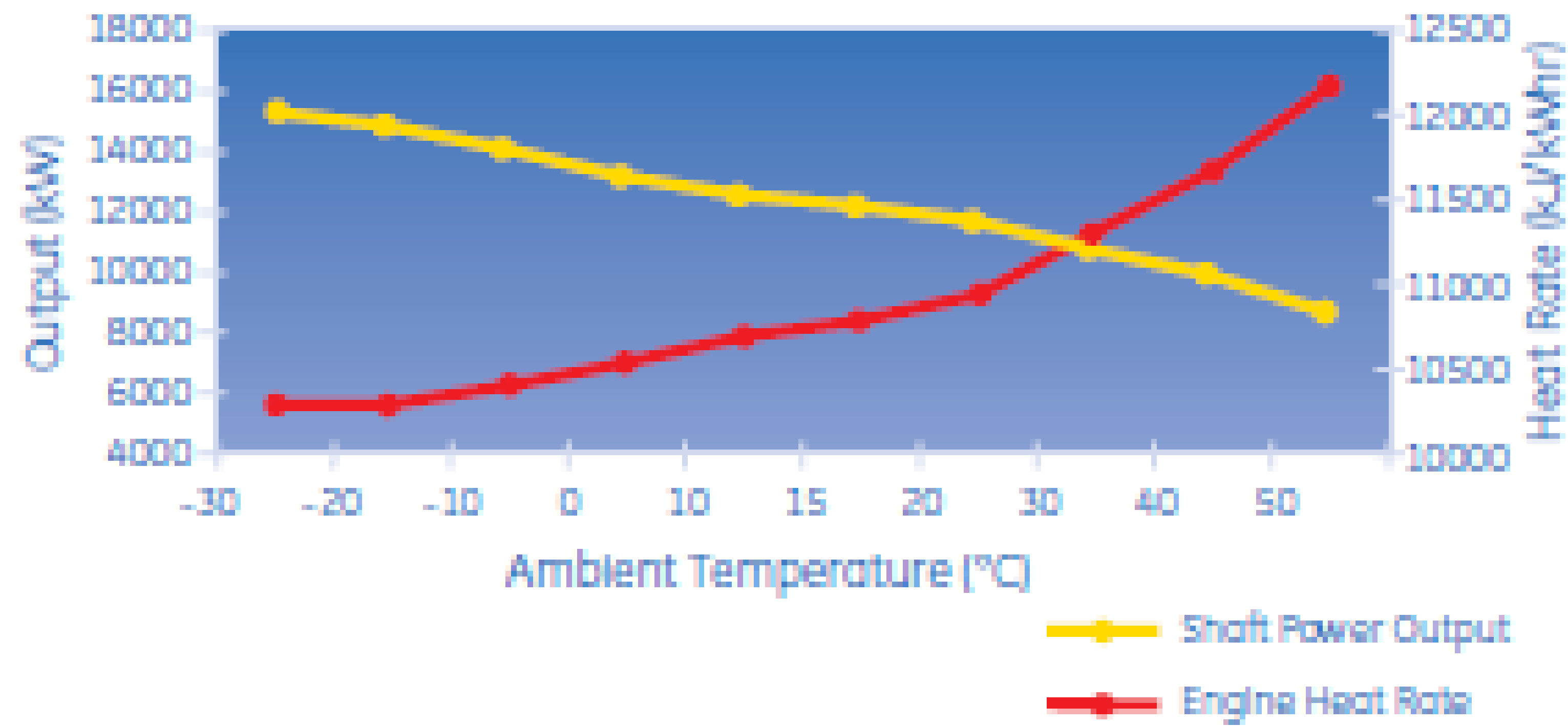


COGENERACIÓN

EQUIPOS - POTENCIA - TURBINAS DE GAS - EFICIENCIAS

GE10-2 Output & Heat Rate

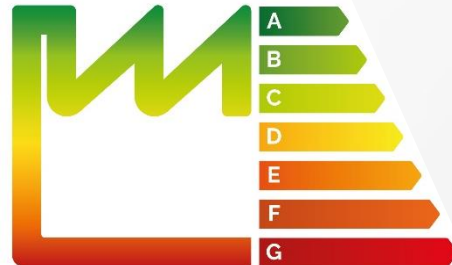
GE10-2 (ISO Conditions Standard Combustor)	
Electrical Output (kW)	11982
Electrical Efficiency (%)	33.3
Exhaust Flow (kg/sec)	47.0
Exhaust Temperature (°C)	480



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe
















Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



COGENERACIÓN

EQUIPOS - POTENCIA - TURBINAS DE GAS - CATÁLOGO GE

Generator Drive (ISO conditions - natural gas - electrical generator terminals)

	ISO RATED POWER kW	HEAT RATE kJ/kWh	EFFIC. %	PRESSURE RATIO	EXHAUST FLOW		TURBINE SPEED RPM	EXHAUST TEMPERATURE	
					kg/sec	lbs/sec		°C	°F
 GE10-1	11,250	11,489	31.4	15.5	47.5	104.7	11,000	482	900
 PGT16	13,720	10,295	35.0	20.2	47.3	104.3	7,900	491	919
 PGT20	17,464	10,238	35.2	15.7	62.5	137.7	6,500	475	887
 PGT25	22,417	9,919	36.3	17.9	68.9	151.9	6,500	525	976
 PGT25+	30,226	9,084	39.6	21.5	84.3	185.9	6,100	500	931
 PGT25+G4	33,057	9,047	40.0	23.2	89.6	197.7	6,100	510	950
 LM6000*	42,262	8,787	41.1	28.0	125.0	275.0	3,600	455	851
 LMS100*	98,196	7,997	45.0	40.0	206.9	456.0	3,600	417	782
 MS5001	26,830	12,687	28.4	10.5	125.2	276.1	5,094	483	901
 MS5002E*	31,100	10,285	35.0	17.0	102.0	225.0	5,714	511	952
 MS6001B	42,100	11,230	32.1	12.2	141.1	311.0	5,163	548	1,026
 MS7001EA	85,400	10,990	32.7	12.6	292.0	643.0	3,600	537	998
 MS9001E	126,100	10,650	33.8	12.6	418.0	921.0	3,000	543	1,009

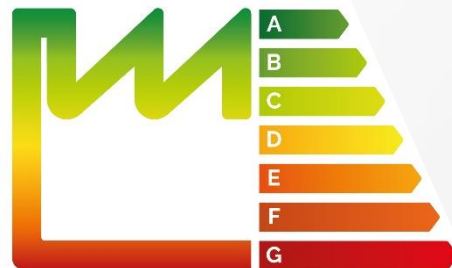
(*) DLE Combustion



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe



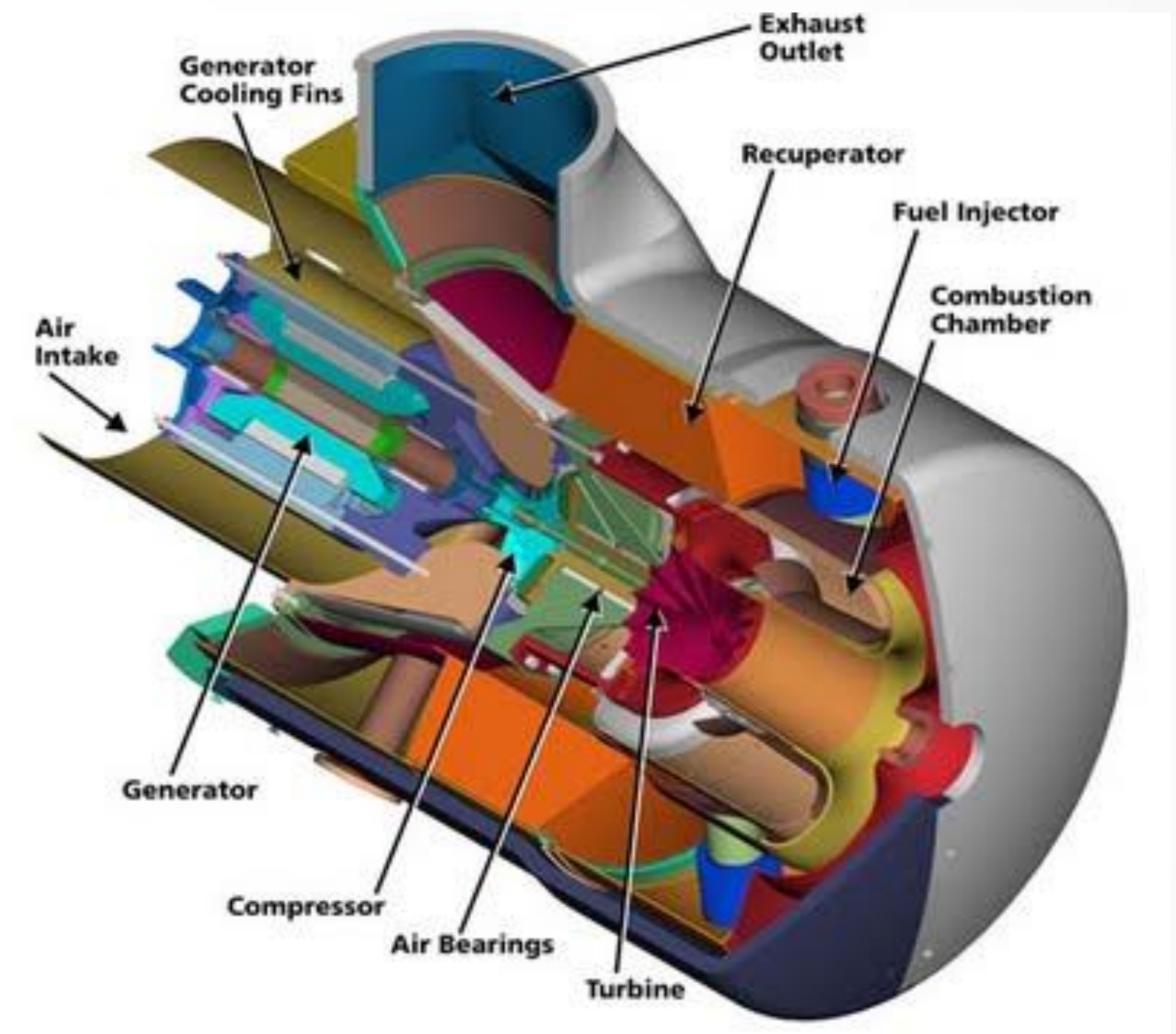
Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



COGENERACIÓN

EQUIPOS - POTENCIA - MICROTURBINAS

- Puede operar conectada a la red eléctrica o en forma aislada
- Rendimiento eléctrico: 29%*
- Potencia eléctrica: 65kW
- Recuperación de calor para generación de agua caliente
- Potencia térmica: 120kW*
- Rendimiento total del sistema: 82%
- Se instalan en forma individual o Multi-pack
- Opera en una variedad de combustibles
 - ✓ GN a alta o baja presión
 - ✓ Biogás (rellenos sanitarios, centro de tratamiento de efluentes líquidos, anaeróbicos)
 - ✓ Gases de antorcha
 - ✓ Diesel
 - ✓ Propano
 - ✓ Kerosene



COGENERACIÓN

EQUIPOS - POTENCIA - MICROTURBINAS



Ejemplo de 3 microturbinas trabajando en paralelo.



Capstone fabrica varios tamaños de Microturbinas: 30kW, 65kW y 200kW. Ofrecen configuraciones en base a Turbinas de 200kW (600kW, 800kW, 1MW),

<http://www.capstoneturbine.com/prodsol/products/>



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe

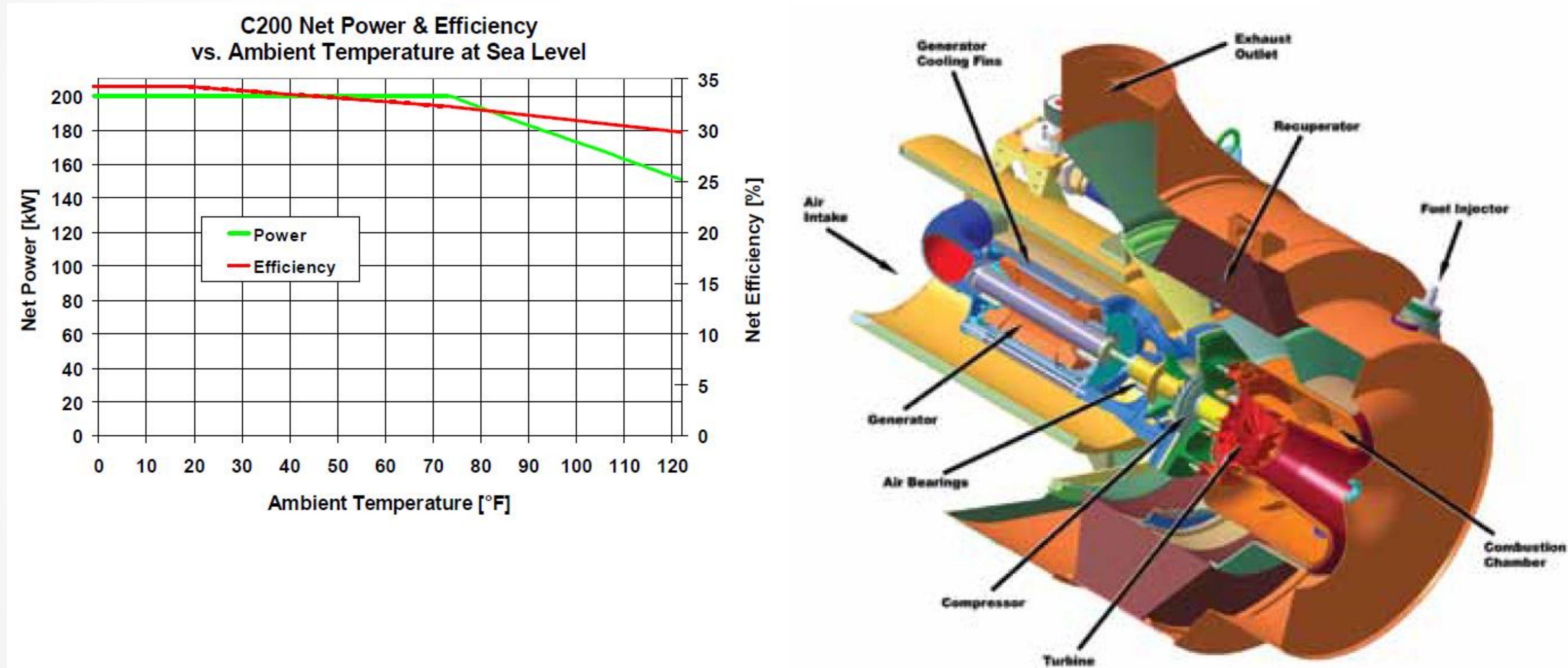


Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



COGENERACIÓN

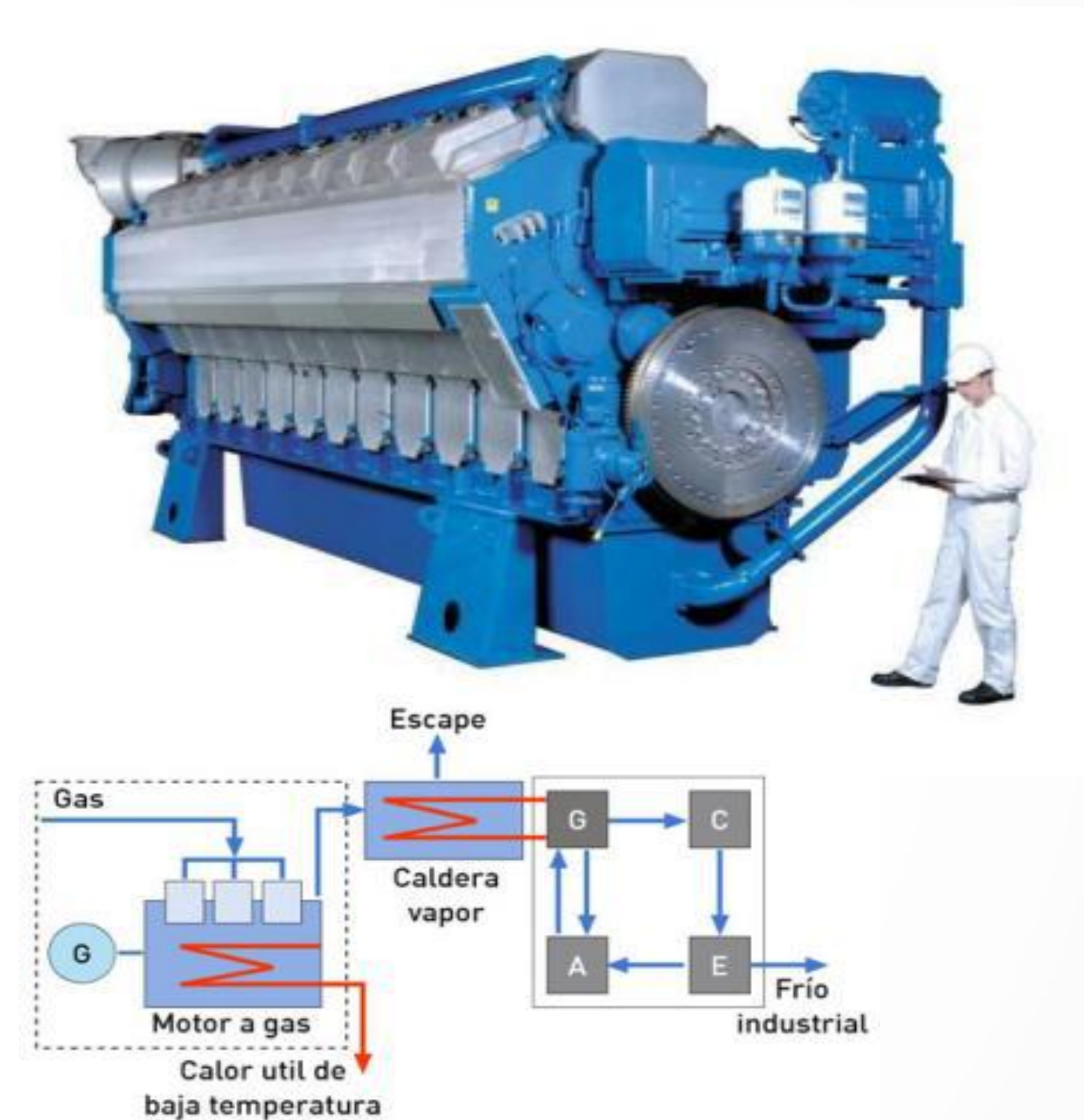
EQUIPOS - POTENCIA - MICROTURBINAS - EFICIENCIA



COGENERACIÓN

EQUIPOS - POTENCIA - MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

- La potencia oscila entre 10 kW y 50MW
- Lo aconsejable en aplicaciones de uso industrial son motores > 1MW
- Operan con gas natural, gasoil y en algunos casos destilados refinados
- Requieren un sistema de refrigeración
- Recuperan calor a bajas Temperaturas, lo que los hace más difícil de aplicar

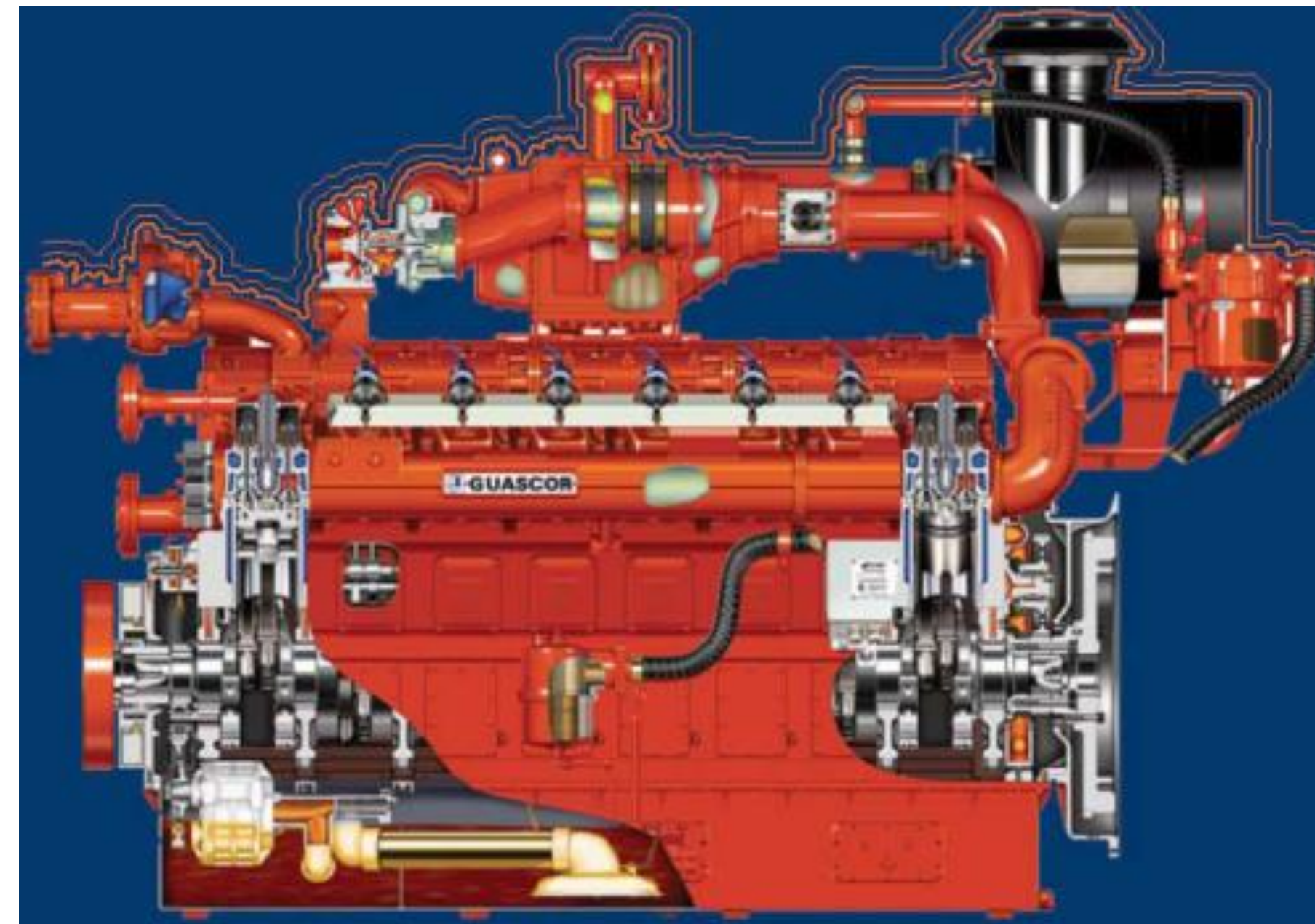
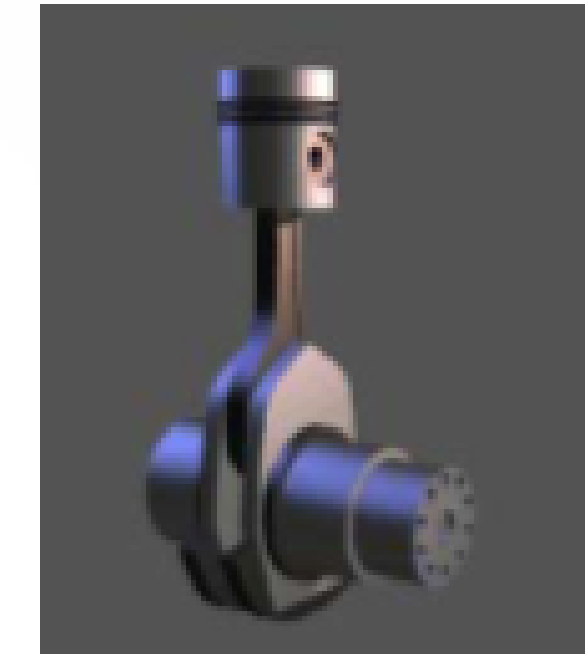
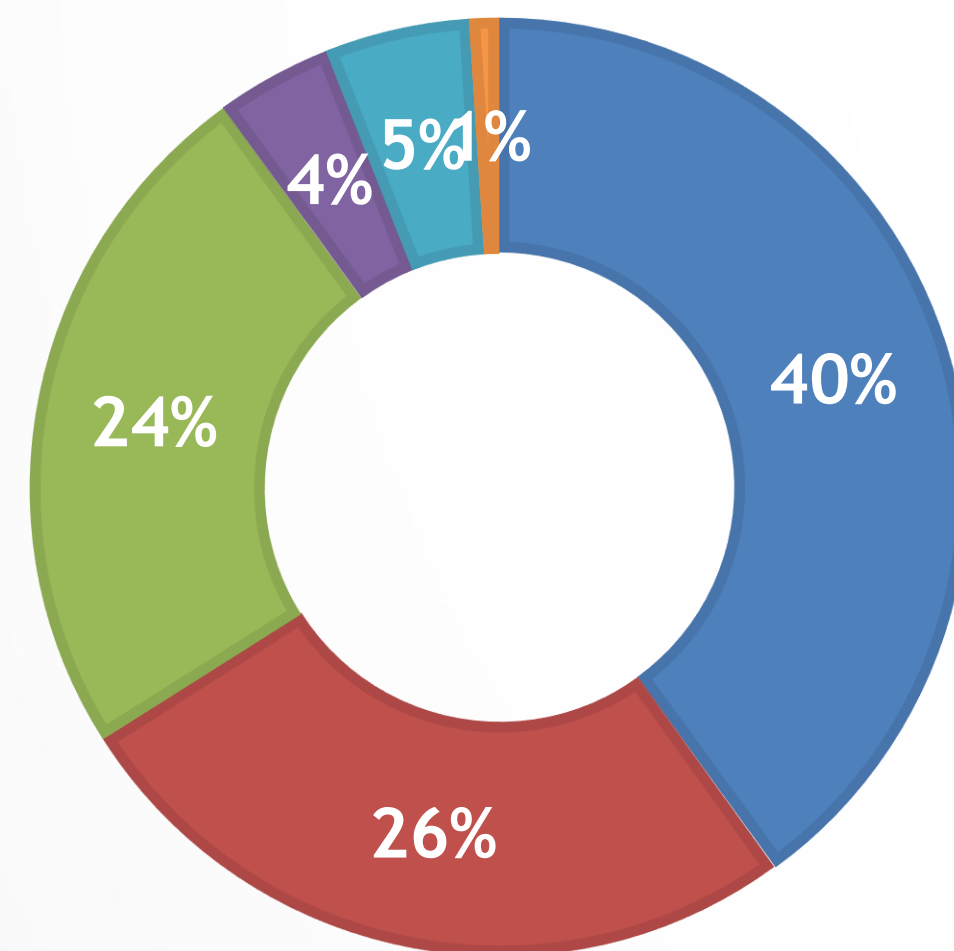


COGENERACIÓN

EQUIPOS - POTENCIA - MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

Transformación de la energía
del combustible en MCI

- Mecánica
- Bloque/Cilindro
- Escape
- Aceite
- Intercooler
- Radiación



COGENERACIÓN

EQUIPOS - POTENCIA - MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA



APLICACIONES REALES PARA:

- ✓ Calentamiento de Aire
- ✓ Vapor de baja presión y/o agua caliente

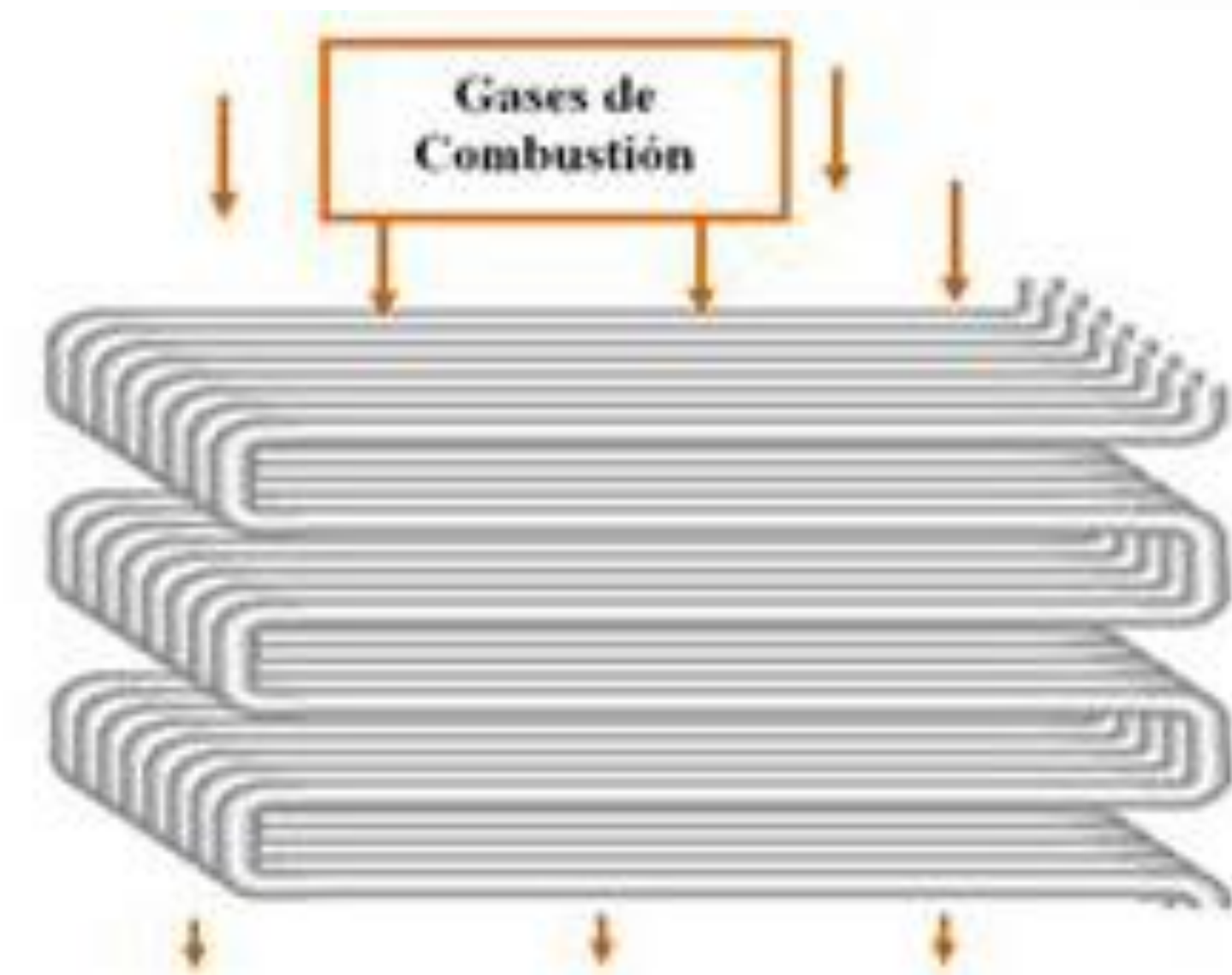
Por lo general hay varias versiones del mismo motor para cubrir distintas necesidades de calor

COGENERACIÓN

EQUIPOS - CALOR - RECUPERADOR DE GASES CALIENTES

SON INTERCAMBIADORES DE CALOR QUE RECUPERAN EL CALOR RESIDUAL DE LOS GASES DE ESCAPE PARA CALENTAR OTRA CORRIENTE

- ✓ En las calderas se incorporan con esta función: economizadores y precalentadores de aire
- ✓ En hornos de procesos
- ✓ Equipo de intercambio de ductos



COGENERACIÓN

EQUIPOS - CALOR - HORNOS DE PROCESOS

- ✓ Se aplican cuando el proceso requiere temperaturas muy elevadas (calentamiento directo del fluido de procesos)
- ✓ Aprovechamiento del calor residual para generar potencia



COGENERACIÓN

EQUIPOS - FRÍO - MÁQUINAS DE ABSORCIÓN

GENERA FRÍO A PARTIR DE ENERGÍA TÉRMICA
OBTENIDA MEDIANTE RECUPERACIÓN

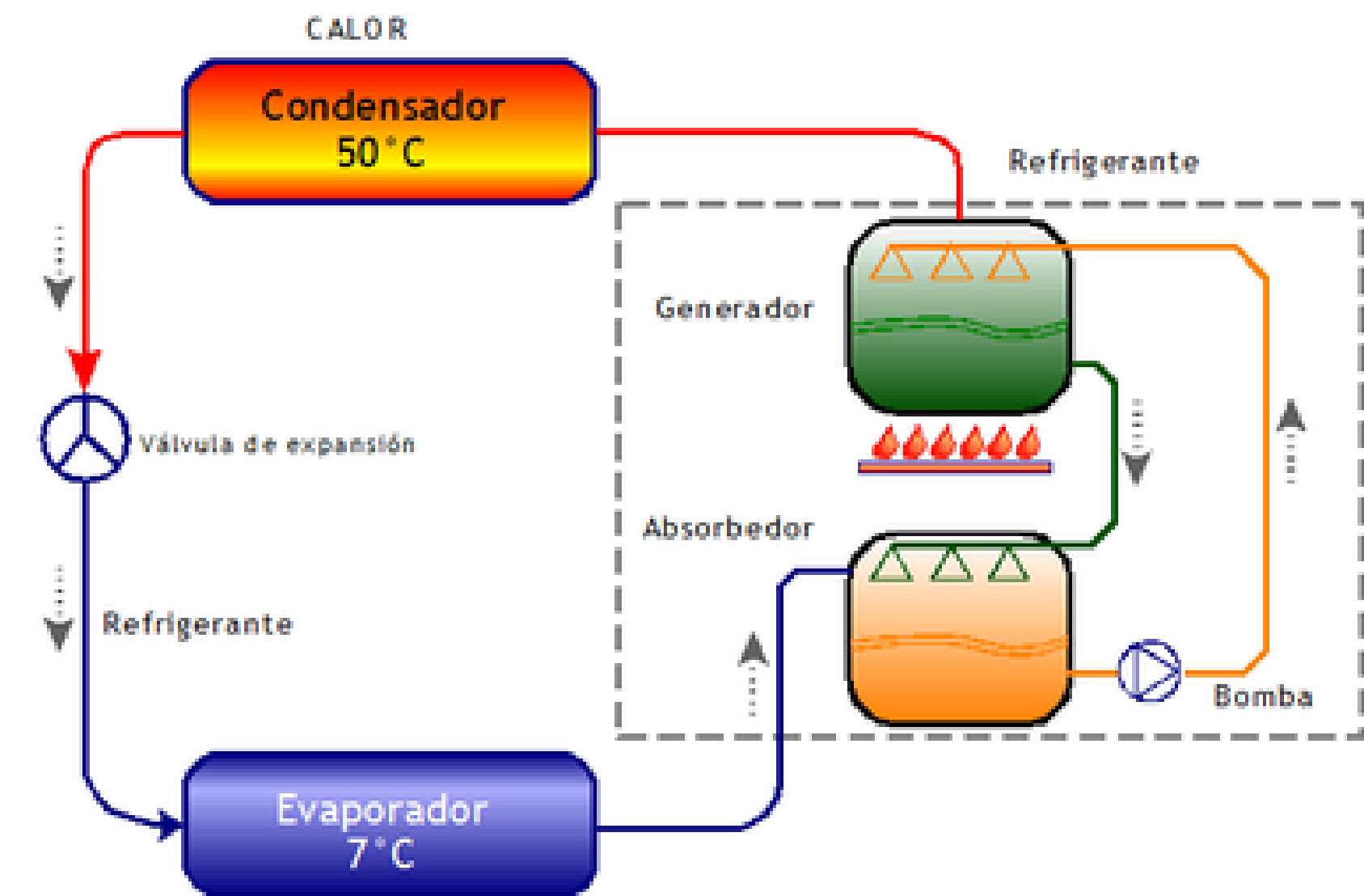
Se pueden clasificar

1. Según nivel térmico

- Basadas en LiBR -> hasta 6° C
- Basadas en NH₃ -> hasta -40° C

2. Según grado de optimización

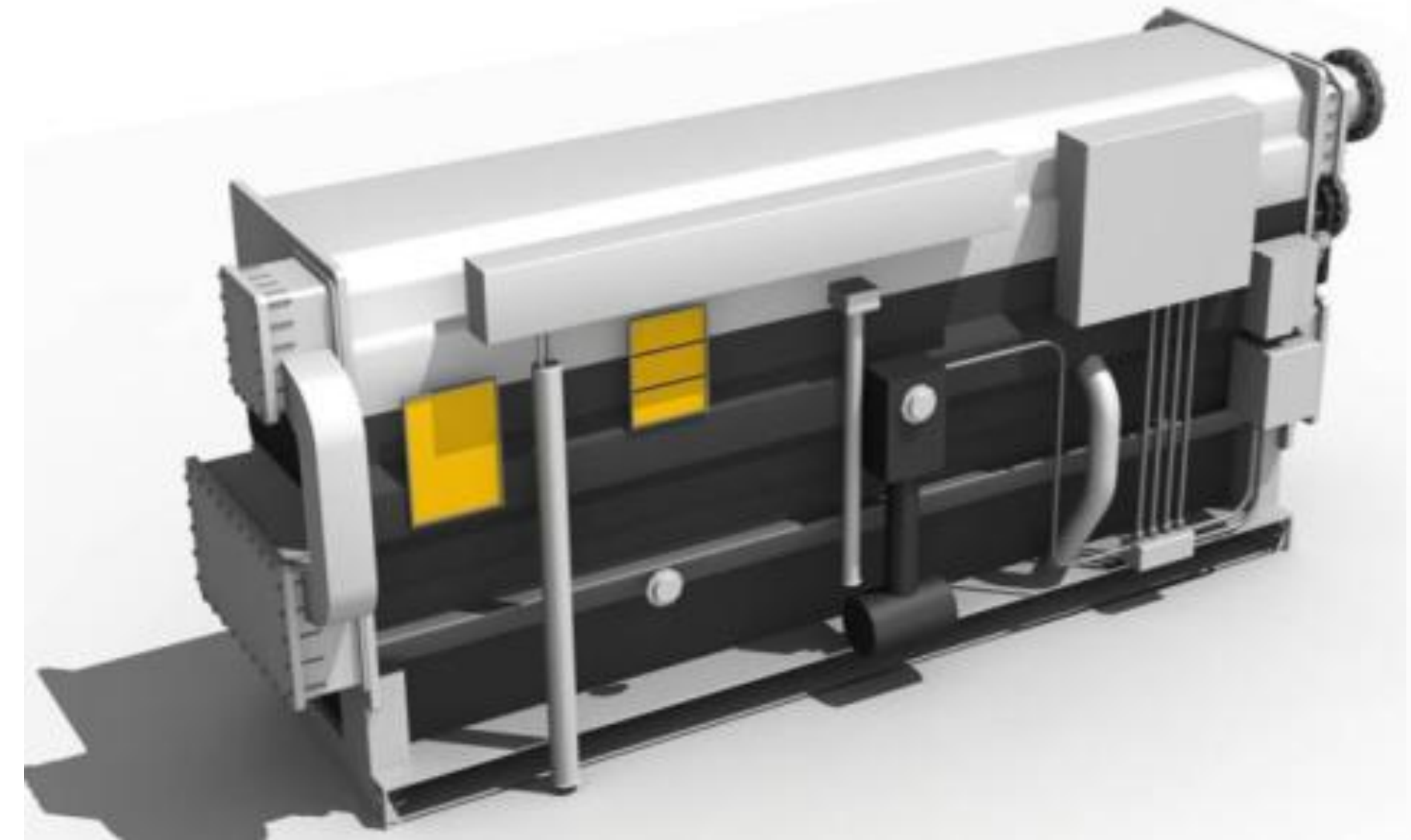
- Simple Efecto
- Doble Efecto



La máquina de absorción consta de cuatro partes principales: un evaporador, un absorbedor, un generador y un condensador

COGENERACIÓN

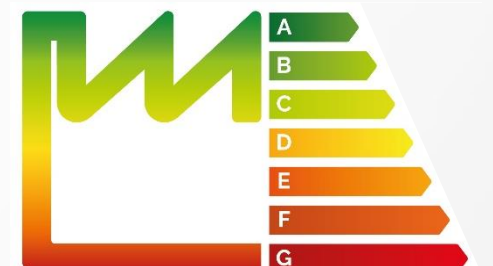
EQUIPOS - FRÍO - MÁQUINAS DE ABSORCIÓN



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción

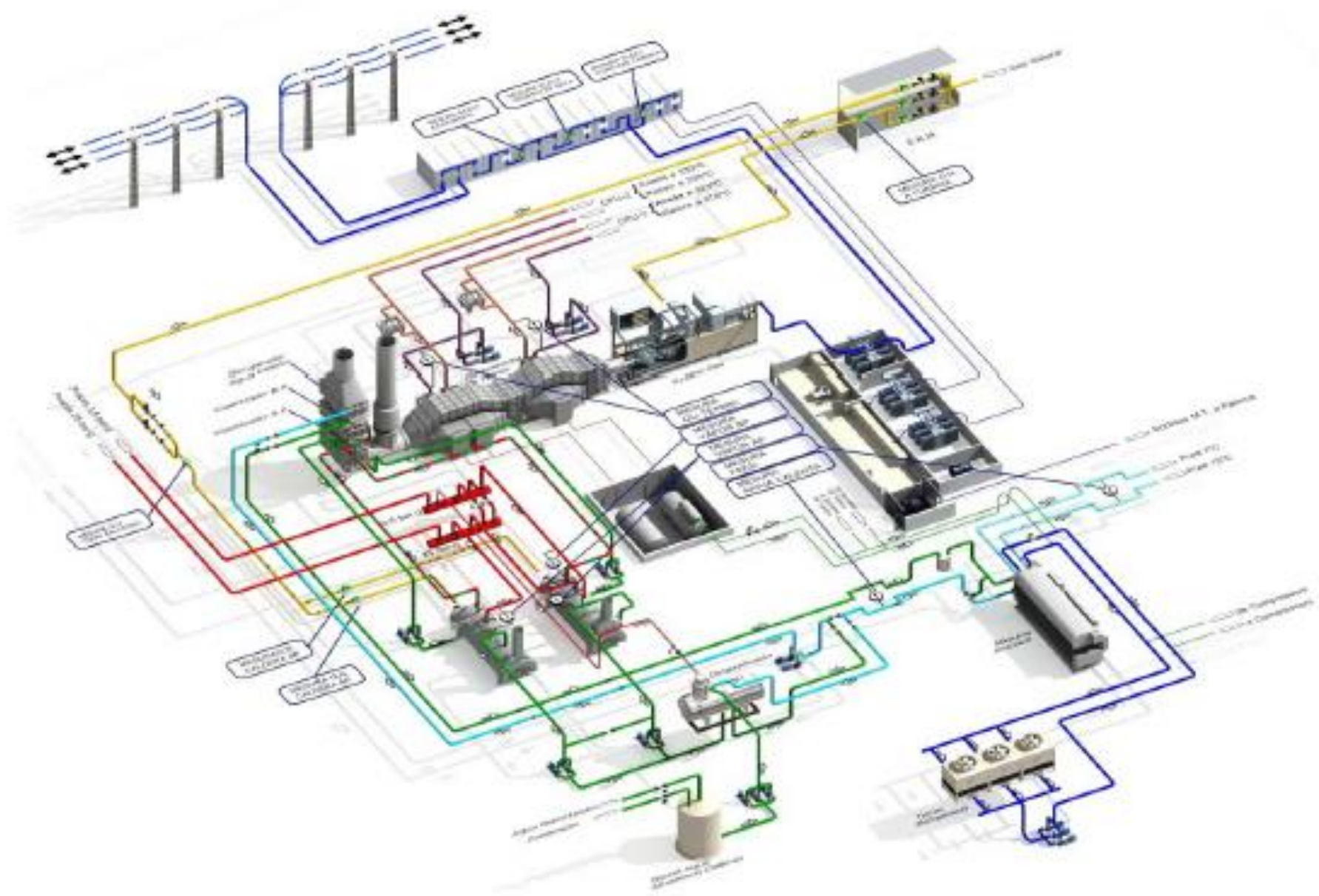


COGENERACIÓN

APLICACIONES INDUSTRIALES: FIBRAS TEXTILES

CARATERISTICAS PLANTA	
Cliente	La Seda Barcelona S.A.
Localización	El Prat de Llobregat
Tipo de combustible	Gas natural
Tipo de ciclo	Simple
Turbina de gas	SIEMENS SGT-300
Potencia eléctrica turbina	7,9 MW (ISO) 7,6 MW (on site, 15°C)
Potencia térmica en aceite Dowtherm-A	3.880 kW
Potencia térmica en aceite Santotherm 66	4.800 kW
Potencia térmica en vapor 25 barg por recuperacion	1.671 kW
Potencia térmica en vapor 3,5 barg por recuperacion	1.689 kW
Potencia térmica total en frio máquina absorción	1.700 kW

Puesta en marcha: Mayo 2008



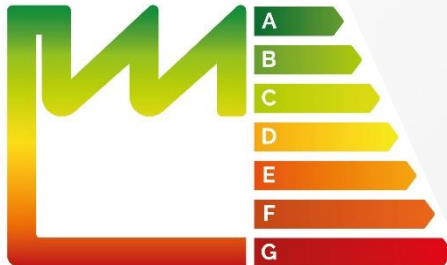
RENDIMIENTOS	
Rendimiento eléctrico (RE)	30,3 %
Rendimiento global (RG)	80,5 %
Rendimiento eléctrico equivalente (REE)	68,6%
Primary Energy Saving (PES)	14,6 %



Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe



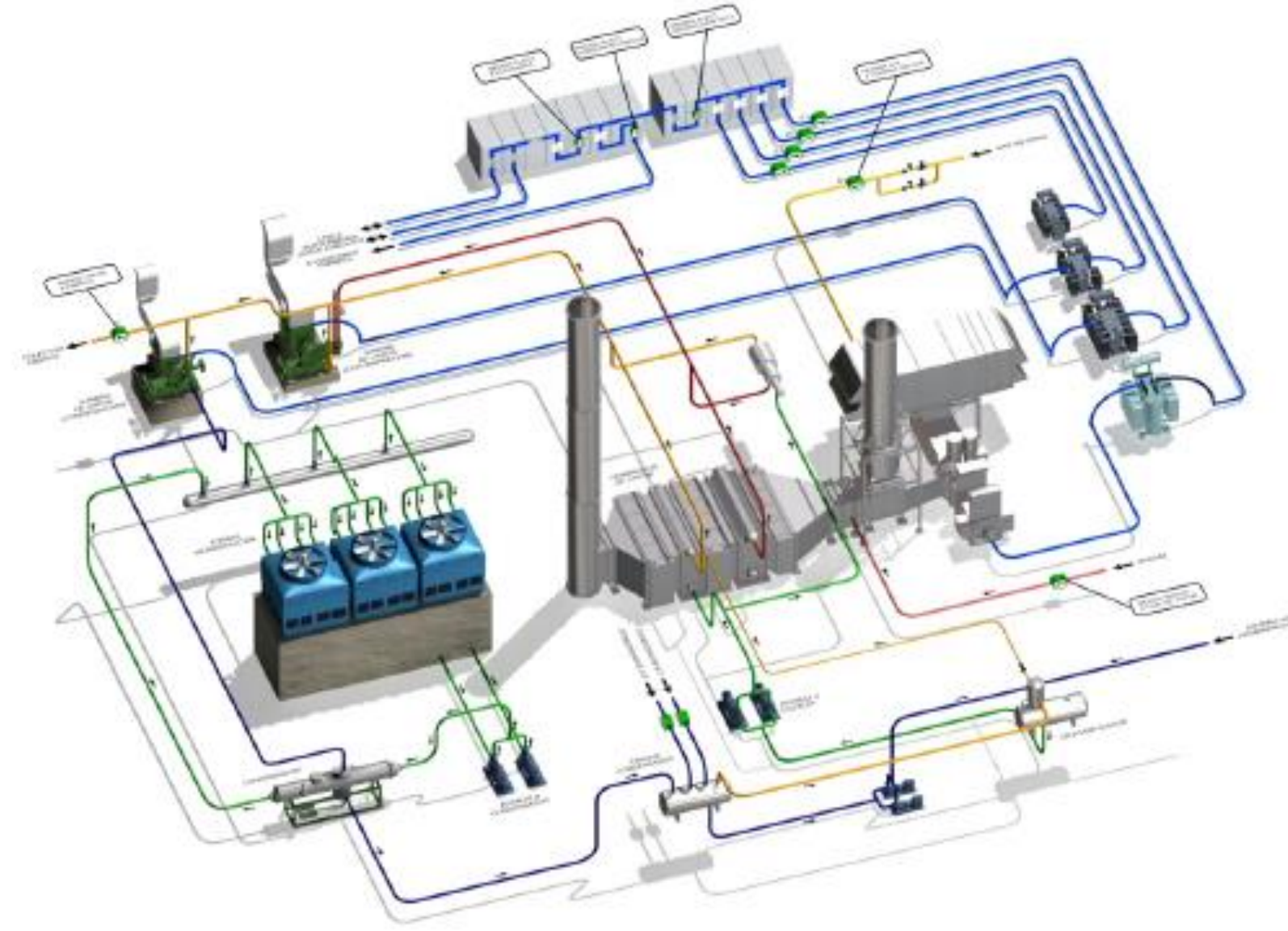
Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción



COGENERACIÓN

APLICACIONES INDUSTRIALES: INDUSTRIA PAPELERA

CARACTERÍSTICAS PLANTA	
Cliente Usuario	Cogeneración UFIC,S.A Unión Industrial Papelera S.A.
Localización	La Pobla de Claramunt
Tipo de combustible	Gas natural (en turbina) Biogás (postcombustión)
Tipo de ciclo	Combinado (33,6 MW)
Turbina de gas	GE LM 2500+PR (28 MW)
Turbina de vapor de contrapresión	PASCH KKK-CFR5 (3,9 MW)
Turbina de vapor de condensación	PASCH KKK-AFA6KD (1,7 MW)
Generador de vapor (con postcombustión) GEA	46,3 t/h a 40 bara/400° + 4,7 t/h a 10 bara/Sat



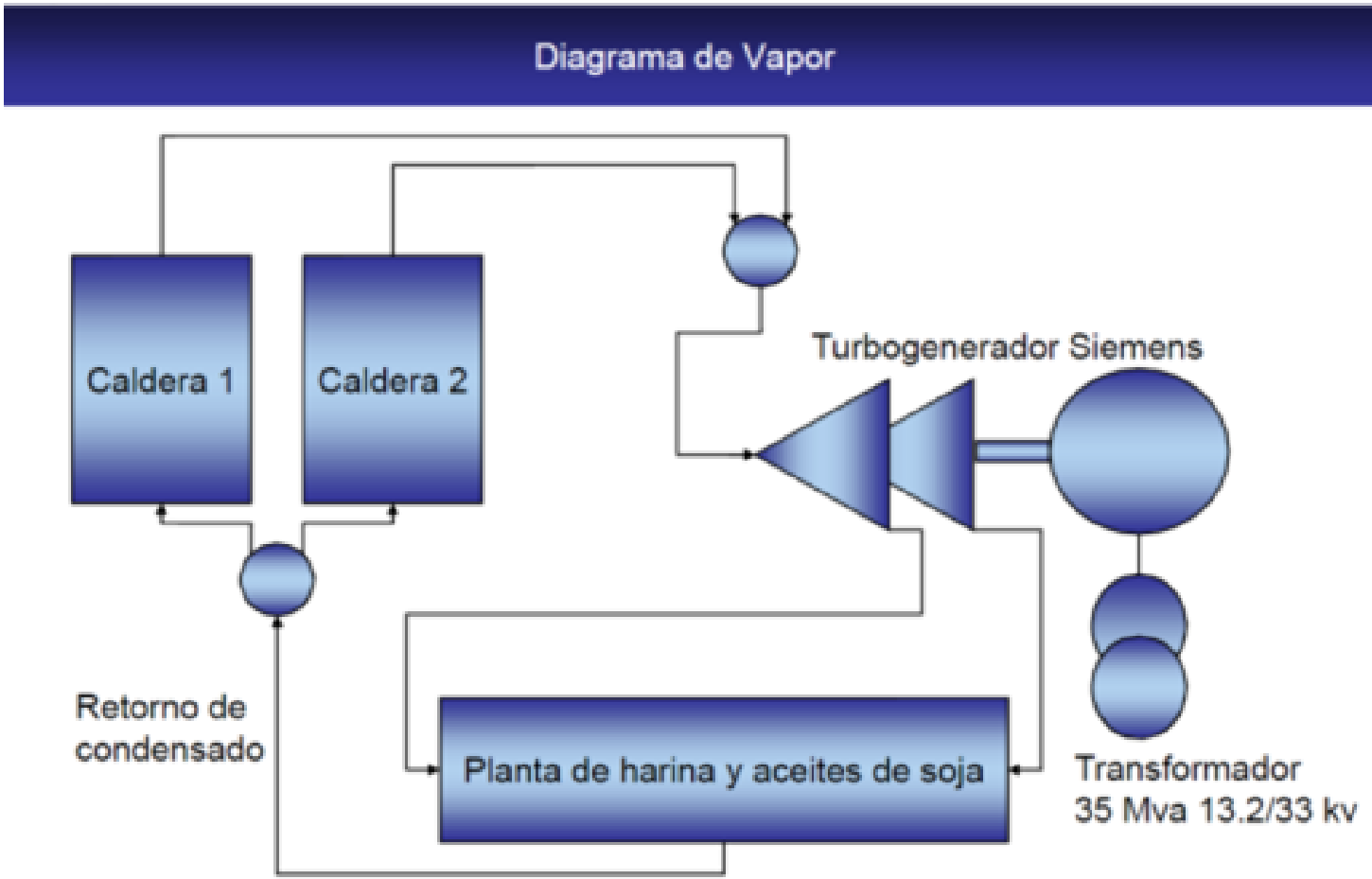
Puesta en marcha: Septiembre 2008

RENDIMIENTOS	
Rendimiento eléctrico (RE)	39,9 %
Rendimiento global (RG)	82,2 %
Rendimiento eléctrico equivalente (REE)	75,2%
Primary Energy Saving (PES)	20,1 %

COGENERACIÓN

APLICACIONES INDUSTRIALES: INDUSTRIA ALIMENTICIA

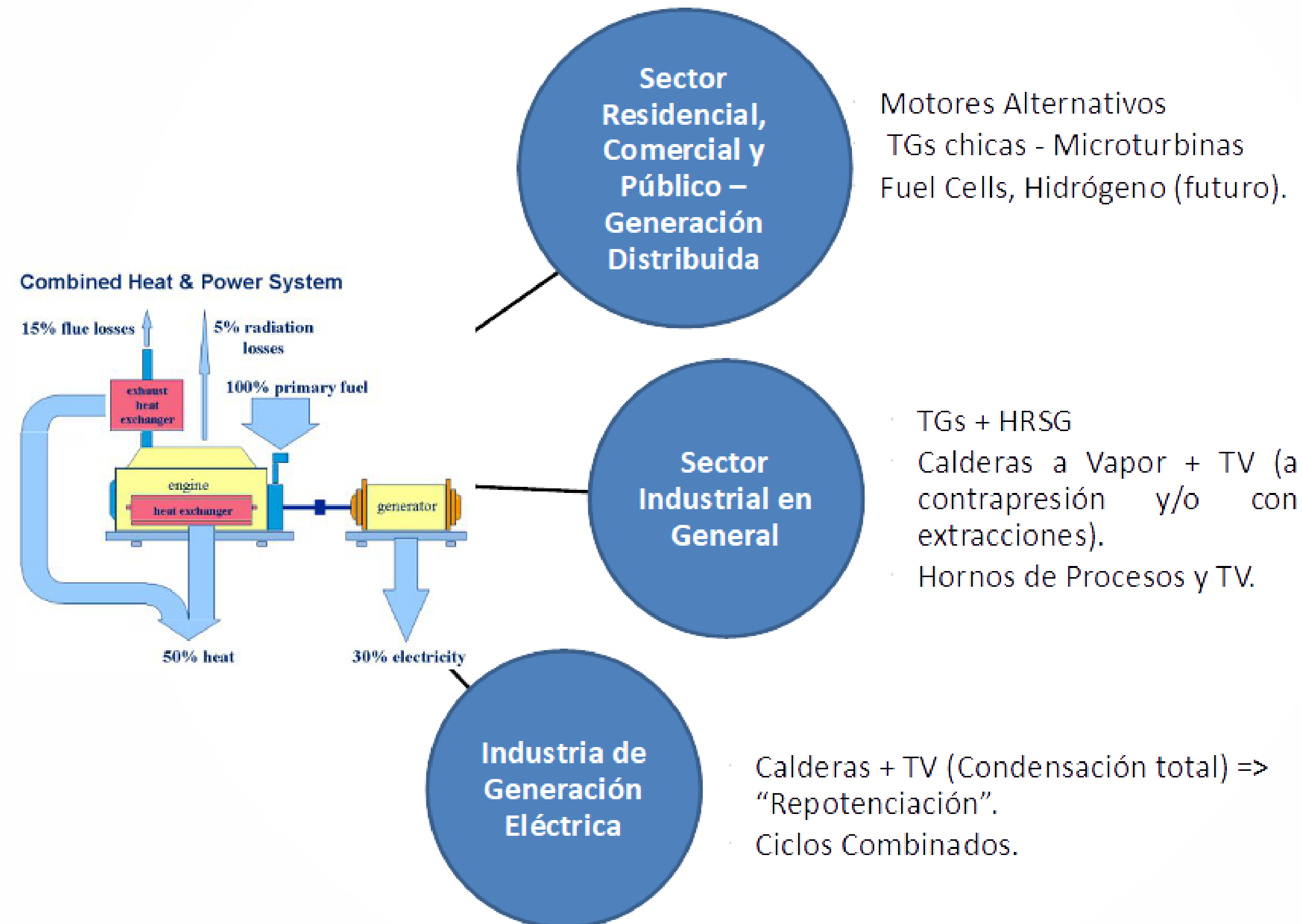
Características de la Planta	
Empresa	XXX
Localización	Argentina
Tipo de combustible	GN - FO (ambos se consumen en calderas)
Tipo de Ciclo	Cogeneración (27 MW _E)
TV a contrapresión con extracción	Siemens modelo SST300 27 MW Extracción @ 10 kg/cm ² Contrapresión @ 7 kg/cm ²
Caldera (tipo convencional)	2 Calderas marca Gonella licencia Babcock & Wilcox de 240 t/h de vapor sobrecalentado @ 65 kg/cm ² y 480° C Quemadores duales



Rendimientos	
Rendimiento Eléctrico (RE)	15,1 %
Rendimiento Global (RG)	89%
Rendimiento Eléctrico Equivalente (REE)	72,5%
Ahorro de Energía Primaria (PES)	22,7%

COGENERACIÓN

APLICACIONES DE LA COGENERACIÓN



La Eficiencia Energética es la fuente de energía
más rentable en términos económicos,
ambientales y sociales

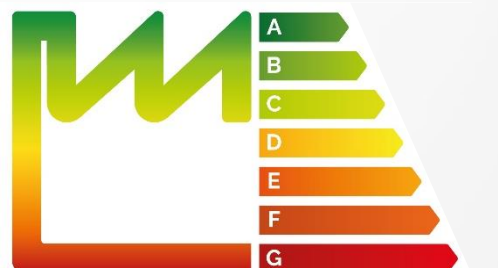
...y todos podemos contribuir a que esto sea
posible...

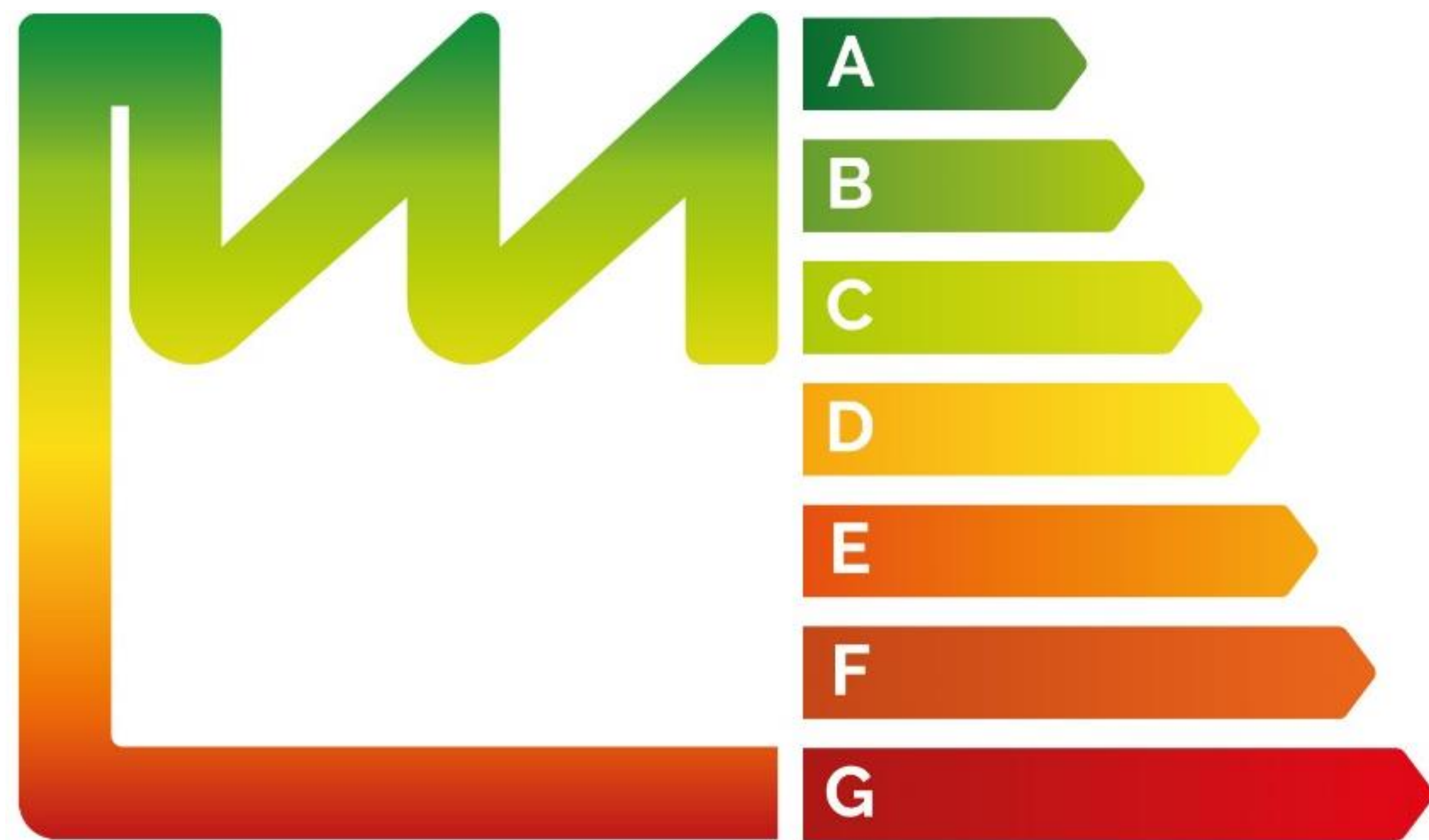


Secretaría de Estado de la Energía
Gobierno de la provincia de Santa Fe



Dirección General de Asistencia Técnica
Ministerio de la Producción





**PROGRAMA DE FORMACIÓN DE
GESTORES ENERGÉTICOS
EN INDUSTRIAS**