

# **CÁLCULO HUELLA ECOLÓGICA DE INFRAESTRUCTURAS HIDRÁULICAS DE CAPTACIÓN**

AUTORES: Costa González, Fernando

Rodríguez Pailos, Sabela

Junio, 2012

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN
2. CÁLCULO HUELLA ECOLÓGICA
  - 2.1. METODOLOGÍA
  - 2.2. TIPOS DE HUELLA ECOLÓGICA
  - 2.3. UNIDADES DE LA HUELLA ECOLÓGICA
3. UNIDADES DE OBRA A ESTUDIAR
  - 3.1. IMPULSIONES
    - 3.1.1. TIPOLOGÍAS DE IMPULSIONES
    - 3.1.2. DATOS DE PARTIDA PARA ELL CÁLCULO
    - 3.1.3. UNIDADES DE OBRA
    - 3.1.4. CÁLCULO DE LA HUELLA ECOLÓGICA PARA IMPULSIONES
    - 3.1.5. TABLA CEDEX+HUELLA
  - 3.2. CONDUCCIONES EN ALTA
    - 3.2.1. TIPOLOGÍAS DE CONDUCCIONES
    - 3.2.2. DATOS DE PARTIDA PARA ELL CÁLCULO
    - 3.2.3. UNIDADES DE OBRA
    - 3.2.4. CÁLCULO DE LA HUELLA ECOLÓGICA PARA CONDUCCIONES
    - 3.2.5. TABLA CEDEX+HUELLA

## 4. CONCLUSIONES

Documentación utilizada

ANEXO: Hoja de cálculo Huella ecológica – IMPULSIONES

Hoja de cálculo Huella ecológica – CONDUCCIONES

## 1. INTRODUCCIÓN

La huella ecológica es un indicador de sostenibilidad de índice único, desarrollado por Rees y Wackernagel (1996). Mide los impactos producidos por una población, expresados en hectáreas de ecosistemas o naturaleza.

Domenech (2007) plantea el cálculo de la huella ecológica corporativa, aplicando el concepto de huella ecológica a las actividades de una empresa.

En este trabajo se ha aplicado el concepto de huella ecológica a las infraestructuras hidráulicas de España, en concreto, a las infraestructuras de captación: estaciones de bombeo y conducciones de distribución en alta.

Para el cálculo de la huella ecológica y la aplicación de estos valores se usa la tabla excel propuesta por Jose Luis Domenech en su libro "Huella ecológica y desarrollo sostenible" (AENOR, 2007).

Los datos de partida, de consumo de materiales y de energía, se han tomado del documento publicado por el CEDEX, "Estándares de consumo de materiales y energía en la construcción de infraestructuras hidráulicas" (2009).

Se han estudiado las obras concernientes a las estaciones de bombeo, y a las conducciones en alta por separado. Por tanto, el objetivo final del estudio será el de proveer al usuario una guía que complete la información dada por el CEDEX en el documento publicado. Así pues, como resultado, el usuario tendrá un manual en el que a partir de los consumos de materiales y energía empleados en la ejecución de las distintas unidades de obra, tendrá los valores correspondientes al cálculo de la huella ecológica de cada uno de los elementos y del conjunto total.

Es importante precisar que al estar las unidades de consumo, en muchos casos referenciados al coste que éstos tienen en euros, siempre que ha sido necesario establecer un coste monetario, éste se ha obtenido en bases de datos técnicas, tal sería el caso del precio del acero o del hormigón, o se ha obtenido directamente de una entidad privada suministradora de un producto en una zona como una empresa distribuidora de energía eléctrica.

Por otro lado, y para simplificar el cálculo de la huella ecológica, se han tomado unidades básicas de las obras hidráulicas en cuestión, es decir, se han hecho los cálculos para unidades modulares.

Finalmente, se han extrapolado los datos contables de una empresa de gestión de agua en alta, para obtener los indicadores eco-eficientes que plantea Domenech en su libro Huella ecológica corporativa (2007). La empresa seleccionada para la extrapolación ha sido

Aigües Ter Llòbregat (ATLL), empresa pública integrada en la Agencia Catalana del Agua (ACA), de la Generalitat de Catalunya.

En los siguientes puntos se describe el procedimiento de cálculo de la huella ecológica para las obras hidráulicas descritas, y el resultado final es la huella ecológica de dichas obras, así como sus indicadores eco-eficientes.

## 2. CÁLCULO HUELLA ECOLÓGICA

### 2.1. METODOLOGÍA

La metodología del cálculo se describe en el libro Huella ecológica y desarrollo sostenible (Domenech, 2007) editado por AENOR. En este capítulo se resume brevemente su aplicación.

La hoja de cálculo elaborada por Domenech se basa en los trabajos anteriores de Rees y Wackernagel (1998), Nerea (2003)

La hoja de cálculo se agrupa en 5 columnas:

- Descripción de los recursos consumibles: consumo energético, uso del suelo, recursos agropecuarios y recursos forestales
- Consumos anuales
- Productividad: natural, y energética
- Huella ecológica por tipo de suelo consumido
- Huella ecológica total y Contrahuella

Todos los impactos considerados en la hoja de cálculo son perfectamente controlables y auditables y, por tanto, son objetivos y transparentes.

De su aplicación se puede obtener un procedimiento estándar de aplicación a cualquier actividad y permite la comparativa entre actividades.

### 2.2. TIPOS DE HUELLA ECOLÓGICA

La huella ecológica se calcula en función de los recursos consumidos:

- Huella ecológica asociada al consumo de combustibles
- Huella ecológica asociada al consumo de materiales
- Huella ecológica asociada al consumo de materiales de construcción
- Huella ecológica asociada al consumo de materiales amortizables
- Huella ecológica asociada al consumo de servicios
- Huella ecológica asociada a la generación de residuos, emisiones y vertidos
- Huella ecológica asociada al consumo de recursos agropecuarios
- Huella ecológica asociada al consumo de recursos forestales y agua
- Huella ecológica asociada al uso del suelo

Domenech introduce dos conceptos novedosos de Huella ecológica, y es considerar también la Huella social y la Huella cultural, y las define como la cantidad de necesidades humanas que podemos satisfacer con nuestra actividad productiva, siendo las 'necesidades' de la huella social, el derecho al empleo, y las 'necesidades' de la huella cultural el derecho a la educación y la cultura.

Finalmente, se considera también la Contra-huella, como las actividades que se realizan para contrarrestar los efectos de la huella ecológica.

### 2.3. UNIDADES DE LA HUELLA ECOLÓGICA

La huella ecológica equivale a las hectáreas de terreno consumido.

La huella ecológica se puede expresar también en emisiones de CO<sub>2</sub> (t).

A partir de la huella ecológica se pueden obtener indicadores de ecoeficiencia. Los indicadores de ecoeficiencia se obtienen dividiendo los resultados económicos del ejercicio por el impacto ambiental (Markus Lehn, 1999). Como dato contable Domenech recurre al valor de PIB corporativo, como la suma del cash flow y los salarios.

Ratio PIBc/huella ecológica, cuanto mayor sea este ratio, más eficiente es la actividad, más riqueza se obtiene por cada hectárea consumida.

Ratio mercancía movida/huella ecológica, igualmente, la actividad es más eficiente cuanto mayor es el valor del indicador.

De la hoja de cálculo se pueden obtener también otros indicadores no asociados directamente a la huella ecológica, como:

PIBc/emisiones netas CO<sub>2</sub>

PIBc/GJ consumidos

PIBc/toneladas consumidas

PIBc/gasto en recursos

Se aplican a continuación estos conceptos en las infraestructuras de captación de agua.

## 3. UNIDADES DE OBRA A ESTUDIAR

### 3.1. IMPULSIONES

La primera de las obras hidráulicas que se estudiarán en este trabajo son las estaciones de bombeo. Estas obras, que se encuentran en la cabecera de las redes de distribución, normalmente disponen de sistemas de bombeo aunque en algunos casos estas estaciones impulsan el caudal suministrado por diferencia de energía potencial.

Estas estructuras, como ya se ha dicho se suelen usar para sistemas de distribución de agua potable en la cabecera de dichas redes. Otro de los usos que se le suele dar a las estaciones de bombeo es el aprovechamiento del agua marina como fuente de potabilización. Por otro lado se suele usar como sistema de impulsión en tratamiento de aguas residuales.

Así pues dependiendo de la utilización de estos sistemas de impulsión y de la situación variará su tipología, construcción y consumo, por lo que tendrán diferentes huellas ecológicas. Sin embargo, a fin de simplificar cálculos y metodología se han usado unidades modulares. Por lo tanto si se tiene un tipo u otro de sistema de impulsión basta con contabilizar el módulo base, por el número de módulos que tenga dicha impulsión en cuestión.

Los sistemas de impulsión más comunes, suelen a demás de tener los módulos en uso, uno módulo más en reserva, así tenemos:

Módulo: 1+1

Módulo: 5+1

Módulo: 8+1

### 3.1.1. TIPOLOGÍAS DE IMPUSIONES

Empezaremos por analizar las tipologías que se usan en las estructuras de impulsión. Como se ha detallado en el anterior punto, el uso y la localización de las impulsiones varía. Es pues el caudal que circula por una estación de impulsión lo que realmente condiciona su construcción, más aún si cabe que la situación topográfica, puesto que, dos impulsiones a la misma cota puede que desarrollen funcionamientos totalmente diferentes la una de la otra.

Así pues, por tanto, por localización topográfica y los recursos hídricos disponibles, podemos diferenciar en impulsiones, superficiales, subterráneas y marinas.

- Superficiales: es necesario un sistema de bombeo en todo caso, ya que se suelen usar como depósitos de cabecera de redes de abastecimiento. Por lo tanto suelen ubicarse en terrenos elevados y suelen necesitarse elevadas presiones manométricas.

En el lado opuesto, estas impulsiones pueden usarse como sistemas de pre tratamiento de aguas residuales.

- Subterráneos: pueden o no estar equipados con sistemas de impulsión dependiendo de la cota topográficos que ocupen.

- Marinos: fundamentalmente se usan en sistemas de aprovechamiento de las desaladoras como recurso hídrico.

### 3.1.2. DATOS DE PARTIDA PARA EL CÁLCULO

Como es lógico estas impulsiones dependen del volumen impulsado y por lo tanto de su funcionamiento. Es pues debido a esto que los costes de edificación y de mantenimiento dependan directamente del volumen de materiales necesarios para la ejecución de la estación de impulsión, y de los equipos necesarios para su correcto funcionamiento.

Como se ha dicho anteriormente el cálculo de la huella ecológica se ha hecho en base a módulos de estaciones de impulsión, así pues se ha pre dimensionado un módulo con una capacidad de impulsión de 600 l/seg. Por otro lado la potencia de la impulsión será proporcional a la altura manométrica requerida.

La vida útil que se le estima a estas estructuras es de 25 años y un valor residual de la edificación del 25 % en términos de energía y materiales realmente recuperables tras la demolición de la estructura.

Parámetros básicos de infraestructuras-tipo de bombeo (Bombas de 600 l/s)

Número de bombas	Capacidad nominal (hm <sup>3</sup> /año)	Vida útil (años)	Valor residual (%)
1+1	18	25	25
4+1	72	25	25
8+1	144	25	25

Ref. Estándares de consumo de materiales y energía en la construcción de infraestructuras hidráulicas. CEDEX, 2009

Lo que se pretende es esquematizar el cálculo del consumo energético de las impulsiones por ello se tenderá a usar el pre dimensionamiento anterior para los diferentes tipologías de impulsiones.

### 3.1.3. UNIDADES DE OBRA

Así pues, lo que se expone a continuación es el dimensionamiento específico de los elementos principales de la impulsión, así como el consumo energético de dichos elementos.

Para empezar se dividirá la impulsión en tres elementos básicos; bomba, cántara y edificación. Cada una de estas unidades comprenderá diferentes actuaciones y materiales necesarios.

- Bomba: Se considerará una bomba de eje vertical, con la potencia que sea necesaria con todo el parejo que se necesite para el correcto funcionamiento de ésta.

La bomba tipo está fabricada en acero inoxidable de alta calidad y tiene un peso medio de 11.025 Kg. Este peso depende de forma lineal de la potencia de la misma, siendo un factor de correlación bastante aceptado 15 Kg/kW como valor medio. Por otro lado dada la alta calidad del acero la energía requerida es de 54 MJ/Kg. La valvulería necesaria así como las tuberías se les ha dado un valor de consumo energético del 40 % de la energía requerida en las bombas.

Por último para la fabricación de las bombas se establece un consumo energético de 6 MJ/Kg, el cual es casi despreciable respecto a la energía incorporada a los materiales.

- Cántaras: Se diseñan con hormigón armado de 60 cm de espesor en la solera y 30 cm en las pantallas y cubiertas con una superficie en planta de 30 m<sup>2</sup>. La excavación de la cántara tiene 9 metros de profundidad.

En todos los casos la armadura corresponde al 2 % en peso del hormigón.

- Edificio: Como en el caso de las cantaras, la solera de los edificios están diseñados con hormigón armado con el 2% de acero y un espesor de 30 cm.

Los cerramientos exteriores e interiores se ejecutaron en ladrillo macizo, además el cálculo se hará sobre una edificación totalmente cerrada, sin ventanas ni puertas, a fin de reflejar el cálculo de toda la tabiquería y escaleras, que no se desglosan.

Por último el cerramiento se hace con una placa de elementos huecos con escasa repercusión energética.

- Servicios: A fin de contemplar el cálculo del mantenimiento de exteriores, reposiciones de vegetaciones y mantenimiento de pistas y accesos, se le ha adjudicado el 14 % del valor total del gasto energético de toda la instalación de impulsión.

En la siguiente tabla se le adjudica a cada unidad de obra sus características de diseño, la densidad energética y el consumo energético asociado a cada unidad de obra por módulo base.

**Análisis del inventario para estaciones de bombeo.**

**Módulo básico de estación de bombeo para la bomba-tipo descrita**

Bomba	Potencia	Incremento	Acero kg	Dens. energía MJ/kg	Energía inc. MJ/módulo
Bomba-tipo	735		11.025	54	595.350
Complementos		40%	4.410	54	238.140
Manufactura				6	92.160
<b>Total bomba</b>			<b>15.435</b>		<b>926.100</b>



Cántara	Superficie m <sup>2</sup>	Espesor m	Volumen m <sup>3</sup>	Dens. energía MJ/kg	Energía inc. MJ/módulo
Solera	30	0,6	18	4.098	73.764
Pantallas	189	0,3	56,7	4.098	232.357
Cubierta	30	0,3	9	4.098	36.882
<b>Total cántara</b>					<b>343.003</b>
Edificio	Superficie m <sup>2</sup>	Espesor m	Volumen m <sup>3</sup>	Dens. energía MJ/kg	Energía inc. MJ/módulo
Solera	75	0,3	22,5	4.098	92.205
Muros ext. e int.	336	0,2	67,2	4.776	320.947
Techumbres	75	0,1	7,5	1.485	11.138
<b>Total edificio</b>					<b>424.290</b>
Exteriores					
2000 V. 5 p 67	14%				237.075
<b>Total módulo</b>					<b>1.930.467</b>

Ref. Estándares de consumo de materiales y energía en la construcción de infraestructuras hidráulicas. CEDEX, 2009

### 3.1.4. CÁLCULO DE LA HUELLA ECOLÓGICA PARA IMPULSIONES

En este punto lo que se pretende es explicar el cálculo de la huella ecológica para cada una de las unidades de obras explicadas en el anterior apartado. Por ello usando los datos de la tabla anterior se calcula la huella ecológica siguiendo el modelo planteado por Juan Luis Domenech en el libro **Huella ecológica y desarrollo sostenible**.

Es por ello que lo que se ha intentado es introducir los inputs pedidos en la hoja excel de cálculo en las unidades correctas. Por tanto lo que analizaremos serán los procedimientos seguidos para obtener esos inputs.

#### – Bombas.

Lo primero que se ha hecho es mirar cuales son los inputs que pide la hoja excel, por lo tanto se introducirá el consumo eléctrico de las instalaciones en base a la energía consumida por la bomba. Para estimar el consumo de una bomba se ha usado el consumo de la bomba en KWh.

Para el consumo de energía eléctrica se han usado los datos facilitados por Gas-Natural FENOSA de la producción anual respecto a sus diferentes fuentes de energía.

#### Generación de electricidad:

	2010	2009	%
Capacidad de generación eléctrica (MW):	14.637	13.374	9,4
Régimen Ordinario	13.679	12.435	10,0
Hidráulica	1.860	1.86	-

Nuclear	589	589	-
Carbón	2.048	2.048	-
Fuelóleo-gas	617	617	-
Ciclos combinados	8.565	7.321	17,0
Régimen Especial	958	939	2,0
Eólica	821	802	2,4
Minihidráulicas	68	68	-
Cogeneración y otras	69	69	-
Energía eléctrica producida (GWh):	38.338	37.824	1,4
Régimen Ordinario	35.809	35.568	0,7
Hidráulica	4.752	3.389	40,3
Nuclear	4.325	4.01	7,9
Carbón	772	1.975	-60,9
Fuelóleo-gas	32	14	-
Ciclos combinados	25.928	26.18	-1,0
Régimen Especial	2.529	2.256	12,1
Eólica	1.780	1.617	10,1
Minihidráulicas	311	206	51,0
Cogeneración y otras	438	433	1,2
Ventas de electricidad (GWh):	40.559	41.159	-1,5
Mercado liberalizado	30.179	24.687	22,2
TUR / Regulado	10.380	16.472	-37,0

**Producción eléctrica anual en base a la fuente. Gas-Natural FENOSA**

Así pues, partiendo del tipo de bomba que usamos, se deduce que el consumo eléctrico anual, es de **5.253.897,6 kWh**. Suponiendo que la bomba trabaja, 24 horas al día, los 365 días a la semana.

El consumo de combustibles no se ha tenido en cuenta, ya que el funcionamiento del equipo no requiere del consumo de energías fósiles directas.

Para el cálculo de la huella ecológica debida a los materiales de fabricación de la bomba se han tomado sólo los referentes a la bomba, acero de alta calidad, la manufactura de la misma y los complementos necesarios para su instalación y funcionamiento.

Dado que los inputs requeridos están en unidades monetarias, debemos pasar de Kg a euros. Para ello se aplican los factores de equivalencias extraído del documento **Huella ecológica y desarrollo sostenible**.

Categoría de material	Capítulos arancelarios	Intensidad energética (GJ/t)	Índice de conversión (t/1 000 euros)
Mineral bruto en general	25, 26	1,50	12,76
Cemento, yeso, piedra, tierra, sal, azufre, etc.	25	3,30	21,33
Manufactura cemento, yeso, piedra, etc.	68	5,00	2,18
Vidrio, porcelana, material refractario, etc.	69, 70	20,00	2,07
Derivados del plástico	39	43,75	0,76
Material textil sintético semielaborado	54, 55, 56, 60	43,75	0,28
Textil sintético confeccionado	57 a 59 y 61 a 66	50,00	0,11
Abonos	31	50,00	6,63
Combustibles, aceite mineral, etc.	27	43,75	4,54
Productos químicos, higiénicos y de limpieza; pinturas, barnices, etc.	28, 29, 32, 33, 34, 35, 38	35,00	0,75
Productos básicos de hierro, acero y metales	72	30,00	1,65
Aluminio y derivados básicos	76	90,00	0,37
Manufacturas del aluminio	76	300,00	0,37
Manufacturas del hierro, acero y metales	73 a 75; 80 a 83, 93 y 94	100,00	0,31
Miscelánea de productos manufacturados	95, 96	100,00	0,12
Maquinaria industrial	84	100,00	0,15
Aparatos eléctricos, telecomunicaciones, sonido, oficina	85, 90	140,00	0,08
Vehículos terrestres, tractores	87	140,00	0,17
Vehículos y material para vías férreas	86	140,00	0,10
Barcos y demás artefactos flotantes	89	140,00	0,19
Joyería, oro, piedras preciosas	71	150,00	0,01
Productos farmacéuticos	30	200,00	0,03
Productos fotográficos y cinematográficos	37	600,00	0,27

#### Intensidad energética y conversión de los materiales de euros a toneladas

Para el caso particular de las bombas, los factores de conversión a aplicar corresponden a los capítulos de **Productos básicos de hierro, acero y metales**, **Manufacturas del hierro, acero y otros**, **Mobiliario metálico** y **Miscelánea de productos manufacturados**.

Así pues como ejemplo calcularemos el input para el acero de la bomba:

**Energía** embebida en el acero de la bomba: 595,350 MJ

**Intensidad energética** 30GJ/t de productos de hierro, acero y metales

**Índice de conversión** productos de hierro, acero y metales 1,65 t/1000 €

Multiplicando estos tres factores tenemos como resultado **12.027,27 €**

Para la unidad de obra de las bombas, no se le imputará más gasto energético, dado que el documento de Estándares de consumo de materiales y energía en la construcción de infraestructuras hidráulicas, no le atribuye cantidad de residuos ni de terreno ocupado.

### – Cántaras

A las cántaras se le ha imputado el coste energético de los materiales que la conforman, en este caso hormigón armado, al 2 % en masa.

En este caso los valores de los materiales se dan en volumen, por lo tanto se suma el volumen de solera, cerramientos y pantallas, tenemos un volumen de 82,03 m<sup>3</sup> restándole el 2% de la armadura.

Usando la densidad media del hormigón tenemos el peso en Kg del hormigón en masa, por lo tanto aplicando la densidad energética del hormigón 4,098 MJ/Kg y el coeficiente de equivalencia en euros.

Tenemos pues que de las publicaciones especializadas de hormigón tenemos un consumo energético del hormigón de *Materials for Sustainable Sites* 1,8580 GJ/m<sup>3</sup> por lo tanto para el volumen anteriormente especificado tenemos:

Volumen: 82,03 m<sup>3</sup>

Energía embebida en el hormigón: 1,8580 GJ/m<sup>3</sup>

Con un precio sin IVA de 33,60 €/m<sup>3</sup> Tendremos el precio del hormigón de la cántara.

2.812,32 €/25 años de vida útil.

**112,49 €/año**

### – Edificación

Se ha supuesto una edificación que albergarán los equipamientos necesarios, para el funcionamiento de la estación de impulsión con una superficie en planta de 75 m<sup>2</sup>. El edificio se ejecuta mediante tres elementos diferenciados, la solera, los muros interiores y exteriores y la techumbre.

La solera es de hormigón armado en un 2 % respecto al volumen. Por lo tanto haciendo la misma cuenta que en el apartado anterior tendremos un nuevo volumen de hormigón, la misma energía embebida en el hormigón, **1,82580 GJ/m<sup>3</sup>**, y el mismo precio, por lo que tendremos un precio del hormigón de la solera de **29,64 €/año** sin IVA.

Los muros interiores y exteriores se ejecutan en mampostería de ladrillo macizo, por lo tanto lo que se ha hecho es hacer un sencillo cálculo del volumen del material requieren, y aplicando la intensidad energética por módulo de la tabiquería, y el coeficiente de conversión de los productos, de manufactura de cemento, yeso, piedra... tendremos lo siguiente.

Densidad energética tabiquería: **320,947 MJ/módulo.**

Intensidad energética manufactura de cemento, yeso, piedra,... **5 GJ/ton**

Factor de equivalencia tabla Huella ecológica y desarrollo sostenible, **2,18 €/ton.**

Multiplicando estos tres factores, tendremos 29.444,6789 € que por año son **1.177,79 €/año**

Para las techumbres, suponiendo que están fabricadas en mampostería, se les aplicarán los mismos factores de equivalencia y de intensidad energética que en el caso anterior, por lo tanto:

Para **11,138 MJ/módulo**, tendremos un coste por año de **40.873 €/año.**

#### – Exteriores

El cálculo que envuelve los cuidados exteriores y de jardinería ha sido dimensionado por el documento del CEDEX, como el 14 % del total del consumo de la estación de impulsión.

Por otro lado quedaría especificar el cálculo para el precio de la **matriz de materiales**. En este caso se ha recurrido a fuentes especializadas para obtener precios en € sin IVA por unidades de consumo.

De este modo se han calculado los materiales que se usan en la ejecución de las impulsiones, que son :

- **Zanjas, túneles peq. pozos y obras de fábrica:** Aplicación, **cántaras**; Material, **hormigón.**

- **Edificios de fábrica u hormigón:** Aplicación, **edificios**; Materiales, **hormigón y cerámica.**

- **Instalaciones de iluminación y jardinería: 14 % del coste total.**

Para concluir se debe señalar que la superficie total de la instalación de impulsión son **105 m<sup>2</sup>**, y dado que estas instalaciones suelen ejecutarse en las cabeceras de las redes de distribución, atribuiremos esa superficie ocupada a **zonas de arbolado.**

### 3.1.5. TABLA CEDEX+HUELLA

En este último apartado sobre el cálculo de la huella ecológica para impulsiones, se presentan los resultados obtenidos en la hoja Excel presentada en el documento **Huella ecológica y desarrollo sostenible**.

Sin embargo para un mejor entendimiento, se exponen de forma tabulada, los valores, coeficientes y referencias usadas en el cálculo para cada una de las unidades de obra, completando de esa forma los datos facilitados por el documento de Estándares de consumo de materiales y energía en la construcción de infraestructuras hidráulicas del CEDEX.

Tabla Documento CEDEX					Huella ecológica y desarrollo sostenible			Materials for Sustainable Sites		Input Excel			
		Vida útil de la impulsión (años)	Peso-Volumen	Densidad energética MJ/Kg	Energía embebida por módulo	Capítulo arancelario	Intensidad energética GJ/t	Factor de equiv. t/1000 €	Energía embebida en el hormigón GJ/m3	€/m3	€ sin IVA	€/año sin iva	
<b>BOMBA</b>		25											
	Bomba tipo		11.025	54	595.350	72	30	1,65			12.027,27	481,10	
	Complementos		4.410	54	238.140	95,96	100	0,12			19.845,00	793,80	
	Manufactura			6	926.100	73 a 75;80 a 83,93 y 94	100	0,31			2.987,42	119,50	
<b>CÁNTARA</b>													
	Solera		18,0	4.098	73.764					1.858	33,6		
	Pantallas		56,7	4.098	232.357								
	Cubiertas		9,0	4.098	36.882								
			83,7									2.812,32	112,49
<b>EDIFICIO</b>													
	Solera	22,5	4.098	92.205					1.858	33,6	756,00	30,24	
	Muros ext e int	67,2	4.776	320.947	68	5	2,18				29.444,68	1177,79	
	Techumbres	7,5	1.485	11.138	68	5	2,18				1.021,83	40,87	

Una vez introducidos estos valores en la hoja de cálculo se obtiene el valor de la huella ecológica para las infraestructuras de bombeo:

Huella ecológica bruta (ha/año):	654,0
Huella ecológica neta (ha/año):	295,3
Emisiones netas (t CO <sub>2</sub> /año):	1.529,5

### 3.2. CONDUCCIONES EN ALTA

#### 3.2.1. TIPOLOGÍAS DE CONDUCCIONES

Para el estudio de conducciones en alta, el libro del CEDEX se basa en un único tipo de tubería, tubería de acero, representativa del consumo de materiales en las redes de transporte del agua en alta para abastecimientos de dimensiones medias y distancias medias o largas.

#### 3.2.2. UNIDADES DE OBRA Y DATOS DE PARTIDA PARA EL CÁLCULO

Las unidades de obra de las conducciones en alta son, básicamente, la tubería de acero y el relleno de la zanja donde se aloja la tubería.

Los datos de partida de consumo de materiales y energía se han tomado del estudio del CEDEX, Estándares de consumo de materiales y energía en la construcción de infraestructuras hidráulicas (2009).

En este estudio se ha analizado el consumo de materiales y energía por metro lineal de tubería, en función de los distintos diámetros empleados.

Se resumen a continuación los datos de partida empleados para el cálculo de la huella ecológica:

**Consumo de materiales y energía incorporada en conducciones de acero inox de 12 atm.**

Diámetro m	Capacidad hm <sup>3</sup> /año	Espesor mm	Consumo de materiales		Energía incorporada MJ/m
			Peso tubo kg/m	Relleno zanja m <sup>3</sup> /m	
0,2	0,71	8,0	39	2,1	6.757
0,4	3,82	8,0	79	1,9	9.021
0,6	10,3	8,0	118	1,8	11.286
0,8	21,0	8,0	158	1,9	14.169
1,0	36,5	8,8	218	3,2	20.667
1,2	57,4	10,6	314	4,8	30.136
1,4	84,1	12,4	427	6,7	41.385
1,6	117,2	14,1	558	9,0	54.412
1,8	157,0	15,9	707	11,5	69.218
2,0	204,0	17,7	872	14,4	85.802
2,2	258,6	19,5	1.055	17,6	104.166
2,4	321,2	21,2	1.256	21,2	124.308



Diámetro m	Capacidad hm <sup>3</sup> /año	Espesor mm	Consumo de materiales		Energía incorporada MJ/m
			Peso tubo kg/m	Relleno zanja m <sup>3</sup> /m	
2,6	392,0	23,0	1.474	25,0	146.229
2,8	471,5	24,8	1.710	29,2	169.929
3,0	560,0	26,5	1.963	33,6	195.407
3,2	657,7	28,3	2.233	38,4	222.665
<b>TOTAL</b>	<b>3.353</b>		<b>13.181</b>	<b>222,3</b>	<b>1.305.557</b>

Vida útil=25 años

Ref. Estándares de consumo de materiales y energía en la construcción de infraestructuras hidráulicas. CEDEX, 2009

### 3.2.4. CÁLCULO DE LA HUELLA ECOLÓGICA PARA CONDUCCIONES

En el cálculo de la huella ecológica se han tenido en cuenta los siguientes consumos:

#### Huella ecológica asociada al consumo de energía

La producción del acero se realiza en Altos Hornos, que utilizan energía térmica para su funcionamiento, por ser ésta el mayor aporte de energía, se ha considerado este coste como representativo del consumo energético. Ya que la vida útil de estas infraestructuras es de 25 años, se divide la energía consumida entre 25, para tener el valor anual. En la hoja de cálculo este valor se introducen en Kw/h, por lo que se ha hecho la transformación de MJ a kW/h.

Total Energía consumida	MJ/m/año	kW/h/m/año
	52.222	14.506

#### Huella ecológica asociada al consumo de materiales

El principal coste se debe a la producción del acero y a la fabricación de las tuberías, por lo que se ha evaluado el **consumo de materiales en las manufacturas del hierro, el acero y otros**.

Para conocer el valor en euros de las tuberías se ha recurrido a la base de precios del banco de Guadalajara (2010), que constituye una completa base de precios comúnmente utilizada para la elaboración de presupuestos de obra.

Este banco establece un precio de 40 €/m para un tubo de acero de 75 mm. Se ha asimilado este precio a la tubería de 0,2 m, y se ha estimado proporcionalmente el precio por metro para el resto de diámetros, con los siguientes resultados:

Diámetro m	Coste tubo €/m
0,2	40
0,4	80

Diámetro m	Coste tubo €/m
0,6	120
0,8	160
1,0	200
1,2	240
1,4	280
1,6	320
1,8	360
2,0	400
2,2	440
2,4	480
2,6	520
2,8	560
3,0	600
3,2	640
TOTAL	5.440
<b>TOTAL anual</b>	<b>217,60 euros/m/año</b>

Al igual que en el caso anterior se ha repercutido el coste total de los materiales en los 25 años de vida útil, para considerar el coste total por año en servicio.

Los datos de los materiales en gigajulios se obtienen multiplicando las toneladas del producto consumido por su intensidad energética, hay que convertir los euros en toneladas, para lo cual la hoja excell utiliza los capítulos arancelarios de Comercio Exterior, en este caso:

Categoría de material	Capítulos arancelarios	Intensidad energética (GJ/t)	Índice de conversión (t/1000 euros)
Manufacturas del hierro, acero y materiales	73 a 75; 80 a 83, 93 y 94	100,00	0,31

### Huella ecológica asociada al consumo de materiales de construcción

En el caso de las conducciones de agua, la obra de construcción consiste en la apertura y posterior relleno de las zanjas donde se alojan las tuberías de conducción.

Las redes de captación, por ser redes en presión, no necesitarán grandes excavaciones, y el diámetro mayor es 3,2m, por lo que no se generarán grandes volúmenes de movimiento de tierras, por tanto, escogemos el tipo de obra **zanjas y túneles de pequeña sección**.

El coste de construcción de la zanja se ha obtenido del ya mencionado Banco de precios de Guadalajara (2010). En este precio se incluye la apertura de la zanja, el tendido de la tubería, y el posterior relleno de la zanja. Este coste es función de las dimensiones de la zanja. Se resumen a continuación los valores obtenidos para cada diámetro de tubería:

Diámetro m	Relleno zanja m <sup>3</sup> /m	Coste obra €/m
0,2	2,1	84
0,4	1,9	168
0,6	1,8	252
0,8	1,9	336
1,0	3,2	420
1,2	4,8	504
1,4	6,7	588
1,6	9,0	672
1,8	11,5	756
2,0	14,4	840
2,2	17,6	924
2,4	21,2	1.008
2,6	25,0	1.092
2,8	29,2	1.176
3,0	33,6	1.260
3,2	38,4	1.344
TOTAL	222,3	11.424
TOTAL anual	456,96 €/m/año	

### Huella ecológica asociada al uso del suelo

Las redes de captación se localizan en los puntos altos del territorio, desde los embalses, transportan el agua a los núcleos de población. Por tanto, se ha considerado que el suelo ocupado es básicamente forestal, es decir, **uso de suelo arbolado**.

En la hoja excell las hectáreas de superficie construida se asignan directamente a espacio construido.,

Se ha estimado la ocupación en función del diámetro de la tubería, considerando un ancho de zanja de las dimensiones de la tubería (diámetro más dos veces el espesor) y 0,20 metros a cada lado de la tubería:

Diámetro m	Espesor mm	Área ocupada m <sup>2</sup> /m
0,2	8,0	17
0,4	8,0	17
0,6	8,0	17
0,8	8,0	17
1,0	8,8	19
1,2	10,6	23
1,4	12,4	27
1,6	14,1	30
1,8	15,9	34

Diámetro m	Espesor mm	Área ocupada m <sup>2</sup> /m
2,0	17,7	38
2,2	19,5	42
2,4	21,2	45
2,6	23,0	49
2,8	24,8	53
3,0	26,5	56
3,2	28,3	60
TOTAL		543

Estos valores se introducen en las correspondientes casillas de la hoja excell y se obtiene el valor de la huella ecológica.

### 3.2.5. TABLA CEDEX+HUELLA

Huella ecológica bruta (ha/año):	3,9
Huella ecológica neta (ha/año):	3,7
Emisiones netas (t CO <sub>2</sub> /año):	19,3

## 4. CONCLUSIONES

Por lo tanto los resultados finales de huella ecológica para impulsiones y conducciones en alta, es la siguiente.

- IMPULSIONES, huella ecológica por unidad de bomba tipo:

Huella ecológica bruta (ha/año):	654,0
Huella ecológica neta (ha/año):	295,3
Emisiones netas (t CO <sub>2</sub> /año):	1.529,5

- CONDUCCIONES, huella ecológica por metro de tubería:

Huella ecológica bruta (ha/año):	3,9
Huella ecológica neta (ha/año):	3,7
Emisiones netas (t CO <sub>2</sub> /año):	19,3

Como era de esperar, y dado que estas estructuras no son excesivamente nocivas, ya que de por sí no emiten emisiones CO<sub>2</sub>, por lo tanto la superficie consumida por estas estructuras no pasa de unos centenares de ha.

Sin embargo lo que es remarcable es que el valor de huella ecológica es casi en su totalidad, achacable a la construcción y no al servicio de estas estructuras, no obstante la

huella consumida por las impulsiones conlleva un consumo de energía elevado, que podría reducirse bastante si nos preocupamos por sustituir las fuentes de energía fósiles, por fuentes de energía renovable, como energía eólica, solar, fotovoltaica.....

Como ya se ha comentado en la introducción, se propone extrapolar los valores contables de una empresa de gestión del agua en alta, a los valores calculados de la huella ecológica, para obtener los indicadores eco-eficientes.

La actividad de captación del agua aglutina las infraestructuras de bombeo, depósitos y redes de distribución. En este documento se ha estudiado la huella ecológica de las infraestructuras de bombeo y redes de distribución, se propone la suma de ambas huellas para tener la huella total de estas infraestructuras:

	Impulsiones /ud bombeo	Conducciones / metro	Captación /bombeo /metro
Huella ecológica bruta (ha/año):	654,0	3,9	<b>657,9</b>
Huella ecológica neta (ha/año):	295,3	3,7	<b>299,0</b>
Emisiones netas (t CO <sub>2</sub> /año):	1.529,5	19,3	<b>1.548,8</b>

Se han tomado los datos de la empresa Aigües Ter Llobregat (ATLL), empresa pública adscrita al Departamento de Territorio y Sostenibilidad de la Generalitat de Catalunya, responsable del abastecimiento de agua en alta a la ciudad de Barcelona, su área metropolitana, y nueve comarcas de su entorno.

El ámbito de actuación de ATLL corresponde a las comarcas del Alt Penedès, el Anoia, el Baix Llobregat, el Barcelonès, el Garraf, el Maresme, la Selva, el Vallès Oriental y el Vallès Occidental, lo que representa unos 1.800 km<sup>2</sup>.

La red regional que gestiona tiene en la actualidad 900 km de tuberías de diversos diámetros, 166 depósitos, 59 estaciones de bombeo y 227 puntos de entrega, donde finaliza su abastecimiento en alta. La población abastecida en estas comarcas supone en total unos 4,5 millones de habitantes, además de toda la industria y los servicios que están establecidos en este territorio.

El caudal total suministrado en el año 2010 ha ascendido a 189.719.849 m<sup>3</sup>, es decir, unos 190 hm<sup>3</sup>.

Para calcular los indicadores eco-eficientes se necesita conocer su PIBc. Esta empresa pertenece a ACA, se dispone de la Memoria corporativa de ACA del 2010, y se ha extrapolado el valor del PIBc de ATLL, haciendo una proporción con el número de empleados:

Datos de ACA (año 2010):

Salarios	32.863.875,47 €
Cash-Flow	727.740,01 €
PIBc	33.591.615,48 €
Nº empleados	679

En el 2010 ATLL contaba con 222 empleados, por lo que su PIBc equivalente será: 10.982.825,68 €.

Para poder relacionar el PIBc con los valores obtenidos de huella ecológica, se divide el valor total de PIBc por los metros de tubería que gestiona ATL y por el número de estaciones de bombeo de las que dispone. Esto es:

$$\text{PIBc ATL} = 10.982.825,68 \text{ €} / 900 \text{ km} / 59 \text{ bombeos} = 0,21 \text{ €/m/bombeo}$$

El análisis de la huella ecológica se ha realizado siguiendo el inventario de infraestructuras hidráulicas de España. En concreto, la red de distribución en alta tiene una capacidad de 3.353 hm<sup>3</sup>/año. Se ha extrapolado el valor del PIBc de ATLL a la red de distribución, con el siguiente resultado:

PIBc ATLL	0,21 €
Caudal suministrado ATLL	190 hm <sup>3</sup>
Capacidad red en alta	3.353 hm <sup>3</sup>
<b>PIBc red en alta</b>	<b>3,66 €</b>

Con estas premisas, el valor del PIBc/m/ud bombeo es de 3,66 €, teniendo en cuenta este dato, el valor de la huella ecológica y la mercancía movida (3.353 hm<sup>3</sup>= 3.353 t agua), se obtienen los indicadores de ecoeficiencia propuestos por Domenech:

<b>Matriz de resultados, índices y ratios</b>	
<b>Huella mundial</b>	
Espacio ambiental bruto en ha (ha/cap/año)	<b>2,2</b>
Espacio ambiental bruto en PIB (dólares/cap/año)	<b>8.938,4</b>
<b>Huella ecológica corporativa</b>	
Huella ecológica neta en hectáreas	<b>299,0</b>
Huella ecológica neta en t CO <sub>2</sub> emitidas	<b>1.548,8</b>
Huella ecológica neta en n.º personas	<b>135,9</b>
<b>Indicadores de ecoeficiencia</b>	
PIB corporativo (euros)	<b>3,66</b>
PIB corporativo (dólares)	<b>2,7</b>
Cantidad de producto (toneladas mercancía movida)	<b>3.353,0</b>

Ratio PIB corporativo / huella neta (euros/ha)	<b>0,0122</b>
Ratio toneladas mercancía /huella neta (t/ha)	<b>11,2</b>
Huella neta por tonelada de mercancía (m <sup>2</sup> /t)	<b>891,74</b>
<b>Huella social</b>	
Huella social bruta (n.º de rentas)	<b>0,0</b>
<b>Huella cultural</b>	
Huella cultural bruta (n.º de "becas")	<b>0,0</b>

Se considera que este estudio puede ser una primera aproximación a los indicadores eco-eficientes de las infraestructuras de captación. Para completar el estudio sería necesario conocer el número total de metros de tubería por cada diámetro, ya que los consumos serán proporcionales al volumen total de materiales.

En este estudio se ha desarrollado un procedimiento de aplicación para el cálculo de la huella ecológica de una empresa de gestión del agua en alta. Un futuro desarrollo de trabajo puede ser el cálculo de huella ecológica de diferentes empresas de captación de agua y la comparativa entre ellas, para detectar las empresas más eficientes, o posibles fallos de gestión ambiental en ellas.

## **Documentación utilizada**

### **Bibliografía**

DOMÉNECH Quesada, Juan Luis. Huella ecológica y desarrollo sostenible. AENOR, 2007.

Estándares de consumo de materiales y energía en la construcción de infraestructuras hidráulicas. CEDEX, 2009.

### **Cibergrafía**

ATLL: <http://www.atll.cat/es/page.asp?id=1>

ACA: <http://aca-web.gencat.cat/aca/appmanager/aca/aca/>



**ANEXO: Hoja de cálculo Huella ecológica – IMPULSIONES**

**ANEXO: Hoja de cálculo Huella ecológica – CONDUCCIONES**