

ANEXO 4

Metodologías de cálculo

Título del proyecto:

Estudio de implantación de energías renovables para el orfanato “Ciudad de los Niños” en Guatemala

Autor:

Enrique Martinell Andreu

Tutor:

Daniel Garcia-Almiñana

Departamento de proyectos

Curso 2008-2009

Índice

	Página
Índice.....	1
Guía del anexo	3
1 Cálculo de potencia de los edificios	5
2 Cálculo de consumo de los edificios	7
3 Cálculo de consumo de las bombas	9
4 Estimación de la electrificación de la zona urbanizada oeste.....	11
5 Dimensionado de las líneas	13
6 Aproximación de la energía eléctrica obtenible por biodigestión	15
7 Cálculo la energía solar fotovoltaica	17
8 Cálculos de viabilidad económica	21
9 Cálculo del valor técnico ponderado (VTP)	23

Guía del anexo

Para simplificar la lectura de la memoria se han eliminado de ella todas las formulaciones y cálculos. Estos han sido recogidos en dos anexos: anexo de metodologías de cálculo y anexo de desarrollo de cálculos.

El anexo 4 (metodologías de cálculo) contiene la formulación y el procedimiento teórico utilizado para la obtención de los resultados y el anexo 5 (desarrollo de cálculos) contiene el cálculo numérico.

Cada cálculo tiene un aparatado en cada uno de los anexos. En la localización parece la referencia de su ubicación en la memoria y en el otro anexo.

1 Cálculo de potencia de los edificios

1.1 Localización

Documento	Capítulo	Página
Memoria	7.1	29
Anexo de desarrollo de cálculos	1	5

1.2 Definiciones

Lumen: unidad de flujo de luz (I) (unidad de potencia)

Lux: unidad de iluminancia (E), flujo de luz recibido por una superficie (1lux=1lumen/m²)

Coefficiente de simultaneidad: Determina la fracción de la potencia instalada en una instalación (o parte de ella) que se consume en promedio

1.3 Cálculo de potencia instalada en iluminación interior

1. Se debe decidir la iluminancia necesaria para cada sala en función de las necesidades o usos de la misma. Existen gran cantidad datos tabulados en función de actividades.
2. A partir de la superficie de la sala (S) se calcula el flujo de luz necesario.

$$I = \frac{E}{S}$$

3. Sabiendo la relación entre la potencia y la luminosidad de la luminaria a instalar se obtiene la potencia a instalar en cada sala.

Nota: Este cálculo efectuado al revés permitirá saber cual es la luminancia que hay en cada sala a partir de las potencias y luminarias instaladas.

1.4 Cálculo de la potencia en tomas

La potencia de las tomas depende de los elementos que se vayan a conectar. Una toma estándar de 15A conectada a 110V soporta equipos de 1650W no obstante no va a ser utilizada toda esa potencia en todas las tomas a la vez. Para dimensionar una línea con diferentes tomas, siguiendo el cálculo habitual del sector de la construcción en España, se ha utilizado como base de cálculo la potencia máxima de solo una de ellas situada al final de la línea.

Para calcular la potencia de las tomas se han usado dos técnicas para la instalación actual y la futura:

- Para la instalación actual se ha considerado los equipos instalados a las tomas conociendo sus potencias de manera que no se conoce exactamente cuanto puede ofrecer la instalación pero sí cuanto se utiliza. Esta elección se debe a que la información relevante en este caso es la que permite conocer el consumo actual.
- Para la instalación futura se ha hecho la estimación de cálculo de considerar una única toma por línea. Este dato permitirá dimensionar correctamente la instalación. Para el cálculo de consumo se hará la estimación en función de los coeficientes de simultaneidad.

2 Cálculo de consumo de los edificios

2.1 Localización

Documento	Capítulo	Página
Memoria	7.1	29
Anexo de desarrollo de cálculos	2	15

2.2 Método de cálculo

Este cálculo se efectúa a partir de la potencia (W), las horas de uso (h) de la energía en cada edificio y los factores de uso (f):

$$\text{Consumo} = W \cdot h \cdot f$$

El consumo se calcula por año (365 días) con lo que las horas de la formula anterior corresponden al total de horas de uso en un año.

Las horas de uso diarias se evalúan según una de las siguientes opciones en función de las necesidades de cada edificio:

- Para los edificios con conexión diaria se determina a partir de los horarios habituales de la Ciudad de los Niños con la información recogida durante el trabajo de campo
- Para los edificios con conexión eventual se estima aproximadamente el número de horas que el edificio permanece conectado en un mes se divide entre 30

El factor de uso para cada edificio se evalúa en función del conocimiento de qué luminarias y equipos están conectados durante las horas de uso.

El factor se calcula según la siguiente fórmula:

$$f = \frac{\sum P_i \cdot h_i}{P_T \cdot h_T}$$

Donde P_i es la potencia de cada unidad inseparable (equipos, iluminación de cada sala o luz siempre encendida), h_i es las horas diarias de uso de la misma

Anexo 4: Metodologías de cálculo

(evaluadas según los mismos criterios descritos anteriormente para las horas de cada edificio), P_T es la potencia total del edificio y h_T las horas totales de uso.

3 Cálculo de consumo de las bombas

3.1 Localización

Documento	Capítulo	Página
Memoria	7.3	32
Anexo de desarrollo de cálculos	4	25

3.2 Método de cálculo

1. A partir del caudal (Q) que ofrece una bomba para una determinada altura, la capacidad de los depósitos (V) y el número de cargas diarias (C) se puede determinar el tiempo de uso de las bombas necesario diariamente (t):

$$t = \frac{V}{Q} \cdot C$$

La altura (h) para el diseño se evalúa como la diferencia de altura entre el depósito y el nivel del agua más un porcentaje en concepto de pérdidas. Como primera aproximación se puede tomar un 10% en tuberías en condiciones habituales de trabajo y un 20% en tuberías sucias

2. Si las bombas no tienen un sistema de desconexión automático el tiempo que las bombas permanecen encendidas (t'):

$$t' = t + C \cdot t_R$$

3. Donde t_R es el tiempo medio que transcurre desde que el depósito está lleno hasta que la bomba es desconectada.
4. Conociendo la potencia de la bomba el consumo (E) de cada bomba es:

$$E = t' \cdot P = (t + C \cdot t_R) \cdot P$$

4 Estimación de la electrificación de la zona urbanizada oeste

4.1 Localización

Documento	Capítulo	Página
Memoria	7.4	32
Anexo de metodología de cálculo	5	27

4.2 Método de cálculo

Este cálculo permite obtener una aproximación de las necesidades energéticas de una instalación a partir de los datos de potencia y consumo de otra similar.

1. A partir de las áreas de los edificios y las potencias de la instalación conocida se obtiene la potencia por unidad de de área (K_1)

$$K_1 = \frac{\sum Potencias}{\sum Áreas}$$

2. Se procede igual para los consumos y se obtiene el consumo por unidad de área (K_2)

$$K_2 = \frac{\sum Consumos}{\sum Áreas}$$

3. Conociendo el área de edificio de la nueva instalación se calcula la potencia (P) y el consumo (C) de la nueva instalación

$$P = K_1 \cdot A$$

$$C = K_2 \cdot A$$

5 Dimensionado de las líneas

5.1 Localización

Documento	Capítulo	Página
Memoria	10.4.3	47
	11.3	57
	12.3	66
Anexo de desarrollo de cálculos	6	29

5.2 Cálculo de la intensidad nominal de líneas

Este cálculo está basado en la metodología del Reglamento de Baja Tensión (RBT) español adaptado a la situación particular de la Ciudad de los Niños.

En primer lugar se debe calcular la potencia pico P_p que es la potencia máxima que se permitirá pasar por la línea:

$$P_p = P_i \cdot f$$

Donde

- Para las líneas de usos P_i es la potencia instalada a final de línea y f el factor de simultaneidad

$$f = \frac{P_{ii} + 0,6P_{it}}{P_i} = 1 - 0,4x$$

Siendo P_{ii} la potencia instalada en iluminación, P_{it} la potencia instalada en tomas y x la fracción de potencia instalada correspondiente a tomas¹

¹ Se asume que como máximo se utilizará el 100% de la potencia instalada en iluminación y el 60% de la instalada en tomas para la Ciudad de los Niños.

$$x = \frac{P_{it}}{P_i}$$

- Para las otras líneas P_i es la potencia máxima a transportar y f es 1

La intensidad nominal de las líneas monofásicas es:

$$I = \frac{P_p}{V}$$

Donde V es el voltaje de la línea

Y para las líneas trifásicas:

$$I = \frac{P_p}{V \cdot \sqrt{3}}$$

Donde V es el voltaje entre líneas

6 Aproximación de la energía eléctrica obtenible por biodigestión

6.1 Localización

Documento	Capítulo	Página
Memoria	13.1.6	77
Anexo de desarrollo de cálculos	7	33

6.2 Metodología de cálculo

El cálculo aproximado de la energía generada por un biodigestor se resume sencillamente en la resolución de la siguiente fórmula:

$$E_e = (G_a \cdot N + G_n \cdot A) \cdot C_p \cdot f \cdot \eta$$

Donde:

- E_e es la energía eléctrica aprovechable (kJ/día)
- G_a es el volumen de gas en condiciones normales (CN) que se puede generar por biodigestión por persona adulta (m^3 /persona)
- G_n es el volumen de gas en CN que se puede generar por biodigestión por niño/a (m^3 /persona)
- A es el numero de personas adultas
- N es el número de niños/as
- C_p es el calor específico del biogás en CN (kJ/m^3)
- f es la fracción de biogás utilizada para la producción de electricidad
- η es el rendimiento del sistema de transformación (motor+ alternador)

7 Cálculo la energía solar fotovoltaica

7.1 Localización

Documento	Capítulo	Página
Memoria	13.1.2	71
	14	81
Anexo de desarrollo de cálculos	8	35

7.2 Estimación de la energía producible para consumo general

1. Conociendo la irradiación solar aprovechable para sistemas fotovoltaicos en la zona se puede evaluar la energía producida por unidad de superficie y tiempo (E , kWh/m²/día) de panel fotovoltaico:

$$E = G \cdot f$$

Donde G es la irradiación diaria solar media aprovechable (kWh/m²/día) y f es la eficiencia del panel fotovoltaico.

2. Multiplicando por la superficie de captación (S , m²) se obtiene la energía producida en total por día. Teniendo en cuenta el rendimiento del sistema de almacenaje (η_{bat}), el rendimiento del resto de equipos de control η_{sist} y multiplicando por 365 días se obtiene la energía producida en un año (E_u , kWh/año) por el sistema fotovoltaico:

$$E_u = 365 \cdot E \cdot S \cdot \eta_{bat} \cdot \eta_{sist}$$

7.3 Estimación de la superficie de captación para los sistemas de bombeo solar

1. La energía diaria a transmitir a la bomba (E_n) es:

$$E_n = \rho \cdot g \cdot H \cdot V \cdot \eta_b$$

Donde ρ es la densidad del agua, $g=9,8\text{m/s}^2$, H la altura barométrica a la que ha de llevarse el agua (altura física, h , más pérdidas), V el volumen de agua necesario al día y η_b es el rendimiento del conjunto motor-bomba.

$$H = h \cdot (1 + \mu)$$

Donde μ es 0,1 para tuberías limpias y 0,2 para sucias.

2. Tomando la energía producida por unidad de superficie y tiempo (E) de los captadores fotovoltaicos (apartado anterior) se estima la superficie de captación necesaria para bombeo directo (S_d) y el bombeo con sistema de acumulación (S_a).

$$S_d = \frac{E_n}{E \cdot \eta_{sist}}$$

$$S_a = \frac{E_n}{E \cdot \eta_{bat} \cdot \eta_{sist}}$$

Donde η_{bat} es el rendimiento del sistema de acumulación y η_{sist} el del resto de equipos.

En esta aproximación se ha considera el rendimiento del sistema eléctrico del 100%.

7.4 Estimación de la capacidad de las bombas solares

En el cálculo anterior estima la cantidad de energía necesaria que se debe suministrar a las bombas al día. No obstante este proceso puede hacerse a diferentes velocidades en función de la potencia de las bombas. Este cálculo aproxima el caudal que deben ofrecer las bombas y la potencia necesaria.

El caudal mínimo de la bomba será:

$$Q = \frac{V}{t}$$

Donde V es el consumo total de agua al día y t es el tiempo que la bomba debe estar en funcionamiento durante el día.

Y la potencia mínima:

$$P = \frac{E_n}{t}$$

7.5 Cálculo de capacidad de las baterías

1. Conociendo el consumo diario (E_u , Wh/día) se calcula la energía necesaria a acumular (E_{ac} , Wh/día) teniendo en cuenta las pérdidas del sistema fotovoltaico y de las baterías.

$$E_{ac} = \frac{E_u}{\eta_{bat} \eta_{sist}}$$

2. La capacidad necesaria en las baterías (C , Ah) depende de la energía a almacenar, del número de días de autonomía de la instalación (N), del voltaje de trabajo de batería (V) y de la profundidad de descarga del sistema (p_d).

$$C = \frac{E_{ac} \cdot N}{V \cdot p_d}$$

3. El número de baterías necesario (M) siendo c la capacidad de cada batería en Ah:

$$M = \frac{C}{c}$$

El valor de M debe redondearse siempre al alza.

8 Cálculos de viabilidad económica

8.1 Localización

Documento	Capítulo	Página
Memoria	17.3	113
Anexo de desarrollo de cálculos	9	41

8.2 Cálculo del coste actual de la energía

El coste diario (C , en €/día) a partir del precio del gasóleo (P , en €/l), el consumo del generador (c , en l/h) y las horas de uso diario del generador (H , en h/día) viene dado por:

$$C = P \cdot c \cdot H$$

El coste anual (C_a , en €/año) es:

$$C_a = C \cdot 365$$

Y el coste por unidad de energía producida (C_{kWh} , en €/kWh):

$$C_{kWh} = \frac{C_a}{E_u}$$

Siendo E_u la energía total consumida al año

8.3 Cálculo de viabilidad de los proyectos

Este cálculo obtiene 3 resultados:

- Coste de la energía (K_a y K_{kWh} en €/año y €/kWh respectivamente)
- Ahorro frente la quema de combustible (A_a y A_{kWh} , en €/año y €/kWh respectivamente)
- Plazo de recuperación (Pay back) (P , en años)

Los datos de entrada son:

- Valor de la inversión (I, en €)
- Fracción del gastos de mantenimiento frente la inversión (M, en %)
- Vida útil de la instalación o sistema (V, en años)
- Energía producida por el sistema instalado (E_p , en kWh/año)

El coste tota de la instalación es:

$$K_t = I \cdot (1 + M)$$

El coste de la energía no extraída del generador es:

$$K'_a = \frac{K_t}{V} \qquad K'_{kWh} = \frac{K'_a}{E_p}$$

Corrección de K'_a y K'_{kWh} si hay conexión a la red:

En caso de haber conexión a la red estos valores se han de corregir en función del coste de la energía comprada a la red tal que:

$$K'_a = \frac{K_t}{V} + P_r \cdot R \qquad K'_{kWh} = \frac{K'_a}{E_p}$$

Donde P_r es el precio de compra a la red (€/kWh) y R la cantidad de energía comprada a la red (kWh/año).

El coste de la energía será:

$$K_a = K'_a \cdot F + C_a \cdot (1 - F) \qquad K_{kWh} = K'_{kWh} \cdot F + C_{kWh} \cdot (1 - F)$$

Donde F es la fracción de la energía consumida no producida por el generador:

$$F = \frac{E_p}{E_u}$$

El ahorro es:

$$A_a = K_a - C_a \qquad A_{kWh} = K_{kWh} - C_{kWh}$$

El plazo de recuperación es:

$$P = \frac{K_t}{A_a}$$

9 Cálculo del valor técnico ponderado (VTP)

9.1 Localización

Documento	Capítulo	Página
Memoria	18	123
Anexo de desarrollo de cálculos	10	49

9.2 Metodología de cálculo

1. Listar las alternativas a evaluar y asignarles una numeración
2. Listar los criterios con los que se debe evaluar las alternativas
3. Asignación de pesos a cada uno de los criterios en escala absoluta
4. Se asigna una puntuación absoluta a cada alternativas para cada uno de los criterios
5. Se calcula el valor técnico ponderado de cada alternativa

$$VTP_i = \frac{\sum_{j=1}^n p_{ij} \cdot g_j}{p_{m\acute{a}x} \cdot \sum_{l=1}^n g_l}$$

Donde:

VTP_i = valor técnico ponderado de la alternativa i

p_{ij} = puntuación de la alternativa i para el criterio j

g_j = peso del criterio j

$p_{m\acute{a}x}$ = puntuación más alta de la tabla

6. Las alternativas con mayor valor son las preferidas según los criterios

Los cálculos se pueden presentar en forma de tabla según la siguiente estructura:

Criterios	Peso	Alternativas							
		1	$p_{1i} \cdot g_i$	2	$p_{2i} \cdot g_i$...	m	$p_{mi} \cdot g_i$	
1	g_1	p_{11}	$p_{11} \cdot g_1$	p_{21}	$p_{21} \cdot g_1$			p_{m1}	$p_{m1} \cdot g_1$
2	g_2	p_{12}	$p_{12} \cdot g_2$						
...									
n	g_n	p_{1n}	$p_{1n} \cdot g_n$					p_{mn}	$p_{mn} \cdot g_n$
Sumatorios	$\sum g_i$	$\sum p_{1i} \cdot g_i$		$\sum p_{2i} \cdot g_i$				$\sum p_{mi} \cdot g_i$	
	VTP	VTP ₁		VTP ₂				VTP _m	

Tabla 1: Tabla genérica de cálculo del VTP