

COMITÈ CIENTÍFIC  
DOCUMENT INTERN



## **EL SISTEMA TER - LLOBREGAT**

### **FRENTE A LA DEMANDA**

## **ACTUAL Y FUTURA DEL AMBITO ATLL**

**ATLL - Aigües Ter - Llobregat**



**JULIO DE 1998**

# EL SISTEMA TER - LLOBREGAT FRENTE A LA DEMANDA

## ACTUAL Y FUTURA DEL AMBITO ATLL

### ÍNDICE

#### MEMORIA

1.- CONSIDERACIONES GENERALES . . . . .	1
2.- CRITERIOS DE ACEPTACIÓN DE HIPÓTESIS . . . . .	2
3.- RESUMEN Y CONCLUSIONES . . . . .	6
4.- DATOS DE PARTIDA . . . . .	13
5.- ANÁLISIS DE HIPÓTESIS . . . . .	19
5.1.- Demanda actual en el ámbito ATLL . . . . .	19
5.2.- Demanda de 564 hm <sup>3</sup> /a en el ámbito ATLL . . . . .	22
5.3.- Demanda de 660 hm <sup>3</sup> /a en el ámbito ATLL . . . . .	29

#### APÉNDICES

Apéndice nº 1.- Tablas de balance anual

# EL SISTEMA TER - LLOBREGAT FRENTE A LA DEMANDA

## ACTUAL Y FUTURA DEL AMBITO ATLL

### 1.- CONSIDERACIONES GENERALES

Este informe describe la capacidad de los embalses de los ríos Ter y Llobregat - en lo sucesivo llamado sistema Ter - Llobregat -, con la eventual aportación de los trasvases de Ebro o el Ródano, para servir la demanda actual y futura del ámbito ATLL.

El análisis se ha realizado mediante la simulación del funcionamiento mensual del sistema para el periodo 1940-89 - que se considera representativo de la hidrología de la zona-, bajo diversas hipótesis de demanda y régimen de explotación. Para ello, se ha utilizado un modelo de gestión<sup>1</sup> que simula el esquema representado en la figura nº 1, que es similar al desarrollado para el "**Modelo del sistema Ter - Llobregat**", ATLL , 1996.

Las hipótesis empleadas para el análisis son las más desfavorables desde el punto de vista de las demandas - considerando las máximas en los ríos Ter y Llobregat - y del régimen de explotación - el que usa agua de mejor calidad -, y las más favorables desde el punto de vista de la infraestructura - conducciones de los trasvases y red ATLL -. De esta forma, se estima el mínimo trasvase necesario para cubrir las máximas demandas, puesto que se eliminan en lo posible las limitaciones de la infraestructura.

Los análisis realizados corresponden a tres hipótesis de demanda del ámbito ATLL - suponiendo fija e igual a la futura demanda de los restantes usuarios -, combinadas con tres hipótesis de trasvase - sin trasvase, con el del Ebro y con el del Ródano -.

La memoria describe los análisis realizados. El capítulo 2 hace diversas consideraciones sobre los criterios de aceptación de hipótesis. El capítulo 3 hace un breve resumen del trabajo y de las conclusiones alcanzadas. Por fin, los 4 y 5 describen los datos utilizados y los resultados de cada hipótesis. La descripción del modelo es muy breve porque sólo se hace referencia a las modificaciones respecto al modelo de 1996, usado como base para este estudio. El apéndice nº 1 presenta tablas de valores anuales que permiten comprender el reparto de recursos entre las demandas.

---

<sup>1</sup> Se ha utilizado el programa SIM-V, desarrollado por el Departamento de Recursos Hidráulicos de Tejas (EE. UU.) y ampliamente mejorado por los técnicos que han ejecutado este estudio.



## 2.- CRITERIOS DE ACEPTACIÓN DE HIPÓTESIS

Los resultados del análisis de cada hipótesis son las series mensuales de volúmenes embalsados, caudales circulantes por los ríos y conducciones y, como consecuencia, de demandas servidas y déficits respecto al objetivo.

Para decidir si una solución es válida - si el sistema sirve adecuadamente la demanda -, hay que definir el criterio de aceptación, fijando el método de cálculo del parámetro de medida a partir de las series de déficit de demanda y su valor límite admisible. En términos generales, algo imprecisos, se suele llamar a esta operación *Definición del criterio de garantía*, aunque hay otros parámetros, como la vulnerabilidad, que no son estrictamente de este tipo.

La dificultad de esta definición estriba en que no puede establecerse un criterio con validez universal debido a la heterogeneidad de los sistemas, que se diferencian entre sí por el nivel de riesgo aceptado por los gestores o la población servida, las consecuencias económicas y sociales de los fallos de suministro, la existencia de fuentes alternativas de recursos o la capacidad de reducción de la demanda.

Por otra parte, el parámetro usado como criterio, que es una síntesis de los resultados de la simulación, debe buscar un compromiso entre sencillez - para facilitar su comprensión -, y representatividad - para reflejar en lo posible el número, magnitud y secuencia de los fallos -.

Como consecuencia se usan muchos criterios, que son de tres tipos:

- Servicio sin fallos, usado frecuentemente en EE. UU. (safe yield o firm yield).
- Garantía mínima de servicio, calculada como porcentaje de periodos con fallo inferior a determinado umbral.
- Otros criterios más elaborados: vulnerabilidad, resiliencia, robustez.

A esta lista habría que añadir la ausencia de criterio, caso en que los técnicos analizan los resultados desde distintos puntos de vista y deciden si la solución es aceptable. La FAO utiliza este a veces este sistema.

El criterio de servicio sin fallos se apoya en la idea de que un suministrador se compromete a servir un determinado volumen, sujeto a fuertes penalizaciones si no lo cumple. En lo que respecta a la demanda para abastecimientos, hay muchas opiniones a favor del servicio sin fallos. Por ejemplo, el Centro de Estudios Hidrológicos del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EE. UU. dice que<sup>2</sup> *"Generalmente se consideran intolerables los déficits en el abastecimiento de agua potable. Sin embargo, se puede admitir alguna disminución en el volumen destinado a usos municipales o industriales sin producir graves efectos económicos, sin más que reducir algunos de los usos menos importantes como riego de jardines, lavado de coches etc... Déficits superiores al 10 % suelen producir daños notables. La mayoría de los embalses para abastecimiento se dimensionan para suministrar el volumen garantizado (safe yield) durante la sequía más crítica registrada, manteniendo un volumen de reserva para utilizarlo si se presentaran una sequía sin precedentes"*.

El criterio usado en España hasta 1994, que sigue siendo el más frecuente en la actualidad, es el clásico de garantía, si bien se calcula de formas muy variadas - mensual, anual y con distintos umbrales de fallo -, dificultando las comparaciones entre distintos sistemas o estudios. En 1980, la Instructa de los Planes Hidrológicos estableció un criterio, conocido como *Garantía de la Instructa* cuyo uso se ha extendido mucho en España. Establece que, para calcular la garantía de los abastecimientos, se considera un mes fallado cuando el déficit es superior al 20 % y su valor se obtiene como número de meses sin fallo respecto a meses totales. Su mínimo aceptable suele fijarse entre el 95 y el 98%.

En 1994, una Orden Ministerial estableció que los Proyectos de Directrices de los Planes Hidrológicos de Cuenca debían emplear el criterio de Utah o de vulnerabilidad, que es de tipo lógico - se cumple o no -, y tiene en cuenta la magnitud y secuencia de los fallos, olvidando su número absoluto. El criterio de vulnerabilidad para abastecimientos define que la demanda se considerará satisfecha cuando:

- a) El déficit en un año no es superior al 8-10 % de la demanda anual.
- b) El déficit acumulado en dos años consecutivos no es superior al 14-16 % de la demanda anual.
- c) El déficit acumulado en diez años consecutivos no es superior al 20-30 % de la demanda anual.

---

<sup>2</sup> Hydrologic Engineering Methods for Water Resources Development, Vol. I, Requirements and General Procedures, pag. 4-13. Hydrologic Engineering Center, U. S. Army, Corps of Engineers, Octubre 1971

Cada Plan Hidrológico de Cuenca podía elegir los déficit de referencia dentro de la gama de valores indicada.

En la práctica se ha comprobado que este criterio es muy estricto, por lo que en la actualidad se tiende a abandonarlo y utilizar la garantía, preferentemente la de la Instructa, aunque oficialmente sigue en vigor.

Para dar una idea de la variedad de criterios usados para estimar la garantía de los abastecimientos hay tres ejemplos que pueden ser interesantes:

- *Diputación Foral de Guipúzcoa*<sup>3</sup>: Se trata de un problema de planificación que pretende determinar la capacidad de servicio de sus consorcios de abastecimiento de aguas y establecer la necesidad de recursos adicionales. La hipótesis de partida considera inadmisibles que se produzcan déficits de suministro, debido a que sus pequeños embalses de regulación proporcionan un escaso margen de tiempo para adoptar medidas excepcionales y a la respuesta social ante la sequía del 89. El análisis se realiza por simulación de los sistemas con las aportaciones de las tres sequías más intensas de toda la serie pluviométrica (de unos 100 años de duración), y se exige garantía total, considerando además que, para tener una reserva estratégica, se produce déficit cuando en los embalses hay un volumen inferior al necesario para diez semanas de suministro.

- *Canal de Isabel II*<sup>4</sup>: A efectos de gestión de sequías, el criterio de garantía de suministro del Canal admite que un 4 % de los años se produzca un déficit del 9 %. La cifra de déficit equivale al ahorro que se puede alcanzar sólo con "disminución de consumo doméstico resultante de las campañas de concienciación y de la reducción de usos municipales...". Por tanto, el criterio de garantía usado en este caso es menos restrictivo que el anterior, y se deduce de las características del sistema del Canal de Isabel II: capacidad de regulación hiperanual, posibilidad de reducción de la demanda en un 9 % sin consecuencias graves y criterio de que esta situación es aceptable en un 4 % de los años.

---

<sup>3</sup> "Estudio de las sequías de Guipúzcoa", 1997

<sup>4</sup> "Manual de Gestión de Sequías", Revisión 1, Junio de 1994

- *Confederación Hidrográfica del Guadalquivir*<sup>5</sup>: Para elaborar las normas de explotación en sus embalses exige que los abastecimientos estén garantizados durante los tres años siguientes, según el criterio de vulnerabilidad establecido por el Plan de la Cuenca - 10 % para un año y 16 % para dos años consecutivos - .

Ante esta amplia gama de posibilidades, surgen dudas sobre el criterio a emplear para la demanda del ámbito ATLL. En opinión del autor de este informe, como se trata de planificación de un sistema frente a la demanda futura, debe utilizarse el criterio del servicio a prueba de fallos. Este criterio, muy conservador, es conveniente para cubrir posibles imprecisiones en los análisis realizados. En efecto, hay que tener en cuenta que éstos se apoyan en una serie de datos e hipótesis sujetos a errores de diversos tipos:

- Las series de recursos naturales disponibles proceden de datos de aforos imprecisos y escasos.
- Los periodos secos de la serie histórica utilizada, aunque es bastante larga, con 50 años de duración, pueden ser menos desfavorables que los producidos en siglos pasados, y no reflejan la posible reducción futura de recursos inducida por el cambio climático, problema imposible de considerar en la actualidad por falta de evidencia estadística.
- Las proyecciones de demanda futura son imprecisas por naturaleza.
- Los análisis realizados solo estudian los volúmenes de agua, sin incluir directamente valoraciones sobre su calidad, que podría limitar los recursos disponibles en la práctica.

Por tanto, como se hace en otros problemas de ingeniería, se debe utilizar un coeficiente de seguridad que proporcione un margen frente a esas incertidumbres. Una forma de introducirlo es obligar al servicio sin fallos. Si además se tienen en cuenta las características del sistema Ter - Llobregat, que cuenta con poca capacidad de regulación hiperanual y escaso margen de tiempo para adoptar medidas excepcionales, se ratifica la conveniencia de buscar la garantía total como objetivo.

En cualquier caso, los resultados de cada hipótesis se han estudiado mediante siete criterios de garantía diferentes que proporcionan una amplia panorámica para valorarlos desde diversos puntos de vista.

---

<sup>5</sup> "Instrucciones sobre elaboración de normas de explotación", Comisaría de Aguas de la C. H. del Guadalquivir, julio de 1997

### 3.- RESUMEN Y CONCLUSIONES

Partiendo del modelo de simulación del sistema Ter - Llobregat realizado en 1996, se han analizado varias hipótesis encaminadas a establecer su capacidad para suministrar tres demandas tipo. Son la demanda actual, estimada en 350 hm<sup>3</sup>/a, la demanda futura cifrada en 564 hm<sup>3</sup>/a por el estudio de demandas más reciente<sup>6</sup>, y una demanda máxima de 660 hm<sup>3</sup>/a, que supone unos 10 m<sup>3</sup>/s más que la actual.

El objetivo de estos análisis es doble. Primero, analizar la influencia de la introducción de resguardos de avenida en los embalses bastante mayores que los supuestos actualmente - hasta un 34 % en el Ter y un 20 % en el Llobregat - y unas demandas algo superiores en estos ríos, debidas sobre todo al aumento de los caudales ecológicos. Segundo, dados los previsibles problemas derivados de estos nuevos criterios, que reducen los recursos disponibles para el suministro de agua al ámbito ATLL, estudiar la eficacia de los trasvases del Ebro y del Ródano para solucionarlos.

Se ha supuesto que se mejora la red de ATLL para proporcionarle la máxima permeabilidad, de forma que se pueda utilizar agua de cualquier río en cualquier punto. Además, el régimen de explotación aplicado es similar al actual, en particular en lo que respecta al uso de los recursos de mejor calidad en primer lugar. Como consecuencia, se usa primero el agua del Ter, seguida de la del Ebro o el Ródano si hay trasvase y, en último lugar la del Llobregat. Esto da lugar a una leve reducción de la garantía puesto que se prefiere verter agua no regulada en el Llobregat y usar a cambio agua regulada en el Ter.

El trasvase del Ebro se supone de 20 m<sup>3</sup>/s de capacidad de canal hasta un embalse de regulación de 100 hm<sup>3</sup> - volumen máximo posible, según los estudios previos realizados -, del que sale una conducción de 15 m<sup>3</sup>/s hasta Abrera. En cuanto al trasvase del Ródano, se supone que tiene una capacidad de 10 m<sup>3</sup>/s y que puede servir este caudal en cualquier momento.

Este planteamiento da lugar a siete hipótesis. La situación actual se analiza sin trasvases, y las dos demandas futuras se estudian con la infraestructura actual y con los trasvases del Ebro o del Ródano.

Se plantea como objetivo alcanzar la garantía total, porque se trata de un abastecimiento importante, que ante una sequía grave tiene poco margen de tiempo para adoptar medidas paliativas

---

<sup>6</sup> "Estudio de evaluación de la demanda latente y futura de agua en el ámbito ATLL", ATLL, julio de 1996

y que puede de sufrir daños sociales y económicos notables. Además, el objetivo de garantía total equivale indirectamente a introducir un coeficiente de seguridad frente a las incertidumbres e imprecisiones en los datos de recursos naturales y demandas utilizados.

La tabla nº 1 resume las garantías obtenidas en cada hipótesis. En ella se muestran siete criterios de garantía:

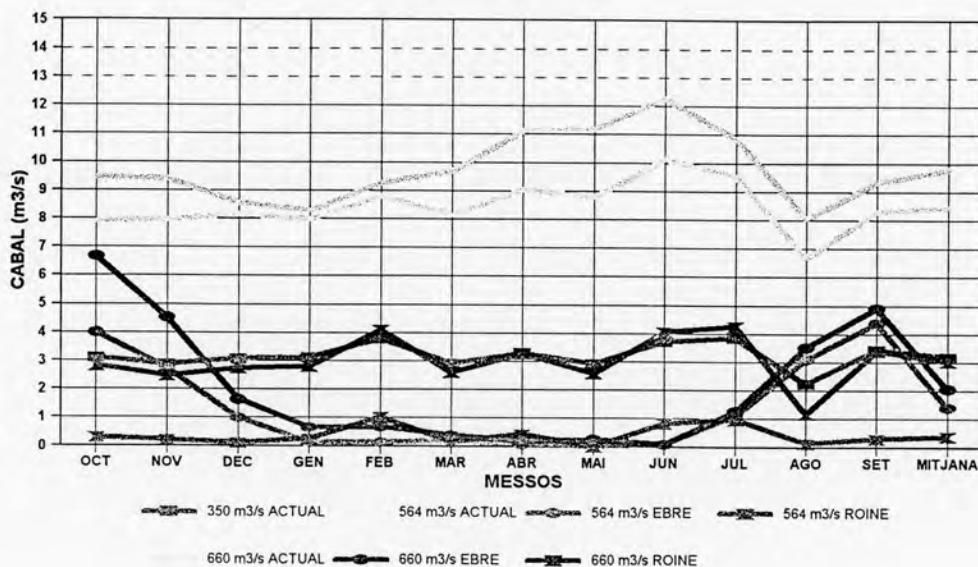
- 1.- VULN: Criterio de vulnerabilidad. Se usa el aplicado en el Plan Hidrológico del Ebro, que no se cumple si en un año se da fallo de más del 8 %, en dos consecutivos más del 14 % de la demanda anual y en diez consecutivos más del 20 %.
- 2.- INSTR: Garantía de la Instructa de los Planes Hidrológicos de 1980, que considera mes fallado el que tiene un déficit superior al 20 %.
- 3.- MENS: Garantía mensual, suponiendo que cualquier déficit implica mes fallado.
- 4.- ANUAL-1: Garantía anual, considerando año fallado si en algún mes se produce un déficit superior al 20 %.
- 5.- ANUAL-2.1: Garantía anual, considerando año fallado si el déficit anual es superior al 20 %.
- 6.- ANUAL-2.2: Garantía anual, considerando año fallado si el déficit anual es superior al 10 %.
- 7.- ANUAL-2.3: Garantía anual, considerando año fallado si se produce cualquier déficit.

**TABLA 1.- GARANTÍAS DE SERVICIO DE LA DEMANDA DE ATLL**

HIPÓTESIS	DEMANDA hm <sup>3</sup> /a	VULN	INSTR	MENS	ANUAL 1	ANUAL 2.1	ANUAL 2.2	ANUAL 2.3
SIN TRASVASE	350	NO	98,3%	98,0%	90,0%	100,0%	96,0%	90,0%
SIN TRASVASE	564	NO	82,5%	77,0%	48,0%	84,0%	62,0%	40,0%
TRASVASE EBRO	564	SI	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
TRASVASE RÓDANO	564	SI	100,0%	99,8%	100,0%	100,0%	100,0%	98,0%
SIN TRASVASE	660	NO	70,0%	63,3%	24,0%	64,0%	46,0%	24,0%
TRASVASE EBRO	660	NO	99,0%	98,8%	92,0%	100,0%	98,0%	92,0%
TRASVASE RÓDANO	660	SI	99,0%	98,2%	92,0%	100,0%	100,0%	90,0%

Además de las garantías, que resumen excesivamente los resultados y no consideran aspectos importantes, se han analizado otras variables. La más significativa ha sido la contribución del Llobregat al servicio de las demandas, que debe ser lo más baja posible para minimizar los problemas de calidad de agua. La tabla nº 2 resume los caudales medios procedentes de cada río en las siete hipótesis analizadas. La figura nº 2 muestra los caudales procedentes del Llobregat en dichas hipótesis.

**RECURSOS DEL LLOBREGAT**  
 Distribució de cabals



**TRASVASSAMENTS EBRE / ROINE**  
 Distribució de cabals

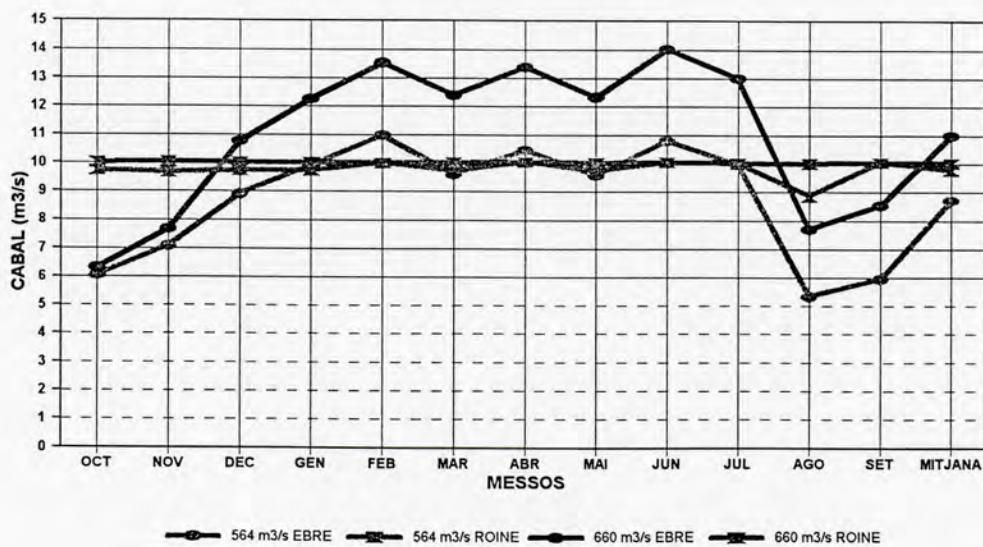


FIG. 2.- CAUDALES PROCEDENTES DEL LLOBREGAT Y LOS TRASVASES  
 EN CADA HIPÓTESIS

TABLA 2.- CAUDALES MEDIOS MENSUALES EN m<sup>3</sup>/s DE LOS DISTINTOS RÍOS EN CADA HIPÓTESIS

TRASVASADO DESDE EL TER	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	MEDIA
350 m3/s, SIT.ACTUAL	7,62	7,72	7,76	7,66	7,72	7,84	7,73	8,00	8,03	7,91	7,83	7,87	7,81
564 m3/s SIT.ACTUAL	7,62	7,72	7,76	7,76	7,74	7,91	7,73	8,00	8,03	7,91	7,83	7,87	7,82
564 m3/s TR.EBRO	7,56	7,70	7,69	7,54	7,65	7,78	7,69	8,00	8,03	7,88	7,79	7,87	7,77
564 m3/s TR.RÓDANO	7,57	7,59	7,76	7,61	7,73	7,71	7,74	7,86	8,03	7,98	7,25	7,87	7,73
660 m3/s SIT.ACTUAL	7,62	7,72	7,76	7,76	7,74	7,91	7,73	8,00	8,03	7,91	7,83	7,87	7,82
660 m3/s TR.EBRO	7,60	7,72	7,72	7,66	7,69	7,82	7,72	8,00	8,03	7,91	7,79	7,87	7,79
660 m3/s TR.RÓDANO	7,62	7,72	7,76	7,66	7,73	7,83	7,73	8,00	8,03	7,91	7,83	7,87	7,81
<b>CAUDAL DEL LLOBREGAT</b>													
350 m3/s SIT.ACTUAL	3,09	2,86	3,06	3,12	3,77	2,90	3,28	2,91	3,69	3,84	2,23	3,42	3,18
564 m3/s SIT.ACTUAL	7,89	7,94	8,14	7,95	8,76	8,14	9,01	8,76	10,09	9,52	6,65	8,29	8,43
564 m3/s TR.EBRO	3,98	2,73	0,99	0,12	0,12	0,20	0,05	0,02	0,07	1,09	3,10	4,38	1,40
564 m3/s TR.RÓDANO	0,28	0,19	0,09	0,24	1,00	0,16	0,41	0,00	0,82	0,95	0,12	0,28	0,38
660 m3/s SIT.ACTUAL	9,44	9,38	8,54	8,27	9,25	9,66	11,10	11,16	12,25	10,84	8,05	9,3	9,77
660 m3/s TR.EBRO	6,66	4,52	1,63	0,64	0,67	0,37	0,20	0,25	0,07	1,25	3,50	4,89	2,06
660 m3/s TR.RÓDANO	2,80	2,45	2,74	2,79	4,08	2,59	3,25	2,58	4,04	4,25	1,16	3,38	3,01
<b>TRASVASE DE EBRO/RÓDANO</b>													
350 m3/s SIT.ACTUAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
564 m3/s SIT.ACTUAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
564 m3/s TR.EBRO	6,04	7,06	8,90	9,91	10,95	9,60	10,44	9,56	10,79	9,96	5,33	5,94	8,71
564 m3/s TR.RÓDANO	9,72	9,65	9,73	9,73	10,00	9,71	10,00	9,72	10,00	10	8,85	10,00	9,77
660 m3/s SIT.ACTUAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
660 m3/s TR.EBRO	6,31	7,67	10,76	12,26	13,53	12,39	13,37	12,33	14,01	12,99	7,69	8,53	10,99
660 m3/s TR.RÓDANO	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00

De la observación de estas tablas se deducen las siguientes observaciones:

*Demanda de 350 hm<sup>3</sup>/a*

- 1.- El sistema no tiene capacidad para servir adecuadamente la demanda actual si se imponen los nuevos resguardos y caudales ecológicos, puesto que, aunque tiene una garantía del 98 % según la Instructa, no cumple el criterio de vulnerabilidad y hay un 10 % de probabilidad de que se presente fallo en un año determinado.
- 2.- El caudal medio procedente del Llobregat es de 3,2 m<sup>3</sup>/s, con distribución muy uniforme. Se debe a la necesidad de complementar los 8 m<sup>3</sup>/s de caudal máximo del Ter hasta los 11 m<sup>3</sup>/s de demanda media.

*Demanda de 564 hm<sup>3</sup>/a*

- 3.- Para servir la demanda prevista de 564 hm<sup>3</sup>/a, hay que recurrir al trasvase del Ebro o del Ródano. Sin estos nuevos recursos la situación sería catastrófica, pues se daría déficit de alguna magnitud en un 60 % de los años.
- 4.- El trasvase del Ebro suministra esta demanda con garantía total para la serie de aportaciones utilizada. Sin embargo, debe usar bastantes recursos del Llobregat, con una media de 1,4 m<sup>3</sup>/s y distribución irregular - debida a la variabilidad de los recursos del Ebro a lo largo del año -, variable entre 0 y 4,4 m<sup>3</sup>/s, con los valores máximos concentrados entre agosto y noviembre.
- 5.- El trasvase del Ródano produce un déficit aislado en toda la serie que le impide alcanzar la garantía total, si bien la calculada según el criterio de la Instructa es del 100 %. Esto se debe a la limitación del caudal de trasvase a 10 m<sup>3</sup>/s, que da lugar a un pequeño déficit de 8 hm<sup>3</sup> por falta de agua en el Ter y Llobregat. El caudal medio procedente del Llobregat es de 0,4 m<sup>3</sup>/s, con distribución bastante uniforme - consecuencia de la constancia de las contribuciones del Ter y del Ródano -, y un máximo de 1 m<sup>3</sup>/s.

*Demanda de 660 hm<sup>3</sup>/a*

6.- Con la infraestructura actual no se puede atender la demanda de 660 hm<sup>3</sup>/a, ya que se produce déficit en un 76 % de los años, y es mayor del 20 % de la demanda en el 36 % de ellos.

7.- Con el trasvase del Ebro se sirve esta demanda con garantía del 99,3 % según la Instructa, aunque no se cumple el criterio de vulnerabilidad porque uno de los cuatro años con fallo presenta un déficit inaceptable del 15 %. Requiere el uso de 2,1 m<sup>3</sup>/s del Llobregat, con los valores mayores entre agosto y noviembre, que casi alcanzan los 7 m<sup>3</sup>/s.

8.- Con el trasvase del Ródano se alcanza la misma garantía que con el del Ebro, del 99,0 % según la Instructa, pero se cumple el criterio de vulnerabilidad porque ninguno de los cinco déficit anuales registrados supera el 8 %. El caudal medio procedente del Llobregat, necesario para complementar los 18 m<sup>3</sup>/s proporcionados por el Ter y el Ródano hasta los 21 m<sup>3</sup>/s de demanda, es de 3 m<sup>3</sup>/s, con pocas variaciones mensuales y un máximo de 4,3 m<sup>3</sup>/s.

9.- Si se utilizara agua sobrante del Llobregat antes que agua regulada en el Ter, las garantías con los trasvases del Ebro y el Ródano aumentarían algo, hasta el 99,2 y el 99,7 % respectivamente según el criterio de la Instructa. La solución con el Ródano es la que más mejora, pues baja de 5 a 2 años con déficit.

10.- Aunque la conducción desde el embalse de regulación del trasvase del Ebro aumentara de 15 a 20 m<sup>3</sup>/s, no se alcanzaría la garantía total para esta solución. No tiene sentido aumentar aún más su tamaño pues, al contrario que en el caso del Ródano, los recursos trasvasables están limitados por las disponibilidades en origen.

11.- Si el trasvase del Ródano se amplía de 10 a 14 m<sup>3</sup>/s, se consigue la garantía total.

La comparación entre las distintas hipótesis permite alcanzar las siguientes conclusiones:

*- La disminución de recursos útiles en el Ter y Llobregat, consecuencia del aumento de los resguardos en sus embalses y de los caudales ecológicos, hace que el sistema actual que suministra la demanda del ámbito ATLL no tenga capacidad para alcanzar la garantía exigible a un abastecimiento de estas características.*

- Tanto con la demanda previsible de  $564 \text{ hm}^3/\text{a}$ , como con la máxima de  $660 \text{ hm}^3/\text{a}$ , es necesario contar con el trasvase del Ebro o el del Ródano para evitar situaciones de sequía catastrófica.
- Desde el punto de vista de la garantía el trasvase del Ebro ofrece resultados aceptables y similares a los obtenidos con el del Ródano, produciendo algún fallo menos pero de mayor entidad, pero ni uno ni otro permite alcanzar el 100 % de garantía con la demanda máxima.
- Con el trasvase del Ebro los recursos procedentes del Llobregat son más variables a lo largo del año, siendo escasos entre diciembre y julio mientras que en el resto del año alcanzan valores altos, lo que daría a los usuarios una sensación de pérdida repentina de calidad.
- Con el trasvase del Ródano se requiere un uso bastante uniforme del agua del Llobregat. Si a esto se añade la mejor calidad del agua del Ródano frente a la del Ebro se concluye que desde el punto de vista de la calidad es más conveniente la solución con trasvase del Ródano.
- Si el trasvase del Ródano se amplía hasta los  $14 \text{ m}^3/\text{s}$  se alcanza la garantía total.
- Como resumen, desde el punto de vista de la garantía y de la calidad del agua suministrada, se recomienda la solución del Ródano - con  $14 \text{ m}^3/\text{s}$  si es viable económicamente - antes que la del Ebro, aunque ésta también es aceptable.

#### 4.- DATOS DE PARTIDA

Los datos empleados en el análisis coinciden en lo esencial con los usados en el modelo de 1996, con algunas diferencias que se comentan a continuación:

##### *Recursos:*

Se resumen en la tabla nº 3. Tienen las siguientes características:

- Cuencas del Ter y del Llobregat: Se manejan las series históricas 1940-89 del modelo de 1996.
- Trasvase del Ebro: Se mantiene la capacidad de canal de 20 m<sup>3</sup>/s, pero se suprime el tope de trasvase anual de 440 hm<sup>3</sup> contabilizado a partir de octubre. Se supone que el coste del bombeo necesario para enviar el agua al futuro embalse de regulación y la escasa capacidad de éste hace el tope innecesario y contraproducente pues elimina la posibilidad de trasvase en verano. La figura nº 3 muestra los caudales anuales y medios mensuales trasvasables desde el Ebro. Se podría trasvasar una media de 459 hm<sup>3</sup>/a, con un máximo de 596 hm<sup>3</sup>/a y un mínimo de 261. Los caudales medios disponibles son de 20 m<sup>3</sup>/s o muy cercanos a esta cifra de diciembre a junio y de 5 m<sup>3</sup>/s o menos de agosto a octubre, respectivamente.
- Trasvase del Ródano: Se mantiene su capacidad constante e igual a 10 m<sup>3</sup>/s, aunque se ha analizado la influencia de su aumento.

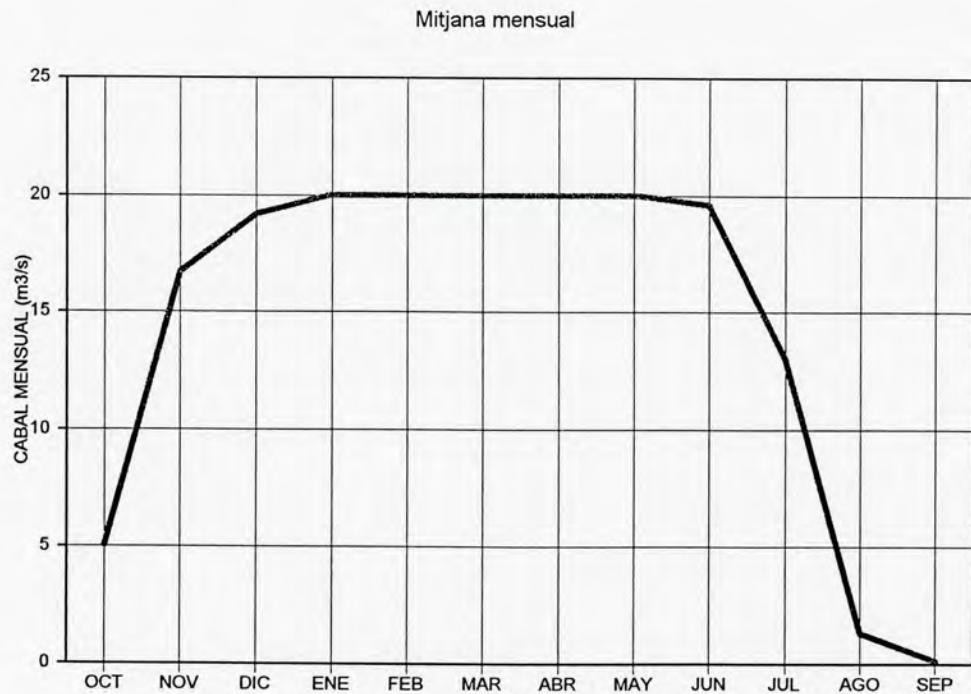
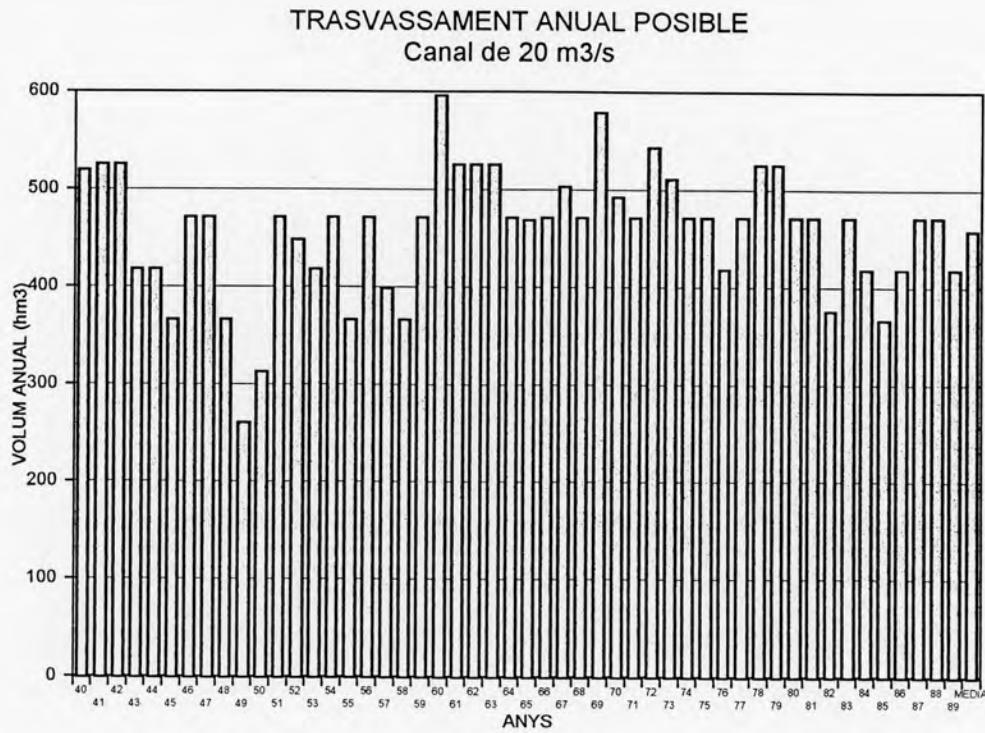


FIG. 3.- VOLUMEN TRASVASABLE DESDE EL EBRO  
Canal de 20 m<sup>3</sup>/s, sin límite anual, reserva del 15 % en Mequinzenza

**TABLA 3.- RESUMEN DE APORTACIONES NATURALES**

<b>RÍO TER</b>	<b>APORTACIÓN MEDIA ANUAL</b>
CUENCA	(años 1940-89)
CABECERA DEL TER	496
SAU	552
SUSQUEDA	582
PASTERAL	595
TER BAJO EL OSSOR	666
TER BAJO EL ONYAR	806
TER COMPLETO	829
<b>RÍO LLOBREGAT</b>	
CABECERA DEL LLOBREGAT	115
LA BAELLS	236
RIERA MERLES	20
LLOSA	75
SANT PONÇ	100
CARDENER EN MANRESA	134
LLOBREGAT BAJO MERLES	296
LLOBREGAT BAJO CARDENER	561
LLOBREGAT EN ABRERA	592
LLOBREGAT EN MARTORELL	718

*Demandas:*

Se mantienen las del modelo de 1996, con las siguientes excepciones (tabla nº 4),

- Ter: Se añade un caudal ecológico de 3 m<sup>3</sup>/s en todo el río, para garantizar que Girona recibe al menos este caudal.

- Llobregat:

# Se aumenta de 3 a 4 m<sup>3</sup>/s el desembalse de La Baells.

# Se aplica un caudal ecológico de 3 m<sup>3</sup>/s en la desembocadura

# Se modifica la infiltración en el Delta en dos sentidos. Se aumenta su máximo anual de 63 hm<sup>3</sup>/a (2 m<sup>3</sup>/s) a 100 hm<sup>3</sup>/a, pero no se obliga a desembalsar agua para atenderla, sino que se considera que sólo usa aguas sobrantes por vertido o

aportación no regulada, por lo que en la mayor parte de los años no alcanzará esa cifra.

- Ámbito ATLL:

# Se mantiene como demanda actual un volumen total de 350 hm<sup>3</sup>/a.

# La hipótesis de demanda futura máxima previsible se fija en 564 hm<sup>3</sup>/a, consecuencia del estudio de demandas de 1996.

# La demanda máxima supuesta asciende a 660 hm<sup>3</sup>/a, 10 m<sup>3</sup>/s más que la actual.

# Se adopta una distribución mensual, que sigue las líneas generales de la que se ha producido en los últimos años, con los siguientes porcentajes mensuales:

OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP
8,36	8,04	8,36	8,36	8,04	8,36	8,36	8,36	8,68	9,00	7,72	8,36

Esta distribución exige un caudal máximo en los meses de junio y julio y también en febrero, debido a los 28 días de este mes.

**TABLA 4.- RESUMEN DE LAS DEMANDAS ACTUALES**

<b>DEMANDAS DEL LLOBREGAT</b>	<b>TOTAL</b>
<b>(Brutas, sin descontar reutilización)</b>	hm <sup>3</sup>
DESEMBALSE LA BAELLS	126
LLOBREGAT HASTA EL CARDENER	89
DESEMBALSE SANT PONÇ	32
CARDENER COMPLETO	57
LLOBREGAT DESDE CARDENER HASTA ABRERA	34
LLOBREGAT DESDE ABRERA HASTA EL MAR	47
INFILTRACIÓN ACUIFEROS (MAXIMA)	117
ECOLÓGICO MAR	95
<b>TOTAL</b>	<b>597</b>

<b>DEMANDAS DEL TER</b>	<b>TOTAL</b>
<b>(Brutas, sin descontar reutilización)</b>	hm <sup>3</sup>
ALTO TER, HASTA SUSQUEDA	28
TER HASTA GIRONA (ANGLES, PARDINA...)	20
GIRONA-COSTA BRAVA	32
ECOLÓGICO GIRONA / ACEQUIA MONAR	189
ABASTECIMIENTOS BAJO TER	4
RIEGOS BAJO TER	115
ECOLÓGICO MAR	95
<b>TOTAL</b>	<b>483</b>

*Infraestructura*

- Se supone que la red ATLL es permeable, es decir que los recursos de cualquier río se pueden utilizar para servir todas las demandas. De esta forma se independizan dos problemas diferentes como son las necesidades de recursos futuros y la flexibilidad de la red de ATLL.
- Se supone que la conducción entre el embalse de regulación del trasvase del Ebro tiene 15 m<sup>3</sup>/s, capacidad que se considera suficiente para no limitar el uso de los recursos trasvasables.

- El embalse de regulación del trasvase del Ebro se considera de 100 hm<sup>3</sup> de capacidad, útil, que en la actualidad parece el máximo viable.

#### *Régimen de explotación*

- Se aplica a los embalses del Ter un resguardo del 34 % entre octubre y marzo, del 24 % en abril, mayo y septiembre y del 14 % entre junio y agosto, para control de avenidas.
- Se aplica un resguardo del 20 % constante a lo largo del año a los embalses del Llobregat.
- Se suponen las siguientes prioridades de servicio de demandas y de uso de agua de embalses:

# Prioridad entre demandas de aguas arriba a aguas abajo, suponiendo que si el río lleva agua, los usuarios la tomarán.

# Se usa antes el agua de mejor calidad: Primero el Ter - aunque se reservan 120 hm<sup>3</sup> útiles entre Sau y Susqueda para usarlos tras el agua de los trasvases evitando en lo posible su vaciado - , seguido del Ebro o del Ródano, y en último lugar el Llobregat. No se usan las aguas sobrantes - por vertido de embalses o escorrentías no reguladas - del Llobregat, si hay recursos del Ter o los trasvases.

# No se puede usar el agua de un embalse cuando se encuentra bajo el 20 % de su capacidad, por considerar que tiene calidad insuficiente.

## 5.- ANÁLISIS DE HIPÓTESIS

### 5.1.- Demanda actual en el ámbito ATLL

Esta hipótesis se ha estudiado sin trasvases, para partir de una base que representa lo que sucedería sin contar con recursos externos, aunque se mantuviera la demanda actual. Por tanto, se aplican los 350 hm<sup>3</sup>/a concentrados en un nudo del ámbito ATLL - concretamente el 32 -, que puede recibir agua de cualquiera de los ríos. En el Ter y Llobregat se suponen las demandas futuras.

Los resultados se resumen en las figuras 4 y 5. Los gráficos de la primera presentan respectivamente la demanda servida y déficit anual de ATLL, y las entradas por Abrera y Cardedeu, es decir las contribuciones del Llobregat y del Ter a la demanda. Los de la segunda muestran la evolución de los embalses del Llobregat y el Ter y el caudal medio mensual procedente del Ter y del Llobregat.

La garantía obtenida según la Instructa es del 98,8 %, bastante alta. Sin embargo, hay cinco años con déficit mayor del 10 %, uno de ellos de 50 hm<sup>3</sup>. Estos déficits se producen por el agotamiento de los embalses del Ter y del Llobregat (figura nº 5) en los años más críticos de la serie, que son los de finales de la década de los 40, y los 57-58 y 72-73, que son secos tanto en el Ter como en el Llobregat. Sin embargo, en el 88-89, que es el más seco en el Ter, no se producen déficits debido a que en el Llobregat no hay demasiada escasez. El último gráfico de la figura nº 5 muestra los caudales medios procedentes de cada río. Se observa que el agua del Ter se aprovecha al máximo, con valores cercanos a los 8 m<sup>3</sup>/s, y el Llobregat proporciona el resto, con más caudal en junio, julio y febrero y menos en agosto, debido a la distribución supuesta para la demanda.

Por tanto, si se mantuviera la demanda actual del ámbito ATLL y hubiera que aplicar los nuevos resguardos de avenidas en el Ter y Llobregat y aumentar las demandas de estos ríos en las cifras citadas en el capítulo 4, en un 10 % de los años se pueden dar situaciones no catastróficas pero demasiado graves para un abastecimiento de estas características, donde las medidas paliativas de los efectos de una sequía son escasas y sus daños potenciales altos.

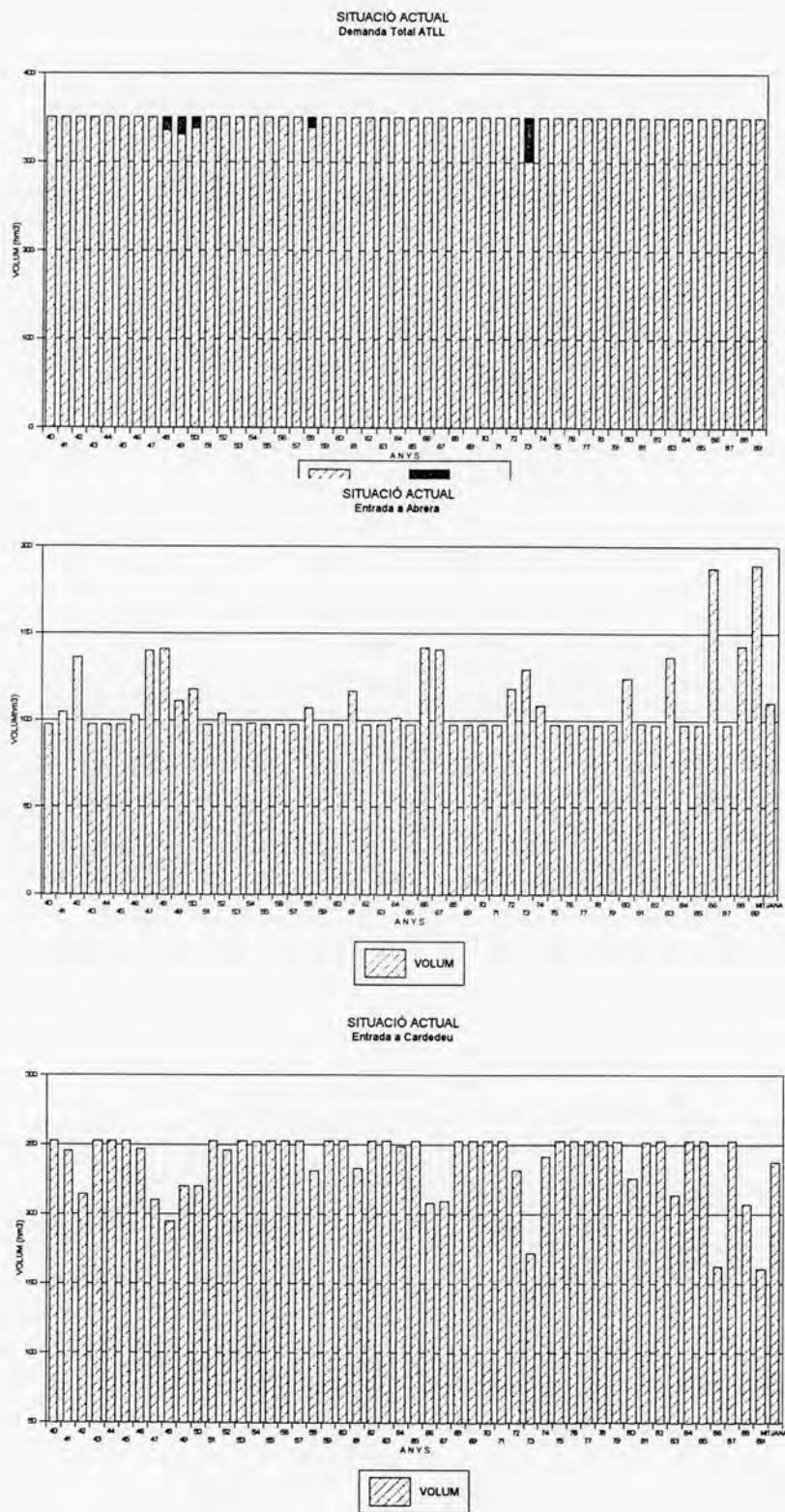


FIG. 4.- SITUACIÓN ACTUAL, SIN TRASVASES (DEMANDA ATLL 350 hm<sup>3</sup>/a):  
Demanda servida y entradas por Abrera y Cardedeu

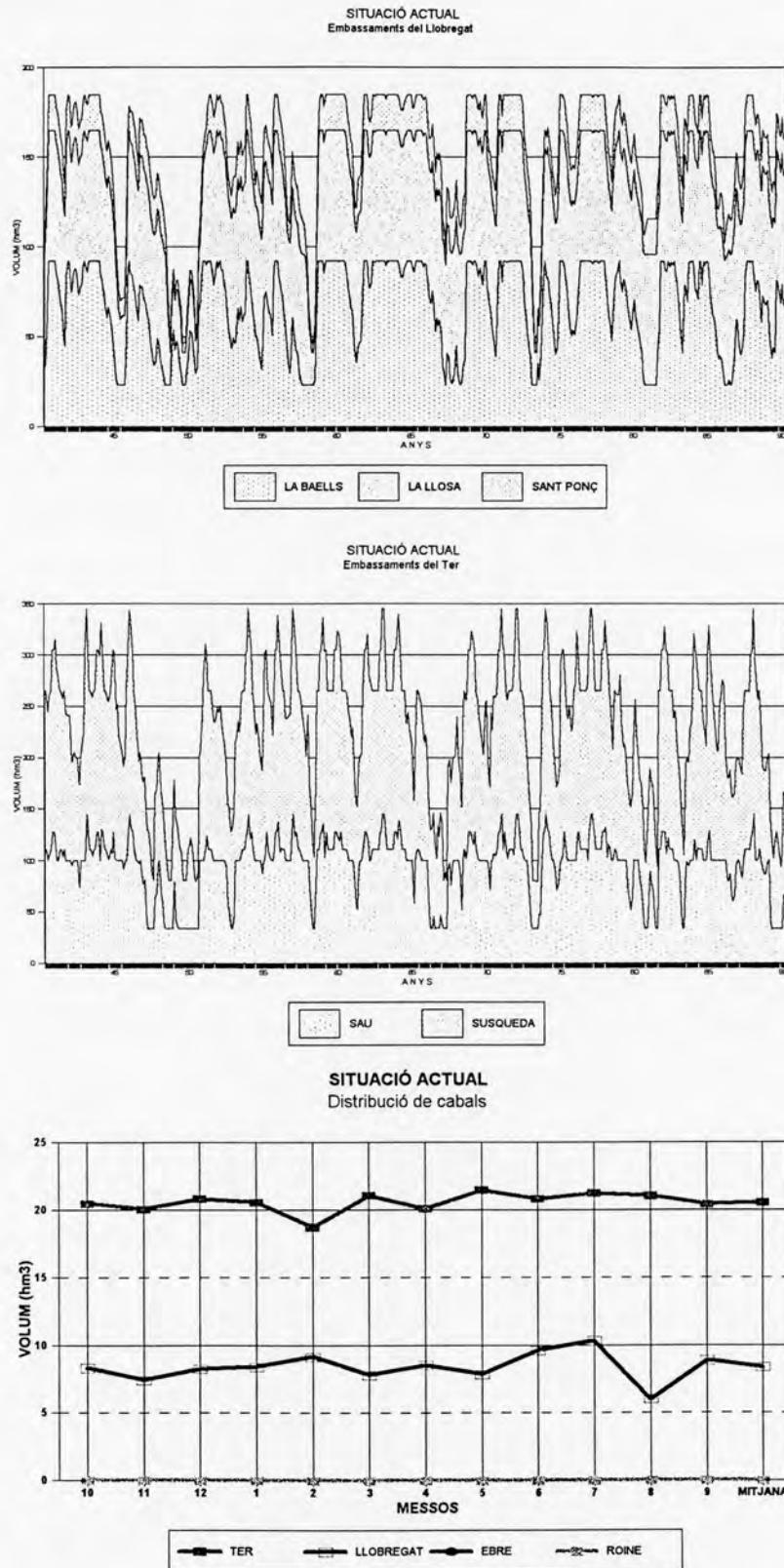


FIG. 5.- SITUACIÓN ACTUAL, SIN TRASVASES (DEMANDA ATLL 350 hm³/a):  
Volumen embalsado en el Llobregat y el Ter y caudal medio aportado por cada río

## 5.2.- Demanda de 564 hm<sup>3</sup>/a en el ámbito ATLL

Al aumentar la demanda del ámbito ATLL a una media de casi 18 m<sup>3</sup>/s, si no se utilizan los trasvases del Ebro o el Ródano, el Llobregat tendría que aportar cada año al menos 10 m<sup>3</sup>/s, lo cual es imposible. En efecto, las garantías obtenidas son muy bajas con cualquier criterio, con un 82,5 % según la Instructa y un 60 % de años con fallo. Las simulaciones efectuadas, cuyos resultados se representan en las figuras 6 y 7, muestran la amplitud de los déficits y el agotamiento de los embalses.

La contribución del Llobregat es de 8,4 m<sup>3</sup>/s, con un máximo de 10 m<sup>3</sup>/s en junio, lo que implica problemas graves de calidad del agua. Por tanto, si con la demanda actual la situación sin los trasvases se podía calificar de inaceptable, al aumentar la demanda a 564 hm<sup>3</sup>/a pasa a ser catastrófica.

Con el trasvase del Ebro (figs. 8 y 9), se consigue una garantía total, puesto que aporta 8,7 m<sup>3</sup>/s, dejando sólo 1,4 m<sup>3</sup>/s para el agua del Llobregat, con una distribución irregular debido a la falta de agua trasvasable del Ebro en los meses de estiaje, de forma que debe contribuir con valores de 3 a 4 m<sup>3</sup>/s entre agosto y noviembre. El embalse de regulación del trasvase, de 100 hm<sup>3</sup>, se llena cada año pero sólo se vacía en 5 de los 50 años simulados y queda con menos de 20 hm<sup>3</sup> en 11 de ellos. Aunque se obtiene garantía total, los embalses del Ter se vacían o están cerca de ello en numerosas ocasiones (figura nº 9), debido a que su agua se usa en primer lugar debido a su mejor calidad.

Si en lugar del trasvase del Ebro se recurre al del Ródano (figuras 10 y 11), las garantías obtenidas son similares. La garantía no es del 100 % porque en el mes de noviembre del año 73 se da un déficit de 8 hm<sup>3</sup> (1,4 % de la demanda anual y 17 % de la mensual) porque se agotan los embalses del Ter y del Llobregat, y el Ródano no puede aportar más de 10 m<sup>3</sup>/s. A pesar de ello, se alcanza el 100 % según la Instructa, porque el déficit es menor del 20 % de la demanda mensual, y se cumple el de vulnerabilidad, porque es menor del 8 % anual. Sin embargo, los embalses del Ter tienen unos 20 hm<sup>3</sup> más que en la hipótesis del trasvase del Ebro en los periodos más secos.

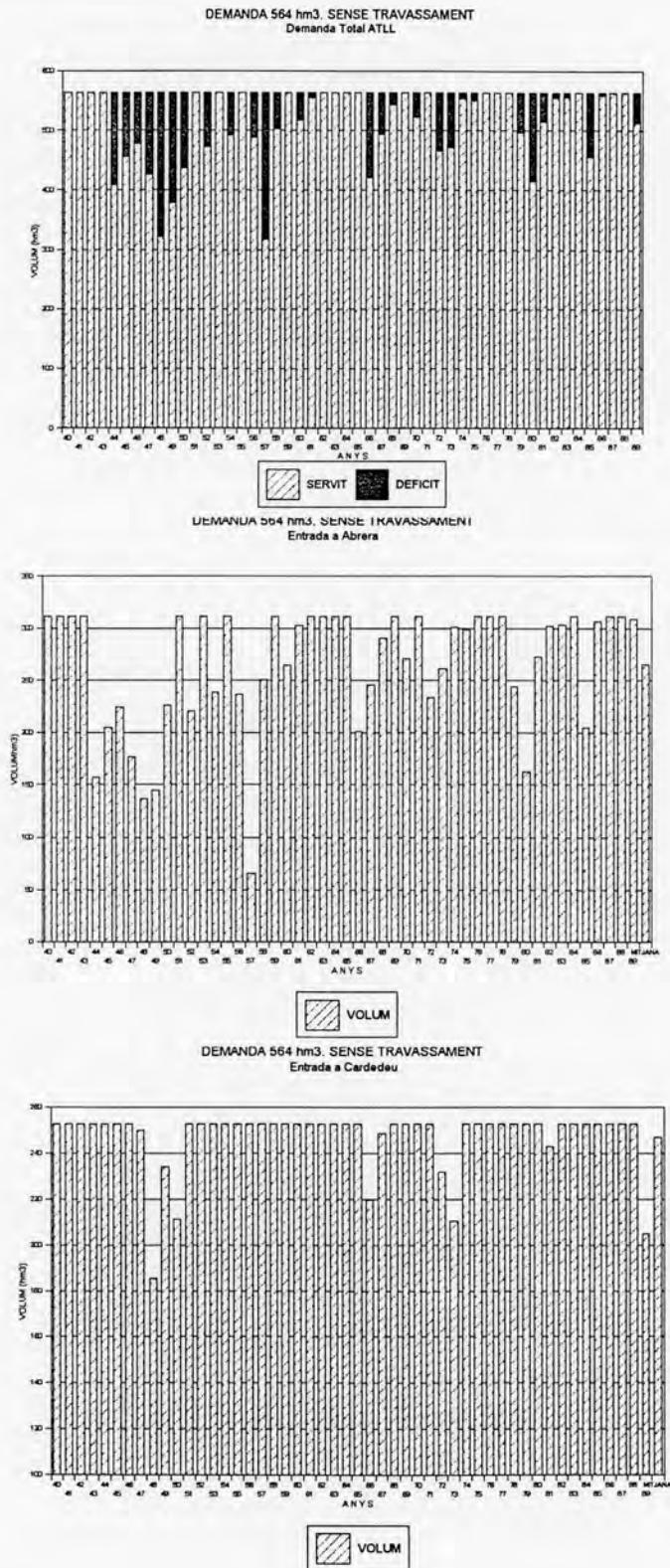


FIG. 6.- SITUACIÓN FUTURA PREVISIBLE: SIN TRASVASES (DEMANDA ATLL 564 hm<sup>3</sup>/a):  
Demanda servida y entradas por Abrera y Cardedeu

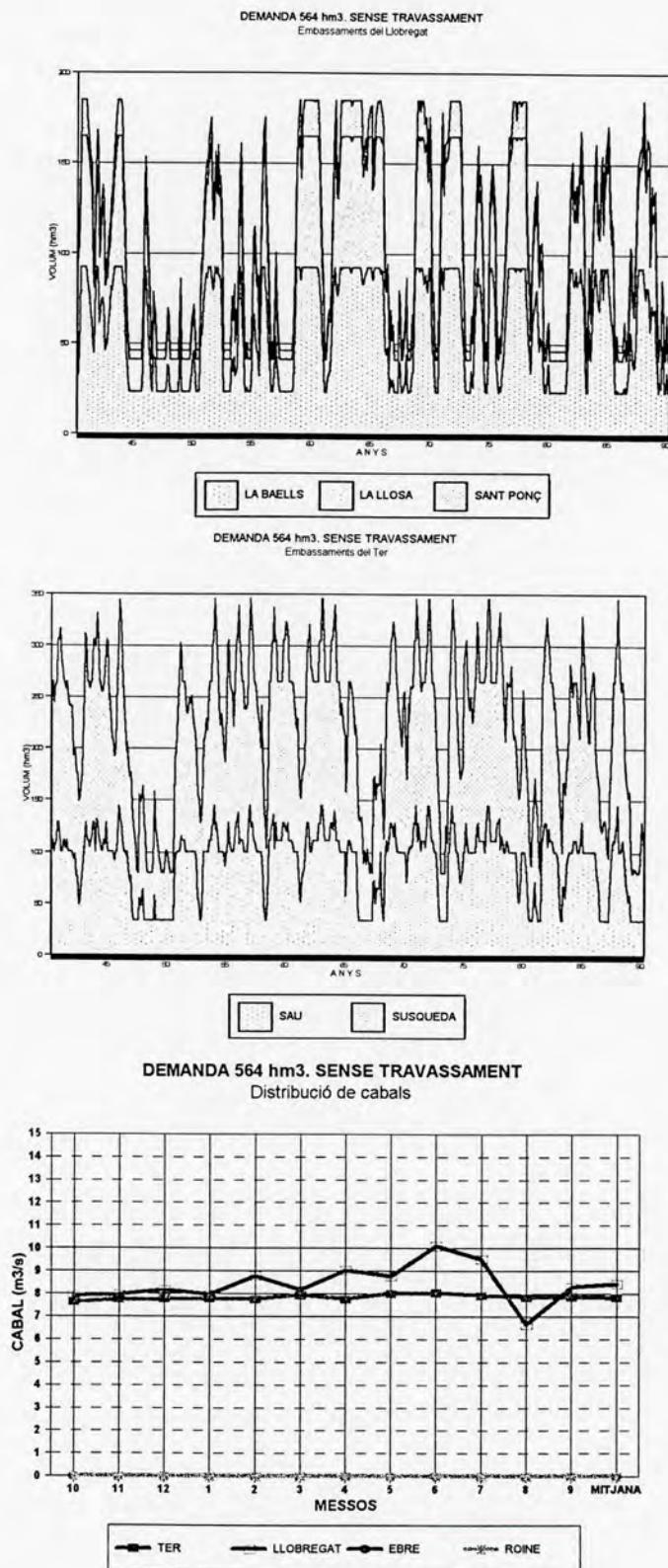


FIG. 7.- SITUACIÓN FUTURA PREVISIBLE, SIN TRASVASES (DEMANDA ATLL 564 hm<sup>3</sup>/a):  
 Volumen embalsado en el Llobregat y el Ter y caudal medio aportado por cada río

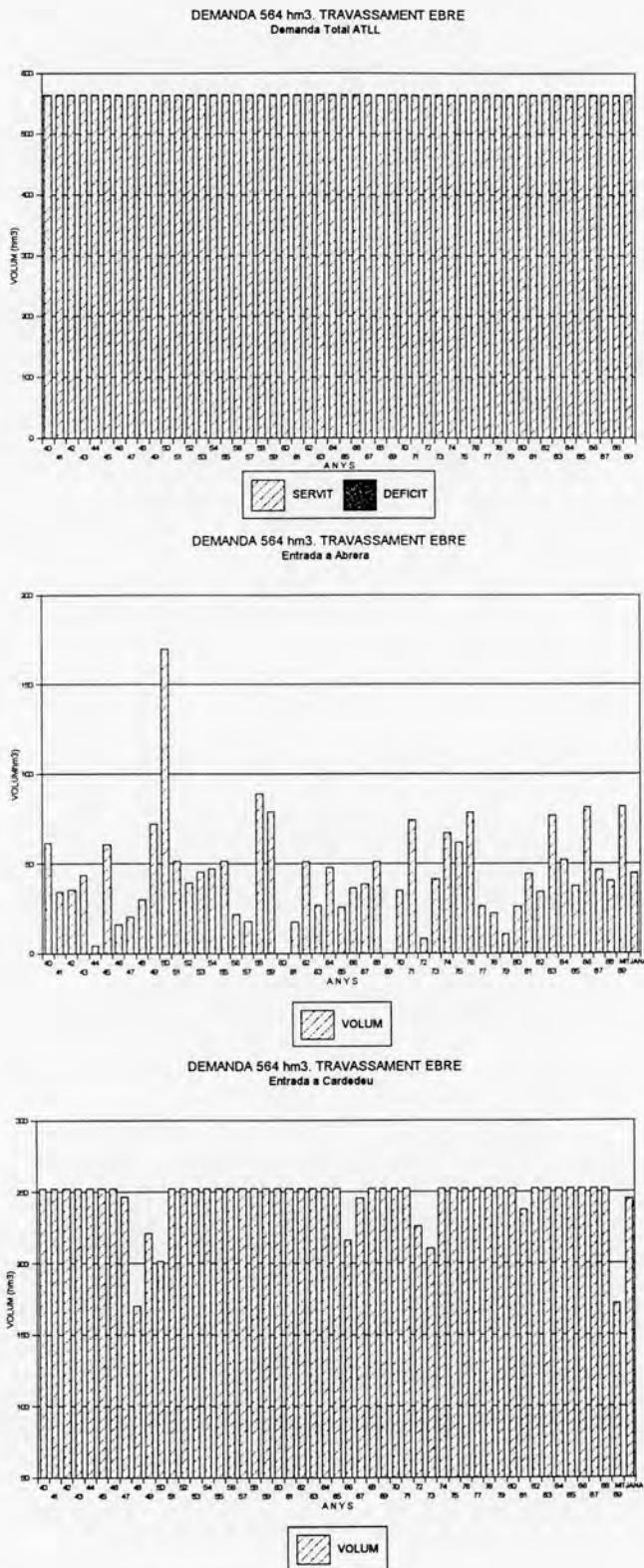


FIG. 8.- SITUACIÓN FUTURA PREVISIBLE, CON TRASVASE DEL EBRO (DEMANDA ATLL 564 hm<sup>3</sup>/a):  
Demanda servida y entradas por Abrera y Cardedeu

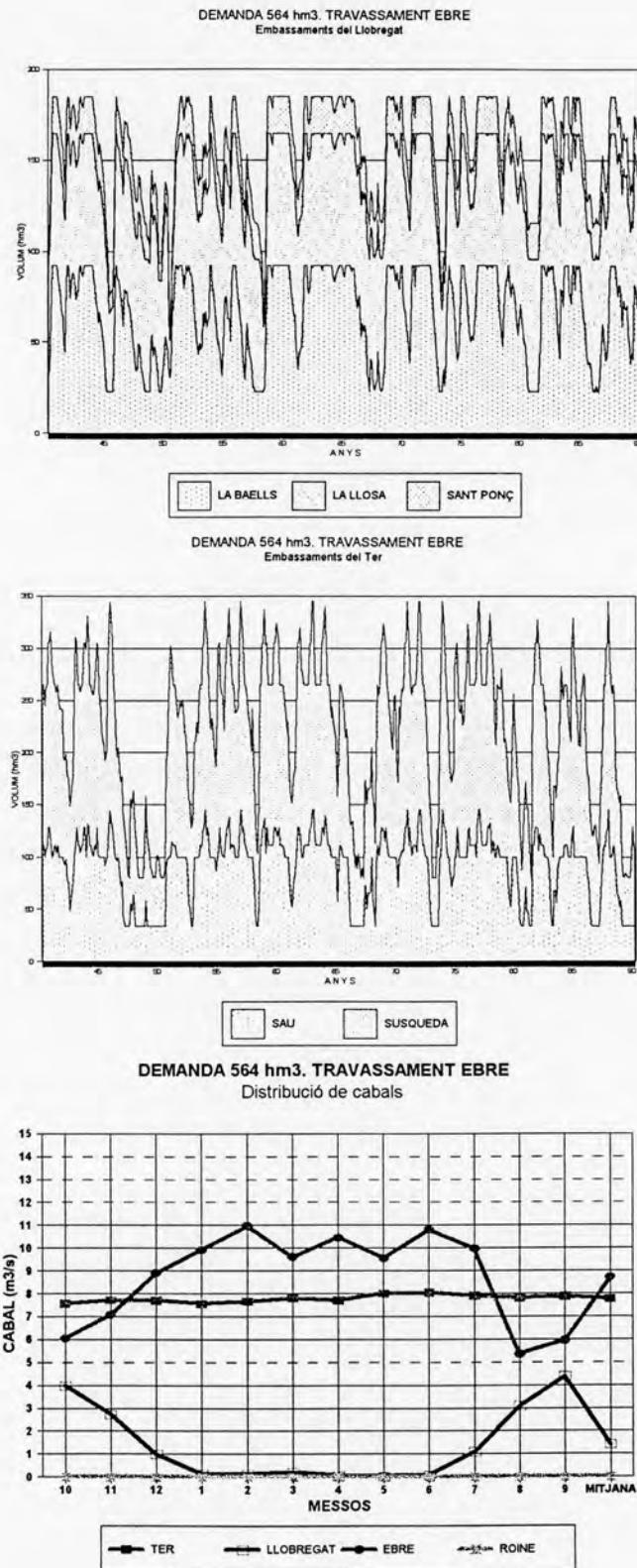


FIG. 9.- SITUACIÓN FUTURA PREVISIBLE, CON TRASVASE DEL EBRO (DEMANDA ATLL 564 hm<sup>3</sup>/a):  
Volumen embalsado en el Llobregat y el Ter y caudal medio aportado por cada río

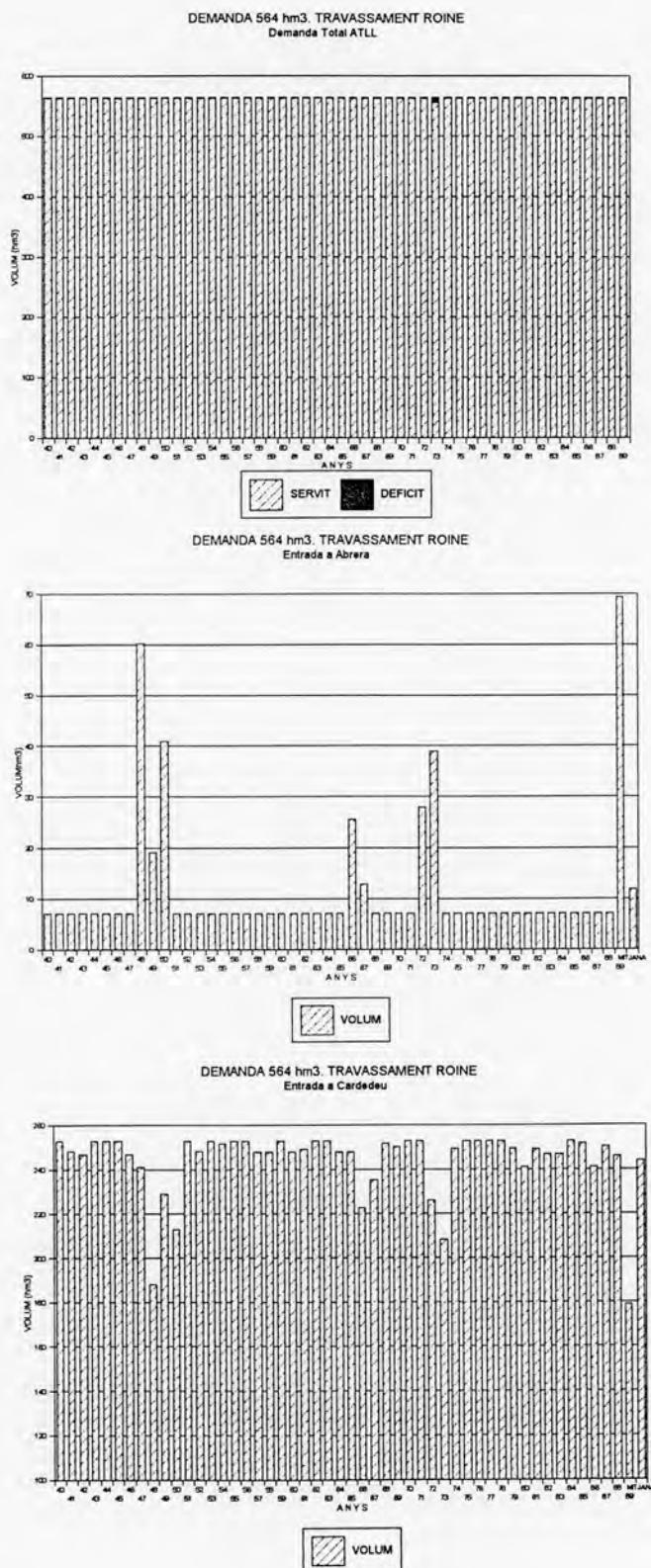


FIG.10.- SITUACIÓN FUTURA PREVISIBLE, CON TRASVASE DEL RÓDANO (DEMANDA ATLL 564 hm<sup>3</sup>/a):  
Demanda servida y entradas por Abrera y Cardedeu

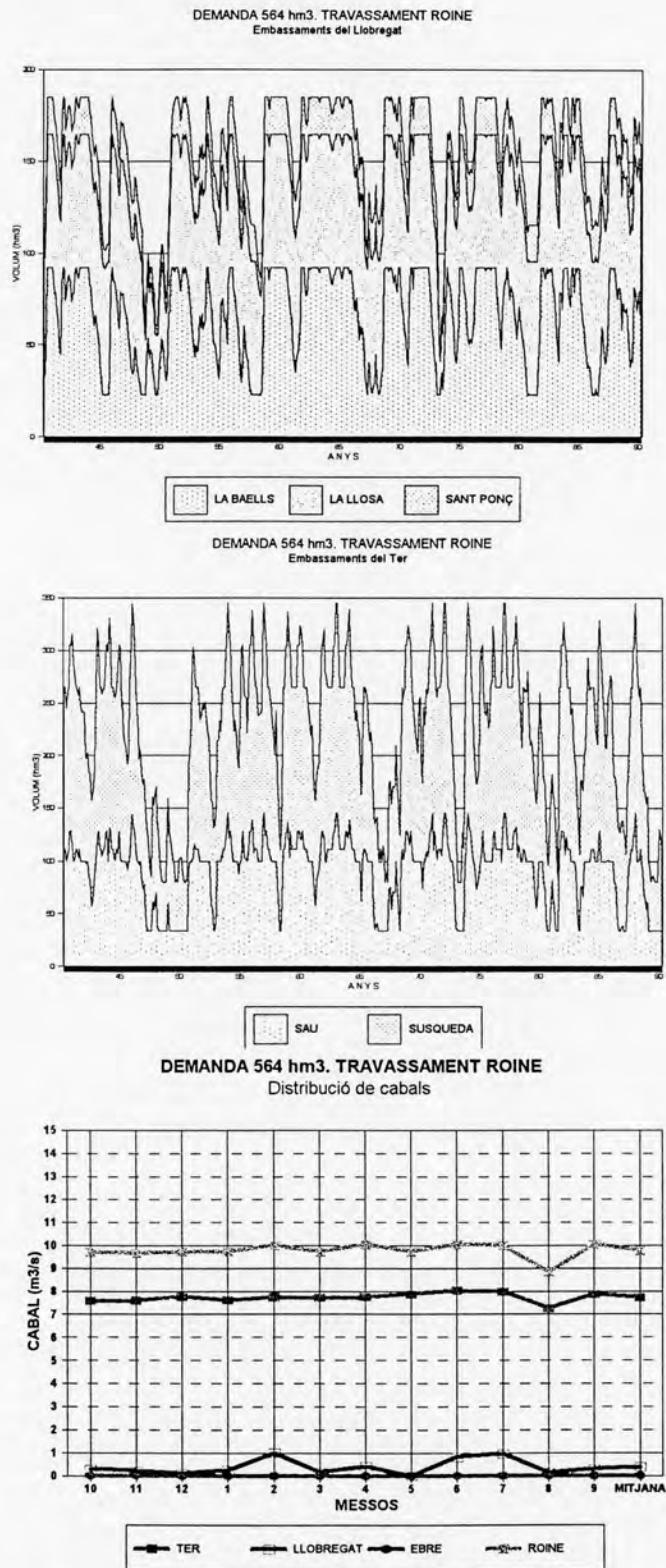


FIG.11.- SITUACIÓN FUTURA PREVISIBLE, CON TRASVASE DEL RÓDANO (DEMANDA ATLL 564 h-  
m<sup>3</sup>/a):Volumen embalsado en el Llobregat y el Ter y caudal medio aportado por cada río

Además, el uso de agua del Llobregat es menor y más constante que en el caso del trasvase del Ebro, con 0,30 m<sup>3</sup>/s de media y un máximo de 1 m<sup>3</sup>/s. Como el agua del Ebro tiene peor calidad que la del Ródano y hay menor aportación de agua del Llobregat esta solución es mejor que la del trasvase del Ebro.

### 5.3.- Demanda de 660 hm<sup>3</sup>/a en el ámbito ATLL

El aumento de 3 m<sup>3</sup>/s respecto a la demanda previsible hace aún más catastrófica la situación con la infraestructura actual. En efecto, se producen déficits en 38 de los 50 años, con 17 mayores del 25 % de la demanda. No se representan estos resultados, puesto que son parecidos pero más graves que los de la hipótesis de demanda de 564 hm<sup>3</sup>/a sin trasvase

El trasvase del Ebro (figuras 12 y 13) permite alcanzar una garantía muy alta pero no total. Según el criterio de la Instructa es del 99,3 %; se produce fallo en 4 años, uno de ellos del 13 % de la demanda anual, lo que imposibilita cumplir el criterio de vulnerabilidad. Los embalses del Ter están cerca del vaciado en casi el 30 % de los años de la serie, lo que indica la fragilidad de la solución.

La aportación de agua del Llobregat es de 2,1 m<sup>3</sup>/s, con máximos entre 4 y 7 m<sup>3</sup>/s para los meses de agosto a noviembre.

Si se aumenta hasta 20 m<sup>3</sup>/s la capacidad de la conducción desde el embalse de regulación, se mejora levemente la garantía, con un 99,5 % según la Instructa, pero se dan todavía tres años con fallo, uno de ellos de 100 hm<sup>3</sup>. La única forma de mejorar esta situación sería aumentando la capacidad útil del embalse de regulación, lo que en este momento parece inviable.

Con el trasvase del Ródano (figuras 14 y 15) se obtienen garantías levemente menores, del 99,0 % según la Instructa, aunque se cumple el criterio de vulnerabilidad, porque se dan más déficits que con el trasvase del Ebro, pero de menor envergadura. Los embalses del Ter evolucionan igual que con el trasvase del Ebro, ya que se están utilizando hasta el límite. Los del Llobregat se vacían más en los periodos secos porque la demanda total media, de 20,9 m<sup>3</sup>/s, es superior a los 18 m<sup>3</sup>/s (8 + 10) que se pueden obtener del Ter y del Ródano, mientras que con entre el Ter y el trasvase del Ebro se puede disponer de 23 m<sup>3</sup>/s (8 + 15).

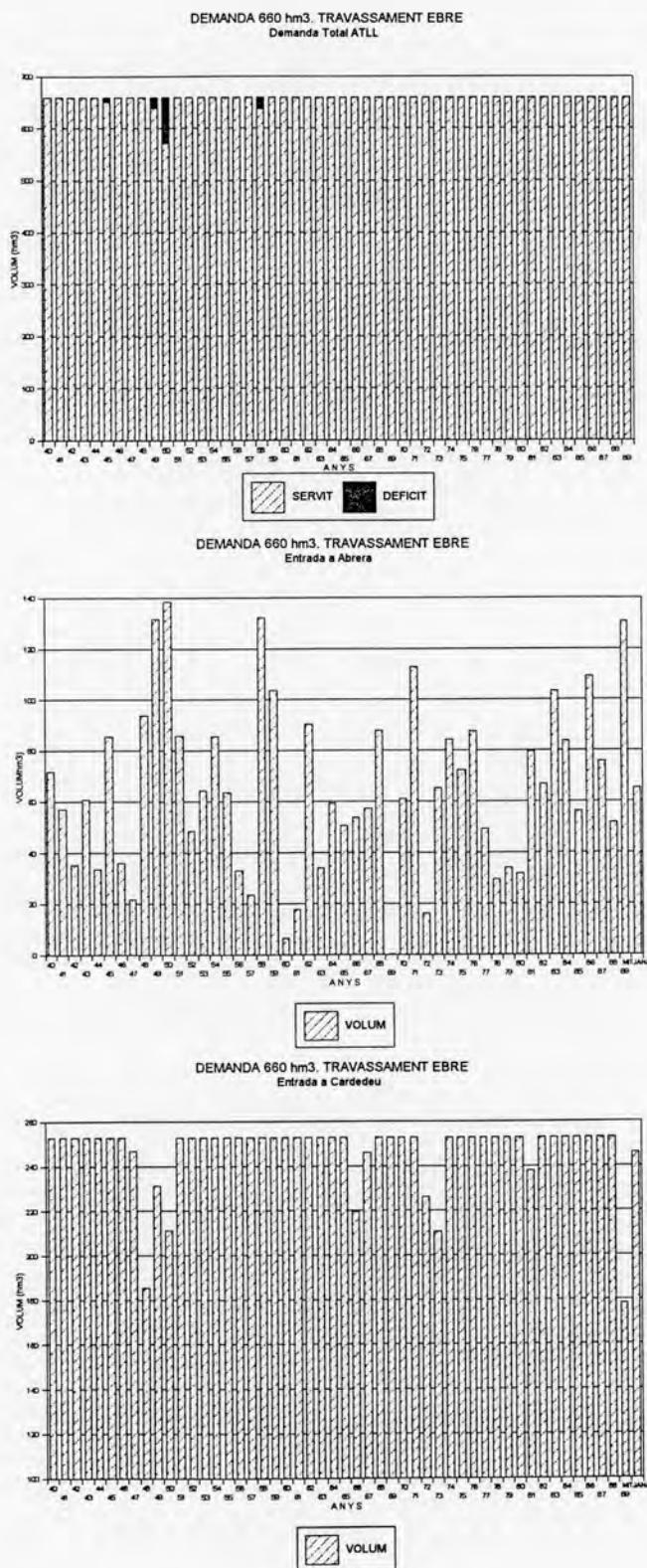


FIG. 12.- SITUACIÓN FUTURA MÁXIMA, CON TRASVASE DEL EBRO (DEMANDA ATLL 660 hm<sup>3</sup>/a):  
Demanda servida y entradas por Abrera y Cardedeu

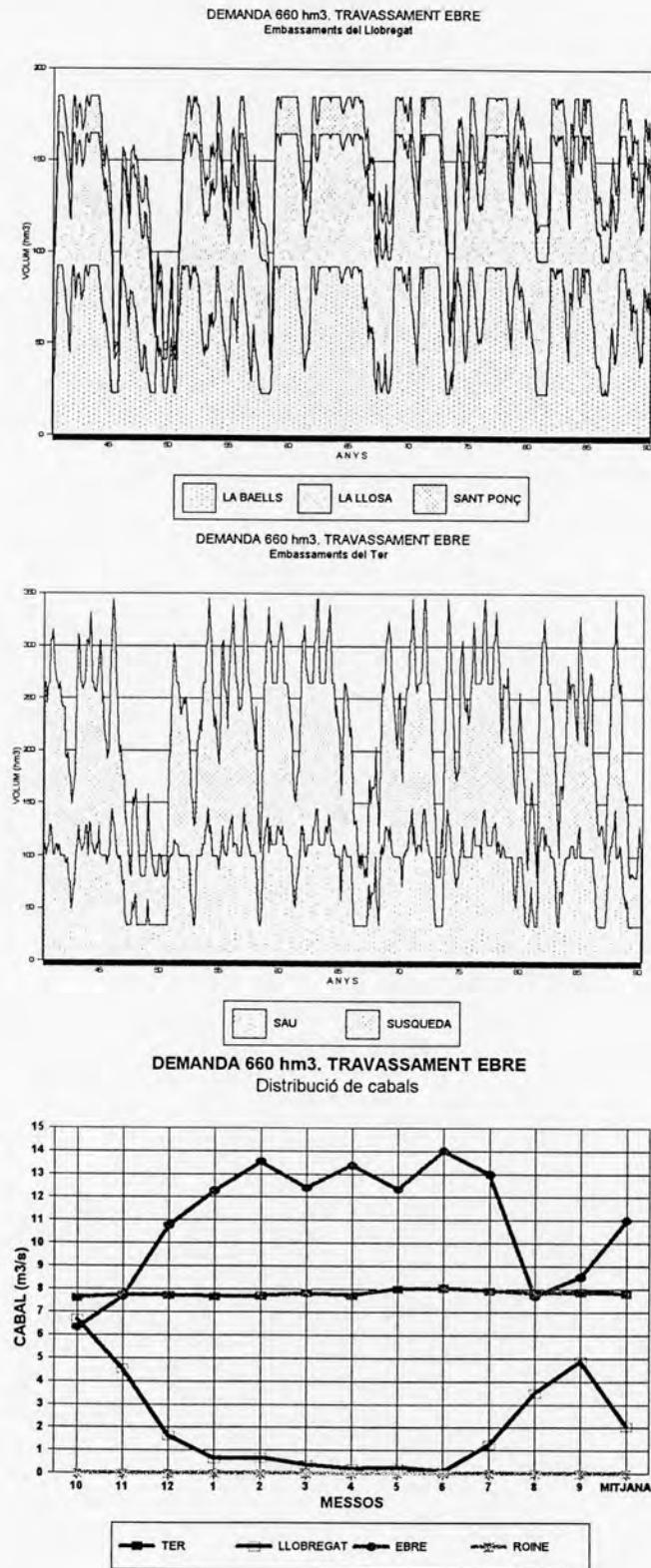


FIG. 13.- SITUACIÓN FUTURA MÁXIMA , CON TRASVASE DEL EBRO (DEMANDA ATLL 660 h-  
m<sup>3</sup>/a):Volumen embalsado en el Llobregat y el Ter y caudal medio aportado por cada río

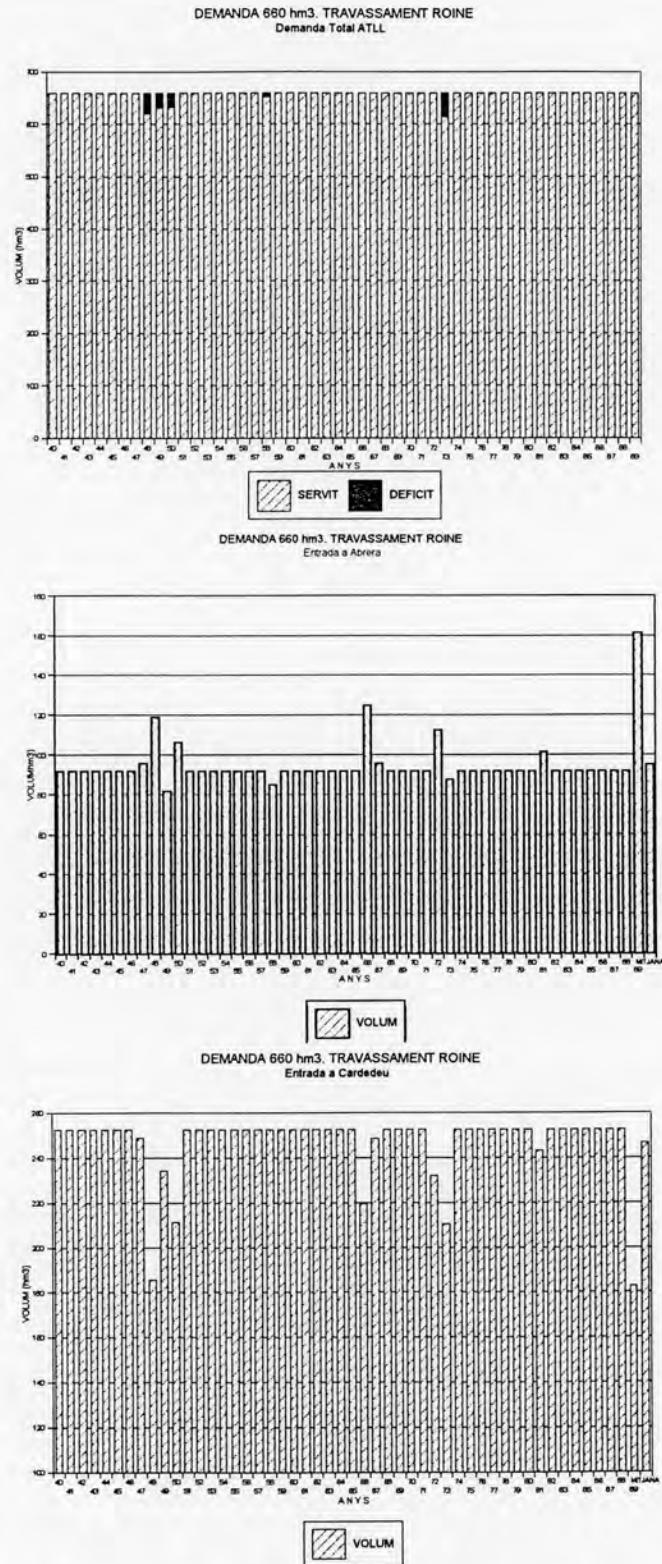


FIG.14.- SITUACIÓN FUTURA MÁXIMA , CON TRASVASE DEL RÓDANO (DEMANDA ATLL 660 hm<sup>3</sup>/a):  
Demanda servida y entradas por Abrera y Cardedeu

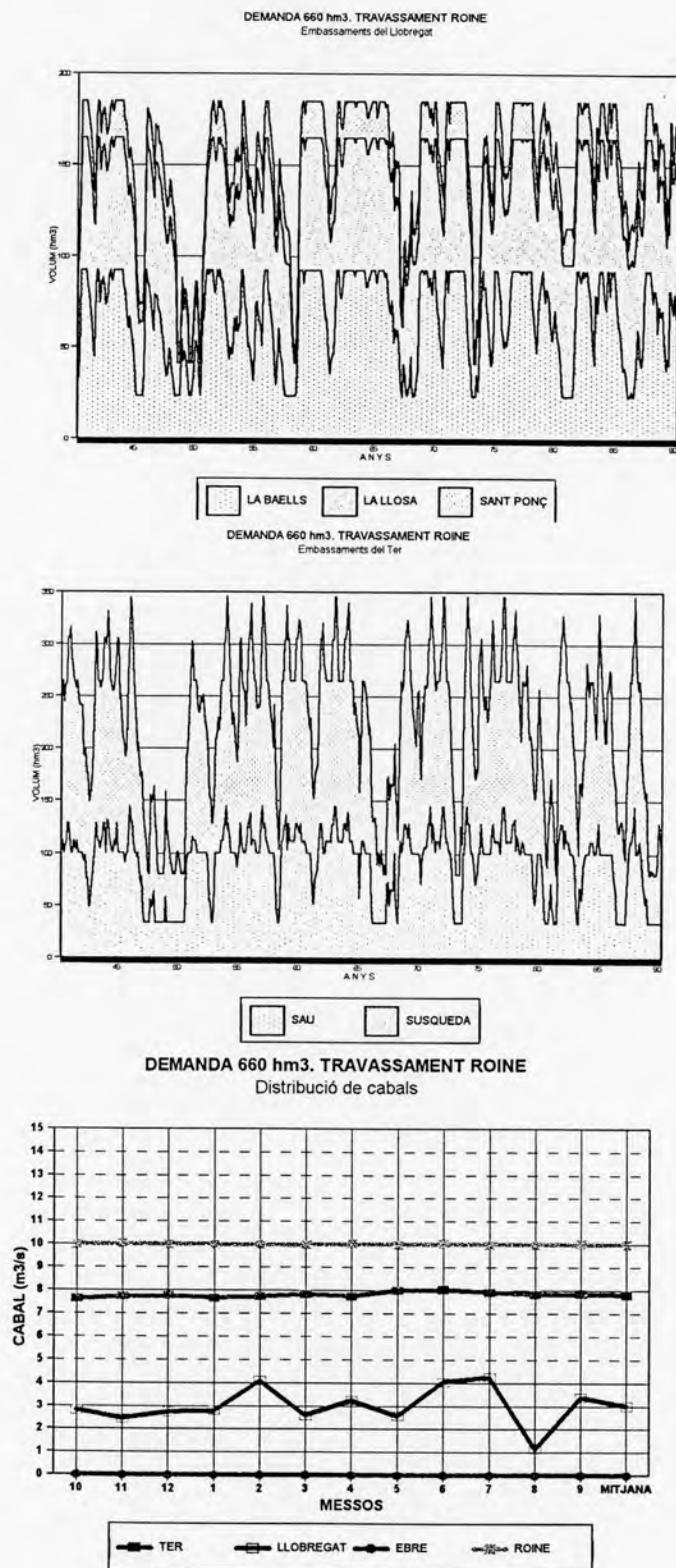


FIG. 15.- SITUACIÓN FUTURA MÁXIMA, CON TRASVASE DEL RÓDANO (DEMANDA ATLL 660 hm<sup>3</sup>/a):  
Volumen embalsado en el Llobregat y el Ter y caudal medio aportado por cada río

Como consecuencia, la aportación de agua del Llobregat es superior, para cubrir la diferencia entre la demanda y los recursos del Ter y Ródano, y tiene una media de 3 m<sup>3</sup>/s, con un máximo de 4 m<sup>3</sup>/s.

Para completar el análisis se ha tanteado la capacidad del trasvase del Ródano para conseguir la garantía total. Al aumentar la capacidad, sube la garantía de la Instructa y disminuye el número de años con fallo y la magnitud de éstos. Con 12 m<sup>3</sup>/s la garantía es del 99,8 % pero aún hay 4 años con fallo. Con 13 m<sup>3</sup>/s la garantía es ya del 100 % pero se da un fallo de 8 hm<sup>3</sup> en un mes, que se elimina para 14 m<sup>3</sup>/s, con lo que se alcanza la garantía total.

Por tanto, al igual que en la hipótesis de demanda de 564 hm<sup>3</sup>/a, se obtienen resultados similares con ambos trasvases, aunque en este caso el trasvase del Ródano obliga a usar más agua del Llobregat, porque con 10 m<sup>3</sup>/s de capacidad la suma de recursos máximos del Ter y Ródano es inferior a la demanda. Sin embargo, si se realiza este trasvase con caudal de 14 m<sup>3</sup>/s se consigue la garantía total. Por el contrario, con el trasvase del Ebro no es posible alcanzarla aumentando la capacidad de la conducción, puesto que el volumen trasvasable está limitado por la disponibilidad de recursos en origen.