

## **5 Estudio de casos**

### **5.1 Primera fase del proyecto**

La primera fase del proyecto ha sido realizar un trabajo de campo en São Tomé entre el 1 y el 15 de septiembre de 2007, resultado del cual es este informe.

El motivo principal de este primer viaje ha sido ver la viabilidad de la introducción de unas tecnologías que han de permitir un desarrollo, tanto social como económico, más de acuerdo con los principios de la sostenibilidad. Así, se empieza recopilando datos sobre los recursos naturales disponibles en la isla y estudiando la viabilidad de electrificación de escuelas mediante sistemas de energías renovables, más concretamente energía solar fotovoltaica.

En siguientes fases, el objetivo es poner en marcha la electrificación de una escuela piloto y realizar los correspondientes cursos de capacitación del personal necesario para el diseño, instalación y mantenimiento de las instalaciones.

### **5.2 Introducción a la energía solar fotovoltaica**

Antes de dimensionar y presupuestar las instalaciones necesarias para electrificar las cinco escuelas visitadas en esta primera fase, sería necesario describir brevemente las características de un sistema solar fotovoltaico para facilitar la comprensión de los siguientes apartados de este informe.

Hay que diferenciar entre la energía solar térmica y la energía solar fotovoltaica, que son dos formas diferentes de aprovechar la radiación solar y, por tanto, los equipos son completamente diferentes. Mientras que la primera se usa básicamente para la obtención de agua caliente, la energía solar fotovoltaica consiste en la conversión de la radiación solar en electricidad.

Aunque la energía solar térmica también se puede emplear para la producción de energía eléctrica (termoeléctrica), en este caso nos centraremos en el estudio de la energía solar fotovoltaica.

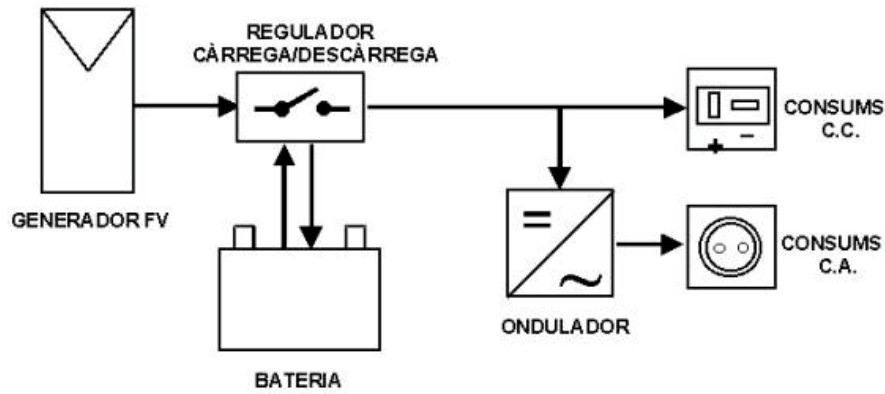
La energía solar fotovoltaica tiene un campo de aplicación muy amplio, desde la utilización en pequeños aparatos –como relojes y calculadoras– hasta la electrificación de viviendas aisladas,<sup>15</sup> pasando por las señalizaciones terrestres y marítimas, el bombeo de agua, las telecomunicaciones o el alumbrado público.

Un sistema de suministro eléctrico autónomo basado en la transformación fotovoltaica de la energía solar está formado por los equipos necesarios para producir, regular, acumular y transformar, si es necesario, la energía eléctrica.

Los componentes habituales que forman la instalación son: módulos fotovoltaicos, regulador, baterías, ondulator, soportes, cableado, sistemas de protección y contadores.

---

<sup>15</sup> En este informe no se habla de las instalaciones fotovoltaicas conectadas a red.



Componentes habituales de una instalación de energía solar fotovoltaica aislada

### Módulos fotovoltaicos

También denominados placas o paneles solares, los módulos están formados por células fotovoltaicas, habitualmente de silicio dopado, de tensión nominal de alrededor de 0,5 V, que son las encargadas de convertir la luz en electricidad. Todas las células de la placa están unidas entre si en serie, alcanzando normalmente una tensión nominal por módulo de 12, 24 o 48 V.

La potencia nominal de un módulo se mide en Watts-pic (Wp), que indican la potencia que puede generar el módulo cuando está sometido a una cantidad de irradiación normalizada, establecida en 1.000 W/m<sup>2</sup>, y a una temperatura de 25°C.

Un módulo de, por ejemplo, 40 Wp, producirá 40 Wh de energía si durante una hora recibe esta radiación estandarizada (1000 W/m<sup>2</sup>). Pero si la radiación solar no es de esta intensidad, necesitará más de una hora para producir estos 40 Wh. De ahí surge el concepto de hora solar pic antes comentado.

Se denomina campo fotovoltaico al conjunto de módulos, el interconexionado entre ellos y su soporte. Puede disponer también de otros componentes, como sistema de seguimiento solar, protecciones eléctricas, etc.

Un campo fotovoltaico fijo se ha de orientar al azimut que permita la máxima exposición en el recorrido solar. En casi todos los casos suele ser el azimut 0, o sea el sur (en el hemisferio norte) o el norte (hemisferio sur) geográficos.

La inclinación óptima será diferente según la aplicación del sistema de generación fotovoltaico. Si se trata de un suministro autónomo, se optará por la inclinación que ofrezca más producción en el período más desfavorable del año o cuando el consumo sea más alto.

### Regulador

El regulador controla el proceso de carga y descarga de las baterías. Así, puede reducir la intensidad de corriente producida por el campo fotovoltaico en función del estado de las baterías, y llegar incluso a desconectar la carga (la entrada de corriente procedente de los módulos) si las baterías ya están bastante cargadas, o bien cortar la salida hacia el consumo si las baterías están peligrosamente bajas.

### Acumuladores

Como la energía eléctrica no tiene porque consumirse cuando se genera, hay que acumularla en baterías. Los tipos de baterías más utilizados en instalaciones fotovoltaicas son las de plomo - ácido, aunque en algunas aplicaciones muy específicas a veces se utilizan las de níquel - cadmio.

Las baterías hay que colocarlas en un lugar cubierto, aislado y seco, ya que desprenden gases tóxicos y son uno de los componentes más susceptibles a estropearse si no se hace el mantenimiento adecuado.

Normalmente se trata de vasos de 2V conectados en serie.

### **Ondulador**

La corriente generada por las placas fotovoltaicas y lo que acumulan las baterías es corriente continua a 12, 24 o 48 voltios. Aunque se puede consumir esta corriente eléctrica generada directamente con aparatos de corriente continua (bombillas y otros pequeños electrodomésticos), normalmente la mayoría de aparatos de consumo utilizan corriente alterna (tanto en Cataluña como en São Tomé) a 220-230 voltios, a 50 Hz. El aparato destinado a transformar la corriente continua (a 12, 24, 48 voltios, etc.) en alterna (a 220-230 V) es el ondulador (también denominado inversor o convertidor).

### **Aparatos de protección**

Para evitar que los posibles cortocircuitos que se puedan producir en la instalación eléctrica perjudiquen las baterías o provoquen incendios, hay que dotar de sistemas de protección a la instalación.

Para la parte de corriente continua se pueden utilizar fusibles o magnetotérmicos, para cortar el paso de corriente, dimensionados por las intensidades previstas para cada circuito. Para el circuito a 220 V c.a. hay que poner, además, un diferencial para reducir el riesgo para las personas en caso de recibir calambres.

### **Cableado**

El cableado de interconexión de las placas de un campo fotovoltaico, así como el que conecta el campo fotovoltaico con las baterías, ha de reunir las condiciones adecuadas de aislamiento y protección, así como de sección.

### **Mantenimiento de la instalación**

Las instalaciones fotovoltaicas, en general, son fáciles de mantener. Sin embargo, una instalación que no tenga el mantenimiento que le corresponde, fácilmente tendrá problemas en un plazo más o menos corto. Hay deficiencias que conducirán simplemente a una reducción del rendimiento de la instalación, otras podrán provocar el deterioro de algún equipo y otras acortarán su vida activa.

Según el tipo de instalación, su potencia y sus componentes, se precisará más o menos mantenimiento, una parte del cual deberá recaer en un especialista y otra en el usuario.

Las operaciones de mantenimiento que normalmente recaerán en el usuario son:

**Módulos fotovoltaicos:** Limpieza de la superficie. Esta operación hay que efectuarla especialmente después de un período largo sin lluvias o bien después de una lluvia de barro. En general, para la limpieza de las placas no se han de utilizar productos abrasivos o estropajos metálicos.

**Estructura de soporte:** Si el material es madera tratada químicamente o hierro galvanizado, no necesita mantenimiento. Si la estructura de apoyo es de hierro pintado, habrá que reparar los puntos en los que salta la pintura, primero con minio y después con la pintura adecuada.

**Baterías:** Además de ir controlando las indicaciones o alarmas de los indicadores del regulador, también se ha de hacer el mantenimiento de las propias baterías. Así, se ha de asegurar que el nivel del electrolito esté entre el máximo y el mínimo. En caso de que

bajase por debajo del mínimo, habría que añadir agua destilada. Hay que procurar no mojar ni los bornes ni las platinas de conexión. La parte superior de las baterías se ha de proteger del polvo (por ejemplo, con una tapa de madera o de plástico, evidentemente nunca de material metálico, que cubra todo el conjunto de elementos). Los bornes hay que protegerlos de la acumulación de sales y óxidos con una capa de vaselina neutra o grasa de silicona.

Una instalación FV ha de garantizar que los módulos solares estén protegidos de sombras; por este motivo, las hileras de módulos tendrán que cumplir una distancia mínima de separación.

### 5.3 Experiencias previas energía solar fotovoltaica

Existen varias experiencias en la aplicación de sistemas de energía solar fotovoltaica en São Tomé y Príncipe. A continuación, se listan y muestran algunas fotografías de estas instalaciones.

- Empresa de Telecomunicaciones, diversas antenas, algunas de ellas todavía funcionando.



- Faros de la Marina Portuguesa en diferentes puntos de la isla. Todos están funcionando perfectamente.



- Electrificación de viviendas rurales en la región de Micoló, proyecto impulsado por la UNESCO y la Dirección de Recursos Naturales de STP, 1999-2000. Se escogió la región norte de la isla ya que tiene más insolación, menos precipitaciones y menos vegetación. Una empresa de Portugal, SPES (Sociedad Portuguesa de Energía Solar) ganó el concurso de la instalación y equipos. Se instalaron 4 sistemas autónomos en viviendas particulares que funcionaron durante aproximadamente un año, pero debido a la “desinformación” de los usuarios, éstos sobreexplotaron la instalación, pusieron más cableado para vender energía a los vecinos, lo que llevó a la inhabilitación de la instalación.



- Instalación autónoma en el seminario del Obispado, en la misma ciudad de São Tomé. Actualmente no está funcionando debido a que se ha querido ampliar la instalación y se está esperando la llegada de los nuevos equipos.



Respecto a la experiencia en formación de técnicos para la instalación y el mantenimiento de estos equipos, comentar que actualmente dos estudiantes universitarios saotomenses están formándose en Portugal en el ámbito de las energías renovables. También comentar que el personal del EMAE recibió formación a través de un proyecto financiado por la UE, donde se hizo un curso sobre Eficiencia Energética durante 15 días con profesorado de Coimbra (Portugal).

Sería necesario fomentar más este tipo de formación, ya no sólo para instalar o mantener un sistema sino para poder diseñar nuevos sistemas y conseguir así realmente un efecto multiplicador.

#### **5.4 Casos de estudio**

Con el apoyo de las contra-partes en São Tomé, Natcultura y STEPUP, en este primer viaje se han visitado cinco escuelas, de zonas geográficas dispersas por toda la isla, que servirán como casos de estudio de la viabilidad de una instalación solar fotovoltaica.

Así, además de documentar gráficamente, en este informe se cuantifica su demanda energética en electricidad (la actual y una previsión futura), y se presenta un dimensionado y un presupuesto aproximado de la instalación fotovoltaica necesaria para cubrir esta demanda (sólo para el consumo en iluminación y en el mes más desfavorable de radiación).

Se presenta también un croquis aproximado de la distribución de las escuelas para dar una idea de sus dimensiones.

Hay que indicar que el presupuesto es orientativo. Los equipos comerciales finalmente escogidos (las especificaciones de los cuales se pueden ver en el Anexo VII), si se llevasen a cabo las instalaciones, podrían ser de otras marcas y/o características de los aquí escogidos, cosa que haría variar tanto el coste como incluso las dimensiones (por ejemplo, si una instalación requiere

4 módulos de 160 Wp y los módulos finalmente escogidos tienen una potencia nominal inferior, serán necesarios más módulos).

Es necesario destacar también que al coste final indicado en cada presupuesto habría que añadirle un 15% más, ya que faltaría sumar el coste de:

- Cargador de baterías
- Cuadro eléctrico con protecciones
- Instalación, mano de obra y transporte
- Estructura soporte

Las escuelas escogidas para el estudio son:

- Santa Catarina
- São Joao dos Angolares
- Aguaizé
- Diogo Vaz
- Porto Alegre



En la escuela de Diogo Vaz será donde se haga, en la siguiente fase, la prueba piloto de puesta en marcha de un sistema de generación eléctrica basado en energías renovables (fotovoltaica o biomasa, según la viabilidad observada). Se elige esta escuela ya que se trata de un centro de formación profesional donde la instalación y su posterior mantenimiento podrá ser desarrollado por los propios alumnos previa capacitación, como valor añadido al proyecto.

Para los cálculos de consumo de las escuelas, para poder hacer el posterior dimensionado de la instalación solar fotovoltaica, se han calculado dos valores:

- el del consumo sólo en iluminación de las instalaciones eléctricas ya existentes,
- y el de los consumos aproximados si se dispusiese de instalación en todas las dependencias de las escuelas (diferenciando en la tabla lo que son instalaciones ya existentes, y lo que son instalaciones posibles que podría haber en un futuro).

Esta diferenciación se hace para ser realistas, ya que las escuelas visitadas son bastante grandes y, por tanto, la dimensión y el presupuesto del sistema solar aumenta considerablemente de lo que se podía pensar a priori.

Otro aspecto a tener en cuenta a la hora de analizar los cálculos de consumo aquí presentados es que los enchufes que se han encontrado en las instalaciones eléctricas, debido a que por si solos no representan ningún consumo concreto sino que depende de los aparatos conectados a ellos, se ha supuesto para la mayoría de los casos que se podrían conectar un ordenador y una radio (4 horas diarias cada uno).

Finalmente, indicar que toda instalación requiere una estructura de soporte para los módulos fotovoltaicos que debería ir colocada sobre los tejados de los edificios, y una sala donde poder colocar las baterías, ventilada, sin mucha humedad y aislada de otros usos. Casi todas las escuelas visitadas disponen de un almacén que podría utilizarse en ese sentido.

## Santa Catarina

Santa Catarina está situada en el Noroeste de la isla de São Tomé.

Algunas de las características de la escuela son:

- Tiene 375 alumnos (el núcleo urbano de Santa Catarina tiene unos 750 habitantes, pero los alumnos vienen de más lejos)
- Hacen dos turnos: mañanas de 7.30h a 11.30h y tardes de 12h a 16h.
- La profesora que nos atiende se llama Lucilda Pina.
- No disponen de generador ni llega la red eléctrica, pero el edificio de primaria tiene instalación eléctrica de origen (bastante estropeada) y, en cambio, el de secundaria, a pesar de ser más nuevo, ya que fue inaugurado en 2004, no dispone de instalación eléctrica.



Escuela de Secundaria



Escuela de Primaria



Interior aula de Primaria



Comedor

Croquis aproximado de la distribución de la escuela:

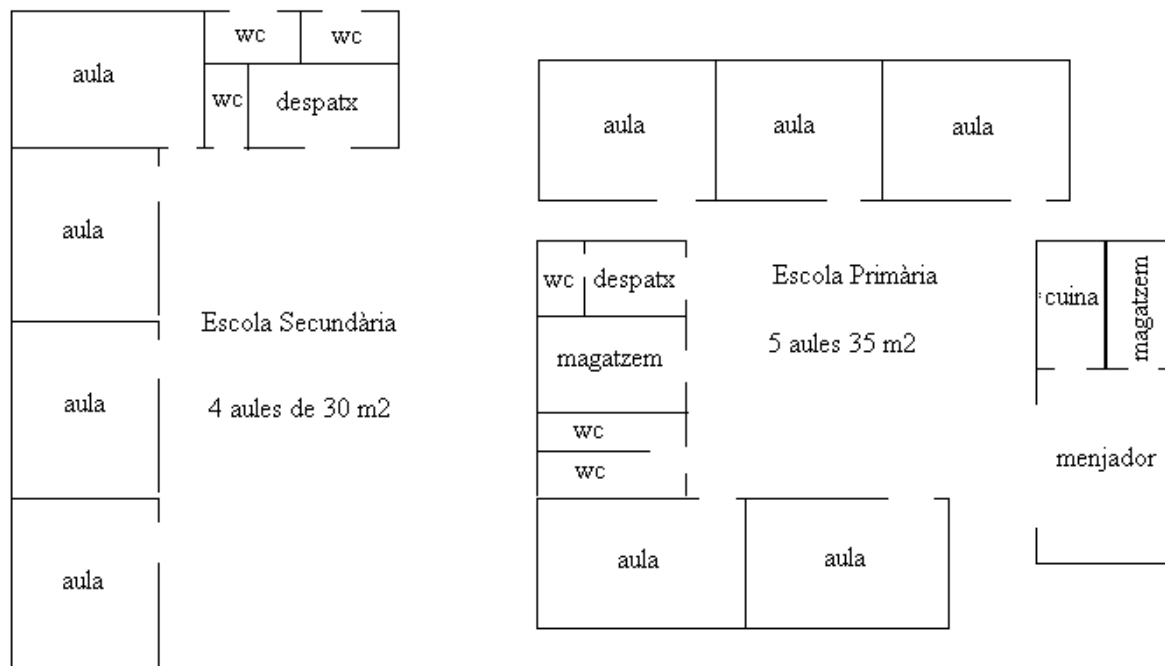


Tabla de consumos diarios aproximados de la escuela:

ESCUELA SANTA CATARINA		Equipos	Unidades por aula	Unidades escuela	Potencia unitaria W	Potencia total W	Tiempo funcionamiento horas	Consumo total Wh
<b>Escuela Primaria</b>								
<b>Aulas</b>	5							
		<b>Existentes:</b>						
		Bombillas (*)	0		15			0
		Fluorescentes	6	30	36	1080	4	4320
		Enchufes	1	5				
		<b>Posibles:</b>						
		Ordenador	1	5	150	750	2	1500
		Radio	1	5	50	250	2	500
<b>WC</b>	3							
		<b>Existentes:</b>						
		Bombillas	0		15			0
		Fluorescentes	2	6	36	216	1	216
		Enchufes	0					
<b>Despacho</b>	1							
		<b>Existentes:</b>						
		Bombillas	1	1	15	15	4	60
		Fluorescentes	0		36			0
		Enchufes	1	1				
		<b>Posibles:</b>						
		Ordenador	1	1	150	150	4	600
		Radio	1	1	50	50	2	100
<b>Cocina</b>	1							
		<b>Posibles:</b>						
		Bombillas	0		15	0		0
		Fluorescentes	2	2	36	72	2	144
		Enchufes	2	2				



			Nevera 200 l. (**)	1	1	150	150		1200
			Pequeños electrodomésticos (batidora, exprimidora, etc.)	2	2	500	1000	1	1000
<b>Comedor</b>	1								
		Posibles:							
		Bombillas		0		15	0		0
		Fluorescentes		4	4	36	144	2	288
		Enchufes		3	3				
<b>Almacén</b>	2								
		Posibles:							
		Bombillas		0		15	0		0
		Fluorescentes		1	2	36	72	2	144
		Enchufes		1	2				
<b>Escuela Secundaria</b>									
<b>Aulas</b>	4								
		Posibles:							
		Bombillas		0		15			0
		Fluorescentes		3	12	36	432	4	1728
		Enchufes		1	4				
		Ordenador		1	4	150	600	2	1200
		Radio		1	4	50	200	2	400
<b>WC</b>	3								
		Posibles:							
		Bombillas		0		15			0
		Fluorescentes		1	3	36	108	1	108
		Enchufes		0					
<b>Despacho</b>	1								
		Posibles:							
		Bombillas		1	1	15	15	4	60
		Fluorescentes		0		36			0
		Enchufes		1	1				
		Ordenador		1	1	150	150	4	600
		Radio		1	1	50	50	2	100

<b>TOTAL</b>	<b>14268</b>
<b>TOTAL iluminación existente</b>	<b>4596</b>

(\*) Bombilla de bajo consumo 15 W 220 V

(\*\*) Consumo diario

Presupuest  
o Santa Catarina

CONSUMO (Wh)

TOTAL	14268
TOTAL iluminación existente	4596
20%	5515,2

HSP mes más desfavorable	5,42
--------------------------	------

Noviembre

Equipo	Marca	Modelo	Especificaciones	UNIDADES	COSTE UNITARIO	COSTE TOTAL
Módulos	BP Solar	BP3160S	160 Wp 4,55A 35,1V	En paralelo		
				8	1124	8992
Regulador	Morningstar	Tristar 60A	58A	1	193,49	193,49
Acumuladores	Hoppecke	12V OPzS 1200	Descarga C100	En serie		
				2	3552	7104
Ondulador	Victron	Phoenix Inverter 24/3000	3000w onda sinoidal 24Vcc/220Vca	1	1575	1575

TOTAL (euros)	17864,49
---------------	----------

## São Joao dos Angolares

Algunas de las características de la escuela son:

- Tiene 432 alumnos y 11 profesores (el distrito de angolares tiene unos 5.000 habitantes).
- Hacen dos turnos de clases: de 7h a 11.30h y de 12h a 16.30h.
- De 18h a 20h se hacen clases de alfabetización de adultos.
- Las dos escuelas, la de primaria y la de secundaria, tienen instalación eléctrica que funciona con generador de gasoil común a todo el municipio, que normalmente está en funcionamiento de 10h a 12h y de 17h a 21h.



Escuela Secundaria



Escuela Primaria



Aula escuela Secundaria



Aula escuela Primaria



Congelador



Comedor

Croquis aproximado de la distribución de la escuela:



ESCUELA SÃO JOAO DOS ANGOLARES		Equipos	Unidades por aula	Unidades escuela	Potencia unitaria W	Potencia total W	Tiempo funcionamiento horas	Consumo total Wh
<b>Escuela Primaria</b>								
<b>Aulas 1</b>	4							
		<b>Existentes:</b>						
		Bombillas	0		15			0
		Fluorescentes	9	36	36	1296	4	5184
		Enchufes	1	4				
		<b>Posibles:</b>						
		Ordenador	1	4	150	600	2	1200
		Radio	1	4	50	200	2	400
<b>Aulas 2</b>	2							
		<b>Existentes:</b>						
		Bombillas	0		15			0
		Fluorescentes	6	12	36	432	4	1728
		Enchufes	1	2				
		<b>Posibles:</b>						
		Ordenador	1	2	150	300	2	600
		Radio	1	2	50	100	2	200
<b>WC</b>	4							
		<b>Existentes:</b>						
		Bombillas	0					0
		Fluorescentes	1	4	36	144	1	144
		Enchufes	0					
<b>Despacho</b>	2							
		<b>Existentes:</b>						
		Bombillas	0	0	100	0	4	0
		Fluorescentes	1	2	36	72	4	288

		Enchufes		1	1				
		Ventilador		1	1	40	40	2	80
		Congelador		1	1	150			1200
		Posibles:							
		Ordenador		1	1	150	150	4	600
		Radio		1	1	50	50	2	100
<b>Cocina</b>	1								
		Posibles:							
		Bombillas		0		100	0		0
		Fluorescentes		2	2	36	72	2	144
		Enchufes		2	2				
		Nevera 200 l.		1	1	150	150	1	150
		Pequeños electrodomésticos (batidora, exprimidora, etc.)		2	2	500	1000	1	1000
<b>Comedor</b>	1								
		Posibles:							
		Bombillas		0	0	15	0		0
		Fluorescentes		6	6	36	216	4	864
		Enchufes		2	2				
<b>Biblioteca</b>	1								
		Existentes:							
		Bombillas		0			0		0
		Fluorescentes		2	2	36	72	2	144
		Enchufes		1					
<b>Cantina</b>	1								
		Existentes:							
		Bombillas		0			0		0
		Fluorescentes		1	1	36	36	2	72
		Enchufes		1	1				
<b>Porche</b>	2								
		Existentes:							
		Bombillas		0			0		0
		Fluorescentes		1	2	36	72	2	144
<b>Escuela Secundaria</b>									
<b>Aulas</b>	4								
		Existentes:							
		Bombillas		0		100			0
		Fluorescentes		4	16	36	576	4	2304
		Enchufes		1	4				
		Posibles:							
		Ordenador		1	4	150	600	2	1200
		Radio		1	4	50	200	2	400
<b>WC</b>	3								
		Existentes:							
		Bombillas		0					0
		Fluorescentes		1	3	36	108	1	108
		Enchufes		0					
<b>Despacho</b>	1								
		Existentes:							
		Bombillas (*)		0	0	15	0	4	0
		Fluorescentes		2	2	36	72	4	288
		Enchufes		2	2				