

Comparación de los valores de las dotaciones netas de riego en las cuencas del Duero, Tajo, Júcar y Ebro¹

Metodologías: Blaney-Criddle, Penman y Penman-Monteith

H. CASTILLO HERNANDO (*); C. NOTARIO BODELÓN (**)

RESUMEN Se pretende dar a conocer los resultados obtenidos en la determinación de dotaciones de riego máximas en las cuencas del Duero, Tajo, Júcar y Ebro por los métodos propugnados por la FAO, el de Blaney-Criddle y el de Penman, Modificados, así como su comparación entre sí, y en relación a la nueva metodología Penman-Monteith, recientemente incorporada como "método combinado", que parece ser da valores más próximos a los valores reales de las dotaciones.

Los cuadros comparativos, de los valores de dotaciones tanto para la hectárea representativa de una zona regada determinada, como los valores medios o promedios de un grupo de cultivos en concreto, permiten establecer ciertas conclusiones, aunque no definitivas hasta no constatarlos en otras cuencas, como se está haciendo en la actualidad.

COMPARATION OF RESULTS OF NET WATER IRRIGATION REQUIREMENT CALCULATIONS FOR THE DUERO, TAJO, JÚCAR AND EBRO BASINS. METHODOLOGIES: BLANEY-CRIDDLE, PENMAN AND PENMAN-MONTEITH

ABSTRACT The aim is to communicate the results obtained in the calculation of the maximum irrigation provisions in the Duero, Tajo, Júcar and Ebro Basins by the methods proposed by the FAO, namely the Modified Blaney-Criddle and Penman methods, as well as the comparison between the two, and also the new Penman-Monteith methodology, recently incorporated as a "combined method", and which would seem to give the closest to the real provision values.

The comparative tables of provision values, both for the representative hectare of a given irrigated zone, and the mean or average values of a specific crop group, allow us to draw certain conclusions, although they shall not be definitive until they can be verified in other Basins, a task which is currently being carried out.

Palabras clave: Dotaciones netas; Cuencas Duero, Tajo, Júcar y Ebro; Comparación; Metodologías: Blaney-Criddle, Penman y Penman-Monteith.

1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo que se presenta al XIV Congreso Nacional de Riegos, pretende ser un aporte que permita la comparación entre los resultados obtenidos, en el cálculo de dotaciones netas, por tres de las metodologías más al uso.

En las Jornadas celebradas en Pamplona, se mostraron en una comunicación los valores de las dotaciones netas obtenidas para las Cuencas del Duero y del Tajo, según las 3

metodologías: Blaney-Criddle Modificado, Penman Modificado y el más moderno de Penman-Monteith.

Concluidos los trabajos de "Determinación de las dotaciones de riego en los planes de regadío de la Cuenca del Júcar", y encontrándose en avanzado estado de gestación los trabajos correspondientes al de "Determinación de las dotaciones de riego en los planes de regadío de la Cuenca del Ebro", cuya realización le ha sido encomendada al Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX por el Ministerio de Fomento, a través de convenio suscrito con la Dirección General de Obras Hidráulicas, nos ha parecido oportuno presentar esta comunicación desde el Sector de Regadíos del citado Centro de Estudios Hidrográficos, que es quien ha materializado la elaboración de los trabajos citados.

Disponiendo pues, de los valores de las dotaciones de riego de estas cuatro Cuencas, Duero, Tajo, Júcar y Ebro (esta con valores provisionales), heterogéneas en los aspectos meteorológicos y culturales, estimamos interesante que, a efectos sobre todo de planificación, se analicen aunque sea someramente por las limitaciones administrativas que demanda la Organización del XIV Congreso Nacional de Rie-

(1) Este artículo corresponde a la comunicación presentada al XIV Congreso Nacional de Riegos, celebrado en Aguadulce (Almería), del 11 al 13 de junio de 1996.

(*) Doctor Ingeniero Agrónomo y Economista. Coordinador de Programas Técnicos Científicos del Área de Ingeniería de Regadíos del Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX, Ministerio de Fomento.

(**) Ingeniero Agrónomo. Jefe de Servicio de Evaluación de Regadíos del Área de Ingeniería de Regadíos del Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX, Ministerio de Fomento.

gos, los resultados obtenidos por las metodologías, Blaney-Criddle Modificado, Penman Modificado y Penman Monteith, tanto comparando los valores hallados para cada método, para una misma cuenca, como las variaciones que se puedan dar entre los resultados encontrados en las diferentes cuencas para un mismo método.

Al tener la posibilidad de comparar los valores de dotaciones netas reales aplicadas en zonas concretas de cada cuenca, con las obtenidas para esa misma zona y cuenca por las metodologías que amparan procedimientos heurísticos, nos permite contrastar valores reales con valores teóricos, hallados científicamente, y establecer los grados de aproximación y validación de cada uno de los métodos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Con esta comunicación lo que se trata, fundamentalmente, es dar a conocer los valores de las dotaciones netas de riego en las cuatro cuencas citadas obtenidas por la nueva metodología Penman-Monteith. Además, la comparación de estos valores con los calculados por las otras metodologías, ya clásicas, como la de Blaney-Criddle y Penman, posibilitan el conocimiento de sus afinidades y discordancias en determinados supuestos.

Por otra parte, como ya ha quedado indicado, el conocimiento de valores reales de dotaciones netas en zonas de riego concretas, permite efectuar el contraste de dichos valores con los de los valores hallados por las tres metodologías empleadas. Así se pueden inducir, por comparaciones, cual de los métodos empleados se aproxima más a la realidad.

No obstante, los resultados así obtenidos, por ser inferidos, producto de una "muestra", no dan conclusiones ciertas en la extrapolabilidad a otras zonas. La información básica utilizada, concretada en datos meteorológicos históricos y aplicados a las fórmulas de los diferentes métodos, son los que corresponden a cada estación meteorológica ubicada en los lugares más idóneos de la zona en estudio. Así, cada método obtiene sus propios valores de ET_c .

Con los datos de dedicación productiva de la zona (la histórica, la prevista tentativamente, considerando las limitaciones de PAC, ..., etc.) y el conocimiento de los ciclos y fases de desarrollo vegetativo de cada cultivo, se obtienen los correspondientes K_c y mediante el producto $ET_c \times K_c$ se hallan las ET_0 , evapotranspiración correspondiente a cada cultivo.

A partir del balance hídrico, en el que se tienen en cuenta la P_e (Precipitación efectiva) y A_e (Agua aportada por el suelo), se deducen los valores de las dotaciones de riego o necesidades hídricas de un cultivo determinado. Este balance hídrico que no es más que la diferencia entre las ET_c (que se identifica como las "pérdidas" o "demandas" de agua) y $P_e + A_e$ (que se identifica con las "ganancias" u "ofertas" de agua) calculada en términos mensuales, constituye la demanda mensual neta para cada cultivo, siendo su suma mensual el valor de la dotación anual neta de riego del cultivo en cuestión.

Los trabajos que respaldan lo que aquí se quiere sintetizar referidos a "Dotaciones Duero", "Dotaciones Tajo", "Dotaciones Júcar" y "Dotaciones Ebro" que se indican como títulos abreviados de los referidos en el apartado 1. Introducción, constan, en general, de los documentos: Memoria, Anejos (31) y Mapas. La enorme cantidad de datos referidos a los aspectos meteorológicos y agronómicos implicados en fórmulas complejas, su tratamiento informático, y la consideración de algunas eventualidades, hace que los resultados y su consiguiente análisis y conclusiones tengan en

muchas ocasiones connotaciones no todo lo rigurosas que se hubiesen deseado.

En coherencia con estas indicaciones, parece lógico puntualizar lo siguiente:

1. Los resultados, extraídos de los documentos citados, deben concebirse en el contexto general de una Planificación, o sea, su validez queda limitada por su objetivo que es el de obtener unos valores de demandas unitarias que posibiliten el cálculo de las demandas globales de agua en regadíos, de utilidad para la planificación hidrológica de una cuenca concreta.
2. Los valores hallados no deben ser necesariamente coincidentes con los que resultasen de un cálculo puntual, en un lugar determinado y para una explotación y cultivo que reúna unas características singulares.
3. En cuanto al concepto manejado de DOTACIÓN DE RIEGO (m^3/ha y año) es el de uso habitual en planificación, diseño y explotación de regadíos y se identifica con las necesidades hídricas de un cultivo o grupo de ellos, en condiciones óptimas de desarrollo y que, consecuentemente, produce rendimientos máximos (Kg/ha y año). Este rendimiento máximo se concibe como el que le corresponde a una variedad de gran producción adaptada a un ambiente dado, que no tiene limitaciones en los factores de desarrollo (agua, nutrientes, plagas, enfermedades, condiciones físicas del suelo, ..., etc.) que evapotranspira la evapotranspiración máxima ET_c , que genera la "dotación de riego máxima".

3. RESULTADOS

En el siguiente cuadro nº 1, se incluyen para cada Cuenca analizada y para cada uno de los tres métodos aplicados, los valores obtenidos para los cultivos mas representativos, comunes a las cuatro cuencas, con objeto de posibilitar una comparación coherente basada en la mayor homogeneidad posible.

Las cifras halladas, quieren expresar los valores promedios de las dotaciones netas de riego, en m^3/ha , en las Cuencas del Tajo, Duero, Júcar y Ebro. Dichos valores se han extraído de las respectivas Memorias de los documentos elaborados para cada cuenca, cuya estructura de trabajo ya se ha indicado someramente en los apartados anteriores.

De la comparación realizada se deduce que para las cuencas del Duero y del Tajo, en todos los cultivos estudiados, los valores mas pequeños se han dado con la metodología Penman-Monteith, con la única excepción de los obtenidos para patata temprana que en ambas cuencas son ligeramente inferiores los hallados por método Blaney-Criddle, y para lechuga, que en la Cuenca del Tajo son también ligeramente mas pequeños en Blaney-Criddle.

Las diferencias mas acusadas para los valores de estas dos cuencas, al comparar Penman y Penman-Monteith, se dan en alfalfa ($2.290 m^3/ha$) C. del Duero, y las diferencias mínimas en coliflor ($311 m^3/ha$) también en la Cuenca del Duero. No obstante las relaciones por cociente no son tan significativas, resultando respectivamente 1,47 y 1,37.

Estas relaciones por cociente, que reflejan mejor que las que resultan por diferencia, tienen para estas dos cuencas (Duero y Tajo) unos valores máximos para el olivo 1,76 en Cuenca Duero y para lechuga 1,64 también en Cuenca Duero. Los valores mínimos, han resultado ser para maíz forrajero 1,19 en Cuenca Tajo y para maíz grano 1,21 en Cuenca Tajo. Todas estas relaciones son consecuencia de

CULTIVOS	BLANEY-CRIDDLE MODIFICADO				PENMAN MODIFICADO				PENMAN-MONTEITH			
	DUERO	TAJO	JÚCAR	EBRO	DUERO	TAJO	JÚCAR	EBRO	DUERO	TAJO	JÚCAR	EBRO
Arroz	—	14.943	12.164	13.518	—	16.356	13.885	15.054	—	14.192	11.982	13.227
Girasol	3.108	4.511	4.049	3.960	3.781	5.090	4.568	4.860	2.644	3.971	3.576	3.889
Maíz grano	4.018	5.946	4.035	4.364	4.937	6.522	4.738	5.325	3.388	5.384	3.800	4.353
Patata tempr.	1.143	1.615	1.244	1.050	2.020	2.534	2.001	2.063	1.166	1.700	1.477	1.444
Patata mu.	2.837	4.110	3.089	3.271	3.523	4.979	3.944	4.507	2.369	3.795	2.938	3.375
Remolacha azucarera	4.824	6.530	5.287	3.411	6.040	7.204	6.149	4.448	4.113	5.866	5.032	3.522
Tabaco	—	5.381	3.611	3.128	—	6.280	4.726	4.395	—	4.883	3.612	3.046
Alfalfa	5.341	7.542	6.114	5.817	7.118	8.960	7.626	7.821	4.828	7.132	5.994	6.024
Maíz forrajero	3.292	4.998	3.463	2.459	4.066	5.431	4.050	3.027	2.758	4.537	3.241	2.466
Cebolla	3.214	5.525	3.701	3.751	4.118	6.224	4.631	4.976	2.792	4.998	3.557	3.783
Coliflor	874	2.922	801	2.200	1.149	3.443	965	2.773	838	2.869	889	2.317
Judía verde	2.132	3.116	2.324	2.447	2.748	3.434	2.838	3.151	1.810	2.772	2.162	2.423
Lechugo	1.291	1.208	623	1.001	1.838	1.753	890	1.495	1.123	1.236	680	1.058
Melón	3.238	4.104	3.104	3.171	3.991	4.685	4.009	3.800	2.738	3.706	3.088	3.074
Peperino	3.042	4.439	2.647	3.677	3.756	4.900	3.387	4.766	2.586	3.943	2.552	3.692
Tomate	3.161	4.984	3.461	3.385	3.886	5.429	4.231	4.699	2.677	4.431	3.275	3.617
Cítricos	—	5.285	4.010	4.602	—	6.415	5.234	5.921	—	5.064	4.086	4.711
Frutales hoja caduca	4.780	6.677	4.743	5.059	6.218	7.715	5.832	6.629	4.143	6.133	4.515	5.138
Olivo	2.249	3.789	2.943	3.349	3.092	4.597	3.995	4.730	1.752	3.526	3.096	3.640
Vid	4.003	5.096	4.030	4.248	5.219	5.884	5.070	5.338	3.461	4.712	4.035	4.241

CUADRO 1. Valores promedio de dotaciones netas de riego (m³/ha) en las Cuencas del Duero, Tajo, Júcar y Ebro).

comparar las metodologías que dan valores máximos en las dotaciones frente a la de valores mínimos, es decir, Penman "VS" Penman-Monteith.

Analizando las cuencas (Júcar y Ebro) se observa una característica común a las otras dos cuencas estudiadas (Duero y Tajo) y es que para todos los cultivos en las 4 cuencas los valores más altos de las dotaciones se han obtenido por la metodología Penman Modificado. Pero para Júcar y Ebro los valores más bajos no resultan ser siempre para la metodología Penman-Monteith (como ocurría para Duero y Tajo, con la excepción señalada), sino que para la Cuenca Júcar, en 7 cultivos de los 20 estudiados, dan valores inferiores para metodología Blaney-Criddle Modificado, y estos son mayoritarios en Cuenca Ebro, 14 de los 20 analizados (aunque, 7 u 8 de ellos sus valores son prácticamente los mismos en Blaney-Criddle que en Penman-Monteith).

Las relaciones más significativas por cociente entre los valores más altos de dotaciones (siempre Penman Modificado) y los más bajos (unas veces los de Blaney-Criddle Modificado y otras los de Penman-Monteith) se han dado en los siguientes cultivos (tabla A):

También, observando el cuadro nº 1, al que nos estamos refiriendo, se pueden analizar los valores de las dotaciones para cada cultivo en cada una de las cuatro Cuencas, comparándolos entre sí independientemente de cual sea la metodología empleada, viendo por ejemplo que para el girasol los

	Máx.	Mín.	Cultivo	Metodología
Cuenca del Júcar	3,61	—	Patata Temprana	Blaney-Criddle
	1,43	—	Lechugo	Blaney-Criddle
	—	1,16	Arroz	Penman-Monteith
	—	1,20	Coliflor	Blaney-Criddle
Cuenca del Ebro	1,96	—	Patata Temprana	Blaney-Criddle
	1,49	—	Lechugo	Blaney-Criddle
	—	1,14	Arroz	Penman-Monteith
	—	1,22	Maíz grano	Penman-Monteith

TABLA A.

valores más altos se dan en la Cuenca Tajo, como así ocurre prácticamente para todos los cultivos, y, además en casi todas las metodologías.

Veamos en cada una de las cuencas analizadas, la comparación de los resultados obtenidos para los valores medios de dotaciones netas de riego, en la hectárea representativa de determinadas zonas de riego.

Se ha elegido en el caso de la cuenca del Ebro, provincias con una dedicación cultural igual o superior a las 1000 has.,

CUADRO 2. Valores medios dotaciones netas de riego (m^3/ha) de la ha. representativa en zonas de la C. Duero.

Zona	Blaney-Criddle (1)	Penman (2)	Penman-Monteith (3)	Relaciones			
				(1)/(3)	(2)/(3)	(1)-(3)	(2)-(3)
Avila	4.257	5.878	4.205	1,01	1,40	52	1.673
Arlanzón	3.438	4.362	3.021	1,14	1,44	417	1.341
Porma M.I.	3.186	4.516	2.997	1,06	1,51	189	1.519
Castilla Norte	3.412	4.903	3.273	1,04	1,50	139	1.630
Villagonzalo	4.417	5.483	3.771	1,17	1,45	646	1.712
Segovia	3.317	3.916	2.795	1,19	1,40	522	1.121
Campillo	4.181	5.714	3.866	1,08	1,48	315	1.848
Tordesillas	4.040	5.330	3.561	1,13	1,50	479	1.769
Toro-Zamora	4.939	5.764	4.173	1,18	1,38	766	1.591

CUADRO 3. Valores medios dotaciones netas de riego (m^3/ha) de la ha. representativa en zonas de la C. Tajo.

Zona	Blaney-Criddle (1)	Penman (2)	Penman-Monteith (3)	Relaciones			
				(1)/(3)	(2)/(3)	(1)-(3)	(2)-(3)
Cáceres	5.107	5.683	4.642	1,10	1,22	465	1.041
Bornova	3.970	4.985	3.959	1,00	1,26	11	1.026
Henares	4.013	5.045	4.004	1,00	1,25	9	1.041
Campillo	4.029	4.881	3.885	1,04	1,26	144	996
Alcarria Baja	3.883	4.814	3.802	1,02	1,27	81	1.012
Area M. Madrid	4.966	6.114	4.947	1,00	1,24	19	1.167
Sagra-Toledo	4.621	5.778	4.454	1,04	1,30	167	1.324
Montes Manchegos	4.374	5.569	4.273	1,02	1,31	101	1.316

en riego, y en ella, aquellas zonas con mayor peso específico en cuanto a superficie cultivada y regada.

Para las otras cuencas (Duero, Tajo y Júcar) se han seleccionado zonas, ubicadas en provincias cuyas superficies representativas en ambas, reúnan similares características a las indicadas para la cuenca del Ebro.

Los cuadros siguientes, 2 a 5, recogen pues, los valores medios de las dotaciones netas de la hectárea representativa en las zonas de riego de las cuencas del Duero (cuadro nº 2), cuenca del Tajo (cuadro nº 3), cuenca del Júcar (cuadro nº 4) y cuenca del Ebro (cuadro nº 5), para los tres métodos: Blaney-Criddle modificado, Penman modificado y Penman-Monteith. También se incluyen en dichos cuadros, las relaciones existentes, por cociente y por diferencia, entre las metodologías Blaney-Criddle y Penman y la nueva de Penman-Monteith denominada "método combinado".

En la Cuenca del Duero (cuadro nº 2), en todas las zonas seleccionadas, los valores Penman son superiores a los obtenidos por las otras dos metodologías; también se puede constatar que los valores Penman-Monteith son, también para todas las zonas, inferiores a las demás dotaciones halladas por los otros dos métodos.

Estos resultados se corresponden con los valores de las relaciones por cociente y por diferencia, pues respecto a las primeras, dicha relación es siempre mayor que la unidad, lo que conlleva valores más bajos de dotaciones para todas las zonas obtenidos por la metodología Penman-Monteith. Las

relaciones más extremas entre "Blaney-Criddle y Penman-Monteith" se dan en la "Zona Segovia" (cociente 1,19) y en la "Zona Avila" (cociente 1,01), y analizado por las diferencias en m^3/ha , los valores máximos y mínimos son los de "Zona Toro-Zamora" (diferencia 766) y "Zona Avila" (diferencia 52).

Las otras relaciones extremas, las dadas en la comparación entre "Penman y Penman-Monteith", se encuentran en "Zona Toro-Zamora" (cociente 1,38) y "Zona Porma M.I." (cociente 1,51); analizando la relación por diferencias en m^3/ha , los valores máximos y mínimos corresponden respectivamente a "Zona Campillo" (diferencia 1848) y "Zona Segovia" (diferencia 1121).

En la Cuenca del Tajo (cuadro nº 3), para todas las zonas seleccionadas, también los valores de las dotaciones por método Penman son superiores a la metodología Penman-Monteith. Igualmente, con la nueva metodología Penman-Monteith, se han obtenido los valores más pequeños en todas las zonas seleccionadas en comparación con las de los otros dos métodos. No obstante, en general, los valores, tanto en la relación por cociente, como por diferencia, están más próximos que en los hallados para la Cuenca del Duero, y en las relaciones por cociente son todas superiores a la unidad pero más próximas a ella.

Las relaciones más extremas entre "Blaney-Criddle y Penman-Monteith" se dan en la "Zona Cáceres" (cociente 1,10) y en las "Zonas Bornova y Henares" (cociente 1,00)

donde prácticamente se identifican los valores obtenidos por ambos métodos; analizados por la diferencia, en m^3/ha , los valores máximo y mínimo corresponden respectivamente a "Zona Cáceres" (diferencia 465) y "Zona Henares" (diferencia 9).

Comparando las relaciones Penman "VS" Penman-Monteith en sus valores extremos por cociente y por diferencia, se tiene un máximo en "Zona Montes Navahermosa" (cociente 1,31) y "Zona Cáceres" (cociente 1,22) siendo los correspondientes a la relación por diferencia en m^3/ha "Zona Montes Navahermosa" (diferencia 1316) y "Zona Campiña" (diferencia 996).

Analizando la Cuenca del Júcar (Cuadro nº 4) se puede observar que, a diferencia de las otras dos cuencas estudiadas —Duero y Tajo—, en ésta no existe unanimidad en cuanto a que los valores obtenidos por metodología Penman-Monteith, sean en todas las zonas los que resulten con los valores de dotaciones mas pequeñas. Existen 3 zonas (Sierra Alcaraz, Plana Baja y Sierra Albarracín) donde por el método Blaney-Criddle las dotaciones requeridas son las menores. Se sigue manteniendo en esta cuenca el hecho de que los valores mas elevados se corresponden al método Penman.

Las relaciones por cociente y diferencia de las 3 zonas donde han resultado ser menores los "valores Blaney-

Criddle" que los "valores Penman-Monteith" son, respectivamente:

Sierra Alcaraz	0,91	-290 m^3/ha
Sierra Albarracín	0,97	-112 m^3/ha
Plana Baja	0,98	-96 m^3/ha

Por último veamos los resultados obtenidos por los tres métodos en sus valores medios de dotaciones de la hectárea representativa en la Cuenca del Ebro (cuadro nº 5). De las 10 zonas seleccionadas y analizadas, solo en 4 de ellas los valores hallados por método Penman-Monteith son inferiores a los obtenidos por los otros métodos, siendo en una de las zonas su valor prácticamente igual al obtenido por el método Blaney-Criddle.

En las 5 zonas restantes los valores mas pequeños de las dotaciones se han dado en los cálculos por el método Blaney-Criddle.

En todas las zonas seleccionadas y estudiadas, los valores de las dotaciones de menor cuantía han resultado ser los hallados por el método de Blaney-Criddle. También, como era de esperar, los mayores valores para todas las zonas de la cuenca se han obtenido en las dotaciones correspondientes a la metodología Penman.

Zona	Blaney-Criddle (1)	Penman (2)	Penman-Monteith (3)	Relaciones			
				(1)/(3)	(2)/(3)	(1)-(3)	(2)-(3)
Centro	4.200	5.219	4.147	1,01	1,26	53	1.072
Marcha-Marchuela	4.420	5.420	4.318	1,02	1,26	102	1.102
Sierra Alcaraz	2.979	4.347	3.269	0,91	1,33	-290	1.078
Almansa	4.579	5.615	4.442	1,03	1,26	137	1.173
Bajo Vinopalé	4.409	5.471	4.334	1,02	1,26	75	1.137
Plana Baja	3.981	4.181	4.077	0,98	1,03	-96	104
Serranía Cuenca	5.044	5.429	4.066	1,24	1,34	978	1.363
S. Albarracín	3.163	4.245	3.275	0,97	1,30	-112	970
Valencia	5.593	6.733	5.529	1,01	1,22	64	1.204

CUADRO 4. Valores medios dotaciones netas de riego (m^3/ha) de la ha. representativa en zonas de la C. Júcar

Zona	Blaney-Criddle (1)	Penman (2)	Penman-Monteith (3)	Relaciones			
				(1)/(3)	(2)/(3)	(1)-(3)	(2)-(3)
Espejo	1.620	2.327	1.579	1,03	1,47	41	748
Belorado	2.608	3.500	2.610	1,00	1,34	-2	890
Sañizena	6.165	8.322	6.489	0,95	1,28	-324	1.833
Uredo	4.811	5.741	4.349	1,11	1,32	462	1.392
Tudela	3.597	4.886	3.851	0,93	1,27	-254	1.035
Logroño	3.837	5.426	4.064	0,94	1,34	-227	1.362
Arca de Jalón	4.218	5.709	4.202	1,00	1,36	16	1.507
Amposta	9.649	11.166	9.581	1,01	1,17	68	1.585
Alcañiz	5.668	7.598	5.949	0,95	1,28	-281	1.649
Eje de los Caballeros	4.414	6.225	4.904	0,90	1,27	-490	1.321

CUADRO 5. Valores medios dotaciones netas de riego (m^3/ha) de la ha. representativa en zonas de la C. Ebro.

Las relaciones por cociente y diferencia máximas y mínimas entre los valores de las 3 metodologías, tomando por comparación con la de Penman-Monteith, corresponden a la "Zona Lleida", 1,11, y a "Zona Ejea de los Caballeros" 0,90 en relación por cociente entre Blaney-Criddle y Penman-Monteith y a la "Zona Lleida", 462 m³/ha, y -496 m³/ha, en su relación por diferencia. Estas relaciones extremas entre Penman y Penman-Monteith, corresponden a la "Zona Espejo", 1,47, y a "Zona Amposta" 1,17 en su relación por cociente; en la relación por diferencia, la máxima se da en "Zona Sariñena", 1.833 m³/ha, y la mínima a la "Zona Espejo" con 748 m³/ha.

Son significativas los valores absolutos de las dotaciones correspondientes a la "Zona Amposta", "Zona de Sariñena" y en menor grado a la "Zona Alcañiz", que se apartan mucho de las demás Zonas relacionadas y analizadas. En el caso de la "Zona Amposta" la justificación viene dada por el peso específico, alrededor del 60% sobre el total de su superficie, que representa el cultivo del arroz. Para las otras dos zonas, es el propio cultivo del arroz en mucha menor proporción, y el cultivo de la alfalfa, que tiene un consumo hídrico más elevado, las razones de sus mayores valores obtenidos en el cálculo de sus dotaciones.

4. CONCLUSIONES

Del análisis efectuado, realizado en los resultados obtenidos en el apartado anterior, se pueden extraer dos tipos de conclusiones: A) Según se consideren los valores promedio de las dotaciones netas de riego para los 20 cultivos estudiados, comunes a las 4 cuencas, Duero, Tajo, Ebro y Júcar, y B) según se comparen los valores medios de dotaciones netas de riego para la hectárea representativa de determinadas zonas en cada una de las cuencas indicadas.

De lo anterior, se recoge lo siguiente:

- A.1. En todos los cultivos estudiados, y para todas las cuencas, los valores máximos de dotaciones se han dado siempre con la aplicación de la metodología Penman Modificada.
- A.2. Para las cuencas del Duero y del Tajo, siempre, salvo la excepción indicada en apartado 3, los valores mínimos

de dotaciones han sido siempre los obtenidos por la metodología Penman-Monteith.

- A.3. Las otras cuencas estudiadas, Júcar y Ebro, han dado valores de dotaciones mínimas con metodología Penman-Monteith en 13 cultivos (C. Júcar) y solo 7 cultivos (C. Ebro). No obstante, salvo excepciones, las diferencias con las dotaciones mínimas, que en esos casos han sido con metodología Blaney-Criddle, no resultan significativas, pues las cifras sólo se diferencian en las unidades o decenas en mas del 50% de estos resultados.
- B.1. En todas las zonas seleccionadas para cada cuenca, y en todas las cuencas, los valores máximos de las dotaciones se han dado siempre con el método de Penman Modificado.
- B.2. Para las cuencas del Duero y del Tajo, siempre sin excepción alguna, los valores mínimos se han dado en todas las zonas de cada cuenca, con la aplicación de la metodología Penman-Monteith.
- B.3. Las otras cuencas estudiadas, Júcar y Ebro, han dado valores mínimos de dotaciones con el método Penman-Monteith, en 6 zonas, de las 9 seleccionadas para su estudio, en la Cuenca del Júcar y en solo 3 zonas, de las 10 seleccionadas en la Cuenca del Ebro. No obstante hay que resaltar el hecho de que en ambas cuencas los valores obtenidos por Blaney-Criddle y por Penman-Monteith están muy próximos.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Determinación de las dotaciones de riego en los planes de regadío de la Cuenca del Duero, CEDEX 1992.
- Determinación de las dotaciones de riego en los planes de regadío de la Cuenca del Tajo, CEDEX 1994.
- Determinación de las dotaciones de riego en los planes de regadío de la Cuenca del Júcar, CEDEX 1995.
- Determinación de las dotaciones de riego en los planes de regadío de la Cuenca del Ebro, CEDEX 1996.

PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS BITUMINOSAS FRESADAS, RECICLADAS CON CEMENTO

AUTOR: Stelios Kolias

IDIOMA: Inglés

REVISTA: Materials and Structures

PÁGINAS: 411-417

FECHA: Agosto/Septiembre 1996

SECCIÓN:

CLASIFICACIÓN: Carreteras

RESUMIDO POR:

J. García Carretero

Centro de Estudios de Carreteras

1. INTRODUCCIÓN

El reciclado de firmes flexibles con cemento es una técnica empleada, con éxito, durante muchos años. El desarrollo de nuevos equipos de fresado y mezclado in-situ, ha aumentado su interés. Se considera muy importante el estudio del efecto del contenido de mezcla bituminosa fresada en las propiedades mecánicas de la mezcla con áridos y cemento, el artículo describe un estudio sobre ello.

2. MATERIALES EMPLEADOS, FABRICACIÓN Y CURADO DE PROBETAS

La mezcla bituminosa fresada tiene un contenido de ligante de 5% en peso, se combina con árido calizo machacado en varias proporciones (0, 25, 50, 75 y 100% del total). El contenido de cemento y agua de la mezcla es fijo, siendo 5% en peso para ambos.

Las probetas se fabrican mezclando la mezcla bituminosa fresada y el árido durante 1 minuto con el agua y dejándolo reposar 10 minutos, seguidamente se añade el cemento y se mezcla durante 3 minutos. La compactación se realiza con un martillo vibrante en moldes prismáticos (10 x 10 x 50 cm) en dos capas, o cilíndricos (10 cm de diámetro, 20 cm de altura) en tres capas. El curado se realiza en cámara húmeda a 20° C y 95% de humedad relativa.

3. ENSAYOS REALIZADOS

Con las probetas prismáticas se determina la velocidad de propagación de ultrasonidos y el módulo elástico dinámico en columna con resonancia longitudinal. A continuación se rompen a flexión simple, uno de los dos fragmentos obtenidos se talla formando un prisma de 20 cm de altura y se determina el módulo elástico y la resistencia a compresión.

Las probetas cilíndricas se someten a compresión diametral determinando la resistencia a tracción. También se realizan algunos ensayos de fluencia.

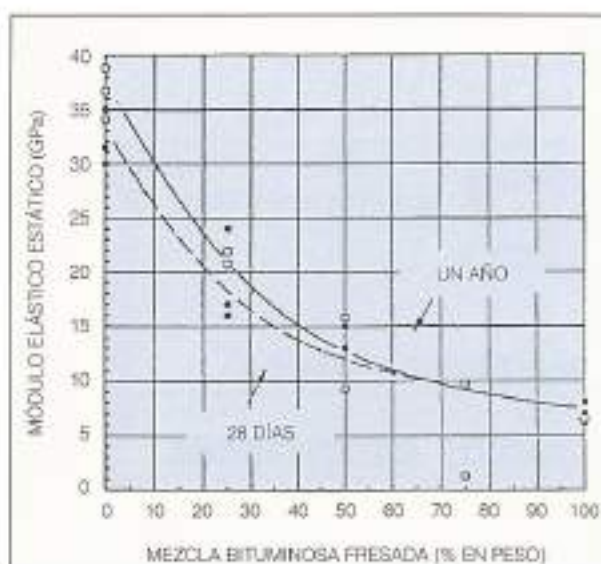


FIGURA 1. Efecto del contenido de mezcla bituminosa fresada en el módulo elástico estático.

mezcla	Resistencia a compresión (MPa)				Resistencia a tracción (MPa)				Módulo elástico (GPa)			
	cubos		prismas		flexión		compresión diametral		estático		dinámico	
	7 días	28 días	28 días	1 año	1 año	7 días	28 días	1 año	28 días	1 año	28 días	1 año
I MB 100%	5,03	5,97	5,11	7,17	1,87	0,43	0,71	—	7,30	6,40	15,55	16,77
II MB 75%	—	—	—	7,03	2,08	—	—	0,99	—	10,50	19,20	20,75
III MB 50%	8,40	10,74	—	8,70	1,67	0,56	0,87	—	14,00	12,56	20,30	19,90
IV MB 20%	—	—	8,05	11,69	2,16	—	—	1,43	18,00	21,30	26,82	30,90
V MB 0%	15,06	10,56	13,43	19,44	3,21	0,75	1,32	1,77	32,17	36,53	41,38	44,37

TABLA. Resultados de los ensayos (valores medios).

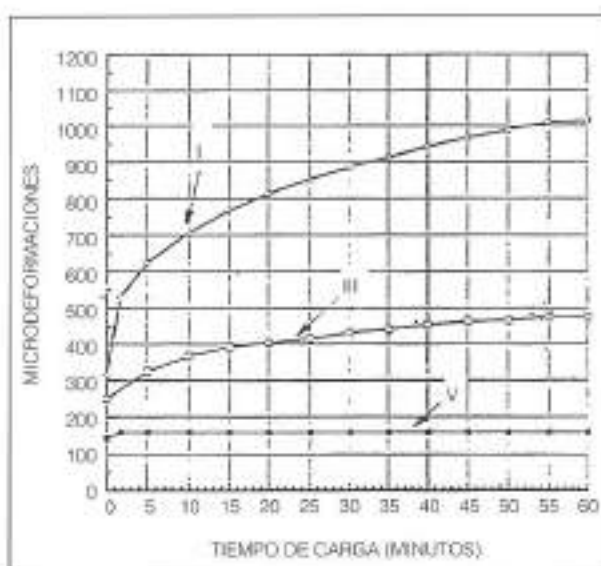


FIGURA 2. Ensayo de fluencia (carga de 30% de la tensión de rotura a compresión). I/III/V: contenido de mezcla bituminosa fresada 100/50/0% en peso respectivamente.

Todos los ensayos se realizan a 20° C y en probetas con edades de 28 días y 1 año.

4. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Los principales resultados se resumen en la Tabla. La resistencia y el módulo decrecen al aumentar el contenido de mezcla bituminosa (Figura 1). La razón de ello se encuentra en la composición de la mezcla formada por áridos envueltos de ligante, con poca adhesión a la pasta de cemento, y por terrones de árido fino ligados con betún que son deformables y con poca resistencia. Al aumentar este tipo de componentes en la mezcla los valores de resistencia y módulo disminuyen.

De un análisis simplificado de la estructura de un firme se deduce que las mezclas que incorporan mezcla bituminosa, al emplearse en capas de base, requieren un incremento de espesor de 10 a 20% respecto a las mezclas que solo llevan áridos y cemento, con objeto de mantener la misma resistencia a la fisuración por fatiga. Se recomienda confirmar estos resultados con la realización de ensayos de fisuración por fatiga.

Las mezclas que incorporan mezcla bituminosa presentan una gran deformación de fluencia (figura 2), lo que facilita la relajación de tensiones originadas por las variaciones térmicas de la capa de firme. Se reduce la susceptibilidad a la formación de grietas transversales de retracción térmica, este fenómeno tiene lugar en los primeros días, por lo que se recomienda realizar ensayos adicionales en probetas de uno o dos días de edad.

REFERENCIA DE CONSULTA 1



GEOTEYCO, S.A.

• ASISTENCIA TÉCNICA

• ESTUDIOS GEOTÉCNICOS

• CONTROL DE CALIDAD

ENSAYOS DE CAMPO

- Sondeos Geotécnicos
- Ensayos con Piezocono
- Vano test
- Ensayo con Presiómetro
- Permeabilidad "in situ"
- Determinaciones inclinométricas

ENSAYOS DE LABORATORIO

- Hormigones
- Cementos y Aditivos
- Aceros
- Materiales bituminosos



1995: Urbanización Interior del Plan Parcial II-5 del Ensanche Este - Pavones



Oficina Central:

Pº de La Habana, 81
28036 Madrid
Tel.: (91) 457 06 28
Fax: (91) 457 43 33
e-mail: geoteyco@CTV.es

Laboratorio Central:

Pol. Ind. Valdonaire
28960 Humanes (Madrid)
Tel.: (91) 690 11 80
Fax: (91) 690 24 62

Delegaciones Nacionales: Córdoba, Galicia, Vitoria.

Delegaciones Internacionales: Bélgica, Irlanda, Portugal, Grecia.