

DOCUMENTO:

HUELLA ECOLÓGICA EN LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURAS
HIDRÁULICAS.

■ **ÍNDICE**

1. OBJETO.....	3
2. ANTECEDENTES.....	3
3. INFRAESTRUCTURAS DE ADUCCIÓN. REGULACIÓN: PRESAS Y EMBALSES.....	3
4. INFRAESTRUCTURAS DE ADUCCIÓN. TRASNPORTE: CONDUCCIONES EN ALTA.	5

1. OBJETO.

El presente trabajo tiene por objeto el cálculo de los consumos de materiales y energía que se generan, directa e indirectamente, durante la construcción de infraestructuras hidráulicas, especialmente las dedicadas al abastecimiento urbano.

Para ello, se empleará el indicador huella ecológica, que transforma todos los consumos de materiales y energía a hectáreas de terreno productivo, ofreciéndonos una idea clara y precisa del impacto de nuestras actividades sobre el ecosistema. Se trata de un indicador final, pues transforma cualquier tipo de unidad de consumo, así como los desecho producidos, en un único número totalmente significativo.

2. ANTECEDENTES.

Como base para la elaboración del presente trabajo, se ha partido de la publicación del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) "Estándares de consumo de materiales y energía en la construcción de infraestructuras hidráulicas" y los trabajos sobre huella ecológica y desarrollo sostenible de Juan Luis Domenech Quesada.

3. INFRAESTRUCTURAS DE ADUCCIÓN. REGULACIÓN: PRESAS Y EMBALSES.

La definición de las infraestructuras tipo en presas vendrá dada en función del tamaño de las mismas. Siguiendo la publicación "Estándares de consumo de materiales y energía en la construcción de infraestructuras hidráulicas" del Centro de Estudios y Experimentación de Obras, definiremos 3 presas tipo de 20, 100 y 400 Hm³, con sus respectivos parámetros de capacidad nominal en hm³/año, la vida útil de su servicio y el porcentaje de valor residual al término de su vida útil.

En función de las disparidades geográficas que presentan las presas españolas, se tomará la media peninsular como índice representativo de la capacidad nominal, siendo de 17, 85 y 340 Hm³ respectivamente para las presas tipo debido a que se toma un valor de 0,85. En cuanto a su vida útil, será de 50 años y su valor residual del 40%.

Los consumos de materiales de las presas se han modelado a partir del consumo medio de material en función del volumen de embalse retenido, ajustándola con una ecuación que nos proporciona el volumen de hormigón necesario para la construcción de la presa en sí misma.

A este volumen de hormigón habrá que sumarle un 13% de hormigón utilizado en los accesos y demás obras complementarias, quedando la siguiente ecuación:

$$Y = 1.13 \times 2.4753 \times e^{-0.001928 \times x}$$

Con estos datos, y teniendo en cuenta que las presas tipo son de un único material (hormigón armado) y de una única forma (presa de gravedad), llegamos a realizar el impacto de las presas medido en energía necesaria durante su construcción, en GJ, así como los materiales totales en tm.

Si sabemos que por tm de hormigón armado, se emiten 455 kg de CO₂, entonces, tendremos las emisiones de CO₂ que provoca cada una de las presas tipo, y si utilizamos el mix energético para determinar las ha. de huella ecológica que cada forma de energía utilizada en España, obtendremos al final las Ha. que ocuparía la huella ecológica de cada presa tipo.

Con todo esto, se obtiene la tabla de impacto de la construcción de presas en materiales y energía, que se ilustra en la siguiente página (tabla 1)

Tabla 1

VOLUMEN (hm ³)	CAPACIDAD NOMINAL (hm ³ /año)	MATER. PRESA (miles de m ³)	MATER. TOTAL (tm)	ENERGÍA INC. (GJ)	KG CO ² EQ.	HUELLA POR TIPO DE ECOSISTEMA (ha)
10	8,50	24,28	27,44	112.436,00	12.485,20	14,56
25	21,25	47,63	53,83	220.578,00	24.492,65	28,57
50	42,50	112,39	127,00	520.454,00	57.785,00	67,41
100	85,00	204,12	230,66	945.249,00	104.950,30	122,43
200	170,00	336,66	380,43	1.558.993,00	173.095,65	201,93
300	255,00	416,44	470,58	1.928.429,00	214.113,90	249,78
400	340,00	457,89	517,41	2.120.364,00	235.421,55	274,64
500	425,00	472,00	533,36	2.185.689,00	242.678,80	283,10

Fuente: "Estándares de consumo de materiales y energía en la construcción de infraestructuras hidráulicas", CEDEX.

En la siguiente tabla presentamos la energía incorporada en la construcción de presas, añadiendo los kg CO₂ que representa una tm de hormigón armado, la energía en GJ y el impacto que tiene esta energía necesaria en huella ecológica medida en ha.

Tabla 2

CAPACIDAD NOMINAL (hm ³)	AGUA ENTRADA EN 50 AÑOS (hm ³)	ENERGÍA A IMPULSAR (kWh)	IMPACTO ENERGÉTICO UNITARIO (kWh/m ³)	KG CO ² EQ.	HUELLA POR TIPO DE ECOSISTEMA (ha)	ENERGÍA (GJ)
9	425,00	18.739.318,00	0,04	7.490.449,58	8,74	67.463,43
21	1.063,00	36.762.970,00	0,04	14.694.834,31	17,14	132.350,40
43	2.125,00	86.742.314,00	0,04	34.672.496,05	40,45	312.281,07
85	4.250,00	157.541.513,00	0,04	62.972.236,21	73,46	567.165,33
170	8.500,00	259.832.237,00	0,03	103.859.717,30	121,16	935.422,25
255	12.750,00	321.404.768,00	0,03	128.471.388,80	149,87	1.157.089,56
340	17.000,00	353.393.922,00	0,02	141.258.041,18	164,79	1.272.253,74
425	21.250,00	364.281.497,00	0,02	145.610.004,87	169,86	1.311.450,11

Fuente: "Estándares de consumo de materiales y energía en la construcción de infraestructuras hidráulicas", CEDEX.

En esta tabla presentamos el mix energético español con los porcentajes de generación de cada forma de energía y su huella ecológica en función de la superficie que ocupa (renovables) o del CO₂ que provoca al utilizar combustibles fósiles.

Tabla 3

	% COBERTURA DE LA DEMANDA	PRODUCTIVIDAD/FUENTE ENERGÉTICA	HUELLA ECOLÓGICA	HUELLA ECOLÓGICA TOTAL
ciclo combinado de gas	23%	93,00	105,90	24,36
fuel gas	1%	71,00	80,85	0,81
carbón	7%	55,00	62,63	4,38
nuclear	22%	71,00	80,85	17,79
hidráulica	14%	1.500,00	811,65	113,63
eólica	16%	60.000,00	32.465,83	5.194,53
mini-hidráulica	2%	200,00	564,37	11,29
solar	2%	40.000,00	112.874,98	2.257,50
otras renovables	2%	1.500,00	4.232,81	84,66
cogeneración	11%	93,00	105,90	11,65
	100%			7720,59

Fuente: "Estándares de consumo de materiales y energía en la construcción de infraestructuras hidráulicas", CEDEX.

Factores de equivalencia en función de la superficie ocupada o de la energía utilizada con sus rendimientos.

	FACTOR EQUIV.	FACTOR RENDIMIENTO
Energía fósil	1,14	
Tierra cultivable	2,82	1,00
Pastos	0,54	1,00
Bosques	1,14	3,00
Terreno construido	2,82	1,00
Mar	0,22	1,26

4. INFRAESTRUCTURAS DE ADUCCIÓN. TRANSPORTE: CONDUCCIONES EN ALTA.

La definición de una infraestructura tipo en materia de conducciones se limita a seleccionar un tipo de conducción y varias escalas de capacidad de transporte.

Basándonos en la publicación "Estándares de consumo de materiales y energía en la construcción de infraestructuras hidráulicas" del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, se considera un único tipo de conducción, representativa del transporte en alta de agua para abastecimientos de dimensiones medias y distancias medias o largas.

La conducción más característica para este tipo de aplicaciones se considera que puede ser una conducción continua a presión, preferentemente en forma de sifón enterrado en zanja, sin tramos a cielo abierto ni túneles de lámina libre. El tipo de tubería que se selecciona como representativa es una tubería simple de acero. Los rendimientos de explotación se suponen, en principio, similares a los del resto de la línea de aducción, y los criterios de vida útil y valor residual se pueden presuponer también iguales a los del resto de la línea de aducción, que normalmente se establecen en 25 años y un 25% respectivamente.

Los consumos de materiales y energía incorporada para cualquier sección, desde pequeñas tuberías de 0.2 m. de diámetro hasta grandes conducciones de 3 metros de diámetro, los obtenemos de la publicación anteriormente citada, "Estándares de consumo de materiales y energía en la construcción de infraestructuras hidráulicas" del CEDEX. Así como la energía incorporada, resultado de aplicar a los volúmenes de materiales los factores de intensidad energética del acero y de la grava de relleno y de añadir un 21% al conjunto de los costes energéticos resultantes para tomar en consideración las infraestructuras, reposición de servicios, restauración ambiental y varios.

Consumo de materiales en conducciones de acero inox 12 atm.

DIÁMETRO (m)	VELOCIDAD (m/s)	CAPACIDAD (hm³/año)	ESPESOR (mm)	PESO TUBO (kg/ml)	RELLENO ZANJA (m3/ml)
0,2	0,75	0,71	8,00	39	2,1
0,4	1,01	3,82	8,00	79	1,9
0,6	1,21	10,30	8,00	118	1,8
0,8	1,38	21,00	8,00	158	1,9
1	1,54	36,50	8,80	218	3,2
1,2	1,68	57,40	10,60	314	4,8
1,4	1,81	84,10	12,40	427	6,7
1,6	1,93	117,20	14,10	558	9,0
1,8	2,04	157,00	15,90	707	11,5
2	2,15	204,00	17,70	872	14,4
2,2	2,25	258,60	19,50	1.055	17,6
2,4	2,35	321,20	21,20	1.256	21,2
2,6	2,44	392,00	23,00	1.474	25,0
2,8	2,53	471,50	24,80	1.710	29,2
3	2,62	560,00	26,50	1.963	33,6
3,2	2,70	657,70	28,30	2.233	38,4

Fuente: "Estándares de consumo de materiales y energía en la construcción de infraestructuras hidráulicas", CEDEX.

Energía incorporada en la construcción de conducciones de acero inox 12 atm.

DIÁMETRO (m)	TUBO (MJ/ml)	RELLENO ZANJA (MJ/ml)	TOTAL MATER. (MJ/ml)	VIARIOS (21%)	TOTAL (MJ/ml)
0,2	2.131	3.453	5.584	1.173	6.757
0,4	4.262	3.194	7.456	1.566	9.021
0,6	6.392	2.935	9.327	1.959	11.286
0,8	8.523	3.187	11.710	2.459	14.169
1	11.776	5.304	17.080	3.587	20.667
1,2	16.957	7.949	24.906	5.230	30.136
1,4	23.080	11.122	34.202	7.182	41.385
1,6	30.146	14.823	44.968	9.443	54.412
1,8	38.153	19.051	57.205	12.013	69.218
2	47.103	23.808	70.911	14.891	85.802
2,2	56.994	29.093	86.087	18.078	104.166
2,4	67.828	34.906	102.734	21.574	124.308
2,6	79.604	41.247	120.850	25.379	146.229
2,8	92.322	48.115	140.437	29.492	169.929
3	105.981	55.512	161.494	33.914	195.407
3,2	120.583	63.437	184.020	38.644	222.665

Fuente: "Estándares de consumo de materiales y energía en la construcción de infraestructuras hidráulicas", CEDEX.

Con los valores anteriores de consumo de materiales de construcción y teniendo en cuenta que toda la huella se imputa a energía fósil, calculamos los valores de la misma.

DIÁMETRO (m)	TUBO (MJ/ml)	RELLENO ZANJA (MJ/ml)	TOTAL MATER. (MJ/ml)	VIARIOS (21%)	TOTAL (MJ/ml)	PRODUCTIVIDAD ENERGÉTICA (GJ/ha)	HUELLA ENERGÍA FÓSIL (ha x fe)
0,2	2.131	3.453	5.584	1.173	6.757	71	108.368
0,4	4.262	3.194	7.456	1.566	9.021	71	144.678
0,6	6.392	2.935	9.327	1.959	11.286	71	181.003
0,8	8.523	3.187	11.710	2.459	14.169	71	227.240
1	11.776	5.304	17.080	3.587	20.667	71	331.454
1,2	16.957	7.949	24.906	5.230	30.136	71	483.317
1,4	23.080	11.122	34.202	7.182	41.385	71	663.727
1,6	30.146	14.823	44.968	9.443	54.412	71	872.652
1,8	38.153	19.051	57.205	12.013	69.218	71	1.110.109
2	47.103	23.808	70.911	14.891	85.802	71	1.376.081
2,2	56.994	29.093	86.087	18.078	104.166	71	1.670.600
2,4	67.828	34.906	102.734	21.574	124.308	71	1.993.634
2,6	79.604	41.247	120.850	25.379	146.229	71	2.345.200
2,8	92.322	48.115	140.437	29.492	169.929	71	2.725.298
3	105.981	55.512	161.494	33.914	195.407	71	3.133.910
3,2	120.583	63.437	184.020	38.644	222.665	71	3.571.070

Fuente: Elaboración propia.

El valor de productividad se obtiene a partir de las siguientes hipótesis:

- 1 ha de bosque produce 1.99 m³ de madera. Asumiendo que el tronco contiene sólo una tercera parte de todo el carbono almacenado ($1.99 \times 3 = 5.97$ m³/ha)
- Densidad de la madera: 0.6 t/m³ ($5.97 \times 0.6 = 3.58$ t/ha biomasa seca)
- 1 t de biomasa seca equivale a 0.45 toneladas de carbono ($3.58 \times 0.45 = 1.6$ t C/ha)
- 0.45 t C contienen 20 GJ de calor ($1.6 \times 20 / 0.45 = 71.1$ GJ/ha)