



CONGRESO SOBRE  
TECNOLOGÍAS DE  
REFRIGERACIÓN

**TECNOFRÍO'16**

28 Y 29 SEPTIEMBRE DE 2016

[www.congresotecnofrio.es](http://www.congresotecnofrio.es)

# ANÁLISIS TEÓRICO DE SISTEMAS DE REFRIGERACION BOOSTER CON R744

Jesús Catalán Gil

Daniel Sánchez

Ramón Cabello

Rodrigo Llopis

Laura Nebot Andrés

Grupo de Ingeniería Térmica  
([www.git.uji.es](http://www.git.uji.es))

## Índice

1	ANTECEDENTES
2	INTRODUCCIÓN
3	CONSIDERACIONES DE CÁLCULO
4	SISTEMA BOOSTER TRANSCRÍTICO BASE DE CO <sub>2</sub>
5	MEJORAS EN SISTEMAS BOOSTER TRANSCRÍTICOS DE CO <sub>2</sub>
6	CONCLUSIONES

## ANTECEDENTES

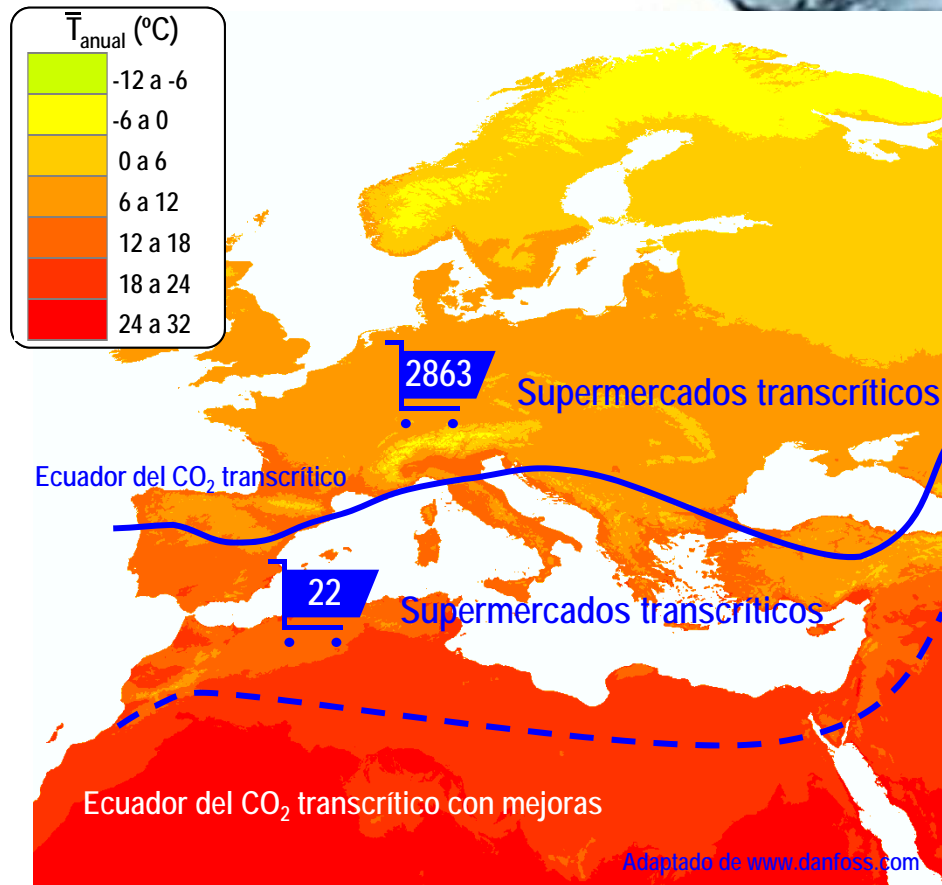
EU 517/2014 – F-Gas

- Restricciones y prohibiciones en el uso de refrigerantes de elevado GWP.
- Fin uso R404A / R134a en Refrigeración Comercial.

## ALTERNATIVAS

- Sustitución del refrigerante por otro con bajo GWP, con pequeños cambios (corto plazo).
- Nuevas instalaciones (medio-largo plazo).
  - Cascada con CO<sub>2</sub> en circuito de baja temperatura y expansión directa + fluido de bajo GWP en el ciclo de media temperatura (zonas cálidas).
  - Sistemas booster transcíticos con distribución directa a media y baja temperatura (zonas frías-templadas) (Predominio en Europa).

## ANTECEDENTES



### PROBLEMA BOOSTER TRANSCRITICO DE CO<sub>2</sub>

- Baja eficiencia en climas cálidos ( $T^a > 30^{\circ}\text{C}$ ).
- Sistemas más complejos.

### MEJORAS EN BOOSTER TRANSCRITICO DE CO<sub>2</sub>

- Sistemas con IHX e inyección de vapor.
- Compresión paralela.
- Sistemas de subenfriamiento.
- Eyectores.

## INTRODUCCIÓN

### OBJETIVO:

- Comparar las principales mejoras introducidas en los sistemas booster transcíticos de CO<sub>2</sub>.
- Mostrar los principales beneficios de cada una de las mejoras.

### METODOLOGÍA:

- Simulación de los diferentes ciclos propuestos funcionando en transcítico.
- Comparación con el ciclo base.

## CONSIDERACIONES DE CÁLCULO

### Disipación de calor

- Tª de disipación: **15 ÷ 40 °C.**
- P. de disipación: **75 ÷ 120 bar (transcrítico).**
- Approach (gas-cooler): 3 K.
- Approach (subenfriamiento mecánico): 5 K.
- Approach (condensador SM): 10 K

### Eficiencia del IHX

- **35% Constante durante el análisis**

### Eyector

- Relación de caudales = **0.1-0.5**
- $\eta$  toberas y cámara mezcla: **0.8 (0.4 global)**

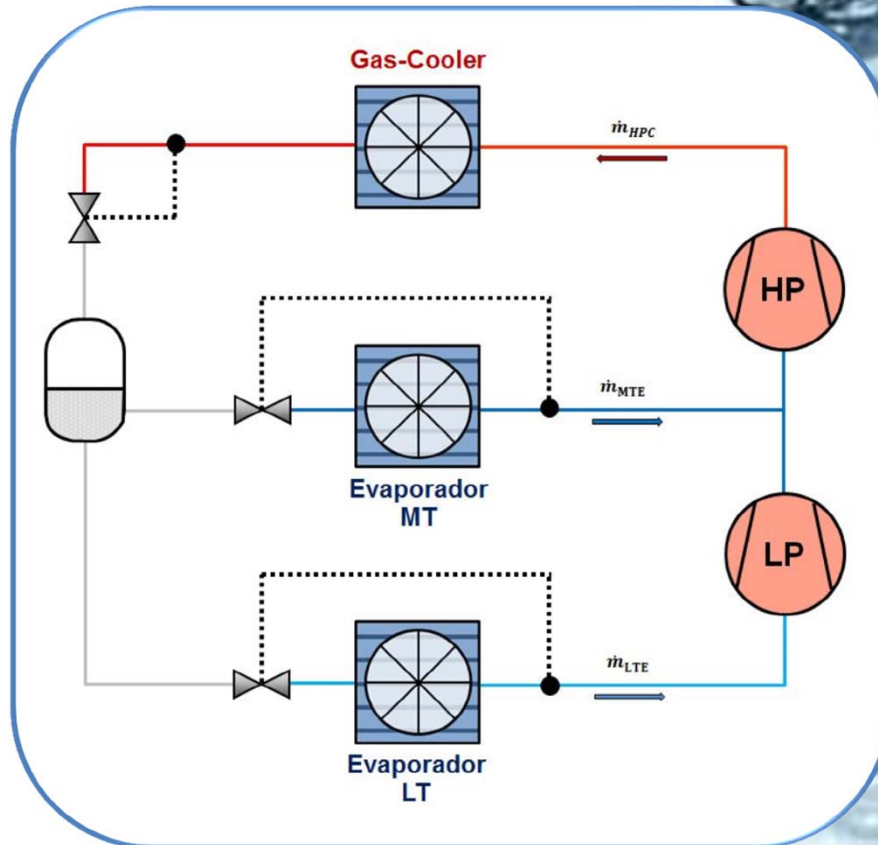
### Servicio de Media Temperatura

- Potencia frigorífica: **25kW**
- Temperatura de evaporación: **-5 °C**
- Recalentamiento útil: 5 K
- Recalentamiento en línea: 4 K

### Servicio de Baja Temperatura

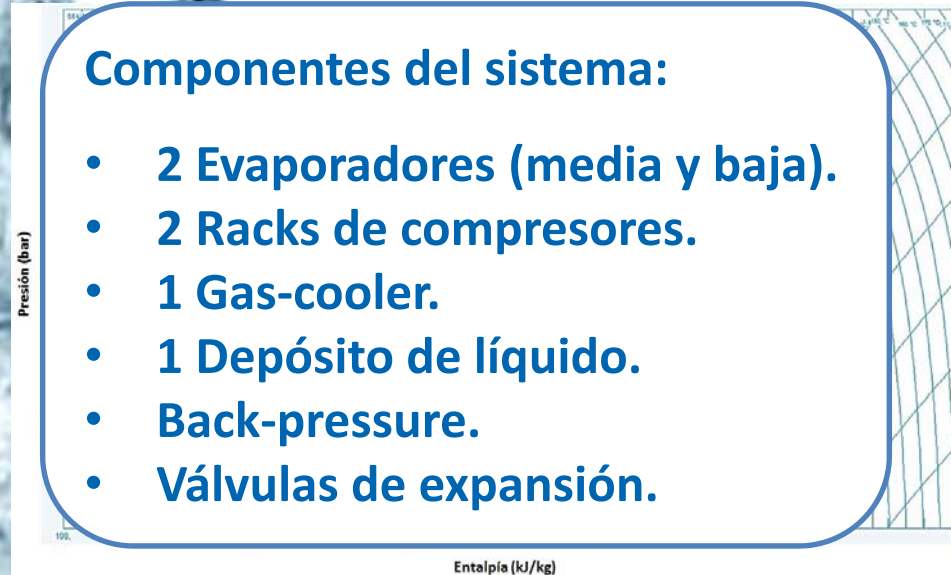
- Potencia frigorífica: **20 kW**
- Temperatura de evaporación: **-35 °C**
- Recalentamiento útil: 5 K
- Recalentamiento en línea: 5 K

## SISTEMA BOOSTER TRANSCRÍTICO BASE

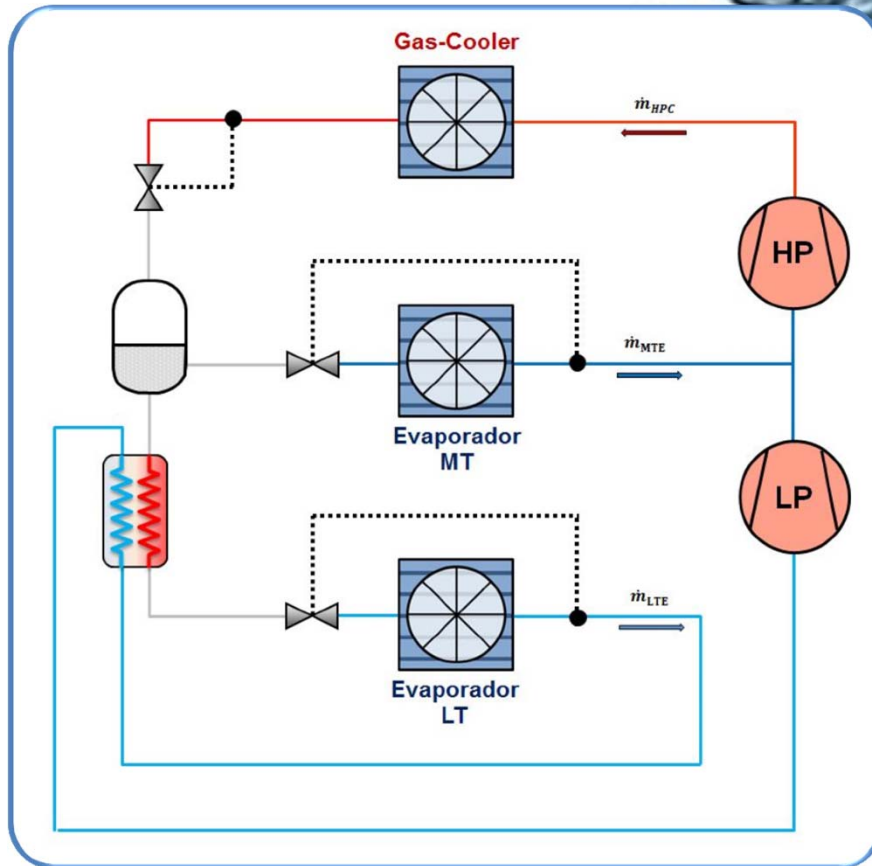


### Componentes del sistema:

- 2 Evaporadores (media y baja).
- 2 Racks de compresores.
- 1 Gas-cooler.
- 1 Depósito de líquido.
- Back-pressure.
- Válvulas de expansión.



## 4.1 – IHX CICLO DE BAJA



### Cambios de funcionamiento:

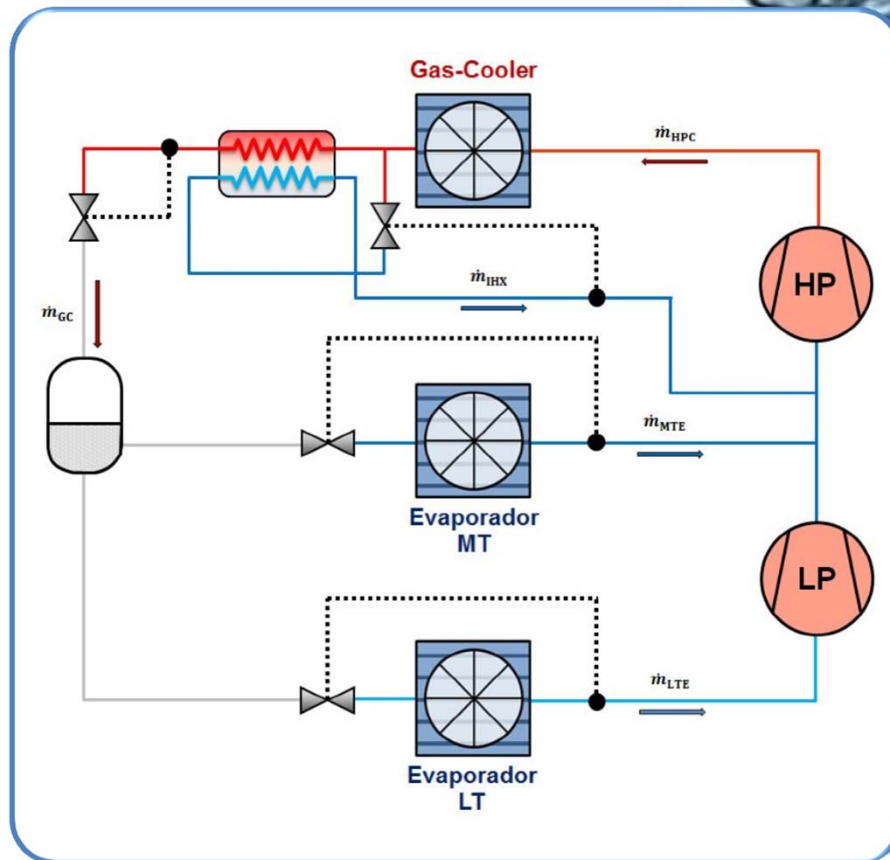
- Presiones óptimas similares.
- ↓  $\dot{m}$  LP (3-7 %).
- ↓  $\dot{m}$  HP (2-5 %).
- ↑ Vol. Geo. LP (5-7 %).
- ↑ Vol. Geo. HP (2 %).
- ↑ Pot. LP (5 %)

### Modificaciones ciclo:

- IHX LT.
- ↑ Salto entálpico LT.
- ↑ Tª compresores y vol. asp.



## 4.2 – SUBCOOLER E INYECCION ENTRE ETAPAS



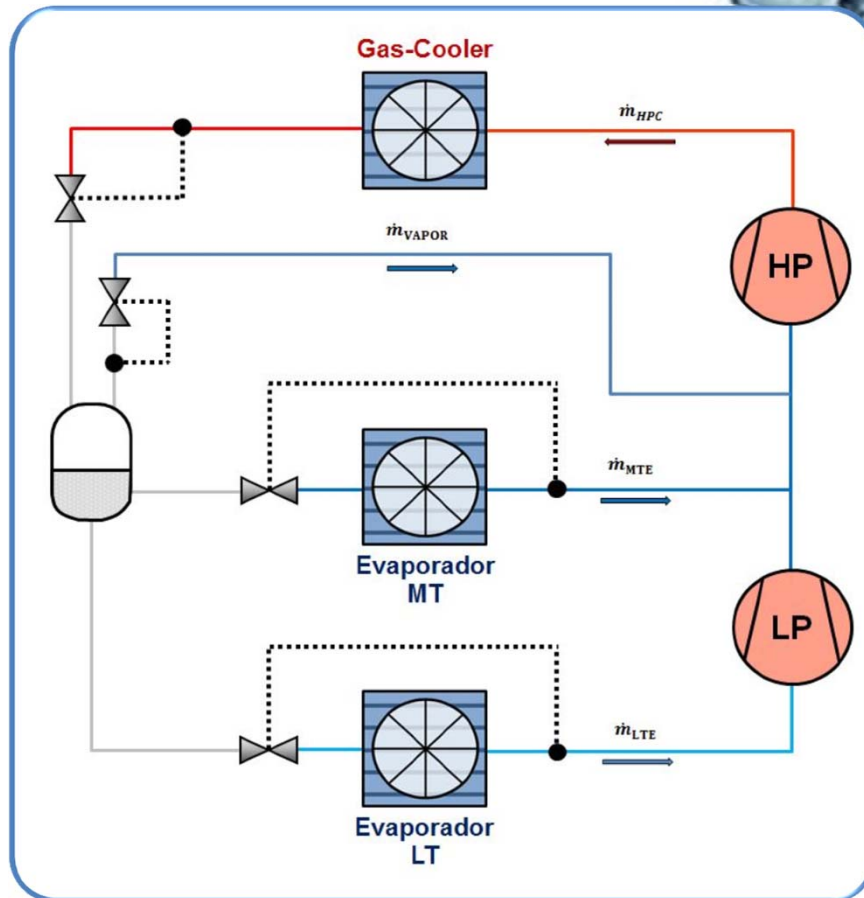
### Cambios de funcionamiento:

- ↓ Presiones óptimas (0-2%).
- ↓  $\dot{m}$  LP (9-31 %).
- ↑  $\dot{m}$  HP (17-22 %).
- ↓ Vol. Geo. LP (9-31 %).
- ↑ Vol. Geo. HP (1-5 %).
- ↓ Pot LP (9-31 %).

### Modificaciones ciclo:

- Subcooler GC.
- ↑ Salto entálpico Evaporadores.
- ↓  $T^a$  Compresor HP.

## 4.3 – INYECCION DE VAPOR ENTRE ETAPAS



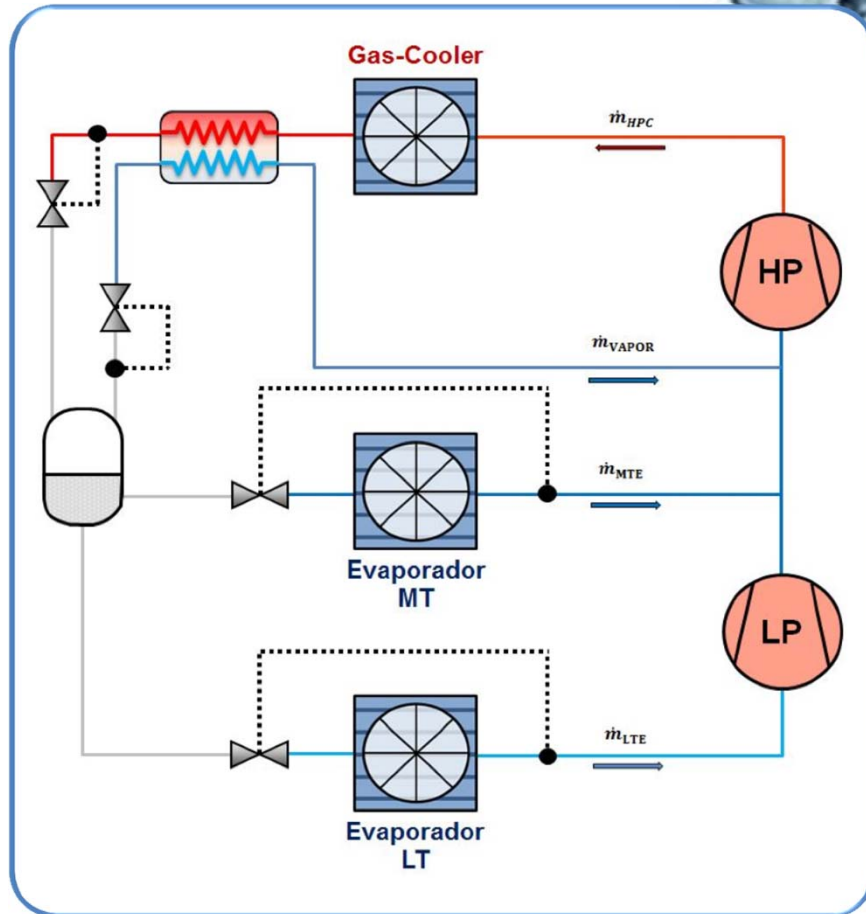
### Cambios de funcionamiento:

- Presiones óptimas similares.
- ↓  $\dot{m}$  LP (17-48 %).
- ↑  $\dot{m}$  HP (1-5 %).
- ↓ Vol. Geo. LP (17-48 %).
- ↓ Vol. Geo. HP (3-9 %).
- ↓ Pot LP (17-48 %)

### Modificaciones ciclo:

- Inyección vapor.
- ↑ Salto entálpico LT y MT.
- ↓ Tª Compresor HP.

## 4.4 – INYECCION DE VAPOR ENTRE ETAPAS + IHX



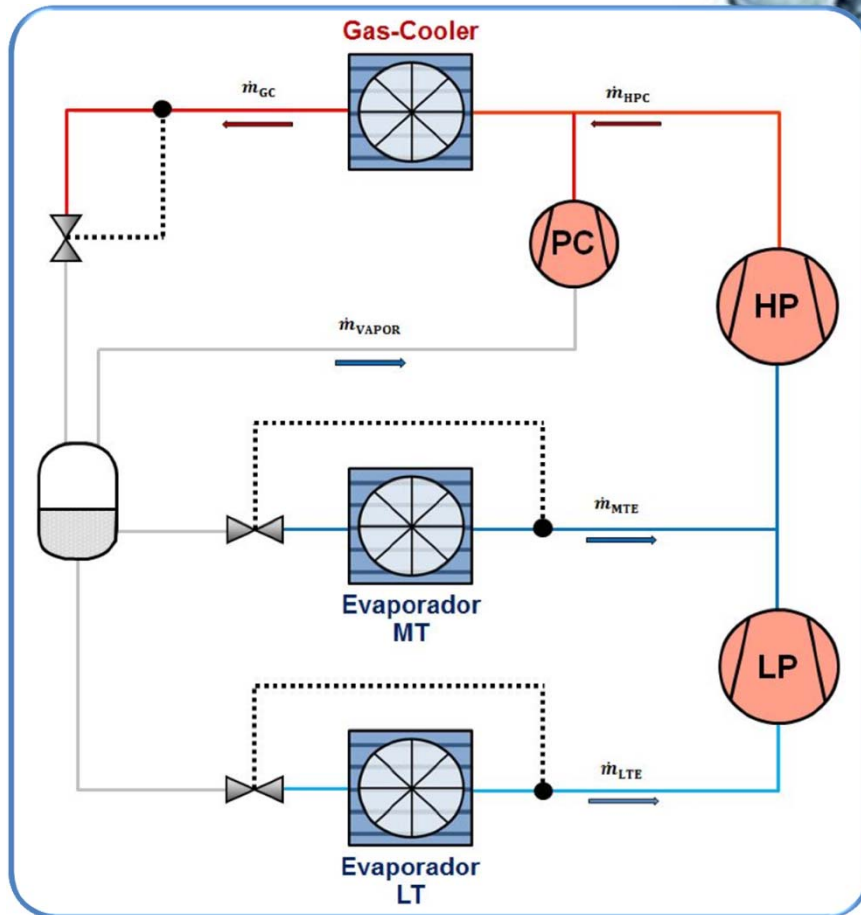
### Cambios de funcionamiento:

- ↓ Presiones óptimas (0-2%).
- ↓  $\dot{m}$  LP (17-48 %).
- ↓  $\dot{m}$  HP (0-4 %).
- ↓ Vol. Geo. LP (17-48 %).
- ↓ Vol. Geo. HP (3-9 %).
- ↓ Pot LP (17-48 %)

### Modificaciones ciclo:

- Inyección vapor + IHX.
- Subenfriamiento salida GC.
- ↑ Salto entálpico LT y MT.
- ↓ Tª Compresor HP.

## 4.5 – COMPRESIÓN PARALELA



### Cambios de funcionamiento:

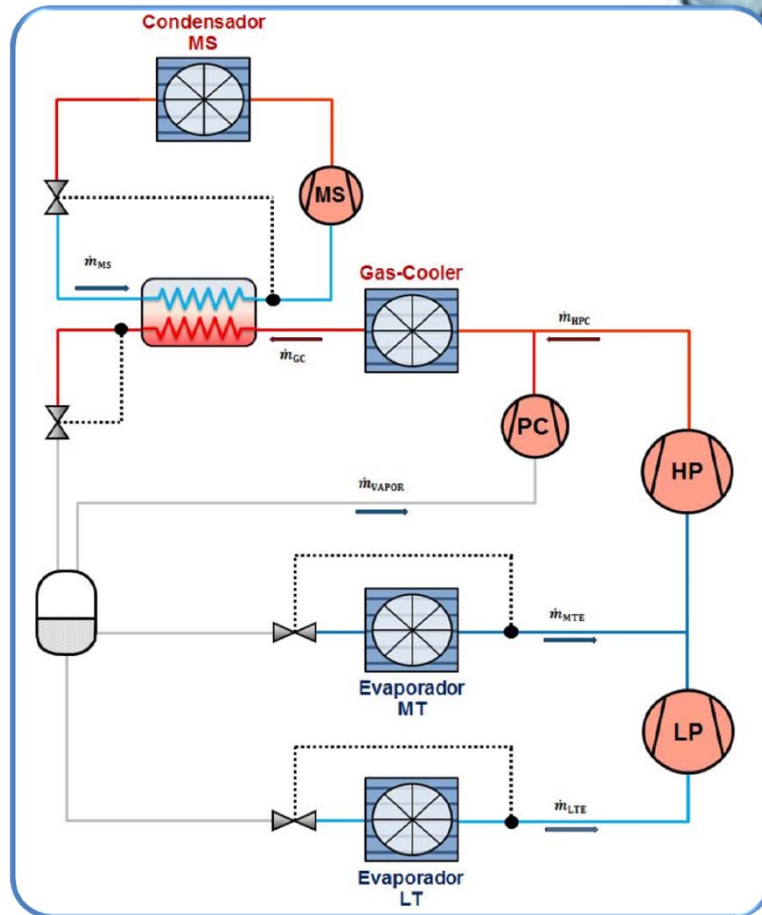
- ↓ Presiones óptimas (0-2%).
- ↓  $\dot{m}$  LP (17-48 %).
- ↓  $\dot{m}$  HP (5-48 %).
- ↑  $\dot{m}$  GC (1-6 %).
- ↓ Vol. Geo. LP (17-48 %).
- ↓ Vol. Geo. HP (13-46 %).
- ↓ Pot. LP (17-48 %).
- ↓ Pot. HP (13-46 %).

### Modificaciones ciclo:

- Compresor paralelo.
- ↑ Salto entálpico LT y MT.
- ↓ Tasa Comp. Paralelo

5

## 4.6 – SUBENFRIAMIENTO MECÁNICO + CP



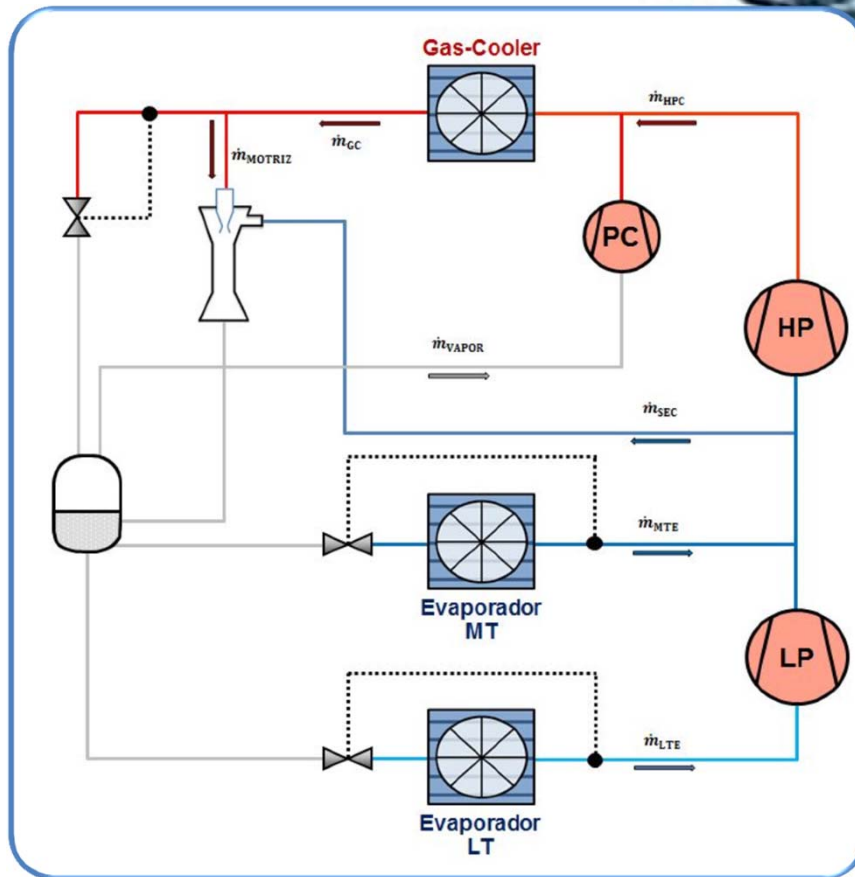
### Cambios de funcionamiento:

- ↓ Presiones óptimas (0-9%).
- ↓  $\dot{m}$  LP (17-48 %).
- ↓  $\dot{m}$  HP (17-48 %).
- ↓  $\dot{m}$  GC (6-25%).
- ↓ Vol. Geo. LP (17-48 %).
- ↓ Vol. Geo. HP (18-50 %).
- ↓ Pot. LP (17-48 %).
- ↓ Pot. HP (18-52 %).

### Modificaciones ciclo:

- Compresor paralelo.
- Subenfriamiento mecánico.
- ↑ Líquido en depósito.
- ↑ Salto entálpico LT y MT.
- ↓ Tasa Comp. Paralelo

## 4.7 – EYECTOR + CP



### Cambios de funcionamiento:

- ↓ Presiones óptimas (0-3%).
- ↓  $\dot{m}$  LP (19-44 %).
- ↓  $\dot{m}$  HP (76-82 %).
- ↑  $\dot{m}$  GC (20-43%).
- ↓ Vol. Geo. LP (19-44 %).
- ↓ Vol. Geo. HP (76-82 %).
- ↓ Pot. LP (19-44 %).

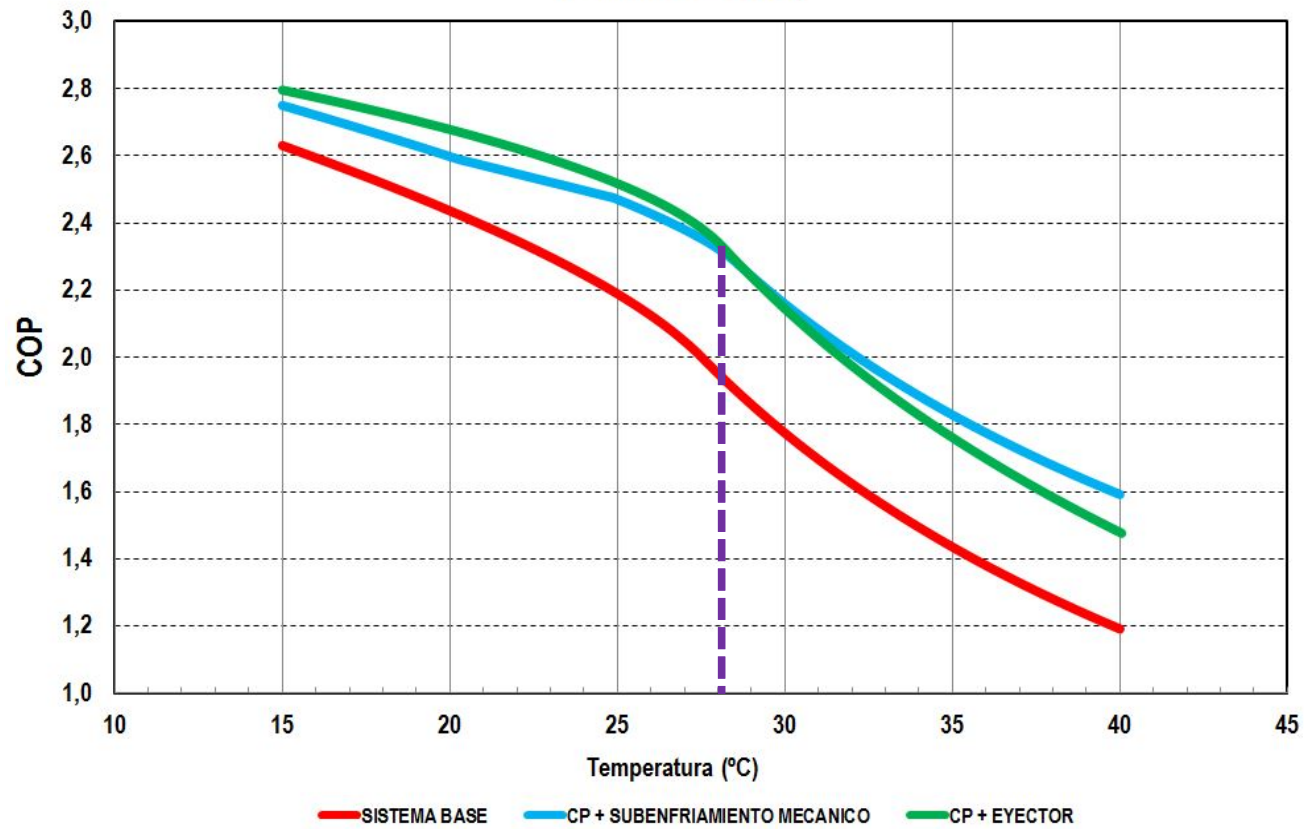
### Modificaciones ciclo:

- Compresor paralelo.
- Eyector.
- ↑ Salto entálpico LT y MT.
- ↓ Tasa Comp. Paralelo

## MEJORES SISTEMAS



$T^a$  Ambiente -  $COP_f$



## CONCLUSIONES

- Sistema booster transcritoico con CO2 competitivo en climas cálidos (con mejoras).
- Muy recomendable el subenfriamiento mecánico para climas cálidos, así como la compresión paralela.
- Uso del eyector en cualquier tipo de clima.
- Necesidad de eyectores con capacidad variable.





CONGRESO SOBRE  
TECNOLOGÍAS DE  
REFRIGERACIÓN

**TECNOFRÍO'16**

28 Y 29 SEPTIEMBRE DE 2016

[www.congresotecnofrio.es](http://www.congresotecnofrio.es)

GRACIAS POR SU ATENCIÓN

**Jesús Catalán Gil**

[jcatalan@uji.es](mailto:jcatalan@uji.es)

Universidad Jaume I de Castellón  
Área de Máquinas y Motores Térmicos  
Grupo de Ingeniería Térmica ([www.git.uji.es](http://www.git.uji.es))