

XV CONGRESO
LATINOAMERICANO DE
HIDRAULICA

METODOLOGIA PARA DEFINIR LAS DISPONIBILIDADES
DE CAPTACION EN SISTEMAS HIDROGRAFICOS COMPLEJOS

TEMA: Planificación de Recursos Hídricos

Dr. Ing. Luis G. Castillo E.¹

Ing. Luis V. Román C.²

Ing. Nicolaas A. Groeneveld¹

RESUMEN.- Causas de tipo geográfico y meteorológico han provocado un desequilibrio hidráulico entre la margen derecha e izquierda del río Ebro, siendo su consecuencia inmediata la política hidráulica, la misma que se ha dirigido preferentemente al aprovechamiento de los recursos donde éstos son más abundantes. Como una necesidad de Ordenación del Territorio y como una medida para corregir este desequilibrio hidráulico, se ha estudiado un sistema de regulación compuesto por 6 embalses y una conducción de 420Km, que permitirá poner bajo riego una superficie de 135000Ha, denominándose a este proyecto el "Canal de la Margen Derecha del Ebro" (CMD).

En este artículo se presenta la metodología que ha sido aplicada para definir las disponibilidades de captación en el punto de toma del CMD, por medio de un criterio probabilístico, el mismo que permite respetar los usos comprometidos actuales y futuros, tanto aguas arriba como aguas abajo de dicha toma.

SUMMARY.- Causes of geographical and meteorological kind, have promoted an hydraulic disequilibrium between the right and the left margin of the Ebro River, the hydraulic policy has been preferably directed to the exploitation of resources where they are more abundant. Like a necessity of the Territory Arrangement and like a corrective measure to the hydraulic disequilibrium, a regulation system has been studied, that consists of 6 reservoirs and a conduction of 420Km, that will make it possible to irrigate an area of 135000Ha; this project is named "The Channel of the Ebro's Right Margin" (CMD).

In this article we present the methodology applied to define the water collection resources at the intake point of the CMD, by means of probabilistic criteria, which respects the present and future uses, upstream and downstream of this water inlet.

¹ Director General de Consultora Iberoamericana "CIBER"
c/ Gutiérrez Mellado 11, 9º D
50009 Zaragoza - España

² Ingenieros y Arquitectos Asociados "INARSA"
c/ Mefisto 9
5001 Zaragoza - España

1.- INTRODUCCION

Se puede definir como un Sistema Complejo, a una Cuenca Hidrográfica con uso variado e intensivo de sus recursos; surgiendo por tanto conflicto entre los diferentes usuarios.

La Cuenca Hidrográfica del río Ebro al ser una de las más importantes del territorio español cumple con estas características. En su recorrido cruza 9 autonomías (Aragón, Cantabria, Castilla-La Mancha, Castilla y León, Cataluña, La Rioja, Navarra, País Vasco y Valencia) y pertenecen a su cuenca 16 provincias, siendo la interrelación en el uso y disposición del recurso muy alta.

Causas de tipo geográfico y meteorológico han provocado un desequilibrio hidráulico entre la margen derecha e izquierda del Ebro, siendo su consecuencia inmediata la política hidráulica, la misma que se ha dirigido preferentemente al aprovechamiento de los recursos donde éstos son más abundantes; es decir la margen izquierda [(Bardenas (56000Ha), Monegros (55000Ha), Cinca (46000Ha), etc.)]

Es evidente, sin embargo, la vocación regante de los habitantes de la margen derecha del Ebro. En la época romana se construyeron presas como la de Muel y Almonacid de la Cuba y en la Edad Media, bajo la dominación musulmana, se desarrollaron de forma más generalizada los azudes y acequias en cuya construcción y uso son consumados maestros los pueblos árabes.

En el siglo XIII se construye el canal de Tauste y constituye la primera gran obra de regadío (10000Ha). Carlos V inicia la construcción del canal Imperial (20000Ha), que se terminó en 1784 "para convencimiento de los incrédulos y alivio de los caminantes" como está escrito en la famosa Fuente de los Incrédulos del barrio de Casablanca en Zaragoza.

El último canal construido en el presente siglo, derivando aguas por la margen derecha del Ebro ha sido el canal de Lodosa (25000Ha).

Pero aún quedan abundantes tierras con topografía, calidad y clima aptas para el riego, que esperan su redención mediante nuevas obras de ingeniería hidráulica, constituyendo un gran desafío para técnicos y políticos.

Como una solución para regar estas grandes extensiones de tierra ($\approx 135000\text{Ha}$) se vislumbra el aprovechamiento de recursos del propio río Ebro; así pues, un sistema compuesto por 4 embalses aguas arriba de la toma ($V=805\text{Hm}^3$), dos aguas abajo ($V=145\text{Hm}^3$) y una conducción principal de 420 Km constituyen el proyecto del "Canal de la Margén Derecha del Ebro" CMD (véase figura 1) [2]. En este artículo se presenta la metodología que ha sido aplicada para definir las disponibilidades de captación en el punto de toma del CMD, por medio de un criterio probabilístico, el mismo que permite respetar los usos comprometidos actuales y futuros, tanto aguas arriba como aguas abajo de dicha toma.

2.- ANALISIS DE LA METODOLOGIA

El problema que se plantea en la toma del CMD es captar la máxima cantidad de agua en cualquier época del año, con el objeto de poner bajo riego la máxima superficie en la margen derecha; pero siempre respetando los usos comprometidos actualmente y en el futuro (horizonte de planificación de 50 años), tanto aguas arriba como aguas abajo.

Dada la naturaleza y complejidad del problema, los Métodos de Optimización Directa (Programación Lineal, Dinámica, etc.), simplifican excesivamente el problema, dando lugar a soluciones poco representativas; por esta razón, se afronta la solución del problema por medio de los Métodos de Simulación.

La evaluación de las Demandas, Consumos y Retornos es de vital importancia en el balance de los recursos hidráulicos. Así, es necesario no escatimar esfuerzos en su cuantificación y contrastación. Si ya es difícil obtener esta información en la situación actual, mucho más complicado resulta determinar su evolución en el pasado y en el futuro.

Conocer la evolución de este trinomio en el pasado, es importante para la restitución al régimen natural. Los regadíos constituyen el uso principal y son los más difíciles de cuantificar.

Los usos futuros aunque se definen directamente en los estudios de planificación hidráulica respectivos; sin embargo, cada proyecto no deja de ser un grado de libertad que condiciona la estabilidad del sistema en estudio. Así, las decisiones políticas son fundamentales a la hora de confirmar o retirar tal o cual proyecto; más aún cuando un Sistema Hidrográfico pertenece a varias autonomías, motivo por el cual surgen conflictos en el uso del recurso. Por esta razón, es importante realizar análisis de sensibilidad en el sistema con los proyectos futuros más importantes. Condiciones de tipo hidrológico, topográfico, geológico, económico y social han aconsejado que la captación se deba realizar por medio de un azud Creager con rejilla lateral, y su regulación por medio de 4 embalses aguas arriba y 2 embalses aguas abajo de la toma (véase figura 2). Sus respectivos volúmenes se han definido a partir de series sintéticas de 500 años, con el "Modelo de Simulación de Avenidas y Sistemas de Conservación (HEC-5)" [10]. Este modelo implementa un balance de masas en base a las series de aportaciones (históricas o sintéticas) y de las restricciones impuestas; determinando el caudal de entrada, el volumen almacenado, caudal de salida, caudal derivado, etc. para cada punto de control y para cada intervalo de tiempo de simulación y que, para este caso concreto fue de tipo mensual.

Los consumos (regadíos, abastecimientos e industrias) aguas arriba de la toma del CMD, así como las servidumbres aguas abajo (caudales ecológicos y requerimientos de uso), constituyen las leyes de requerimientos mínimos a respetar, tanto en situación actual como en futura; determinándose éstos para la condición más desfavorable (año característico seco, P=80%). Estas restricciones se determinan a partir de los balances de Aportaciones, Demandas, Consumos y Retornos en puntos característicos de la Cuenca Hidrográfica (Subcuencas, Cuencas Intermedias y puntos característicos en el río principal).

Los balances se han realizado para un año medio y un año seco (P=80%), en situación actual y futura. Dos balances adicionales permiten analizar la sensibilidad del sistema ante la infraestructura hidráulica actual y futura. En total se han preparado 78 cuadros correspondientes a 6 tipos de balances, de los cuales 72 son mensuales y 6 son medios anuales. En el Cuadro 1 se presenta uno de estos cuadros y corresponde al año característico seco medio anual (P=80%).

Una vez obtenidas las leyes de requerimientos mínimos, se procede a evaluar el volumen de regulación necesario a partir de una simulación hidrológica e intentar poner en regadío la máxima superficie en la margen derecha, con una garantía de suministro prefijada ($G > 85\%$)***.

3.- APLICACION DE LA METODOLOGIA AL CMD

Los estudios realizados podemos clasificarlos en dos tipos generales: "Estudios Básicos" (pluviométrico, climatológico, hidrométrico, edafológico, etc.) y "Estudios de Generación y Simulación Sistemas".

La cuenca del Ebro se ha subdividido en 33 Subcuencas hidrográficas y se han definido 44 puntos de balance general.

El resultado de este estudio ha permitido obtener aportaciones en régimen natural en 32 estaciones de aforo y generarlos a los distintos puntos de interés (44 a lo largo del Ebro) para los estudios generales de Balance y Regulación, en el período

*** El criterio de garantía que se considera, es aquel que resulta del cociente entre el número de años servidos y el número total de años de la serie. Un fallo anual se contabiliza cuando al menos un mes se deja de dar el 75% de esa demanda mensual, y/o que durante 3 meses consecutivos se disponga de menos del 80% de la demanda.

DEMANDAS FUTURAS, INCLUIDO TRASVASE ZADORRA-CANTABRICO
 APORTACIONES ANUALES 80% PROBABILIDAD DE EXCESO
 INCLUIDO MOVIMIENTOS DE EMBALSES

ANUAL Hm³

SUBCUENCAS	APORTACION					Qeco.	APORTACION DISPONIBLE				
	PARCIAL	ACUMUL.	DEMANDA	CONSUMO	RETORNO		Con Demandas PARCIAL	ACUMUL.	Con Consumos PARCIAL	ACUMUL.	Con ap. ecolog.
Miranda	1208,6	1208,6	861,5	44,0	817,5	121,8	384,4	384,4	1167,3	1167,3	1045,5
Río Bayas	105,2	1313,8	6,4	1,3	5,1	10,5	98,8	483,2	103,9	1271,2	
Zadorra	411,3	1725,2	432,4	275,6	156,9	41,0	70,4	553,6	190,7	1461,9	
Entre Miranda y Tirón	36,3	1761,4	9,3	4,9	4,4		27,0	580,6	31,4	1493,2	
Tirón	180,4	1941,9	98,7	64,8	38,0	18,0	117,1	697,7	143,6	1636,8	
Entre Tirón y Majerilla	23,9	1965,8	10,0	2,2	9,2		13,9	711,6	23,2	1660,0	
TOMA CANAL MARG.DERECHA		1965,8				131,2		711,6		1660,0	1528,7
Entre Tirón y Majerilla	23,9	1989,7	10,0	2,2	9,2		13,9	725,5	23,2	1683,1	
Majerilla (Canal Majerilla)	310,1	2299,9	138,3	103,9	34,4	31,0	214,8	940,4	241,1	1924,2	
Entre Majerilla e Iregua	67,4	2367,2	17,9	4,4	13,6		49,5	989,9	63,1	1987,3	
Iregua	147,0	2514,2	183,7	79,7	104,0	14,8	24,2	1014,0	97,7	2085,0	
Entre Iregua y Leza	18,0	2532,2	19,4	7,1	12,3		-1,4	1012,6	10,9	2095,9	
Leza	49,7	2581,8	43,0	17,0	26,1	5,0	14,4	1027,0	36,9	2132,8	
Entre Leza y Linares	18,0	2599,8	18,1	8,9	9,2		-0,1	1026,9	9,1	2141,9	
Linares	40,2	2640,0	25,4	8,5	16,9	4,0	18,1	1045,0	33,4	2175,2	
Entre Linares y Ega (Lodosa)	18,0	2657,9	243,1	214,5	28,6		-225,2	819,9	-196,5	1978,7	
Ega	331,8	2989,8	72,7	31,2	41,5	33,2	265,0	1084,8	304,2	2282,9	
Cidacos	78,9	3068,7	172,4	61,9	110,5	7,9	7,9	1092,7	56,5	2339,5	
Entre Cidacos y Aragón	23,5	3092,1	49,9	24,1	33,1		-26,5	1066,3	6,7	2346,1	
Aragón(BardenasI+II+Navarra)	2940,1	6032,3	1576,0	1114,7	487,1	175,0	1982,3	3048,5	2325,4	4671,5	
Entre Aragón y Albama	1,9	6034,2	3,0	1,8	1,2		-1,1	3047,4	0,1	4671,7	
Albama	109,4	6143,6	88,4	64,5	25,4	10,9	52,4	3099,8	69,1	4740,8	
Ebro en Castejón	3,4	6147,0				334,8		3103,2		4744,2	4409,4
Entre Albama y Queiles	26,0	6169,5	14,8	8,2	13,8		11,2	3111,0	25,0	4765,8	
Queiles	54,2	6223,8	74,1	37,3	52,0	5,4	8,5	3119,5	34,3	4800,1	
Queiles-Huecha(Tauste+Imper)	13,6	6237,3	664,2	621,0	66,9		-650,6	2468,9	-583,7	4216,4	
Huecha	25,9	6263,2	93,0	46,7	52,3	2,6	2,6	2471,5	16,0	4232,4	
Entre Huecha y Arba	13,6	6276,8	31,0	7,7	30,5		-17,5	2454,0	13,0	4245,4	
Arba [+ Retornos Bardenas]	241,5	6518,3	127,1	97,9	146,9	24,2	133,7	2587,7	276,5	4521,9	
Entre Arba y Jalón	24,1	6542,4	51,3	10,5	50,2		-27,3	2560,4	23,0	4544,9	
Jalón	354,1	6896,5	438,6	324,4	114,7	35,9	125,1	2685,5	191,1	4736,0	
Jalón-Huerta-Gállego	16,1	6912,6	74,0	17,6	61,8		-57,9	2627,6	4,0	4739,9	
Huerta [+Ret.Abast.Zaragoza]	49,5	6962,1	34,6	19,9	249,1	5,0	22,6	2650,2	268,9	5008,8	
Gállego(MonegrosI+II+Huesca)	789,8	7751,9	1727,5	1606,1	149,2	79,3	224,6	2874,8	270,1	5278,9	
Entre Gállego y Aguas Vivas	77,6	7829,5	188,1	147,3	125,6		-110,6	2764,2	15,0	5293,9	
Aguas Vivas	65,9	7895,4	52,2	41,3	10,9	6,6	41,4	2805,6	46,6	5340,6	
Ebro en Sástaço	0,1	7895,6				395,7		2805,7		5340,7	4945,0
Entre Aguas Vivas y Martín	5,2	7900,6	19,0	14,3	25,8		-13,7	2791,8	12,1	5352,6	
Martín	79,5	7980,1	106,5	58,1	48,3	7,9	12,5	2804,3	46,3	5399,0	
Entre Martín y Regallo	6,5	7986,6	114,8	13,4	122,6		-108,3	2696,0	14,3	5413,2	
Regallo	12,9	7999,5	4,9	3,4	1,5	1,3	8,5	2704,6	9,9	5423,1	
Entre Regallo y Guadalope	6,5	8005,9	27,3	21,1	27,4		-20,9	2683,7	6,5	5429,6	
Guadalope	184,8	8190,8	299,8	214,7	85,1	19,0	22,2	2705,9	70,4	5500,1	
Ebro despues Guadalope		8190,8				410,8		2705,9		5500,1	5089,3

CUADRO 1

hidrológico 1945/46 a 1987/88.

La generación de las aportaciones en régimen natural se ha realizado siguiendo diversos métodos, de acuerdo a las características particulares de cada subcuenca (modelos matemáticos determinístico [3], [9] y estocástico [11], correlaciones lineales múltiples [4], etc.).

3.1.- Estudios de Demandas y Consumos de Agua

Las Demandas y Consumos de Agua se han agrupado bajo tres aspectos principales: Usos Industriales, Agrícola y Abastecimiento a Poblaciones.

El uso consuntivo varía de acuerdo al tipo de demanda y se han aplicado los siguientes criterios recomendados por el Plan Hidrológico [7]:

TIPO DE USO		CONSUMO [% de la Demanda]	RETORNO [% de la Demanda]
INDUSTRIAL	En general y Piscifactorías	20.0	80.0
	Hidroelectricidad	0.0	100.0
	Centrales Nucleares	0.1	99.9
	Centrales Térmicas	Variable Según caso	Variable Según caso
REGADIO		80.0	20.0
ABASTECIMIENTO		20.0	80.0

CUADRO 2

El cálculo se ha realizado en cada una de las 33 subcuencas del río Ebro, tanto en situación actual (1990), como en situación futura (2040).

Toda la información existente ya sea del Plan Hidrológico (1981) [7] y de los estudios específicos de cada Comunidad Autónoma, se han homogeneizado a nivel de superficies regadas por Términos Municipales y según la procedencia del agua. Este contraste de información ha permitido depurar dicha información, evitando con esto duplicidad u omisiones de la misma.

La Demanda Agrícola se ha clasificado en dos agrupaciones generales: Pequeños Regadíos y Grandes Canales. Los registros existentes en los grandes proyectos han permitido contrastar y ajustar los cálculos edafológicos y así mismo, han servido de base para el cálculo teórico en las zonas de los Pequeños Regadíos [2].

El cálculo de la Evapotranspiración Potencial se ha realizado por medio del método de "Blaney-Criddle modificado por la FAO" y ajustado por el índice de aridez de la estación climatológica representativa de cada zona.

La Lluvia Efectiva se ha determinado con un método probabilístico para un año característico seco (lluvia probable $P = 80\%$). El Balance Hídrico se ha determinado considerando 10 diferentes patrones de cultivo en 24 sectores tipo; estimándose unas eficiencias medias en conducción del 85% y en distribución del 65%.

El cálculo de la Demanda de Abastecimiento se ha realizado a partir de Dotaciones Unitarias que están en función del nivel de población y del año que se considera. El cálculo de la Tasa de Crecimiento se basa en los datos de población por términos municipales de los Censos Oficiales de los años 1950, 1960, 1970 y 1981, corrigiéndose los mismos a partir de los datos del Padrón Municipal del año 1986.

Las Demandas Industriales se han determinado a partir del Censo Industrial de España (1978), actualizándose y calculando su crecimiento futuro, a partir de las Encuestas Industriales (1986-1983), (1980-1983) y (1978-1981); clasificándose las dotaciones unitarias en once sectores principales.

3.2.- Balances Generales y Disponibilidad de Captación en la Toma del CMD

Los balances generales nos presentan las aportaciones naturales y disponibles en los 44 puntos característicos del Ebro, en toda la zona de influencia del C.M.D., es decir, desde la cabecera hasta la desembocadura del río ~~Candape~~ ^{Candape}. Estos balances se clasifican en dos grandes grupos dependiendo del tipo de aportación considerada, ya sean aportaciones medias mensuales con una probabilidad de ocurrencia del 50% o,

aportaciones mensuales para el caso de un año seco, probabilidad de ocurrencia del 80%. Además, en la situación actual, se realizan análisis de sensibilidad hidrológica, analizando la influencia del trasvase Zadorra-Cantábrico por una parte y los movimientos de todos los embalses involucrados, por otra parte; dando lugar por tanto a 4 tipos de balances en situación actual (1990) y dos tipos de balances en situación futura (2040).

Los consumos (regadíos, industria y abastecimiento) aguas arriba de la Toma del C.M.D., constituyen un valor a sustraer de las aportaciones del Ebro en dicho punto (obtención de aportación neta); en tanto que las servidumbres aguas abajo (caudales ecológicos y requerimientos de uso), constituyen caudales mínimos a respetar (ley de requerimientos mínimos en el Ebro).

3.2.1.- Aportaciones Mensuales para un Año Seco con 80% de Probabilidad

Se determinan a partir de las distribuciones "Logarítmico-Pearson III" o "Logarítmico-Normal" de las aportaciones medias anuales estacionarizadas; obteniéndose entonces los factores 80%, los mismos que multiplicados por las aportaciones medias mensuales generan las aportaciones para el año seco característico con probabilidad 80%.

Obtención del Factor 80% [F(80)] para la Toma del CMD

Se usa como datos los 43 años de aportaciones medias anuales en el río Ebro, en el punto de toma del CMD (1945-1988):

La aportación 80% se expresa como:

$$A_{80} = F(80) \times A_m \quad (1)$$

Donde:

A_{80} - Aportación media mensual 80% de probabilidad de exceso.

$$F(80) = \frac{\bar{A}_{80}}{\bar{A}_m} \quad (2)$$

\bar{A}_{80} - Aportación media anual período (1945-1988) para una P = 80%

\bar{A}_m - Aportación media anual período (1945-1988) para una P = 50%

A_m - Aportación media mensual período (1945 1988)

Del cálculo (véase figura 3) se obtiene un F(80) igual a 0,68.

3.2.2.- Formulación General de los Balances

Para el cálculo del balance hidráulico ha sido necesario distinguir tres grupos generales de análisis: en Subcuencas, Cuencas Intermedias y Puntos Característicos en el Ebro [2] (véase cuadro 1).

- Balance en Subcuencas

$$\text{Demandas: } A_p - D \geq Q_c \Rightarrow A_{id} = A_p - D \quad (3)$$

$$A_p - D < Q_c \Rightarrow A_{id} = Q_c \quad (4)$$

$$\text{Consumos: } A_p - D \geq Q_c \Rightarrow A_{ic} = A_{id} + R \quad (5)$$

$$A_p - D < Q_c \Rightarrow A_{ic} = A_p - Q_c \quad (6)$$

$$C_{calc} = (C/D) * (A_p - Q_{ec}) \quad (7)$$

$$R_{calc} = (A_p - Q_{ec}) - (C/D) * (A_p - Q_{ec}) \quad (8)$$

$$A_{vc} = A_p - C_{calc} + [R+C-D] \quad (9)$$

donde:

A_p = aportación natural, D = demandas, C = consumos, R = retornos

Q_{ec} = caudal ecológico, A_{vd} = aportación disponible con demandas

A_{vc} = aportación disponible con consumos

A_{vd} = aportación disponible para la demanda
(respetando el caudal mínimo ecológico)

C_{calc} = consumo calculado a partir de la
aportación disponible para la demanda

R_{calc} = retorno calculado a partir de la
aportación disponible para la demanda.

- Balance en Cuencas Intermedias

Demandas: $A_{vd} = A_p - D \quad (3)$

Consumos: $A_{vc} = A_{vd} + R \quad (5)$

- Balance en Puntos Característicos en el Ebro

Se han considerado 5 puntos característicos a lo largo del Ebro:

- Miranda
- Toma del CMD (entre Tirón y Najerilla)
- Castejón
- Sástago
- Después de la confluencia con el Guadalope

Demandas:

Aportación disponible con demandas (no calculado por ser irrelevante)

Consumos: $A_{vc} = A_{vca} - Q_{ec} \quad (10)$

donde:

A_{vc} = aportación disponible (hasta punto considerado) con consumos

A_{vca} = aportación disponible con consumos acumulada

Q_{ec} = caudal ecológico del Ebro.

3.3.- Disponibilidades de Captación de Recursos en la Toma del CMD

Para determinar las disponibilidades de recursos hidráulicos en la toma del canal de la Margen Derecha (situada entre el río Tirón y el Najerilla), se han considerado todos los posibles consumos y servidumbres, así como también la influencia de las infraestructuras (actuales y futuras) en el sistema.

- Consumos Aguas Arriba de la Toma del C.M.D.

Se obtienen integrando todos los usos consuntivos (Demandas-Retornos) que se

producen en las subcuencas aguas arriba de la toma. Estas series de usos anuales en un año hidrológico seco ($P = 80\%$), se restan a las aportaciones naturales en el punto de toma, para obtener la serie neta en el período histórico 1945/46 a 1987/88.

- Caudal Ecológico y de Servidumbres Aguas Abajo de la Toma del CMD

El caudal ecológico se ha calculado conforme a la recomendación de la Confederación Hidrográfica del Ebro [1]:

$$\text{Si } Q \geq 80 \text{ m}^3/\text{s}, \text{ entonces } Q_{ec} = 0.05 Q \quad (11)$$

$$\text{Si } Q < 80 \text{ m}^3/\text{s}, \text{ entonces } Q_{ec} = 0.10 Q \quad (12)$$

En el Cuadro 3 se presentan los resultados del cálculo de la ley de servidumbres, a partir de caudales ecológicos obtenidos de las aportaciones correspondientes a un año seco ($P = 80\%$); y realizado los balances con año medio y año seco.

En estos análisis, se consideran dos tipos de actuación: determinando el caudal ecológico incluidos los movimientos de embalses (cálculo conjunto); o determinando primero el caudal ecológico de las aportaciones y sólo entonces se incluyen los movimientos de embalses (cálculo separado).

Se concluye de los resultados, que el caso más desfavorable corresponde a una ley de servidumbres, obtenida a partir del caudal ecológico del año seco ($P = 80\%$) y con balance correspondiente al mismo año seco; incluidos todos los movimientos de embalses (cálculo separado).

TIPOS DE BALANCES	CAUDAL DE SERVIDUMBRES CONSIDERANDO EL Qeco. OBTENIDO A PARTIR DE LAS APORTACIONES CON $P = 80\%$, EN [Hm ³]			
	SITUACION ACTUAL		SITUACION FUTURA	
	P = 50%	P = 80%	P = 50%	P = 80%
INCLUYENDO MOVIMIENTOS DE EMBALSES (CALCULO SEPARADO)	275.17	333.75	336.14	355.17

CUADRO 3

Estos caudales de servidumbres se obtienen analizando mes a mes los puntos críticos o conflictivos en los 72 cuadros de balances generales. Así, se exige que en la toma se deje pasar un mínimo igual al caudal ecológico y además que las captaciones no agraven la situación aguas abajo de la toma, donde también se requiere un caudal que sea mayor o igual que el caudal ecológico. En la Figura 4 se indican los gráficos resultantes del análisis de las condiciones futuras para el año seco característico $P=80\%$; tanto para los caudales netos y ecológicos en el punto de toma del CMD, caudal neto y ecológico en el punto de toma del Canal Tauste e Imperial de Aragón (punto crítico del balance en situación futura).

La ley 80% que define los caudales mínimos requeridos por el río Ebro, para que se respeten las servidumbres (caudal ecológico+requerimientos de uso) aguas abajo de la toma del CMD, constituye la envolvente inferior en los meses de gran recurso y poca demanda (Octubre a Mayo); la envolvente superior en los meses de poco recurso y gran demanda (Julio y Agosto), siendo por tanto necesario dejar pasar todo el caudal neto hacia aguas abajo. En los meses de Junio y Septiembre aunque todavía se pueden captar caudales importantes, es necesario dejar pasar hacia aguas abajo caudales superiores a los ecológicos exigidos, no sólo en el punto de toma del CMD sino que también en el punto de toma del canal de Tauste e Imperial de Aragón.

En el cuadro 4 se recogen las leyes medias mensuales en situación futura de las restricciones y servidumbres aguas arriba y abajo de la toma respectivamente, las mismas que se deben considerar mes a mes en el balance, en cada uno de los 500 años de generación aleatoria. También se indican las demandas medias mensuales para poner bajo riego las 135000Ha.

Los resultados del ajuste del sistema y de la simulación conducen a un volumen de regulación necesario de 950Hm³; satisfaciendo dichas demandas con una garantía del 88%, respetando las servidumbres aguas abajo de la toma con un 95% de garantía y los consumos aguas arriba con un 100% de garantía.

DESCRIPCION	M E S E S												TOTAL [Hm3]
	OCTU	NOVI	DICI	ENER	FEBR	MARZ	ABRI	MAYO	JUNI	JULI	AGOS	SEPT	
Consumos Aguas Arriba de la Toma	5.3	4.9	5.0	5.0	4.5	6.9	8.6	13.3	20.9	38.6	32.5	13.5	159.0
Servidumbres Aguas Abajo de la Toma	7.5	15.7	12.6	14.4	13.7	13.1	12.3	17.7	34.5	83.8	92.3	38.1	355.7
Demandas en Toma del CMD (135000Ha)	41.5	0.0	0.0	0.1	6.8	35.5	67.3	93.9	200.2	258.9	228.0	121.5	1053.7

CUADRO 4

4.- CONCLUSIONES

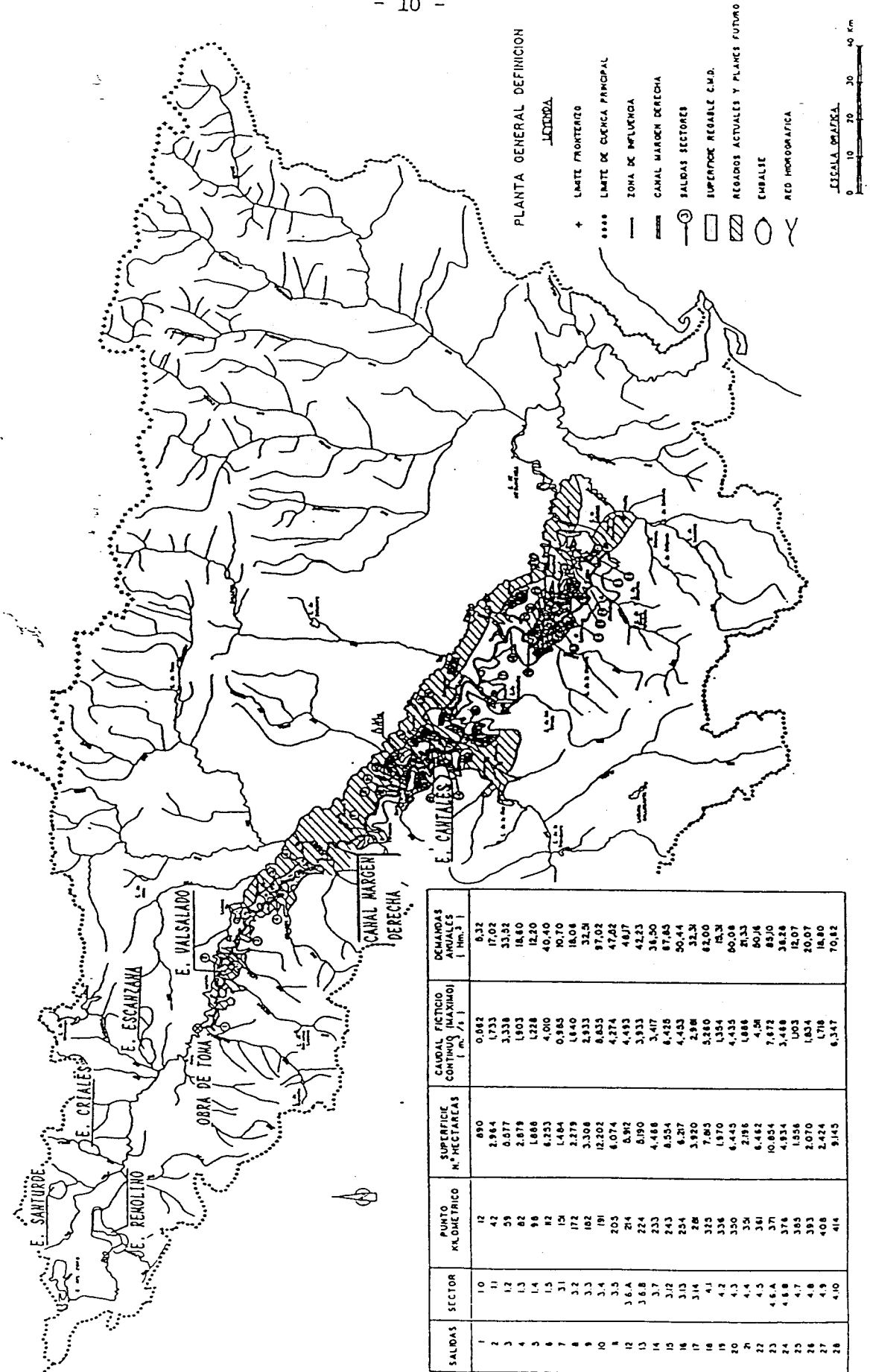
- La evaluación de las Demandas, Consumos y Retornos es de vital importancia en el balance de los Recursos Hidráulicos. Por lo tanto, no se debe escatimar esfuerzos en su cuantificación y contrastación.
- Se ha presentado una metodología que conjuga criterios probabilísticos, análisis de sensibilidad y modelos de simulación hidrológica, que nos permiten definir las disponibilidades de los recursos hidráulicos en cualquier sitio de un sistema hidrográfico complejo.

5.- RECONOCIMIENTO

Este trabajo constituye un extracto de uno de los capítulos del Estudio del CMD [2], realizado y dirigido por el Dr. Ing. Luis G. Castillo E., cuando trabajaba como Director del Departamento Técnico de la Empresa INARSA. Los autores desean dejar constancia de su agradecimiento a todas las personas que participaron y colaboraron en este importante estudio, especialmente a los Ingenieros de Caminos D. José María Tardó (Director del Proyecto por parte de la Diputación General de Aragón) y D. José Luis Lama Duque (Jefe del Departamento de Control y Vigilancia de Obras de INARSA).

6.- BIBLIOGRAFIA

- [1] DOCUMENTACION BASICA DEL PLAN HIDROLOGICO DEL RIO EBRO (1989). Confederación Hidrográfica del Ebro-INYPSA. Zaragoza.
- [2] ESTUDIO DE VIABILIDAD TECNICO-ECONÓMICA DEL CANAL DE LA MARGEN DERECHA DEL EBRO Y SUS ALTERNATIVAS EN ARAGÓN (1992). Diputación General de Aragón - INARSA. Zaragoza.
- [3] ESTRELA M. TEODORO (1991). "Los Modelos de Simulación Continua de la Cuenca". Curso Sobre Modelos Hidrológicos. CEDEX. Madrid.
- [4] HERAS, R. (1983). "Recursos Hidráulicos Síntesis Metodología y Normas". Cooperativa de Publicaciones del Colegio de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos. Madrid.
- [5] LINSLEY R., KOHLER M. AND PAULHUS J. (1988). "Hydrology for Engineers". McGraw-Hill. London.
- [6] MOREL-SEYTOUX HUBERT J. (1981). "Engineering Hydrology". Colorado State University. USA.
- [7] PLAN HIDROLOGICO NACIONAL (1981). "Grupo de Trabajo Regional del Ebro". MOPU-INITEC.
- [8] SUBRAMANYA K. (1988). "Engineering Hydrology". Third Edition. McGraw-Hill. New Delhi. India.
- [9] TOMEZ J. R. (1977) "Modelo matemático de transformación Precipitación-Aportación". ASINEL.
- [10] U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS (1982). "Simulation of Flood Control and Conservation Systems (HEC-5)". Users Manual. California.
- [11] U.S. DEPARTMENT OF THE INTERIOR. BUREAU OF RECLAMATION (1989). "Applied Stochastic Techniques". Personal Computer Version. User Manual. Denver, Colorado.



SALIDAS	SECTOR	PUNTO Kilométrico	SUPERFICIE N.º HECTÁREAS	CAUDAL FICTICIO CONTINÚO (MÁXIMO) l. por s. / s.	DEMANDAS MÁXIMAS l. por s. / s.
1	10	12	890	0,862	0,32
2	11	42	2,964	1,733	17,02
3	12	59	0,077	3,338	33,92
4	13	82	2,878	1,903	18,80
5	14	98	1,868	1,228	12,20
6	15	82	6,233	4,000	40,40
7	31	151	1,484	0,945	10,70
8	32	172	2,279	1,640	18,06
9	33	182	3,308	2,933	32,9
10	34	191	12,202	8,835	97,02
11	35	205	6,074	4,274	47,02
12	36A	204	6,902	4,493	46,07
13	36B	224	8,190	5,933	62,23
14	37	233	4,488	3,417	38,50
15	372	243	8,554	6,428	67,85
16	313	254	6,27	4,433	50,44
17	314	28	3,820	2,988	31,3
18	41	325	7,805	5,280	62,00
19	42	336	1,970	1,354	15,3
20	43	350	6,445	4,435	60,08
21	44	356	2,196	1,686	21,33
22	45	381	6,482	4,58	60,18
23	46A	371	10,854	7,872	85,10
24	46B	378	4,934	3,468	38,58
25	47	385	1,956	1,053	12,07
26	48	393	2,070	1,834	20,07
27	49	408	2,424	1,718	18,80
28	410	414	9,145	6,347	70,82

FIGURA 1

