

E. TORRELLA

LOS CONDENSADORES

E. TORRELLA

Tipos de condensadores

1/12/2011 page 2

E. TORRELLA

Sistemas de condensación

TIPO CONDENSADOR	ESQUEMA	EVOLUCION TEMPERATURAS
AIRE		Refrig. TK = 40°C Aprox. = 5°C * ΔT = 5°C Tseca = 30°C
EVAPORATIVO		Refrig. TK = 30°C Aire húmedo Aprox. = 12°C Thumeda = 18°C
AGUA CARCASA-TUBOS		Refrig. TK = 30°C Aprox. = 5°C ΔT = 5°C Tagua = 20°C
AGUA CARCASA-TUBOS TORRE		Condensador Torre TK = 33°C 5°C 5°C 23°C 5°C 18°C Thumeda

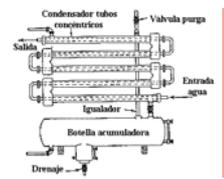
* Puede alcanzar valores de 15°C
Los valores del agua de pozo o río pueden ser menores

1/12/2011 page 3

E. TORRELLA

CONDENSADORES DE AGUA

CONDENSADORES DE AGUA Doble tubo



E. TORRELLA

1/12/2011 page 5

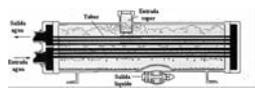
CONDENSADORES DE AGUA Disposición en calandra



E. TORRELLA

1/12/2011 page 6

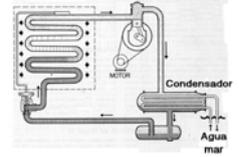
CONDENSADORES DE AGUA Disposición carcasa - tubos



E. TORRELLA

1/12/2011 page 7

CONDENSADORES DE AGUA Equipos compactos. Enfriadoras



E. TORRELLA

1/12/2011 page 8

CONDENSADORES DE AGUA
Disposición carcasa - tubos.

Fluido	U [W/m ² K]	Flujo [W/m ²]	ΔT _m [K]	v _{agua} [m/s]
Amoniaco	800 - 1000	4000 - 5500	4 - 6	0,8 - 1,5
Halogenados	350 - 500	4000 - 5000	4 - 6	1,5 - 2,5

E. TORRELLA
1/12/2011 page 9

CONDENSADORES DE AGUA
Carcasa - tubos. Superficie de transmisión

$$Q_k = US\Delta T_m$$

$$\Delta T_m = \frac{T_{cs} - T_{ce}}{\ln \frac{T_c - T_{ce}}{T_c - T_{cs}}} = \frac{\Delta T_c}{\ln \frac{T_c - T_{ce}}{T_c - T_{cs}}}$$

$$S = \frac{Q_c}{U \Delta T_m} = \frac{Q_c}{U \Delta T_c}$$

temperaturas logarítmico medio, es una aproximación, al despreciarse tanto el recalentamiento como el posible subenfriamiento.

E. TORRELLA
1/12/2011 page 10

CONDENSADORES DE AGUA
Disposición carcasa - tubos. Temperaturas

- ▶ Denominando "T_R" a la temperatura de la pared en contacto con el fluido y "T_A" a la de la superficie en contacto con el agua, y considerando:
 - Igualdad entre superficies externa e interna.
 - Temperatura media del agua "T_m" como semisuma entre las de entrada y salida.

$$Q_k = h_r S (T_k - T_r) = h_a S (T_a - T_m) = US (T_k - T_m)$$

$$T_r = T_k - \frac{U(T_k - T_m)}{h_r}$$

$$T_a = T_m - \frac{U(T_k - T_m)}{h_a}$$

E. TORRELLA
1/12/2011 page 11

CONDENSADORES DE AGUA
Disposición carcasa - tubos. Caudal agua

- ▶ El caudal y la velocidad de paso del agua necesario para eliminar la potencia del condensador son:

$$M_w = \frac{Q_k}{\rho_w c_{pw} (T_{cs} - T_{ce})}$$

$$v_w = \frac{4z M_w}{n \pi D_i^2}$$

- ▶ en la que:
 - D_i = diámetro interno.
 - n = número de tubos.
 - z = número de pasos en el agua.

E. TORRELLA
1/12/2011 page 12

CONDENSADORES DE AGUA
Disposición carcasa - tubos. Coeficiente global

► Cabe la distinción de tubos lisos o aleteados para la obtención del coeficiente global referido a la superficie externa:

$$U_{\text{liso}} = \frac{1}{\frac{1}{h_o} + \sum \frac{e}{K} + \frac{S_o}{S_i} \frac{1}{h_i}}$$

$$U_{\text{aleta}} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon h_o} + \sum \frac{e}{K} + \frac{S_o}{S_i} \frac{1}{h_i}}$$

► e/K = resistencias conductivas, incluyendo espesor de pared, aceite, incrustaciones, corrosión.
► ε = eficiencia de la aleta de longitud "L" ($\approx Th$ (mL)/mL; con mL ≈ 1).

E. TORRELLA

1/12/2011 page 13

CONDENSADORES DE AGUA
Disposición carcasa - tubos. Coeficientes

► Para el refrigerante por el exterior de tubos lisos horizontales, con capa de condensado cayendo en flujo laminar:

$$h_o = 0,724 f_1 f_2 A \left[\frac{\lambda}{(T_s - T_o) D_o} \right]^{-0,25}$$

$$A = \left[\frac{g \rho^2 \lambda^3}{\mu} \right]^{0,25}$$

► ρ = densidad del líquido.
► μ = viscosidad dinámica del líquido.
► g = aceleración de la gravedad.
► f_1 = factor que considera el espesor del condensado en los tubos inferiores.
► f_2 = factor que considera la velocidad del vapor sobre la primera fila.

E. TORRELLA

1/12/2011 page 14

CONDENSADORES DE AGUA
Disposición carcasa - tubos. Correcciones

► Factores:

$$f_1 = \left[1,039 C \frac{x_1}{x_2} \left(\frac{\pi n}{2} \right)^{0,5} \right]^{-0,25}$$

$$f_2 = 0,43 (\text{Re})^{0,12} (\text{Pr})^{-0,33}$$

► $C = 1$ (en línea); 0,5 (tresbolillo).
► x = distancias entre tubos (1=horizontal, 2 = vertical).
► Re = número de Reynolds ($v_{\text{vapor}} D_e / \nu$).
► Pr = número de Prandtl.

E. TORRELLA

1/12/2011 page 15

CONDENSADORES DE AGUA
Disposición carcasa - tubos. Coeficientes

► Para el refrigerante por el exterior de tubos aleteados horizontales, con capa de condensado cayendo en flujo laminar:

$$h_o = 0,724 f_1 f_2 f_3 A \left[\frac{\lambda}{(T_s - T_o) D_o} \right]^{-0,25}$$

$$f_3 = 1,1 e^{-3,4 \frac{F_v}{F}} \left[\frac{D_o}{F} \right]^{0,25} + \frac{F_v}{F}$$

$$F_v = \pi D_o \left(1 - \frac{w}{s} \right) + \pi D_{\text{aleta}} \frac{w}{s}; F_v = 0,5 \pi \frac{D_{\text{aleta}}^2 - D_o^2}{D_{\text{aleta}}}; F = F_v + F_o$$

► D_{aleta} = diámetro de la aleta; w = espesor de la aleta; s = separación entre aletas.

E. TORRELLA

1/12/2011 page 16

CONDENSADORES DE AGUA
Disposición carcasa - tubos. Coeficientes

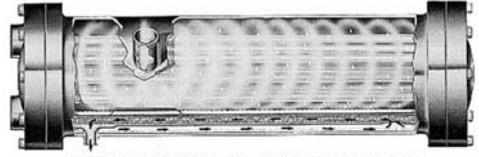
► Para el agua por el interior de tubos en régimen turbulento:

$$Nu_{Di} = 0,021Re^{0,8}Pr^{0,43} = \frac{h_A D_i}{K_w}$$

E. TORRELLA

1/12/2011 page 17

CONDENSADORES DE AGUA
Con subenfriamiento de líquido

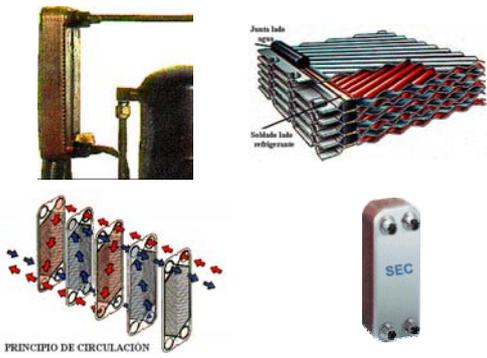


CONDENSADOR DE AGUA CON SUBENFRÍADOR

E. TORRELLA

1/12/2011 page 18

CONDENSADORES DE AGUA
De placas

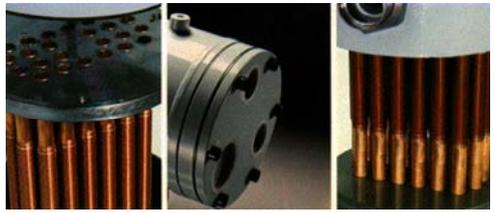


PRINCIPIO DE CIRCULACION

E. TORRELLA

1/12/2011 page 19

CONDENSADORES DE AGUA
Sujeción de tubos



E. TORRELLA

1/12/2011 page 20

CONDENSADOR VERTICAL DE AGUA

E. TORRELLA
1/12/2011
page 21

CONDENSACIÓN CON AGUA COMP. HERME/SEMIHERMÉTICO

E. TORRELLA
1/12/2011
page 22

CONDENSACIÓN CON AGUA COMPRESOR ABIERTO

E. TORRELLA
1/12/2011
page 23

CARACTERÍSTICAS OPERATIVAS CONDENSACIÓN CON AGUA

$$Q_k = US\Delta T_m$$

$$Q_k = M_w c_{pw} (T_{wS} - T_{wE})$$

$$Q_k = M_w c_{pw} (T_k - T_{wE}) \left(1 - \frac{1}{e^{\frac{US}{M_w c_{pw}}}} \right) = f(T_k, T_{wE})$$

► es decir, frecuentemente, en catálogos de fabricante se especifica la potencia de un condensador en función de las temperaturas de condensación y de entrada de agua.

E. TORRELLA
1/12/2011
page 24

LOS CONDENSADORES DE AIRE



E. TORRELLA

1/12/2011

page 26

CONDENSADORES DE AIRE
Comparación con condensación por agua

- ▶ Los condensadores de aire son universalmente utilizados tanto en aplicaciones domésticas como en industriales. El aumento experimentado en su uso, frente a los de agua, se debe:
 - Déficit de recursos hidráulicos, sobre todo en centros urbanos.
 - Protección medioambiental.
- ▶ Presentan dos inconvenientes principales frente a la condensación con agua:
 - Una mayor presión de condensación.
 - Mayores niveles sonoros.

E. TORRELLA

1/12/2011

page 26

CONDENSADORES DE AIRE
Convección natural



E. TORRELLA

1/12/2011

page 27

CONDENSADORES DE AIRE
Convección forzada



E. TORRELLA

1/12/2011

page 28

CONDENSADORES DE AIRE Forzada. Tiro inducido/forzado



E. TORRELLA

1/12/2011

page 29

CONDENSADORES DE AIRE Disposición circular y ubicación Norte



E. TORRELLA

1/12/2011

page 30

CONDENSADORES DE AIRE Vistas de equipos



E. TORRELLA

1/12/2011

page 31

CONDENSADORES DE AIRE Banco de tubos aleteados

- ▶ Longitudes características:
 - L = longitud del recorrido del aire.
 - w_a = espesor de la aleta.
 - x_{aleta} = distancia entre aletas.
 - $x_1 = x_2 = x$ = distancias entre tubos (tresbolillo*).
 - S_t = superficie externa de los tubos.
 - S_i = superficie interna de los tubos
 - S_{aleta} = superficie de las aletas

* para disposición en línea el coeficiente global es un 10% inferior.

E. TORRELLA

1/12/2011

page 32

CONDENSADORES DE AIRE
Banco de tubos aleteados

► Coeficiente de película lado del aire

$$h_a = \frac{K_a}{D_{equi}} C Re_{equi}^m \left[\frac{L}{D_{equi}} \right]^n$$

$$D_{equi} = \frac{2(x - D_{equi})(x_{alenta} - w_{alenta})}{(x - D_{equi}) + (x_{alenta} - w_{alenta})} \quad n = 0,45 + 0,0066 \frac{L}{D_{equi}}$$

$$m = -0,28 + 0,08 \frac{Re}{1000} \quad C = A(1,36 - 0,24 \frac{Re}{1000})$$

L/D _{equi}	5	10	20	30	40	50
A	0,412	0,326	0,201	0,125	0,08	0,0475

E. TORRELLA
1/12/2011
page 33

CONDENSADORES DE AIRE
Banco de tubos aleteados

► Coeficiente de película lado del refrigerante

$$h_r = 0,72 \left[\frac{g \rho^2 K^3}{\mu} \frac{\lambda}{D_i (T_k - T_{pared})} \right]$$

$$h_r = 2100 (T_k - T_{pared})^{-0,167} D_i^{-0,25}$$

► La temperatura de la pared puede estimarse como semisuma de las del aire (despreciando la resistencia térmica de la pared del tubo).

E. TORRELLA
1/12/2011
page 34

CONDENSADORES DE AIRE
Banco de tubos aleteados

► Coeficiente global:

$$U_e = \frac{1}{\frac{1}{h_r} + \frac{S_i}{S_{alenta} + S_i} \sum \frac{e}{K} + \frac{S_i}{S_{alenta}} \frac{\epsilon_{alenta}}{h_a}}$$

$$\epsilon_{alenta} = \frac{Th(m\zeta \frac{D_{equi}}{2})}{m\zeta \frac{D_{equi}}{2}} \quad m = \sqrt{\frac{2h_a}{w_{alenta} K_{alenta}}}$$

$$\zeta = 1 + 0,35 \ln(23)$$

E. TORRELLA
1/12/2011
page 35

CONDENSADORES DE AIRE
Coeficientes globales empíricos

	U [W/m ² K]
Tubos lisos	20 a 70
con Aletas Forzada	17 a 35
con Aletas Natural	8 a 14

► El coeficiente de película del lado del aire es de 40 a 60 veces inferior al del lado del refrigerante.

E. TORRELLA
1/12/2011
page 36

CONDENSADORES DE AIRE

Características

- ▶ Temperatura de condensación:

$$T_k = \frac{T_{Ea} + T_{Sa}}{2} + (10 + 20^\circ\text{C})$$
- ▶ Velocidad de paso del aire
- ▶ Media potencia; 3 ÷ 4,5 m/s.
- ▶ Alta potencia; 4,5 ÷ 10 m/s.
- ▶ Caudal de aire

$$M_a = \frac{Q_k}{c_{\text{aire}} (T_{Sa} - T_{Ea})}$$

E. TORRELLA
1/12/2011 page 37

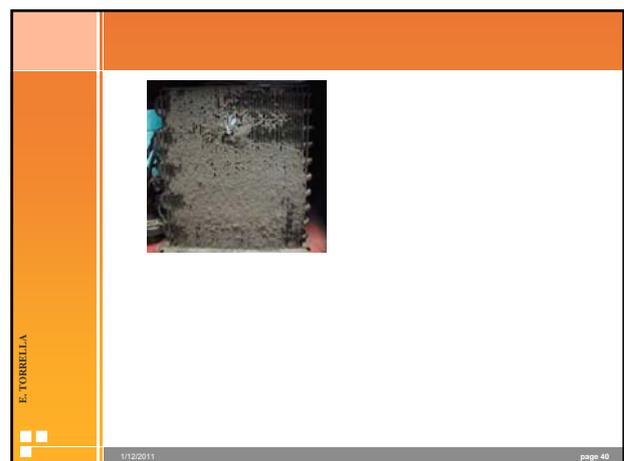
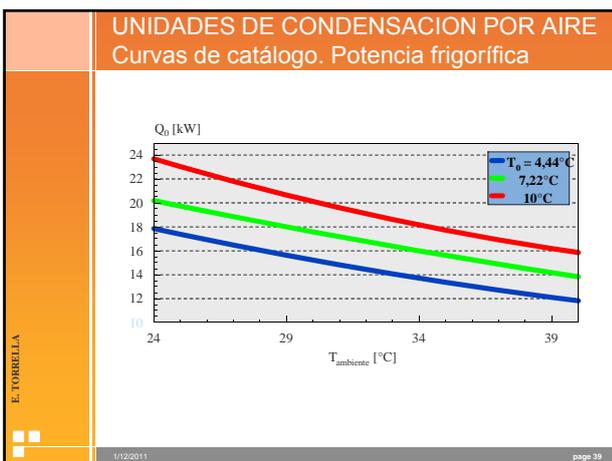
CONDENSADORES AIRE FORZADO

Otras características medias

	DIÁMETRO INTERIOR [mm]	DISTANCIA ALETAS [mm]	SUPERF. [m ²]	CAUDAL AIRE [Nm ³ /h]	POTENCIA VENTIL. [kW]
GENERAL	10 a 25	2 a 5			
POR CADA 1,160 kW			3 a 5	350 a 700	0,022 a 0,055

Ventiladores, en general, helicoidales, circulación de abajo a arriba para disminuir el problema de ruido.

E. TORRELLA
1/12/2011 page 38



TORRES DE ENFRIAMIENTO

E. TORRELLA

TORRE DE ENFRIAMIENTO ESQUEMA

PRENCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

E. TORRELLA

page 42

TORRE DE ENFRIAMIENTO CLASIFICACIÓN

CIRCULACIÓN DEL AIRE "TIRO"

- MECÁNICO (VENTILADOR)
 - FORZADO
 - INDUCIDO
- NATURAL (DENSIDAD)
- MIXTO

E. TORRELLA

page 43

TORRE DE TIRO MECANICO CLASIFICACIÓN

FLUJO

- CONTRACORRIENTE
- FLUJO CRUZADO

E. TORRELLA

page 44

TIPOS DE TIRO

E. TORRELLA

1/12/2011 page 45

TORRE DE ENFRIAMIENTO TIPOS DE RELLENO

E. TORRELLA

1/12/2011 page 46

EQUIPAMIENTO SISTEMAS DE ROCIADO

E. TORRELLA

1/12/2011 page 47

TIPOS DE ELIMINADORES DE GOTAS

E. TORRELLA

1/12/2011 page 48

EQUIPAMIENTO
Otros equipos (nivel; calentador)

E. TORRELLA

1/12/2011

page 49

EQUIPAMIENTO
VENTILADORES (INDUCCIÓN)

E. TORRELLA

1/12/2011

page 50

EQUIPAMIENTO
VENTILADORES (FORZADO)

E. TORRELLA

1/12/2011

page 51

TORRES DE TIRO MECÁNICO CURVA GENÉRICA CATÁLOGO

T_{w2} [°C]

$t_H = 20^\circ\text{C}$ $t_H = 25^\circ\text{C}$ $t_H = 30^\circ\text{C}$

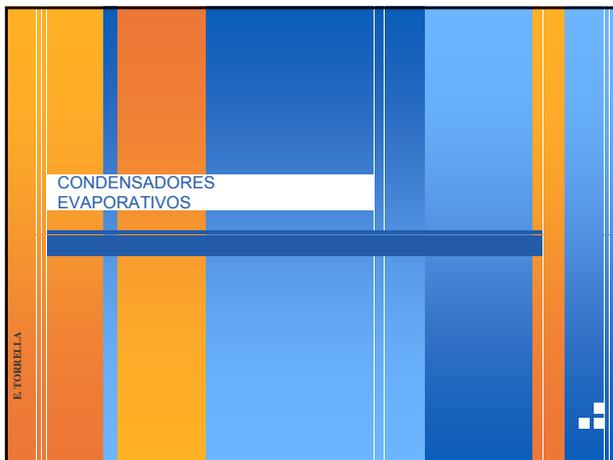
T_{w1} [°C]

T_{w1} [°C]	T_{w2} [°C] ($t_H = 20^\circ\text{C}$)	T_{w2} [°C] ($t_H = 25^\circ\text{C}$)	T_{w2} [°C] ($t_H = 30^\circ\text{C}$)
30	25	27	30
35	26	29	32
40	27	31	34
45	28	32	35
50	29	33	36
55	30	34	37

E. TORRELLA

1/12/2011

page 52

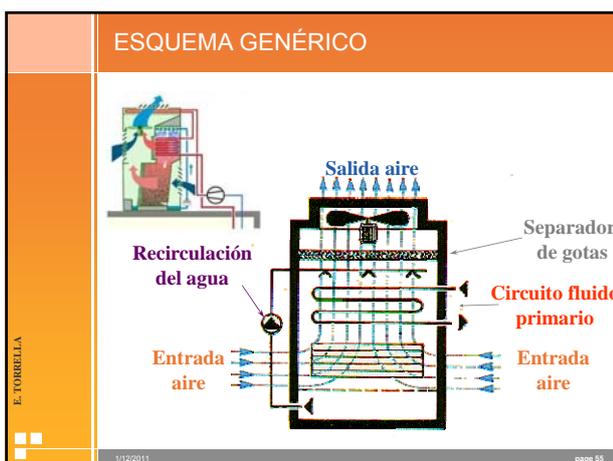


FUNCIONAMIENTO

- ▶ Un condensador evaporativo combina las funciones de un condensador de agua y una torre de enfriamiento.
- ▶ La transmisión de la potencia de condensación tiene lugar en dos etapas:
 - Del interior de los tubos hacia la capa de agua (calor sensible).
 - Del agua a la corriente de aire por medio de transferencia conjunta de calor y masa.

E. TORRELLA

1/12/2011 page 54



CARACTERÍSTICAS MEDIAS

- ▶ Tubos de cobre o acero planos o aleteados.
- ▶ Velocidades óptimas de aire en el rango de 3 a 5 m/s.
- ▶ Coeficientes globales medios de 500 a 700 W/m² K.
- ▶ Flujos de calor de 1400 a 2200 W/m².
- ▶ Diferencias logarítmicas de 2 a 3 K (entre fluido y agua).
- ▶ $T_K \approx T_h \text{ aire} + (8 \div 10 \text{ K})$.

E. TORRELLA

1/12/2011 page 56

COND. EVAPORATIVOS
Tiro forzado e inducido

E. TORRELLA

1/12/2011 page 57

COND. EVAPORATIVOS
Componentes

E. TORRELLA

1/12/2011 page 58

COND. EVAPORATIVOS
Vistas

E. TORRELLA

1/12/2011 page 59

CONDENSADORES
Consumo específico de agua

TIPO	F/m ³ de agua
No recuperable	4000 a 6000
Torre/Condensador evaporativo	40000 a 60000

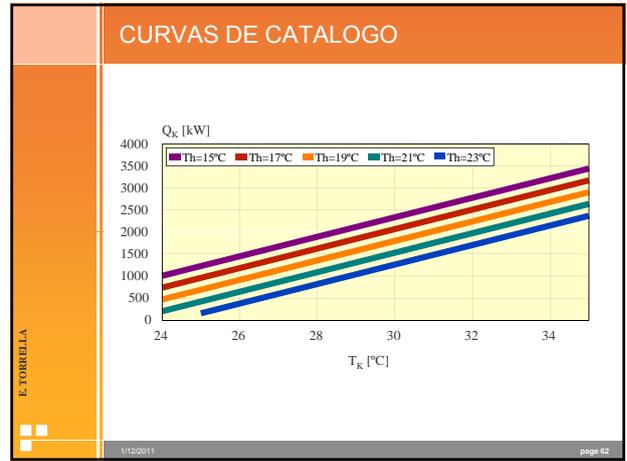
E. TORRELLA

1/12/2011 page 60

MANTENIMIENTO

E. TORRELLA

1/12/2011 page 61



CARACTERISTICAS CONDENSADORES

RESUMEN

E. TORRELLA

1/12/2011 page 63

CONDENSADORES

Incrementos de temperatura [°C]

MEDIO DE CONDENSACIÓN	SALTO EN EL AGUA	SALTO ENTRE "TK" Y "T" ENTRADA
AIRE CONVECCIÓN NATURAL		15
AIRE CONVECCIÓN FORZADA		15
AGUA DOBLE TUBO	5 a 7	
AGUA MULTITUBULAR HORIZONTAL	5	10

E. TORRELLA

1/12/2011 page 64

CONDENSADORES Coeficiente global (rangos [Kcal/hm ² C])		
MEDIO DE CONDENSACIÓN	Máximo	Mínimo
AIRE CONVECCIÓN NATURAL	10	5
AIRE CONVECCIÓN FORZADA	40	20
AGUA DOBLE TUBO	1000	600
AGUA MULTITUB. HORIZONTAL	1000	600
AGUA MULTITUBULAR VERTICAL	1500	700
AIRE-AGUA EVAPORATIVO	300	200

E. TORRELLA

1/12/2011 page 65