

# Proyecto AQUAMAC

MAC 2.3/C58

## Paquete de tareas P1.PT1

PROPUESTAS DE ACCIÓN PARA OPTIMIZAR LA AUTOSUFICIENCIA  
ENERGÉTICA DE LOS CICLOS DEL AGUA

### Tareas PT1-T1

Establecimiento de metodología y especificaciones técnicas  
para los estudios de potencial y auditorías energéticas.  
Localización de los ámbitos de trabajo por parte de los socios

### Entregable 2

**Guía para la realización de estudios de  
viabilidad técnico-económica de instalaciones  
de aprovechamiento de la energía hidráulica en  
abastecimientos urbanos**

Entidad responsable: Instituto Tecnológico de Canarias, S.A.

Fecha realización: Septiembre 2003

Fecha última actualización: 20 de Mayo de 2005

1	INTRODUCCIÓN.....	3
1.1	El proyecto AQUAMAC .....	3
1.2	Binomio Agua – Energía .....	3
1.3	Introducción a la Energía Hidráulica.....	5
1.4	Antecedentes del aprovechamiento de la energía hidráulica en los ciclos del agua en la Azores, Madeira y Canarias .....	6
2	OBJETO Y CONTENIDOS DE LA GUÍA .....	7
3	ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICA.....	8
3.1	Hipótesis de partida .....	8
3.2	Pasos a seguir .....	8
3.2.1	Estudio inicial .....	8
3.2.2	Trabajo de campo .....	9
3.2.3	Estudio de caudales .....	9
3.2.4	Elementos a instalar.....	10
4	LEGISLACIÓN.....	10
5	VIABILIDAD ECONÓMICA .....	12
5.1	Ingresos.....	12
5.2	Gastos e Inflación .....	13
5.3	Amortización .....	14
5.4	Coste del capital.....	15
5.5	Aspectos fiscales .....	15
5.6	Gastos financieros .....	15

## 1 INTRODUCCIÓN

### 1.1 El proyecto AQUAMAC

Este proyecto titulado TÉCNICAS Y MÉTODOS PARA LA GESTIÓN SOSTENIBLE DEL AGUA EN LA MACARONESIA ha sido aprobado en el marco de la Iniciativa Comunitaria INTERREG III B, Espacio **Açores-Madeira-Canarias**. En él participan socios como *Investimentos e Gestão da Agua, S.A.* (Madeira), *Direcção Regional do Ordenamento do Território e Recursos Hídricos* (Açores), *Mancomunidad del Norte de Tenerife*, *Mancomunidad del Sureste de Gran Canaria*, *Consejo Insular de Aguas de Lanzarote*, *Consejo Insular de Aguas de Gran Canaria*, *Universidade da Madeira* y el *Instituto Tecnológico de Canarias, S.A.* como Jefe de Fila.

Dentro de dicho proyecto, uno de los paquetes de tarea contemplados es: "*Propuestas de acción para optimizar la autosuficiencia energética de los ciclos del agua*". Dicho paquete de tareas se concretó en estudiar medidas de gestión y eficiencia energética, así como la sustitución de fuentes de energías convencionales (red eléctrica general) por el aprovechamiento de energías renovables asociadas al ciclo del agua (minihidráulica) o en las instalaciones vinculadas con los abastecimientos (estaciones de bombeo, edificios, captaciones, líneas de conducción, plantas de producción y tratamiento de aguas,...) y potenciar la minimización de la factura energética de los ciclos integrales de agua. El objetivo final de este paquete de tareas es demostrar las posibilidades de mejora de la eficiencia y autonomía energética de nuestros sistemas insulares de gestión de aguas y promover el intercambio de experiencias en toda la Macaronesia.

### 1.2 Binomio Agua – Energía

La gestión del agua en nuestras sociedades requieren cada vez más recursos energéticos para acciones como la captación de aguas de pozos y sondeos, el transporte y distribución hasta los puntos de consumo, así como para su tratamiento en los sistemas

de depuración convencionales. A medida que las demandas de agua se incrementan y se extienden a zonas cada vez más amplias y con menos recursos, se hace necesario introducir las tecnologías de desalación de agua de mar. Por otro lado, el deterioro de la calidad de los recursos subterráneos y la necesidad de reutilización de las aguas depuradas en algunas zonas requiere introducir sistemas de desalinización para posibilitar su aprovechamiento.

Todo este sistema puede llegar a suponer unos costes energéticos (y económicos) muy importantes para los sistemas de abastecimiento. Quizás el caso más extremo de esta situación se vea reflejado en algunas de las Islas Canarias, donde se puede establecer casi una equivalencia directa entre el incremento de la demanda eléctrica con el incremento en desalación. La gestión del agua en nuestras sociedades requiere cada vez más recursos energéticos destinados a acciones como: la captación de aguas de pozos y sondeos, el transporte y distribución hasta los puntos de consumo, así como para su tratamiento en los sistemas de depuración convencionales. A medida que las demandas de agua se incrementan y se extienden a zonas cada vez más amplias, los recursos naturales renovables y no renovables son incapaces de satisfacerlas, y se hace necesario por tanto, introducir recursos exógenos. Estos recursos vienen de la mano de las tecnologías de desalación de agua de mar y de la recuperación de recursos subterráneos de calidad deficiente introduciendo sistemas de desalinización.

Haciendo un pequeño ejercicio de cálculo, podríamos trasladar estas demandas a equivalentes en energía: Conociendo el consumo específico de los sistemas eléctricos de cada una de las islas, se pueden establecer equivalencias entre  $m^3$  de agua y toneladas métricas (Tm) del fuel-oil que es necesario importar y quemar cada año para producir y gestionar el agua demandada. Esta situación pone en constante riesgo la sostenibilidad de muchos sistemas de abastecimiento de agua. Pero por otra parte, el agua también

puede ser fuente de energía como así se destaca en Madeira, Azores y algunas de las islas Canarias.

Es por ello que resulta interesante desde el punto de vista estratégico, profundizar en las posibilidades de eficiencia y ahorro energético en la gestión del agua, así como en el máximo aprovechamiento de las energías renovables endógenas.

### ***1.3 Introducción a la Energía Hidráulica***

La energía hidráulica es una energía renovable, siendo una de las formas más limpias de producir energía eléctrica. Posee dos ventajas principales respecto a los combustibles de origen fósil y nuclear, una de ellas es que el agua, es decir el combustible, no se consume ni empeora la calidad, únicamente es explotada y otra de las ventajas es que no tiene problemas de producción de desechos y por tanto no tiene el problema de su eliminación.

Los aprovechamientos minihidráulicos han permitido el desarrollo de regiones aisladas en todo el mundo. Estos pequeños proyectos están diseñados para utilizar el caudal de un río o arroyo mediante la desviación del total o de parte del caudal hacia un canal y posteriormente conducirlo a una turbina por medio de una tubería.

En España se definen las centrales minihidráulicas como aquellas con una potencia menor a los 10 MW.

## **1.4 Antecedentes del aprovechamiento de la energía hidráulica en los ciclos del agua en Canarias**

En Canarias, las peculiares características geográficas de las islas sugieren interesantes posibilidades de aprovechamiento; de hecho existen varios ejemplos de antiguos usos de pequeños saltos de agua.

En Gran Canaria antiguamente los agricultores instalaban pequeñas ruedas de molino en los barrancos para aprovechar la energía de las corrientes de aguas de lluvia. En la isla de Gran Canaria el mayor potencial reside en la energía almacenada en las grandes presas de la zona sur y noroeste. Actualmente no existe ninguna instalación en funcionamiento, aunque se encuentra en fase de ejecución una minicentral de 100 kW entre las presas de Chira y Soria.

Por otro lado en Tenerife existen grandes posibilidades de aprovechamiento minihidráulico. Hasta hace algún tiempo funcionaban tres minicentrales que tenían una potencia instalada de 196 kW. Actualmente está en servicio la central de Vergara –La Guancha, de 360 kW, y se encuentran en fase de estudio tres nuevas centrales de potencia 280, 325 y 380 kW.

En Tenerife, hay una amplia red de galerías que en algunos casos proporcionan caudales de más de 100 l/s. A este fenómeno hay que unirle las elevadas cotas de ambas islas, lo que hace posible un gran número de aprovechamientos.

En cuanto a La Palma, antiguamente la Central Hidroeléctrica de El Mulato, con la Central Hidroeléctrica de Tazacorte –Barranco de las Angustias de Queduy (400 kW), y la Central Hidroeléctrica de El Remolino (100 kW), generaban energía suficiente para suministrar toda la energía eléctrica de la isla.

Por último señalar que la mayor minicentral que se encuentra en la actualidad en servicio en Canarias es la central de El Mulato, en la isla de La Palma, con una potencia de 820 kW, gestionada por la compañía eléctrica de UNELCO, S.A.

## 2 OBJETO Y CONTENIDOS DE LA GUÍA

El objeto de la Guía es aportar información básica sobre los pasos a seguir para realizar estudios de viabilidad técnico-económica de instalaciones minihidráulicas insertadas en sistemas de transporte de agua para abastecimiento urbano.

Así, en este documento se exponen los datos necesarios para realizar un estudio de viabilidad técnico-económica relativo a la instalación de una central minihidráulica con el fin de aprovechar energéticamente los sistemas de transporte y distribución de los abastecimientos urbanos de agua. Se presenta dividido en tres apartados, el primero relativo a la viabilidad técnica de la instalación, en el segundo se hace un breve resumen de la legislación en España que regula las centrales minihidráulicas, y en el tercero se presentan los parámetros principales a analizar para desarrollar un estudio de viabilidad económica.

### 3 ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICA

#### 3.1 Hipótesis de partida

Teniendo en cuenta que el estudio va a estar orientado al abastecimiento urbano, se parte de la hipótesis de que el agua o viene de un depósito de distribución, que es lo normal en estos casos, o viene directamente de alguna galería. No obstante, en ambos casos se hace la hipótesis de que el agua discurre canalizada mediante tubería. Por otro lado también se parte del conocimiento del material y del diámetro de todas las tuberías, así como, del caudal que pasa por cada ramificación. En caso de no conocerse este último, habría que instalar caudalímetros para medirlo.

Otro supuesto del que se parte es que se tiene toda la conducción cartografiada y, por lo tanto, se pueden conocer alturas, longitudes y diferencias de altura de cada tramo de tubería.

Señalar que la central hidráulica se comportaría como una central de tipo “agua fluyente”, en la que no se puede controlar la producción energética debido a que ésta es función del consumo de agua.

#### 3.2 Pasos a seguir

##### 3.2.1 Estudio inicial

Lo primero que hay que hacer es estudiar, con la cartografía, todos los tramos de la tubería. Se deberán elegir aquellos de mayor altura, mayor caudal y menor longitud de tubería. Esto permitirá que se elijan indirectamente los tramos de mayor potencial minihidráulico y, por lo tanto, los que hay que realizar una inversión menor.

También habrá que realizar un estudio del trazado de toda la conducción ya que esto permite saber si hay zonas de poca pendiente o zonas de mucha pendiente. Económicamente beneficia el utilizar sólo los tramos de tubería de mayores pendientes ya que con ello se asegura que si hubiera que renovar la tubería, el coste de esta sea el

menor posible. Si el coste de la tubería no es condicionante para la instalación habría que considerar de todas formas que las pérdidas de energía aumentan con la longitud de la conducción.

Por último hay que tener en cuenta que se deberán elegir tramos que sean únicos, es decir, se deberá utilizar la conducción antes de que produzca cualquier derivación. Esto permite que se disponga del mayor caudal. En caso de que haya habido cualquier derivación previa, habrá que determinar el caudal resultante de ese tramo en concreto.

### **3.2.2 Trabajo de campo**

Una vez elegidos los tramos más rentables, hay que visitar la zona para ver el estado de la conducción y su complejidad. Además, se deberá elegir el lugar de ubicación de la central hidroeléctrica. La obra civil conlleva, por un lado la construcción del edificio de la central y, por otro, la instalación de los equipos propios de la central, las turbinas hidráulicas, el generador, etc.

En caso de no disponerse de datos de caudales habrá que instalar caudalímetros digitales, de manera que se puedan obtener datos al menos con una frecuencia horaria y de un período lo suficientemente largo como para poder realizar previsiones anuales de consumos de agua.

### **3.2.3 Estudio de caudales**

El siguiente paso es realizar un estudio de los caudales de los tramos elegidos. También y dado que las conducciones utilizadas derivan aguas para consumo, habrá que hacer previsiones de consumos de agua con un horizonte de al menos 10 años. Esto es importante para determinar la correcta potencia de la turbina hidráulica. Los datos de caudal necesarios serán horarios y, al menos, de un año completo.

### 3.2.4 Elementos a instalar

Los elementos a instalar serán la tubería forzada (si hiciera falta), el edificio de la central, la turbina hidráulica y el generador.

#### 3.2.4.1 Turbinas Hidráulicas

La turbina debe elegirse de manera que por un lado no se produzcan períodos en que no esté operativa por no cumplir sus condiciones de caudal mínimo de funcionamiento. Y, por otro, se debe cumplir que el tipo de turbina elegida proporcione el mayor rendimiento posible para esas condiciones de funcionamiento.

Además, hay que tener en cuenta que las turbinas, para instalaciones minihidráulicas, no se fabrican en serie, por lo que hay que solicitar presupuesto a aquellas empresas que se dediquen a fabricar turbinas, en este caso, de baja potencia. Esto, además, repercutirá en un mayor coste de la misma. Una vez se disponga de la oferta, es importante hacer un estudio de viabilidad económica que determine el período de recuperación de la inversión.

Aparte de esto es necesario identificar un punto de enganche a la red eléctrica próximo a la turbina si se tiene la intención de vender la energía en régimen especial a la red principal.

## 4 LEGISLACIÓN

A continuación se relaciona la legislación básica española, intentando seguir un orden cronológico:

**Ley 82/80, de 30 de diciembre, sobre conservación de la energía**, en la que se establece como uno de sus objetivos potenciar la adopción de fuentes de energía renovables y en consecuencia reducir el consumo de hidrocarburos, quedando

expresamente acogida a los beneficios de esta Ley, la construcción, ampliación o adaptación de instalaciones de producción hidroeléctrica con potencia de hasta 5000 KVA.

**Orden de 5 de septiembre de 1985**, del Ministerio de Industria y Energía, por la que se establecen normas administrativas y técnicas para funcionamiento y conexión a las redes eléctricas de centrales hidroeléctricas de hasta 5.000 kVA y centrales de autogeneración eléctrica.

**La Ley 54/1997, de 27 de noviembre, del Sector Eléctrico**, que establece los principios de un nuevo modelo de funcionamiento basado en la libre competencia, impulsando también el desarrollo de instalaciones de producción de energía eléctrica en régimen especial. Tendrá carácter de régimen especial aquellas instalaciones cuya potencia instalada sea menor a 50 MW y estas instalaciones gozarán de los siguientes derechos; incorporar la energía excedente al sistema, percibiendo la retribución que se determina conforme a lo dispuesto en la presenta Ley, así como poder conectar en paralelo sus instalaciones a la red de la correspondiente empresa distribuidora o de transporte.

**Ley 11/1997, de 2 de diciembre, de Regulación del Sector Eléctrico Canario**, se desarrolla la ley en el ámbito de Canarias teniendo dicha ley el objeto del suministro a los clientes en sus diferentes fases de generación, transporte, distribución y comercialización; garantizando la regularidad en calidad y precio.

**El Real decreto 436/2004, de 12 de marzo, por el que se establece la metodología para la actualización y sistematización del régimen jurídico y económico de la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial** tiene por objeto unificar la normativa de desarrollo de la Ley 54/1997, de 27 de noviembre, en lo que se refiere a la producción de energía eléctrica en régimen especial, en particular en lo

referente al régimen económico de estas instalaciones. Con ello se pretende seguir el camino iniciado con el Real Decreto 2818/1998, de 23 de diciembre, sobre producción de energía eléctrica por instalaciones abastecidas por recursos o fuentes de energías renovables, residuos o cogeneración.

## 5 VIABILIDAD ECONÓMICA

Los criterios a utilizar para medir la rentabilidad de la inversión son:

- Valor actual neto (VAN)
- Tasa interna de retorno (TIR)
- Período de retorno de la inversión (Pay-back)

La vida útil de una central mihidráulica se puede considerar que se encuentra entre los 20 y 25 años.

### 5.1 Ingresos

Según el Real decreto 436/2004 las centrales hidroeléctricas se encuentran en el grupo b.4 y el grupo b.5. El grupo b.4 corresponde a las centrales hidroeléctricas cuya potencia no sea superior a 10 MW, y los grupos b.5 corresponden a las centrales hidroeléctricas cuya potencia sea superior a 10 MW y no sea superior a 50 MW.

Existen dos posibilidades para realizar la facturación:

- **Precio fijo** (Art. 22.1.a): Tarifa regulada, como % de la TMR, única para todos los períodos de programación, escalonada en el tiempo.
- **Participación en el mercado** (Art. 22.1.b): Precio de mercado complementado por un incentivo y una prima ( ambos como % de la TMR), mas una garantía de potencia (disp. Ad. 2<sup>a</sup>)

Las tarifas, primas e incentivos viene definidos en el artículo 32 del Real decreto 436/2004, la tarifa eléctrica a precio fijo sería:

- Para instalaciones del grupo b.4 el 90% durante los primeros 25 años desde su puesta en marcha y el 80% por ciento a partir de entonces.
- Para instalaciones del grupo b.5 el 90% durante los primeros 15 años desde su puesta en marcha y el 80% por ciento a partir de entonces.

La tarifa media o de referencia se publica anualmente por Real Decreto. En el año 2004 la tarifa eléctrica media o de referencia fue publicada en el artículo 2 del Real Decreto 1432/2002, de 27 de diciembre, y tenía un valor de 7,2072 c€/kWh. La tarifa para el año 2005 viene definida en el Real decreto 2392/2004, de 30 de diciembre. En ella se establece un incremento promedio de la tarifa eléctrica del 1.71%, fijando su valor para el 2005 en 7,3304 c€/kWh.

## **5.2 Gastos e Inflación**

Aunque el coste real de la instalación deberá ser suministrado por el fabricante, se puede realizar una primera aproximación utilizando las curvas que publicó I.D.A.E en el año 1996<sup>1</sup>.

Normalmente, en las centrales que nos ocupa habrá que considerar los costes de la tubería forzada, el edificio de la central, la turbina, el generador, el transformador, la línea eléctrica y los accesos.

Por otro lado también hay que considerar los gastos ocasionados por la explotación de la central. Los gastos de explotación de una central hidráulica son función del kWh producido. Se recomienda utilizar en torno a las 0,01 €/kWh, que es un poco menor al gasto de mantenimiento de un parque eólico.

---

<sup>1</sup> I.D.A.E (1996). Manual de minicentrales hidroeléctricas. Cuadernos de energías renovables.

Además habría que considerar un aumento de los gastos de explotación del 3% anual, debido a la inflación.

Por último, hay que considerar los gastos en seguros y gastos por canon de arrendamiento. El Gasto en seguros se puede considerar entorno a un 2% de los ingresos, produciéndose incrementos anuales del 3%. En cuanto al canon de arrendamiento, dependerá de cómo se haya acordado en el contrato del terreno, normalmente se suele utilizar un porcentaje de los ingresos.

### **5.3 Amortización**

El fin de las amortizaciones es evitar la descapitalización de la empresa recuperando el valor del bien. La recuperación de este capital a lo largo de la vida útil del bien nos permitirá tener los recursos para sustituir el elemento por otro nuevo al final de su vida económica, sustituyendo la parte desgastada del equipo productivo y asegurando la continuidad de la empresa.

En el cómputo de estas amortizaciones entran todas las partes correspondientes a las instalaciones, tanto la obra civil como la eléctrica.

Para determinar correctamente los flujos hay que conocer el importe en origen de los bienes amortizables, la legislación fiscal sobre amortizaciones (tabla de coeficientes de amortización), periodo de amortización, valor residual de los bienes amortizables, y método de amortización elegido.

Se recomienda utilizar una amortización lineal repartida durante los años de vida del proyecto.

#### **5.4 Coste del capital**

En la estimación del coste de capital, o tasa a la que se descuentan los flujos para calcular el VAN, hay que tener en cuenta que esta tasa depende del tipo de interés del banco central, este valor ya incluye la inflación, y actualmente es bastante bajo. Se podría elegir como valor más probable de la tasa de descuento a aplicar a los flujos, el de 5%. Aunque en este valor se podría también diferenciar entre financiación propia o ajena, en una primera aproximación no hace falta hacer distinciones.

#### **5.5 Aspectos fiscales**

En el análisis de proyectos de inversión, los flujos generados deben ser calculados después de impuestos. La amortización tiene un efecto fiscal ya que es un gasto que desgrava y supone un ahorro fiscal que hay que ver como un flujo positivo. El ahorro de impuesto derivado del cargo de las amortizaciones equivale a un ingreso, que hay que tener en cuenta en la determinación de los flujos esperables del proyecto. La inversión en el inmovilizado da lugar a un flujo negativo, y el ahorro de impuesto derivado de su amortización da lugar a flujos positivos.

Según la Dirección General de Tributos del Ministerio de Hacienda y la Agencia Tributaria, los impuestos a los que debe hacer frente el generador minihidráulico, son: Impuesto sobre sociedades (modificación del régimen económico y fiscal de Canarias, impuesto sobre la renta de las personas físicas (IRPF), Impuesto especial sobre la electricidad, impuesto general indirecto canario (IGIC). No es necesario darse de alta como autónomo en la seguridad social.

#### **5.6 Gastos financieros**

En el cálculo de los flujos a esperar del proyecto no debe deducirse ningún coste financiero, ni en concepto de intereses de la deuda, ni en concepto de coste de oportunidad del capital propio. No debe hacerse ya que se trata de averiguar si los flujos

esperados del proyecto, después de impuestos y antes de deducir ningún coste financiero, serían suficientes para atender a la devolución de la financiación total con su coste. Por lo tanto, cargar flujos con los costes financieros (netos de esta carga), y ver si estos son suficientes para pagar el coste financiero, sería duplicar el coste de capital.

Además, ver los flujos sin costes financieros presupone no tomar ninguna decisión previa sobre la política de financiación, que debe de ser independiente de la política de inversiones que es lo que trata de establecer el presente estudio.

Las Palmas de G.C, a 17 de septiembre de 2004.

Celia Bueno  
Ingeniera Industrial