



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA

Curso Académico:



# INDICE

INDICE.....	1
MEMORIA.....	3
Resumen de los antecedentes de la vivienda .....	5
Identificación de las necesidades energéticas .....	5
Ubicación de las instalaciones solares .....	7
Partes comunes a los dos esquemas .....	8
Estudio de iluminación .....	8
Resumen de los elementos comunes .....	11
Puntos de consumo en la vivienda .....	11
Cálculo de los cables de fase y neutro. ....	14
Protección contra sobrecargas .....	19
Cálculo de los cables de puesta a tierra .....	22
Vivienda conectada a red .....	24
Esquema eléctrico.....	24
Cálculo del número de paneles .....	25
Cálculo del inversor y del regulador .....	28
Cálculo del cableado necesario .....	31
Cálculo de los elementos de protección .....	35
Vivienda aislada.....	38
Esquema eléctrico.....	38
Cálculo del número de paneles .....	38
Cálculo del número de baterías.....	40
Cálculo del inversor y del regulador .....	41
Cálculo del cableado necesario .....	43
Cálculo de los elementos de protección .....	47
PRESUPUESTO.....	51
Presupuesto de la instalación conectada a red.....	53

**Proyecto de vivienda energéticamente sostenible situada en San Vicente del Raspeig (Alicante). Instalación fotovoltaica.**

Presupuesto de la instalación aislada de red ..... 55

BIBLIOGRAFIA

PLANOS

ANEXOS

# **MEMORIA**

**Proyecto de vivienda energéticamente sostenible situada en San Vicente del Raspeig (Alicante). Instalación fotovoltaica.**

**AUTOR: Andreu Dana Martín**

**TUTOR: César Santiago Cañas Peñuelas**

**COTUTOR: Saturnino Catalán Izquierdo**



**Proyecto de vivienda energéticamente sostenible situada en San Vicente del Raspeig (Alicante). Instalación fotovoltaica.**

## Resumen de los antecedentes de la vivienda

La vivienda del estudio está ubicada en la ciudad de Alicante, en la latitud 38.34N aproximadamente. El clima de la zona es primordialmente desértico, lo que le proporciona unos 298 días al año de sol de media. La latitud es baja, que hace que reciba una mayor radiación solar por unidad de superficie. Todo esto la convierte en una ubicación bastante buena para un proyecto de energía solar.

La vivienda escogida es una vivienda unifamiliar grande, con parcela alrededor. Cuenta con tres pisos cerrados y una azotea amplia, donde se ubicara toda la instalación de paneles solares.

### **Identificación de las necesidades energéticas**

La vivienda es unifamiliar, aunque por sus características estructurales, como la altitud de los techos o la abundancia de espacios abiertos, presenta unas cualidades especiales. La temperatura interior es bastante baja durante todo el año, lo que conlleva que no posea ningún elemento de refrigeración, porque no lo necesita, y que sin embargo sus consumos para calefacción sean impensables. Esto llego hasta tal límite que el consumo de energía eléctrica para el suministro de calor durante 6 meses duplicaba el consumo del resto de aparatos durante todo un año, con lo que se obtenía un consumo de energía de tres veces la actual. Para corregir este sistema, se hicieron reformas y se implantó un sistema de calefacción por agua caliente, proveniente de una caldera que funciona con gas, y que también abastece el suministro de agua caliente sanitaria.

En este estudio en su origen se intentaba implementar todos los sistemas de esta casa mediante energía eléctrica, pero, como ya se ha dicho, el consumo de calefacción es enorme, aun usando aparatos de última generación, lo que se traduciría en un aumento del gasto en paneles y los sistemas subsidiarios.

Como se busca conseguir un uso práctico, y viendo que la combustión es un método mucho más eficiente para calefacción que la energía eléctrica desde el punto de vista térmico, se ha decidido suponer de ahora en adelante que la vivienda dispondrá de un sistema complementario al eléctrico para suplir la caldera de agua caliente antes mencionada, que no tendría por qué ser gas ciudad (que no es renovable) sino algún otro sistema más amigable con el medio ambiente, como puede ser el uso de gas procedente de tratamientos de biomasa o incluso de "pellets". Así, aunque usaríamos combustibles para la calefacción de la vivienda, serian combustibles renovables y respetuosos con el medio ambiente, lo que mantiene el "espíritu" de este trabajo.

Para obtener el consumo de nuestra vivienda nos remitiremos a las facturas de todo un

**Proyecto de vivienda energéticamente sostenible situada en San Vicente del Raspeig (Alicante). Instalación fotovoltaica.**

año. A causa de la nueva instalación de gas, los datos de consumo que aparecen en las facturas han sido revisados; como la vivienda no cuenta con ningún sistema de refrigeración en verano, se ha decidido que para calcular un consumo en invierno medianamente razonable se usara la media de los consumos durante los meses que no hay calefacción.

Sumando esos consumos y dividiéndolos por los días del año obtenemos el consumo por día que necesitamos en nuestra vivienda. Todo esto queda reflejado en la tabla siguiente:

Periodo	Consumo Neto Wh
Enero-Marzo	845000
Marzo-Mayo	840000
Mayo-Julio	851000
Julio-Septiembre	841000
Septiembre-Noviembre	845000
Noviembre-Enero	845000
Anual	5067000
Media diaria	13882

**Tabla 1 – Datos de consumo por bimestre**

Por lo tanto, a partir de ahora se usará el valor de 13882 Wh como valor estándar de consumo medio para el resto de los cálculos.

**Proyecto de vivienda energéticamente sostenible situada en San Vicente del Raspeig (Alicante). Instalación fotovoltaica.**

## **Ubicación de las instalaciones solares**

La instalación de los paneles solares se efectuará en la azotea de la vivienda, colocados en hileras orientadas al Sur. Por otra parte, tanto los reguladores como el inversor irán en un cuarto propio en la planta inmediatamente inferior a la azotea, correctamente ventilado. Las líneas de los cables entre la azotea y el cuarto serán a través del techo, dentro de su propio tubo de protección. Entre el cuarto y la planta suelo se efectuará mediante una canalización externa a la vivienda, de ladrillo o metálica, en la que circulará el cable correspondiente dentro de su propio tubo de protección.

Una vez a la altura de tierra ya se derivará el cable hasta la red o hasta el Cuadro General de Mando y Protección dependiendo del tipo de conexión.

## Partes comunes a los dos esquemas

### **Estudio de iluminación**

Se ha efectuado un estudio de iluminación de la vivienda, mediante el programa de cálculo de iluminación Dialux. Se han estudiado los dormitorios, los baños, los dos salones, la cocina y el recibidor, por considerarse los lugares de la vivienda donde la luz importa más. Para este estudio se han usado lámparas de la compañía LG, todas ellas de bajo consumo, de no más de 25 W por lámpara, lo que posibilita su agrupación sin sobrepasar el cálculo máximo de puntos de luz de la norma. Como no se pueden saber exactamente que lámparas colocará el cliente, se han elegido una lámpara tipo para cada situación, que son estas:

- Una luminaria alargada, para iluminación tenue de grandes espacios o iluminación concentrada como en los muebles de aseo.
- Una luminaria circular para iluminación tenue de grandes espacios.
- Una luminaria circular para iluminación potente de grandes espacios o como luz de estudio en sitios concretos.
- Bombillas, que pueden ir agrupadas en cuatro para representar una lámpara de hogar común, o sueltas que representan luz auxiliar.
- Una luminaria cuadrada y potente, que representa la luz del extractor de la cocina.

Como no hay una norma específica que defina los niveles de iluminación mínimos y máximos de cada habitación, se ha buscado en internet en sitios especializados para encontrar unas directrices aproximadas. Estos son más o menos los valores de luz confortables para una vivienda:

- **Cocina:** Iluminación general 300 lux y en la zona de cocina 500.
- **Dormitorio:** Iluminación confortable 50 lux, 200 lux sobre la cabecera y 500 si se lee.
- **Baño:** Iluminación general 100 lux, para maquillarse o afeitarse 300.
- **Sala de estar:** Iluminación confortable 100 lux, para ver la televisión 70 y para leer 500.

Con estos datos, que como ya se ha dicho son muy orientativos a falta de una normativa oficial, se ha procedido al cálculo de los diferentes puntos de luz de la vivienda. En las habitaciones y en la sala de estar se han tenido en cuenta puntos de luz auxiliares que no estarán conectados a la línea de puntos de luz, sino que estarán en una lamparita auxiliar o un flexo conectados a una toma de corriente.

Todos los resultados del Dialux están adjuntos en el apartado de Anexos, por lo que no

## **Proyecto de vivienda energéticamente sostenible situada en San Vicente del Raspeig (Alicante). Instalación fotovoltaica.**

será necesario volver a copiarlos aquí. Estos se conforman de los mapas de isolíneas de lux a nivel de plano útil por cada habitación.

- **El recibidor** – Cuenta con una lámpara central, formada por cuatro bombillas de bajo consumo conectadas a un solo punto de luz. La zona central, donde se espera recibir a la gente está bastante iluminada, y esta cantidad de iluminación va bajando en los límites de la habitación.
- **La sala de estar** - Esta habitación es la principal de la casa, cuenta con dos luminarias alargadas para dar una buena luz de ambiente y una lámpara auxiliar conectada a una toma de corriente en una esquina para lectura. Con esta lámpara encendida hay un nivel de luz suficiente para leer con comodidad, mientras que si se apaga la luz se hace más tenue para estar en un entorno de confort y ver la tele.
- **El salón** – Se pueden apreciar dos entornos separados, una zona pegada a la sala de estar que tiene una luz ambiente mediante luminarias circulares tenues y otra más extensa que está iluminada con un par de luminarias alargadas independientes de las anteriores. Como no se sabe muy bien el uso que tendrá esta habitación, no se han añadido más puntos de luz, confiando en que si algún día se necesitan se puedan suplir con la abundancia de tomas de corriente que hay.
- **La cocina** – La cocina cuenta también con dos entornos separados, uno para cocinar y otro para. Por ello se le han habilitado tres puntos de luz, dos para el área de cocina y otro independiente para el área de comer. En el área de comer se ha colocado una luminaria alargada para dar luz de ambiente. En el área de comida hay dos parejas de luminarias circulares de luz tenue, para dar una buena luz ambiente. Además, se ha supuesto que el extractor contará con su propia luz que iluminará suficientemente toda el área de corte y trabajo.
- **La habitación principal** – Esta habitación cuenta con dos luminarias circulares de luz tenue, dos lamparitas auxiliares a la altura del plano útil y además un foco potente en un cuarto anexo para el estudio. Se han supuesto dos casos. En el caso de que se quiera leer en la cama, o de que se quiera tener iluminada la habitación por algún motivo, con conectar ambas lamparitas y las luminarias del techo se consigue una luz ambiente de alrededor de 200 luxes; con zonas de 500 luxes en la cabecera de la cama para la lectura. En el otro caso, en que se quiera tener una luz ambiente o ver la tele, con apagar las lámparas auxiliares se consigue una iluminación tenue en toda la habitación. Por otra parte, para el estudio o trabajo, el flexo de el cuarto anexo proporciona la luz suficiente sea cual sea el caso.
- **La habitación 2** – Esta habitación cuenta con una luminaria alargada para dar una luz ambiente de aproximadamente 70 luxes, y cuenta además con un flexo

## Proyecto de vivienda energéticamente sostenible situada en San Vicente del Raspeig (Alicante). Instalación fotovoltaica.

para el estudio que da una luz potente en el área de trabajo.

- **La habitación 3** – Similar a la anterior, también cuenta con la misma luminaria alargada, que por ser la habitación más pequeña consigue una iluminación de unos 120 luxes; y con un flexo para el trabajo.
- **La habitación 4** – Esta habitación, contrariamente al resto, cuenta con una pared orientada al sur, lo que le reportará una cantidad de luz ingente durante el día. Por suponer más opciones, se ha efectuado el estudio suponiendo una lámpara de cuatro bombillas como en el recibidor, además de un flexo en el área de trabajo y una luz auxiliar en la cabecera de cama. La habitación contará con una luz tenue de no menos de 100 luxes en la mayoría del espacio y una luz potente de estudio.
- **El baño 1** – Se ha elegido una luminaria circular de luz tenue para iluminar el área, además de una luminaria alargada que hará las veces de luz de espejo para afeitarse o maquillarse. Esto consigue una zona delante del espejo de mas de 250 luxes.
- **El baño 2** – Análogamente al apartado anterior, este baño también cuenta con una luminaria circular de luz tenue y una luminaria alargada de luz de espejo. Al ser una habitación más pequeña, tiene un lux medio mayor, y se consigue una luz para afeitarse o maquillarse de más de 300 lux.
- **El baño 3** - Finalmente, el baño del piso de abajo no se ha previsto que cuente con baño o ducha. Además, está muy alejado de los dormitorios. Por ello, no se prevé que se use para afeitarse o maquillarse, por lo que solo se le ha tenido en cuenta una luminaria alargada que da una luz media general.

## **Resumen de los elementos comunes**

Este es un resumen de todos los apartados siguientes, donde se darán los datos de las características comunes a ambos esquemas, esto es, todo el cableado y las líneas aguas abajo del Cuadro General de Mando y Protección.

Línea	Sección de línea y neutro	Sección puesta tierra	Int.Nominal PIA
Illum. Bajo	1,5	4	10
Illum. alto	1,5	4	10
Exterior	1,5	4	10
Enchufes Bajo	4	4	20
Enchufes Alto	6	6	25
Horno y Cocina	6	6	25
Nevera	1,5	4	10
Lavadora y Lavavajillas	4	4	20
Aseos y Cocina	16	16	40

**Tabla 2 – Resumen del cableado común**

Como se puede ver, hay 9 líneas, cada una con sus secciones normalizadas y una protección contra sobrecorrientes. El proceso de cálculo se verá más adelante y solo queda reseñar que si bien a línea exterior se ha calculado como separada en dos partes, al ver que daba resultados idénticos se ha decidido juntar en una, ya que tiene muy pocos puntos de consumo.

## **Puntos de consumo en la vivienda**

La vivienda de la que es objetivo este estudio se ha pensado para que sea energéticamente sostenible y además amable con el medio ambiente. Para ello, se buscará además de generar su propia electricidad mediante medios solares, como se explicará en profundidad más adelante, reducir su consumo al mínimo.

Esta reducción de consumo se puede lograr modernizando todos los aparatos de la vivienda, puesto que cada vez se fabrican aparatos que consumen menos a mismo trabajo hecho. A este respecto se dedica este punto y el siguiente.

Según la ITC-BT-25, la vivienda a la que nos referimos será considerada de

## **Proyecto de vivienda energéticamente sostenible situada en San Vicente del Raspeig (Alicante). Instalación fotovoltaica.**

electrificación elevada, y a este respecto se elegirá el número de puntos de corriente por habitación de la Tabla 2 de esa misma instrucción, ya que para calcular el número de puntos de luz se seguirá el estudio de iluminación precedente. También siguiendo esta instrucción se elegirán las diferentes líneas que suministrarán corriente a toda la casa.

Se han elegido, por conveniencia, por el trazado de la vivienda y por seguir la norma; que la vivienda contará con 9 líneas diferentes que partirán desde el Cuadro General de Mando y Protección. Estas son:

- **Illum. Bajo** - Que suministrará a todos los puntos de luz de la planta baja
- **Illum. Alto** - Que suministrará a todos los puntos de luz de las plantas superiores
- **Enchufes Bajo** - Que suministrará a todas las tomas de corriente de la planta baja menos aseos y cocina
- **Enchufes Alto** - Que suministrará a todas las tomas de corriente de las plantas superiores menos aseos
- **Exterior** - Que suministrará a todas las tomas en el exterior de la vivienda
- **Horno y Cocina** - Que suministrará a las tomas del horno y la cocina eléctrica
- **Nevera** - Que suministrará a la toma de la nevera
- **Lavadora y Lavavajillas** - Que suministrará a las tomas de la lavadora y el lavavajillas
- **Aseos y Cocina** - Que suministrará a todas las tomas de corriente de los aseos y de la cocina

Todas las líneas están de acuerdo a lo que dice la norma, menos la toma de nevera, que en la norma aparece dentro del grupo de enchufes generales. Aquí se ha decidido ponerla aparte exclusivamente por intención del autor. Y es que le parece más práctico que la nevera tenga una toma independiente del resto, por dos motivos: En primer lugar a la hora de abandonar la vivienda por un tiempo limitado (como unas vacaciones), se suele decidir apagarla para reducir el consumo, cosa un tanto peliaguda porque la mayoría no cuenta con botón de on/off, de esta forma eso sería mucho más sencillo. En segundo motivo, es el único electrodoméstico de la vivienda que por estar apagado puede generar una pérdida económica mucho mayor que por estar encendido, al contener alimentos perecederos. Por ello, se busca minimizar que la protección de la línea corte el suministro por malfuncionamiento de alguna toma, colocando a la nevera en una línea para ella sola.

## **Proyecto de vivienda energéticamente sostenible situada en San Vicente del Raspeig (Alicante). Instalación fotovoltaica.**

Con vistas a esta clasificación se pueden dividir los aparatos eléctricos de una vivienda en tres grupos: iluminación, electrodomésticos de potencia (que cuentan con una toma especial y una línea especial) y electrodomésticos comunes (que se conectan a las tomas de corriente comunes. De estos tres grupos, solo podemos calcular una mejora del rendimiento energético en dos de ellos, el de iluminación y el de electrodomésticos de potencia, ya que el tercer grupo es demasiado amplio y variable. Los otros dos grupos, por otra parte, son bastante constantes en todas las viviendas.

En la sección de iluminación, se elegirá siempre bombillas de bajo consumo, que tienen una potencia aproximada de 5 veces menos que sus equivalentes incandescentes. Estas suelen ir de 5 a 20 W, por lo que se escogerá como medida orientativa para nuestra vivienda que cada punto de luz consumirá 20 W en lugar de los 200 W que recomienda la norma.

En la sección de electrodomésticos de potencia, se explicará cada electrodoméstico individualmente:

- **Horno** – Buscando hornos energéticamente eficientes, se ha elegido uno de la marca CATA que tiene una potencia de 2380 W, menos de la mitad de los 5400 que recomienda la norma.
- **Cocina** – En cuanto a cocinas eléctricas de inducción, todas rondaban entre 5400 y 6000 W. Se ha escogido una de la marca BOSCH de 5400 W, mismo valor que el que dice la norma.
- **Nevera** – Las neveras son el electrodoméstico donde más se ha avanzado en eficiencia energética. Se ha encontrado una nevera de la marca LIEBHERR con una potencia de 514 W. Una toma de corriente para nevera en la norma supone 3450 W.
- **Lavadora** – Este es otro ámbito donde la eficiencia energética está muy avanzada. Se ha elegido una lavadora AEG de 2200 W frente a los 3450 recomendados por la norma.
- **Lavavajillas** – Finalmente se ha escogido un lavavajillas BOSCH de 2400 W frente a los 3450 que prevé la norma.

Como se deduce de los datos anteriores, si la vivienda posee material eléctrico con una gran eficiencia energética significará que acabaremos sobredimensionando el cableado según nos dicte la norma. Este aspecto se verá en profundidad en el apartado siguiente.

**Proyecto de vivienda energéticamente sostenible situada en San Vicente del Raspeig (Alicante). Instalación fotovoltaica.**

## **Cálculo de los cables de fase y neutro.**

Para obtener el calibre de cada cable de cada línea de la casa se recurrirá a la Tabla 1 de la ITC-BT-25. Como ya se ha comentado en el apartado anterior, esta instrucción está referida a todo lo referente a los puntos de consumo de la vivienda. La Tabla 1 aporta los coeficientes correctores de uso por tipo de línea para usar en la ecuación que viene a continuación y que nos facilita la ITC-BT-25:

$$Int. por Línea = \frac{N^{\circ}tomos * f. simult * f. utiliz * Pot.}{Vred * cos\phi}$$

### **Ecuación 1 – Intensidad esperada de circulación por líneas**

Donde:

- “*N<sup>o</sup>tomas*” es el número de puntos de consumo que habrá en esa línea
- “*f.simult*” es el factor de simultaneidad, proporcionado por la ITC-BT-25 Tabla 1
- “*f.utiliz*” es el factor de utilización, proporcionado por la ITC-BT-25 Tabla 1
- “*Pot*” es la potencia estimada por toma, proporcionada por la ITC-BT-25 Tabla 1
- “*Vred*” es la tensión de red, en este caso 230 V
- “*cosφ*” es el coseno de φ de la instalación, que suponemos 0,8

Con los datos y los resultados de esta ecuación se ha efectuado una tabla donde se incluyen además los datos del calibre necesario para el modelo de cable incrustado en pared de la vivienda, que en este caso es modelo A, según la Tabla 1 de la ITC-BT-19.

**Proyecto de vivienda energéticamente sostenible situada en San Vicente del Raspeig (Alicante). Instalación fotovoltaica.**

	Tomas	Pot. (W)	Fact. Simult.	Fact. Utiliz.	Int.por toma	Int.por línea	Sección tabla
Illum. Bajo	10	200	0,75	0,5	1,09	4,08	1,5
Illum. alto	18	200	0,75	0,5	1,09	7,32	1,5
Exterior Ilumin.	2	200	0,75	0,5	1,09	0,82	1,5
Enchufes Bajo	19	3450	0,2	0,25	18,75	17,81	4
Enchufes Alto	21	3450	0,2	0,25	18,75	19,69	4
Exterior Ench.	4	3450	0,2	0,25	18,75	3,75	1,5
Horno y Cocina	2	5400	0,5	0,75	29,35	22,01	6
Nevera	1	3450	0,75	0,5	18,75	7,03	1,5
Lavadora y Lavavajillas	2	3450	0,66	0,75	18,75	18,56	4
Aseos y Cocina	9	3450	0,4	0,5	18,75	33,75	10

**Tabla 3 – Secciones de las diferentes líneas según norma**

Cabe reseñar que estos datos son los mínimos exigibles por la norma, pero que en el caso de la vivienda estudiada, se han escogido puntos de luz y electrodomésticos de bajo consumo y alta eficiencia energética respectivamente, como se ha explicado en el apartado anterior. Esto repercute en que, para los puntos de los que podemos hacer un cálculo, hay una menor potencia por toma de la que asigna la norma, lo que, siguiendo el procedimiento de la tabla anterior, con la misma ecuación y factores, genera esta tabla que tiene sus propios calibres de cable, que en algunos casos son menores a los de la norma.

**Proyecto de vivienda energéticamente sostenible situada en San Vicente del Raspeig (Alicante). Instalación fotovoltaica.**

	Pot por toma	Potencia total	I línea	Sección tabla
Illum. Bajo	20	200	0,41	1,5
Illum. alto	20	360	0,73	1,5
Exterior Illumin.	20	40	0,08	1,5
Enchufes Bajo	-	-	-	-
Enchufes Alto	-	-	-	-
Exterior Ench.	-	-	-	-
Horno y Cocina	5400 cocina y 2380 horno	7780	15,86	2,5
Nevera	60	60	0,12	1,5
Lavadora y Lavavajillas	2400 lavavajillas y 2200 lavadora	4600	12,38	2,5
Aseos y Cocina	-	-	-	-

**Tabla 4 – Secciones de las diferentes líneas según cálculo bajo consumo**

En la tabla siguiente se ha hecho una breve comparativa para observar más claramente la diferencia de intensidad que circulará por cada línea si se hace caso a la norma o si se hace caso al consumo real que se observará. Se puede ver que algunos cables si que tendrían un calibre menor en base a la diferencia de intensidades.

**Proyecto de vivienda energéticamente sostenible situada en San Vicente del Raspeig (Alicante). Instalación fotovoltaica.**

	I línea norma	I línea eficiente
Illum. Bajo	4,08	0,41
Illum. alto	6,52	0,73
Exterior Illumin.	0,82	0,08
Enchufes Bajo	17,81	-
Enchufes Alto	19,69	-
Exterior Ench.	3,75	-
Horno y Cocina	22,01	15,86
Nevera	7,03	0,12
Lavadora y Lavavajillas	18,56	12,38
Aseos y Cocina	33,75	-

**Tabla 5 – Comparativa entre las diferentes secciones**

Sin embargo, los datos que nos exige la norma son de mínimos, y en ningún caso podemos poner cables de menor calibre aun a pesar de que efectivamente no se necesite mas. Por lo tanto, a partir de aquí se seguirá el cálculo con los datos de calibre de cable de la primera tabla.

Para el cálculo del cable que suministra la energía al Cuadro General de Mando y Protección y de ahí a la vivienda se calculará individualmente en cada apartado, ya que si depende de si la vivienda está conectada a red o aislada.

Una vez tenemos los calibres estimados según la norma, hay que comprobar que dicha sección de cable no presente una caída de tensión de más del 3% de la tensión que hay. Para ello recurrimos a la siguiente formula, que se usara para calcular que sección más pequeña podría haber por línea sin que se diera esa caída de tensión de más del 3% de la tensión nominal

**Proyecto de vivienda energéticamente sostenible situada en San Vicente del Raspeig (Alicante). Instalación fotovoltaica.**

$$Secc. Caída tens = \frac{2 * \rho_{cu} * Long. max. * Int. por línea * \cos\phi}{\%caída * Vred}$$

**Ecuación 2 – Sección mínima para no superar una caída de tensión determinada**

Donde:

- “2” se coloca por ser monofásica, si fuese trifásica iría un  $\sqrt{3}$
- “ $\rho_{cu}$ ” es la resistencia del cobre al paso de la corriente eléctrica;  $0.019 \Omega mm^2/m$
- “*Long.max*” es la longitud del cable más largo de la línea, el que presenta mayor caída
- “*Int.por línea*” es la intensidad prevista de circulación por la línea, calculada anteriormente
- “*cosφ*” es el coseno de φ de los cables, que suponemos 0,8
- “*%caída*” es la caída de tensión máxima deseada, en este caso 0,03
- “*Vred*” es la tensión de red, en este caso 230 V

Con todos estos datos se crea la tabla siguiente, que especifica las secciones mínimas que tienen que darse para que no haya una caída de tensión de más del 3%. Como se puede observar comparando con la tabla anterior, ninguno de esos valores supera los valores calculados con el otro método, por lo que se puede declarar que todos los cables cumplen esta prerrogativa.

**Proyecto de vivienda energéticamente sostenible situada en San Vicente del Raspeig (Alicante). Instalación fotovoltaica.**

	Long. más larga (m)	Secc.caida 3% tens (mm2)
Illum. Bajo	25,2	0,453
Illum. alto	31,5	0,905
Exterior Illumin.	16,1	0,058
Enchufes Bajo	25	1,962
Enchufes Alto	33,8	2,932
Exterior Ench.	16,1	0,266
Horno y Cocina	13,2	1,280
Nevera	22,8	0,706
Lavadora y Lavavajillas	18	1,472
Aseos y Cocina	22,9	3,405

**Tabla 6 – Comparativa entre los diferentes criterios de dimensionamiento de secciones**

## **Protección contra sobreintensidades**

La protección contra sobreintensidades se encarga de proteger el cableado y los aparatos de la vivienda de su desgaste o destrucción a causa de cortocircuitos. Como no depende del esquema eléctrico de la vivienda con su suministro, sino simplemente de la potencia máxima de entrada a la casa (la potencia contratada en un esquema conectado a red y la potencia del inversor en un esquema aislado), del cableado y de los consumos estimados de las tomas, esta protección es común a ambos esquemas.

Según se especifica en la ITC-BT-22, una línea de corriente alterna de una fase y un neutro necesita un aparato de corte en la fase. En una vivienda tipo, hay dos fallos por sobreintensidad común: tener más aparatos conectados de los previstos y por lo tanto cargarse algún equipo que tenga una potencia máxima admisible (como podría ser el inversor del modelo aislado en este caso) o tener un cortocircuito en alguna de las fases debido a un fallo. Al colocar un PIA entre el suministro y la vivienda que regule

**Proyecto de vivienda energéticamente sostenible situada en San Vicente del Raspeig (Alicante). Instalación fotovoltaica.**

esa máxima corriente se evita el primer fallo, y al colocar PIAs independientes en cada línea se evita el segundo. Para el cálculo de la protección contra sobre intensidades se aplicarán dos condiciones:

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

$$I_f \leq 1,45 * I_z$$

Donde:

- “ $I_b$ ” es la corriente de diseño de la línea
- “ $I_n$ ” es la corriente nominal de la protección
- “ $I_z$ ” es la corriente máxima que soporta el conductor
- “ $I_f$ ” es la corriente que garantiza el funcionamiento efectivo de la protección

Como ya se han calculado unos calibres mínimos de cable en apartados anteriores, se trabajará con ellos.

- La  $I_b$  se sacará de las intensidades recomendadas por la ITC-BT-25, como se ha calculado en el apartado anterior.
- La  $I_z$  se calculará de los cables de la ITC-BT-19 Tabla 1, donde se supondrá que nuestros cables son modelo A. Estos datos aparecen también en la Tabla 4.
- La  $I_f$  se calculara a partir de los datos de la tabla que viene a continuación
- Finalmente, con todos esos datos se calculará la  $I_n$  usando alguno de los valores normalizados que vienen a continuación.

$I_n$	Tiempo convencional (h)	$I_f$
$I_n < 4$	1	2,1 $I_n$
$4 < I_n < 16$	1	1,9 $I_n$
$16 < I_n < 63$	1	1,6 $I_n$

**Tabla 7 – Cálculo de la corriente de funcionamiento efectivo**

**Proyecto de vivienda energéticamente sostenible situada en San Vicente del Raspeig (Alicante). Instalación fotovoltaica.**

Con todos los datos se ha creado la tabla siguiente para resumir el conjunto en función de las líneas.

	Ib	Conductor (mm <sup>2</sup> )	Iz	1,45*Iz	If (Tabla)
Illum. Bajo	4,08	1,5	11,5	16,675	7,74
Illum. alto	6,52	1,5	11,5	16,675	12,39
Exterior Illumin.	0,82	1,5	11,5	16,675	1,55
Enchufes Bajo	17,81	4	21	30,45	28,50
Enchufes Alto	19,69	4	21	30,45	31,50
Exterior Ench.	3,75	1,5	11,5	16,675	7,13
Horno y Cocina	22,01	6	27	39,15	35,22
Nevera	7,03	1,5	11,5	16,675	13,36
Lavadora y Lavavajillas	18,56	4	21	30,45	29,70
Aseos y Cocina	33,75	10	37	53,65	54,00

**Tabla 8 – Comparativa de las diferentes intensidades para aplicar criterios**

Como se puede ver en la tabla anterior, hay un par de líneas, la de “Enchufes Alto” y la de “Lavadora y lavavajillas” que no cumplen que  $I_f < 1,45 \cdot I_z$  Por lo que se ha aumentado el calibre de esas líneas, como se muestra en la tabla siguiente. En esta tabla, como ya está todo en orden, aparecen también las intensidades nominales de los distintos fusibles que se colocaran en el Cuadro General de Mando y Protección

**Proyecto de vivienda energéticamente sostenible situada en San Vicente del Raspeig (Alicante). Instalación fotovoltaica.**

	lb	Conductor (mm <sup>2</sup> )	lz	1,45*lz	If (Tabla)	In (frabricante)
Illum. Bajo	4,08	1,5	11,5	16,675	7,74	10
Illum. alto	6,52	1,5	11,5	16,675	12,39	10
Exterior Illumin.	0,82	1,5	11,5	16,675	1,55	10
Enchufes Bajo	17,81	4	21	30,45	28,50	20
Enchufes Alto	19,69	6	27	39,15	31,50	25
Exterior Ench.	3,75	1,5	11,5	16,675	7,13	10
Horno y Cocina	22,01	6	27	39,15	35,22	25
Nevera	7,03	1,5	11,5	16,675	13,36	10
Lavadora y Lavavajillas	18,56	4	21	30,45	29,70	20
Aseos y Cocina	33,75	16	49	71,05	54,00	40

**Tabla 9 – Secciones corregidas para cumplir los criterios y valor de los PIAs**

Valores normalizados según el fabricante de PIA en Amperios:

- 6, 10, 13, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 100, 125

### **Cálculo de los cables de puesta a tierra**

Después de cambiar el calibre de algunas de las líneas en el apartado anterior para adecuarse a la normativa de protección contra sobretensiones, el calibre definitivo de la fase y el neutro de cada línea es el siguiente:

**Proyecto de vivienda energéticamente sostenible situada en San Vicente del Raspeig (Alicante). Instalación fotovoltaica.**

Línea	Ilum. Bajo	Ilum. alto	Exterior Ilumin.	Enchufes Bajo	Enchufes Alto	Exterior Ench.	Horno y Cocina	Nevera	Lavadora y Lavavajillas	Aseos y Cocina
Sección (mm <sup>2</sup> )	1,5	1,5	1,5	4	6	1,5	6	1,5	4	16

**Tabla 10 – Sección definitiva de las diferentes líneas de la vivienda**

Con estos valores definitivos se procederá al cálculo de los calibres de los conductores de puesta a tierra por cada línea según espula la Tabla 2 del ITC-BT-18. En todos los casos se cumple que el cable calculado está dentro de la primera condición de la tabla:

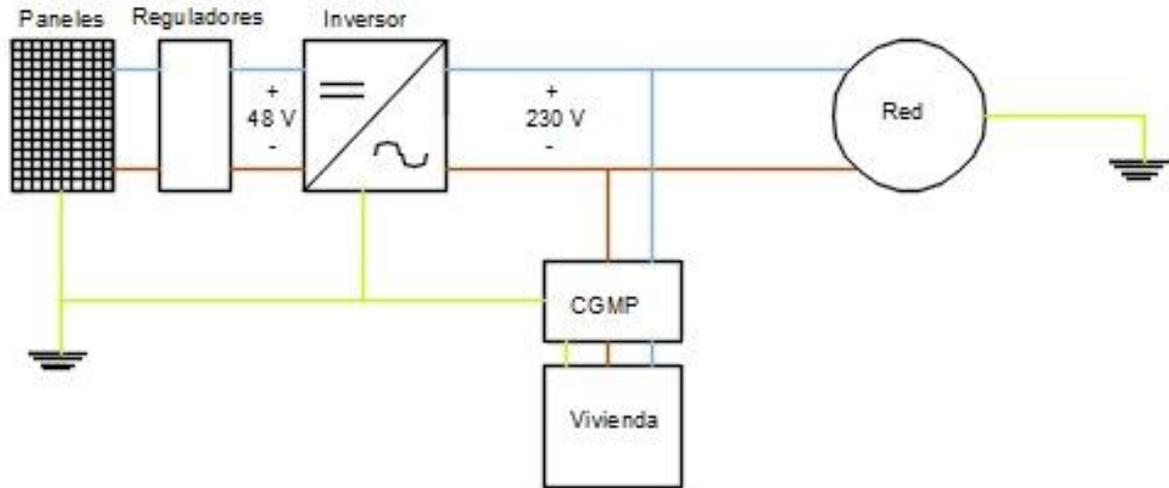
	S	Sp	Sp normalizado
Ilum. Bajo	1,5	1,5	4
Ilum. alto	1,5	1,5	4
Exterior Ilumin.	1,5	1,5	4
Enchufes Bajo	4	4	4
Enchufes Alto	6	6	6
Exterior Ench.	1,5	1,5	4
Horno y Cocina	6	6	6
Nevera	1,5	1,5	4
Lavadora y Lavavajillas	4	4	4
Aseos y Cocina	16	16	16

**Tabla 11 – Cálculo de la sección de los conductores de protección**

Observando los distintos cálculos, se llega a la conclusión de que los cables de puesta a tierra tendrán que ser idénticos a los que llevan corriente exceptuando en los casos menores, ya que la norma especifica que los conductores de puesta a tierra jamás deberán ser inferiores a 4mm<sup>2</sup> para conductores no protegidos mecánicamente.

## Vivienda conectada a red

### Esquema eléctrico



**Imagen 1 – Esquema eléctrico del circuito conectado a red**

Para la vivienda conectada a red se usará un esquema eléctrico TT como el que se muestra en la figura. El grupo de generación de energía solar irá conectado en paralelo con la vivienda y verterá energía a la red, mientras que la vivienda tomará toda la energía de la red en sí.

En el cálculo del presupuesto se explicará pormenorizadamente el sistema de cobro de la tarifa eléctrica.

**Proyecto de vivienda energéticamente sostenible situada en San Vicente del Raspeig (Alicante). Instalación fotovoltaica.**

## **Cálculo del número de paneles**

### **Horas de sol pico**

Para el cálculo del número de paneles solares primero será necesario acudir al instituto meteorológico nacional para obtener los datos de irradiación solar sobre Alicante.

Ang	En,	Fe,	Ma,	Ab,	Ma,	Ju,	Ju,	Ag,	Se,	Ob,	No,	Di,	R, Anual
20	13,5	15,9	21,5	22,1	23,4	25,3	25,4	23,4	22	18,5	15,8	11,9	7161
25	14,4	16,6	22	22,1	23	24,7	24,9	23,2	22,3	19,2	16,8	12,7	7260
30	15,2	17,2	22,4	22	22,5	24	24,2	22,9	22,5	19,8	17,7	13,4	7316
35	15,9	17,7	22,6	21,7	21,9	23,2	23,5	22,5	22,6	20,3	18,5	14,1	7331
40	16,5	18,1	22,7	21,4	21,1	22,2	22,6	21,9	22,5	20,6	19,2	14,7	7302
45	17	18,4	22,7	20,9	20,3	21,1	21,6	21,2	22,2	20,9	19,7	15,1	7232
50	17,3	18,5	22,5	20,2	19,4	20	20,5	20,5	21,9	20,9	20,1	15,5	7120
55	17,6	18,6	22,2	19,5	18,4	18,8	19,3	19,6	21,4	20,9	20,4	15,8	6967
60	17,7	18,5	21,7	18,7	17,3	17,5	18	18,6	20,7	20,7	20,5	16	6775
65	17,8	18,3	21,1	17,7	16,1	16,1	16,7	17,5	20	20,4	20,5	16	6545
70	17,7	18	20,4	16,7	14,8	14,7	15,3	16,3	19,1	20	20,3	16	6279

**Tabla 12 – Horas de sol en Alicante**

Una vez con estos datos tenemos que procesarlos y convertirlos a horas pico, dividiéndolos por un factor correctivo de 3.6 ya que la energía que suministran las placas esta medida con este factor, porque al no ser todas las horas de día igual de luminosas, se ha optado por definir la medida Horas solares pico como medida unificadora:

**Proyecto de vivienda energéticamente sostenible situada en San Vicente del Raspeig (Alicante). Instalación fotovoltaica.**

Ang	En,	Fe,	Ma,	Ab,	Ma,	Ju,	Ju,	Ag,	Se,	Ob,	No,	Di,	R, Anual
20	3,75	4,42	5,97	6,14	6,50	7,03	7,06	6,50	6,11	5,14	4,39	3,31	1989,17
25	4,00	4,61	6,11	6,14	6,39	6,86	6,92	6,44	6,19	5,33	4,67	3,53	2016,67
30	4,22	4,78	6,22	6,11	6,25	6,67	6,72	6,36	6,25	5,50	4,92	3,72	2032,22
35	4,42	4,92	6,28	6,03	6,08	6,44	6,53	6,25	6,28	5,64	5,14	3,92	2036,39
40	4,58	5,03	6,31	5,94	5,86	6,17	6,28	6,08	6,25	5,72	5,33	4,08	2028,33
45	4,72	5,11	6,31	5,81	5,64	5,86	6,00	5,89	6,17	5,81	5,47	4,19	2008,89
50	4,81	5,14	6,25	5,61	5,39	5,56	5,69	5,69	6,08	5,81	5,58	4,31	1977,78
55	4,89	5,17	6,17	5,42	5,11	5,22	5,36	5,44	5,94	5,81	5,67	4,39	1935,28
60	4,92	5,14	6,03	5,19	4,81	4,86	5,00	5,17	5,75	5,75	5,69	4,44	1881,94
65	4,94	5,08	5,86	4,92	4,47	4,47	4,64	4,86	5,56	5,67	5,69	4,44	1818,06
70	4,92	5,00	5,67	4,64	4,11	4,08	4,25	4,53	5,31	5,56	5,64	4,44	1744,17

**Tabla 13 – Horas de sol pico en Alicante**

Como se ve, el Angulo de mayores horas pico diarias hay es 30 grados, que es al que colocaremos los paneles. Para este primer cálculo con la vivienda conectada a red, tomaremos las horas de sol pico medias como valor de referencia. En este caso, según la tabla hay 2032.22 horas de sol pico al año, lo que nos deja una media diaria de 5.57 horas de sol pico.

**Selección del modelo**

Una vez con estos datos, procederemos a la elección de panel. Por motivos prácticos elegiremos unos paneles de calidad, con una eficiencia elevada, y, en consecuencia, que ocupan poco espacio por watio. Este factor es importante, ya que contamos con un espacio limitado y un gran consumo. El lugar donde se prevé colocarlos es la azotea de la vivienda, que tiene un máximo de 32 metros cuadrados útiles, así que tendremos que escoger paneles de gama alta para suplir esta escasez de espacio. A este respecto escogeremos la marca SunPower

**Proyecto de vivienda energéticamente sostenible situada en San Vicente del Raspeig (Alicante). Instalación fotovoltaica.**

<b>Modelo</b>	SunPower E20-327
<b>Potencia Nominal</b>	320 W
<b>Tensión Punto Max. Potencia</b>	54,7 V
<b>Corriente de Cortocircuito</b>	6,46 A
<b>Altura</b>	1559 mm
<b>Anchura</b>	1046 mm

**Numero de paneles**

Una vez se tienen todos los datos necesarios el cálculo del número de paneles es el siguiente:

$$N^{\circ} \text{paneles} = \frac{\text{Energ. Diaria}}{H. \text{Sol Pico} * \text{Pot. nominal} * \eta} = 9.73$$

**Ecuación 3 – Cálculo del numero de paneles en la instalación conectada a red**

Donde:

- “Energ.Diaria” consumo energético medio de la vivienda diario: 13882 Wh
- “H.Sol Pico” son las horas de Sol pico medias anuales 5.57 h
- “Pot.nominal” es la potencia nominal de los paneles: 320 W
- “ $\eta$ ” es el rendimiento que le calculamos a los paneles por ensuciamiento: 0.8

Se colocarán por lo tanto 10 paneles que irán colocados todos en paralelo, sumando sus corrientes suministradas.

## Cálculo del inversor y del regulador

### Inversor

Para suministrar corriente a la vivienda se necesitará un inversor de corriente continua a alterna, y que pase de 54.7 voltios a 230 voltios. Dicho inversor tendrá también una potencia máxima, que será la máxima cantidad de aparatos que se pueden tener conectados a la vez. Esta potencia se calculará como la máxima que pueden suministrar los paneles en las peores circunstancias, para así no freír el sistema.

### Inversor

$$Pot. \text{ máx inversor} = N^{\circ} \text{ pan.} * I_{cc} \text{ pan.} * V. \text{ max pan.} = 3533.62$$

#### Ecuación 4 – Cálculo de la potencia máxima del inversor

Donde:

- “ $N^{\circ} \text{ pan.}$ ” es el número de paneles conectados en paralelo: 10
- “ $I_{cc} \text{ pan.}$ ” es la corriente de cortocircuito de los paneles: 6,46 A
- “ $V. \text{ max pan.}$ ” es la tensión máxima de los paneles: 54,7 V

Con esta potencia se procederá a buscar un inversor. En este caso se ha escogido la firma Schneider por su fiabilidad y calidad. Si bien esta firma si que tiene un modelo de inversor de 4000 W de potencia nominal, está pensado para voltajes de 24 V. Por lo tanto, se escogerá un inversor de una potencia nominal ligeramente superior, pero que si que acepte estos voltajes.

<b>Modelo</b>	Schneider Xantrex XW4548-230-50
<b>Potencia Nominal</b>	4500 W
<b>Tensión de Entrada</b>	44-64 V C.Continua
<b>Tensión de Salida</b>	230 V C.Alterna
<b>Frecuencia asignada</b>	50 Hz

### Reguladores

Se necesitara uno (o varios) reguladores de potencia que regulen la potencia saliente de las paneles. Estos reguladores se encargan de gestionar la energía que entregan los paneles, para así poder maximizar el rendimiento. Su elección depende del voltaje de

## Proyecto de vivienda energéticamente sostenible situada en San Vicente del Raspeig (Alicante). Instalación fotovoltaica.

las líneas de corriente continua y la corriente máxima que le pueden suministrar los paneles. Dicha corriente máxima será en el peor de los casos la corriente de cortocircuito de los paneles.

Estos reguladores no están pensados para gestionar grandes grupos de paneles solares, así que se ha elegido dividir nuestro conjunto de paneles en grupos de cinco, y colocar dos reguladores en paralelo. Además, según recomiendan los fabricantes hay que darle un margen del 25% a estos aparatos para evitar cualquier fallo. Con todos estos datos, el cálculo de la intensidad máxima que puede soportar queda así:

$$I_{max\ Reg.} = I_{cc\ Panel} * N^{\circ}\ Paneles * \eta = 40.7\ A$$

### Ecuación 5 – Cálculo de la intensidad máxima que puede recibir cada regulador

Donde:

- “*I<sub>cc Panel</sub>*” es la corriente de cortocircuito de cada panel: 6,46 A
- “*N<sup>o</sup> Paneles*” son los paneles de la instalación: 5
- “*η*” es el margen de seguridad de los aparatos: 1,25

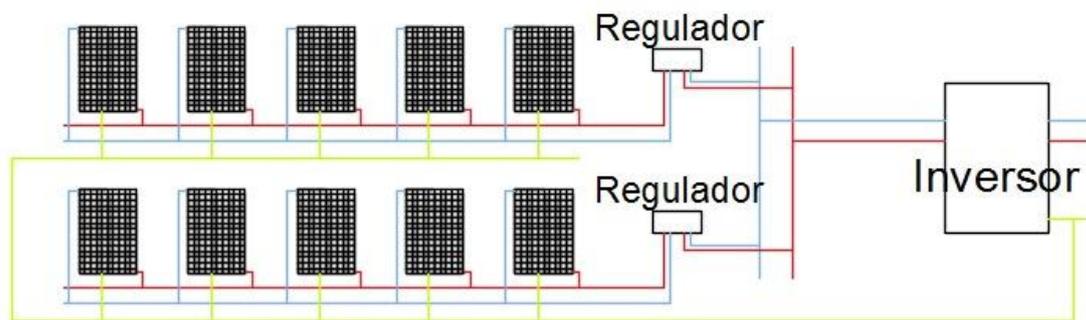
Mientras se buscaba el inversor, se ha observado que la misma empresa ofrecía un modelo de regulador compatible con este inversor. Dicho modelo cuadra exactamente con los datos de los que disponemos, así que se ha elegido colocarlo y tener en consonancia de fabricante tanto los reguladores como el inversor. Las especificaciones de este modelo con:

<b>Modelo</b>	Schneider MPPT 60 150
<b>Intensidad Max. de Carga</b>	60 A
<b>Tensión Nominal</b>	48 V

Así, toda la instalación de energía solar tendrá este esquema eléctrico. Hay que destacar que la toma de tierra tanto del inversor como de las placas irá conectada a la

**Proyecto de vivienda energéticamente sostenible situada en San Vicente del Raspeig (Alicante). Instalación fotovoltaica.**

toma de tierra de la vivienda, y por lo tanto no aparece en el esquema.



**Imagen 2 – Esquema eléctrico de la parte de continua del circuito conectado a red**

**Proyecto de vivienda energéticamente sostenible situada en San Vicente del Raspeig (Alicante). Instalación fotovoltaica.**

## **Cálculo del cableado necesario**

### **Tramos de cableado**

Estando el cableado de la vivienda ya calculado con anterioridad, queda el cálculo del cableado de la instalación fotovoltaica y el de enlace. Se calcularán 4 tramos de cableado, dos en corriente continua y dos en alterna.

Para los tramos de corriente continua se utilizarán conductores de cobre y PVC que responderán al modelo B de la Tabla 1 de la ITC-BT-19, denominados “*Conductores aislados en tubos en montaje superficial o empotrados en obra*”

La ecuación a utilizar será similar a la utilizada en el cálculo de los cables de la vivienda:

$$Seccion = \frac{2 * \rho_{cu} * Long.max.* I_{cc} * N^{\circ}Paneles}{\%caida * V_{red}}$$

### **Ecuación 6 – Cálculo de la sección que circula por los cables en corriente continua**

Donde:

- “ $\rho_{cu}$ ” es la resistencia del cobre al paso de la corriente eléctrica;  $0.019 \Omega mm^2/m$
- “ $Long.max$ ” es la longitud del cable más largo de la línea, dependiente del tramo
- “ $I_{cc}$ ” es la intensidad de cortocircuito de los paneles, de 6,46 A
- “ $N^{\circ}Paneles$ ” son los paneles que convergen a cada línea.
- “ $\%caída$ ” es la caída de tensión máxima admisible, en este caso 0,03
- “ $V_{red}$ ” es la tensión de red, en este caso 48V

### **Tramo paneles-regulador**

Con una longitud entre el panel más alejado de 24,6 m al regulador, y 5 paneles por cada tramo, se calcula una sección mínima de  $20,96 mm^2$ . La siguiente normalizada es de  **$25 mm^2$** . Según la Tabla 1 de la ITC-BT-19 podrá circular una corriente por los conductores de 84 A, muy superior a la máxima esperada de 32,3 A.

### **Tramo reguladores-inversor**

A pesar de que ahora los cables llevarán el doble de corriente, son mucho más cortos pues ambos aparatos están en la misma habitación. La sección con 3 m de longitud y 10 paneles es de  $5,1 mm^2$ . La sección normalizada más cercana es de  $6 mm^2$ . Para esta sección Tabla 1 de la ITC-BT-19 estipula una corriente máxima de 32 A, mucho menor de la máxima esperada de 64,6 A.

Por lo tanto, se elegirá una sección que admita esa corriente, en este caso de  **$25 mm^2$**

## **Proyecto de vivienda energéticamente sostenible situada en San Vicente del Raspeig (Alicante). Instalación fotovoltaica.**

que admite 84 A. Se ha desechado la sección anterior de 16 mm<sup>2</sup> ya que admitía 66 A, valor que podría bajar por condiciones de calentamiento y ser inferior a la máxima de línea.

### **Tramo inversor-red**

Este tramo irá entre el inversor y la red de baja tensión. El cable descenderá por la pared exterior de la vivienda y seguirá enterrado hasta la calle donde se situará el cuadro correspondiente por la compañía.

La longitud del cable será el equivalente a 3 pisos más la distancia al exterior de la parcela, en total unos 30 metros. Habrá que tener en cuenta que el cable tendrá un tramo enterrado, por lo que se considerará el caso más desfavorable en el que todo el cable va enterrado.

Se usará la fórmula siguiente:

$$Seccion = \frac{\rho_{cu} * Long * Pot}{\%caida * Vred^2} = 1,62 \text{ mm}^2$$

### **Ecuación 7 – Cálculo de la sección de las líneas conectadas a red**

Donde:

- “ $\rho_{cu}$ ” es la resistencia del cobre al paso de la corriente eléctrica;  $0.019 \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}}$
- “ $Long$ ” es la longitud del cable: 30 m
- “ $Pot$ ” es la potencia del inversor: 4500 W
- “ $\%caida$ ” es la caída de tensión máxima admisible, en este caso 0,03
- “ $Vred$ ” es la tensión monofásica de red, en este caso 230V

La sección más cercana a esta es de 16 mm<sup>2</sup> según la Tabla 5 de la ITC-BT-07. La corriente que circulará por esta línea vendrá dada por la ecuación siguiente:

$$Int. = \frac{Pot}{Vred * \cos\phi} = 19.56 \text{ A}$$

### **Ecuación 8 – Cálculo de la intensidad que circulará por las líneas conectadas a red**

Donde:

- “ $Pot$ ” es la potencia del inversor: 4500 W
- “ $Vred$ ” es la tensión monofásica de red, en este caso 230V
- “ $\cos\phi$ ” es el factor de potencia de la instalación, que según Pliego de Condiciones Técnicas para instalaciones fotovoltaicas del IDEA es de 1

## Proyecto de vivienda energéticamente sostenible situada en San Vicente del Raspeig (Alicante). Instalación fotovoltaica.

La Tabla 5 de la ITC-BT-07 estipula que para cables de PVC enterrados unipolares de **16 mm<sup>2</sup>** la corriente máxima será de 63 A. Ahora bien, al estar enterrado bajo tubo la capacidad de transporte de los conductores baja al no poder evacuar bien el calor. Por ello se debe aplicar un factor de reducción de 0,8.

La profundidad a la que estén enterrados los conductores también afecta. Según la tabla 9 de la ITC-BT-07, a una profundidad de 1 metro hay que aplicar un factor corrector de 0,97.

Por lo tanto, la intensidad admisible por el cable en esas circunstancias será de 48,9 A, que son muy superiores a la corriente estimada que proporcionará el inversor.

### Tramo red-vivienda

Siguiendo el proceso anterior el cálculo del cable que irá desde el contador exterior hasta el Cuadro General de Mando y Protección es muy similar. Habrá que tener en cuenta que la potencia máxima del cálculo será de 9200 W que es la que estipula la ITC-BT-10 como mínima para una vivienda de electrificación elevada. Se usará la misma fórmula que para el caso anterior, la Ecuación 7, que da un resultado de 2,2 mm<sup>2</sup>

Donde:

- “ $\rho_{cu}$ ” es la resistencia del cobre al paso de la corriente eléctrica;  $0.019 \Omega mm^2/m$
- “ $L_{long}$ ” es la longitud del cable entre el exterior y la vivienda: 20 m
- “ $P_{pot}$ ” es la potencia máxima: 9200 W
- “ $\%caída$ ” es la caída de tensión máxima admisible, en este caso 0,03
- “ $V_{red}$ ” es la tensión monofásica de red, en este caso 230V

La sección más cercana a esta es de 16 mm<sup>2</sup> según la Tabla 5 de la ITC-BT-07. La corriente que circulará por esta línea vendrá dada por la Ecuación 8, que da un resultado de 50 A.

Donde:

- “ $P_{pot}$ ” es la potencia máxima admisible: 9200 W
- “ $V_{red}$ ” es la tensión monofásica de red, en este caso 230V
- “ $\cos\phi$ ” es el factor de potencia de la instalación, que se estimará de 0,8

Análogamente al punto anterior, se obtiene una corriente admisible real por el cable

## Proyecto de vivienda energéticamente sostenible situada en San Vicente del Raspeig (Alicante). Instalación fotovoltaica.

enterrado de 48.9 amperios, que no sirve. Habrá que usar el calibre siguiente, de **25 mm<sup>2</sup>**. Al estar enterrado bajo tubo la capacidad de transporte de los conductores baja al no poder evacuar bien el calor. Por ello se debe aplicar un factor de reducción de 0,8.

La profundidad a la que estén enterrados los conductores también afecta. Según la tabla 9 de la ITC-BT-07, a una profundidad de 1 metro hay que aplicar un factor corrector de 0,97.

Por lo tanto, la intensidad admisible por el cable en esas circunstancias será de 85.36 A, superior a la necesaria.

### Conductores de protección

La sección de cada conductor de protección depende de la sección de la línea que deben proteger. Estos conductores irán conectados todos a la misma puesta a tierra, al ser una instalación conectada a red TT. Por motivos constructivos se agruparán en dos cables, independientes, uno que irá desde el Cuadro General de Mando y Protección hasta la puesta a tierra y otro que bajará hasta la puesta a tierra desde el cuarto de las instalaciones fotovoltaicas y que recogerá las tomas a tierra tanto de paneles solares como del inversor.

Como estipula la Tabla 2 de la ITC-BT-18, si la sección está entre 16 y 35 mm<sup>2</sup> se colocará un conductor de protección de 16 mm<sup>2</sup>.

El cable máximo de puesta a tierra de todos los que recoge el Cuadro General de Mando y Protección es de 16 mm<sup>2</sup>, por lo que para el cable de unión con tierra no se colocará una sección menor.

Tanto las secciones de los cables de los paneles solares como los que le llegan al inversor por alterna y continua entran dentro de la condición de entre 16 y 35 mm<sup>2</sup>, por lo tanto se colocará un conductor de protección en el que se encontraran en paralelo todos los paneles y el inversor de 16 mm<sup>2</sup> y que llegará hasta la toma a tierra.

### Resumen del cableado

Este será el resumen:

Tramo	Tipo	Sección (mm <sup>2</sup> )	I.nominal	I.máxima
Paneles-Regulador	C.Continua	25	32,3	84
Regulador-Inversor	C.Continua	25	64,6	84
Inversor-Red	C.Alterna	16	19,56	48,9
Red-Vivienda	C.Alterna	25	50	85,36
Vivienda-Tierra	Protección	16 -	-	-
Paneles-Inversor-tierra	Protección	16 -	-	-

**Tabla 14 – Resumen de los cables de línea dependientes del esquema eléctrico**

## Proyecto de vivienda energéticamente sostenible situada en San Vicente del Raspeig (Alicante). Instalación fotovoltaica.

Una vez con todo el cableado, se procederá a calcular la condición que aparece en la ITC-BT-22 de que:

$$I_f \leq 1,45 * I_z$$

Donde:

- “ $I_z$ ” es la corriente máxima que soporta el conductor
- “ $I_f$ ” es la corriente que garantiza el funcionamiento efectivo de la protección:  $1,6I_n$  para  $I_n$  menores de 63 A y  $1,45I_n$  para superiores.

Con estos cálculos, se elaboran la tabla siguiente:

Tramo	$I_f$	$I_z$	$1,45 * I_z$	
Paneles-Regulador		51,68	84	121,8
Regulador-Inversor	103,36	84	121,8	
Inversor-Red	31,296	48,9	70,905	
Red-Vivienda	80	85,36	123,772	

**Tabla 15 – Comprobación de la condición anteriormente mencionada**

Que corrobora, que efectivamente, se cumple la condición en cada caso.

## Cálculo de los elementos de protección

En función de cada tramo, se irán exponiendo los distintos elementos de protección. Posteriormente se calculará las dimensiones de la puesta a tierra.

### Tramo paneles-regulador

- ❖ Descargador: es un aparato que protege el sistema contra sobretensiones debido tanto a impactos de rayos directos (Descargador clase I) como a sobretensiones indirectas atmosféricas (Descargador clase II). Como es una zona con un bajo riesgo de impacto de rayo, se colocará simplemente un descargador clase II. El dimensionado de este aparato depende del voltaje máximo que puede haber en el circuito, que sería el voltaje de circuito abierto de los paneles solares, 64,9 V. Se escogerá un descargador adecuado a este valor.
- ❖ Interruptor-Seccionador: es un aparato destinado al corte de la corriente que proviene de las placas para labores de mantenimiento. Se escogerá en función de los valores de tensión máxima y corriente máxima del sistema, en este caso la tensión de circuito abierto de los paneles; 64,9 V y la corriente de cortocircuito de los paneles multiplicada por el número de paneles en paralelo; 32,3 A

## Proyecto de vivienda energéticamente sostenible situada en San Vicente del Raspeig (Alicante). Instalación fotovoltaica.

### Tramo reguladores-inversor

No se colocarán elementos de protección en este tramo.

### Tramo inversor-red

Para poder verter energía a la red se requiere un número de protecciones de las que algunas son comunes y otras las puede poner la compañía. Aquí solo se dedicará al estudio de las comunes a todas:

- Protector de frecuencia: 50 Hz  $\pm$  1Hz
- Protector magnetotérmico, por si el sistema vierte más corriente a la red de la prevista
- Interruptor diferencial para proteger a las personas que manipulen el sistema
- Puesta a tierra

El modelo elegido de Schneider Xantrex cuenta internamente con una puesta a tierra y un regulador de frecuencia adecuados. Por lo tanto, tan solo habrá que conectar un magnetotérmico y un interruptor diferencial.

- ❖ Magnetotérmico: Como ya se ha dicho antes, la intensidad máxima prevista que circule por la línea es de 19.56 A:

Por lo tanto, se escogerá un magnetotérmico de 32 A, ya que el de 25 A no da margen a variaciones leves.

Todo esto cumple la norma de la ITC-BT-22:

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

Ya que  $I_z$ , la intensidad máxima del cable es 48.9 A como se ha visto anteriormente.

- ❖ Diferencial: Para escoger un diferencial se necesita la intensidad nominal, la tensión nominal y la sensibilidad. En viviendas, se usa una sensibilidad de 30mA, la tensión es la de red con 230 V y la intensidad nominal deberá del aparato será de 25 A. Con todos estos datos se escoge un diferencial adecuado.

## Proyecto de vivienda energéticamente sostenible situada en San Vicente del Raspeig (Alicante). Instalación fotovoltaica.

### Tramo red-vivienda

En este tramo ya están colocadas ciertas protecciones para cada línea de la vivienda. Se colocará además un interruptor magnetotérmico general a todas las líneas y un diferencial para la protección de las personas.

- ❖ Magnetotérmico: La intensidad de línea calculada previamente mediante la Ecuación 7 es 50 A.

Tendrá que cumplir la norma de la ITC-BT-22:

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

Como la intensidad máxima que puede circular por la línea es 85.36 A, con seleccionar un PIA de 63 A de corriente nominal bastará

- ❖ Diferencial: Análogamente al cálculo anterior, se escogerá un diferencial de 230 V de tensión nominal, 50 A de corriente nominal y sensibilidad de 30 mA.

### Puesta a tierra

En este caso, al ser una vivienda TT conectada a red, la instalación fotovoltaica y la de la vivienda comparten toma a tierra. Esta es el punto donde se ponen en común todos los diferentes conductores de protección de toda la instalación.

Tal y como regula la ITC-BT-18, la resistividad del terreno es la propia de arenas arcillosas, cuyo valor más desfavorable es de 500  $\Omega\text{m}$ . El máximo valor de tensiones de contacto es de 24 V, suponiendo que será un local húmedo. Suponiendo que usásemos una pica clavada a tierra, el cálculo de su longitud sería el siguiente:

$$Longitud = \frac{I_{def} * \rho}{V_{contacto}} = 0.625 \text{ m}$$

#### Ecuación 9 – Cálculo de la longitud mínima de la pica de puesta a tierra

Donde:

- “ $I_{def}$ ” es la intensidad de defecto del diferencial: 30 mA
- “ $\rho$ ” es la resistividad del terreno de 500  $\Omega\text{m}$
- “ $V_{contacto}$ ” es la tensión de contacto, 24 V

Por motivos comerciales, la pica que se compre será algo mayor, probablemente de 1 m de longitud, pero esto no supondrá ningún problema para la seguridad.

La pica no estará protegida contra corrosión y será de cobre por lo que tendrá 25 mm<sup>2</sup> de sección como indica la Tabla 1 de la ITC-BT-18. Se supondrá que la toma de tierra del transformador de corriente está lo suficientemente alejada para que las tomas de tierra puedan considerarse independientes.

## Vivienda aislada

### Esquema eléctrico

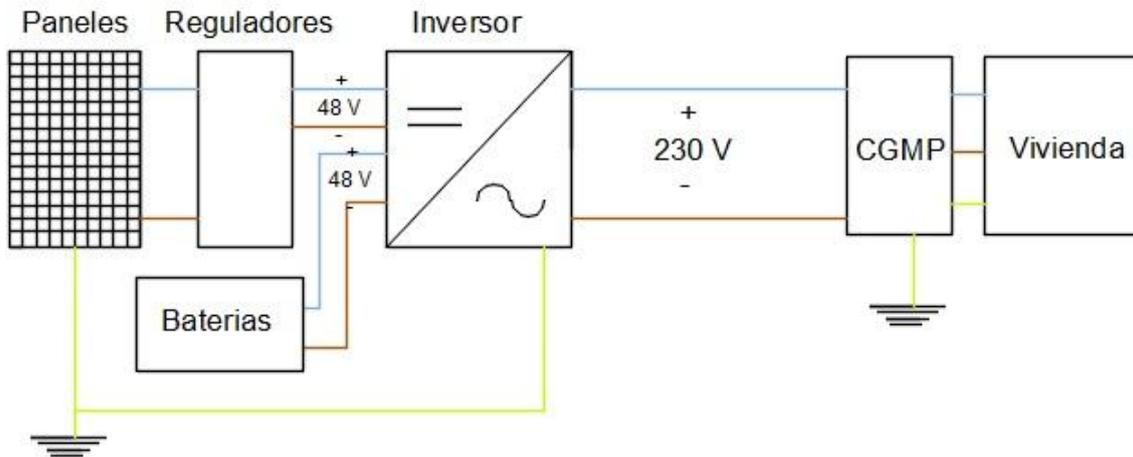


Imagen 3 - Esquema eléctrico del circuito aislado de red

La vivienda estará conectada como el esquema, con dos tomas de tierra independientes entre ellas, una para la parte fotovoltaica y otra para la parte de la vivienda. La vivienda tomará energía de la parte fotovoltaica, de las baterías conectadas al inversor.

### Cálculo del número de paneles

#### Horas de sol pico

Para el cálculo del número de paneles solares se usará la misma tabla usada anteriormente, de la Tabla 13 de Horas pico de irradiación solar en Alicante.

Igual que para el caso conectado a red, se escogerá el ángulo de 30 grados por ser uno de los de más irradiación solar. En este caso, el dato que interesa es el del mes con menos irradiación para ese ángulo, que en este caso es Diciembre, con 3,72 horas pico.

## Proyecto de vivienda energéticamente sostenible situada en San Vicente del Raspeig (Alicante). Instalación fotovoltaica.

### Selección del modelo

Una vez con estos datos, procederemos a la elección de panel. Al igual que en el otro caso, se elegirán unos paneles de calidad, con una eficiencia, y, en consecuencia, que ocupan poco espacio por watio. Este factor es importante, ya que el espacio es limitado y hay un gran consumo. Nuestra azotea donde se prevé colocarlos tiene un máximo de 32 metros cuadrados útiles, así que tendremos que escoger paneles de gama alta. A este respecto escogeremos el modelo de SunPower

<b>Modelo</b>	SunPower E20-327
<b>Potencia Nominal</b>	320 W
<b>Tensión Punto Max. Potencia</b>	54,7 V
<b>Corriente de Cortocircuito</b>	6,46 A
<b>Altura</b>	1559 mm
<b>Anchura</b>	1046 mm

### Numero de paneles

Una vez se tienen todos los datos necesarios el cálculo del número de paneles es el siguiente:

$$N^{\circ} \text{paneles} = \frac{\text{Energ. Diaria}}{H. \text{Sol Pico} * \text{Pot. nominal} * \eta} = 14,56$$

#### Ecuación 10 – Cálculo del numero de paneles de la vivienda aislada

Donde:

- “Energ. Diaria” es la energía que consume la vivienda por día de media: 13882 Wh
- “H. Sol Pico” son las horas de Sol pico del mes más desfavorable del año 3,72 h
- “Pot. nominal” es la potencia nominal de los paneles: 320 W
- “ $\eta$ ” es el rendimiento que le calculamos a los paneles por ensuciamiento: 0.8

Se colocarán 15 paneles en paralelo para suministrar la energía necesaria.

## Cálculo del número de baterías

### Numero de baterías

Antes de comenzar con el cálculo del número de baterías acumuladoras necesarias, se debe establecer el número de días sin sol seguidos que puede sostener el sistema. Como norma general, para viviendas de uso continuado se recomienda entre 3 y 5 días sin sol. Pero, como ya se ha dicho antes, este proyecto está pensado para ser práctico. Cada día sin sol implica duplicar el sistema de acumulación, lo que aumenta el gasto enormemente. Y, ya que la vivienda está ubicada en un clima semidesértico, se hará uso de ese factor. Según la agencia estatal de meteorología se prevé que en el mes más desfavorable; Diciembre; hay de media 4 días sin sol al mes. Al haber tan poca cantidad, se fijara que el sistema podrá soportar como máximo dos días sin sol enteros, circunstancia que es casi imposible que se sobrepase en este clima.

Por otra parte, hay que fijar el porcentaje de descarga de las baterías. En sistemas con uso esporádico se recomienda un porcentaje de descarga no mayor que el 50%. En sistemas con uso regular, también llamados semi-estacionarios, se recomienda un porcentaje no mayor del 80%. En definitiva, cuanto más descarguemos las baterías menor vida útil tendrán. A pesar de que nuestro sistema es semi-estacionario, se ha optado por aplicar un porcentaje de descarga máximo del 50%.

Por otra parte, además se ha fijado un coeficiente de eficiencia de las baterías del 80%, para así curarse en salud ante posibles malfuncionamientos y pérdidas en el sistema

$$Cap. Baterias = \frac{Energ. Diaria * Dias sin Sol}{Vred * \%descarga * \eta} = 1446 Ah$$

### Ecuación 11 – Cálculo de la capacidad necesaria de las baterías

Donde:

- “*Energ. Diaria*” es la energía que consume la vivienda por día de media: 13882 Wh
- “*Días sin Sol*” son los días máximo sin suministro de los paneles: 2 d
- “*Vred*” es la tensión de la red de baja tensión: 48 V
- “*%descarga*” es el porcentaje en que queremos descargar las baterías: 0,5
- “*η*” es el rendimiento que le suponemos a las baterías: 0,8

## **Proyecto de vivienda energéticamente sostenible situada en San Vicente del Raspeig (Alicante). Instalación fotovoltaica.**

Este resultado significa que habrá que colocar tantas baterías en paralelo hasta que se obtenga dicho número de amperios hora necesarios. Por circunstancias especiales, se recomienda no colocar más de dos baterías en paralelo, pues se tienden a cargar más la de los extremos y por lo tanto hay un desgaste diferente entre las diferentes líneas.

### **Selección del modelo**

Como necesitamos 1450 Ah de energía, dispondremos de dos hileras de baterías de 750 Ah en paralelo. Los paneles elegidos tienen un voltaje-pico de 54v, por lo que se estructurará todo el sistema de corriente continua para funcionar con 48 voltios. De esta manera, cada hilera de baterías tendrá que tener un voltaje de 48 voltios. Con estos datos, se ha encontrado este modelo de batería:

**Modelo** EnerSys Hawker 4 EPZS 500

**Capacidad** 750 Ah

**Tensión Nominal** 12 V

Así, se colocará 2 hileras de 3 baterías en serie cada una que nos dará la potencia deseada.

Estas baterías deberán cambiarse cada 5 años, porque tienden a perder capacidad de carga con el tiempo.

## **Cálculo del inversor y del regulador**

### **Inversor**

Para suministrar corriente a la vivienda se necesitará un inversor de corriente continua a alterna, y que pase de 48 voltios a 230 voltios. Dicho inversor tendrá también una potencia máxima, que será la máxima cantidad de aparatos que se pueden tener conectados a la vez. Esta potencia la recogeremos de la potencia contratada con la compañía eléctrica actualmente, en este caso 6 kWatios. No se usará la potencia mínima de dimensionado de circuitos en viviendas de electrificación elevada, 9200 según la ITC-BT-07, ya que esta es muy superior a la de consumo real de la vivienda y conllevaría un sobredimensionamiento de todo el sistema.

Con estos datos se buscará un inversor adecuado, en este caso se ha optado uno de la marca Schneider:

## Proyecto de vivienda energéticamente sostenible situada en San Vicente del Raspeig (Alicante). Instalación fotovoltaica.

<b>Modelo</b>	Schneider Xantrex XW-865-1035
<b>Potencia Nominal</b>	6000 W
<b>Tensión de Entrada</b>	50,4 V C.Continua
<b>Tensión de Salida</b>	230 V C.Alterna
<b>Frecuencia asignada</b>	50 Hz

### Reguladores

Se necesitara uno (o varios) reguladores de potencia que regulen la potencia saliente de las paneles. El mismo inversor cuenta con un regulador interno de la carga de las baterías. Estos reguladores se encargan de optimizar la energía que entregan a la red las paneles y las que recogen las baterías, para así poder maximizar el rendimiento. Su elección depende del voltaje de las líneas de corriente continua y del amperaje máximo que le pueden suministrar las paneles. Dicho amperaje máximo será en el peor de los casos la corriente de cortocircuito de las paneles.

Estos reguladores no están pensados para gestionar grandes grupos de paneles solares, así que se ha elegido dividir nuestro conjunto de paneles en grupos de cinco, y colocar dos reguladores en paralelo. Además, según recomiendan los fabricantes hay que darle un margen del 25% a estos aparatos para evitar cualquier fallo. Con todos estos datos, el cálculo de la intensidad máxima que puede soportar queda así:

$$I_{max \text{ Reg.}} = I_{cc \text{ Panel}} * N^{\circ} \text{ Paneles} * \eta = 40.7 \text{ A}$$

#### Ecuación 12 – Cálculo de la intensidad máxima que puede recibir cada regulador

Donde:

- “*I<sub>cc Panel</sub>*” es la corriente de cortocircuito de cada panel: 6,46 A
- “*N<sup>o</sup> Paneles*” son los paneles de la instalación: 15
- “*η*” es el margen de seguridad de los aparatos: 1,25

Mientras se buscaba el inversor, se ha observado que la misma empresa ofrecía un modelo de regulador compatible con este inversor. Dicho modelo no cuenta con la intensidad necesaria que hemos calculado, pero se puede optar por poner varios en paralelo cada uno agrupando a un conjunto de paneles. Las especificaciones de este modelo con:

## Proyecto de vivienda energéticamente sostenible situada en San Vicente del Raspeig (Alicante). Instalación fotovoltaica.

<b>Modelo</b>	Schneider MPPT 60 150
<b>Intensidad Max. de Carga</b>	60 A
<b>Tensión Nominal</b>	48 V

Con esta configuración, toda la instalación de corriente continua quedará así:

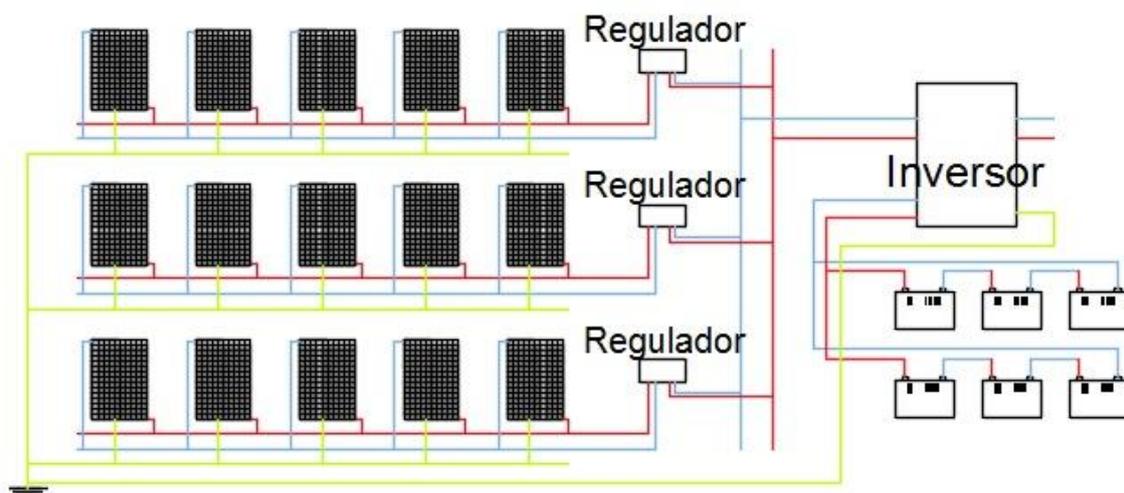


Imagen 4 - Esquema eléctrico de la parte de continua del circuito aislado de red

## Cálculo del cableado necesario

### Tramos de cableado

Estando el cableado de la vivienda ya calculado con anterioridad, queda el cálculo del cableado de la instalación fotovoltaica y el de enlace. Se calcularán 3 tramos de cableado, dos en corriente continua y uno en alterna.

Para los tramos de corriente continua se utilizarán conductores de cobre y PVC que responderán al modelo B de la Tabla 1 de la ITC-BT-19, denominados “*Conductores aislados en tubos en montaje superficial o empotrados en obra*”

La ecuación a utilizar será similar a la utilizada en el cálculo de los cables de la vivienda:

$$Seccion = \frac{2 * \rho_{cu} * Long.max.* I_{cc} * N^{\circ}Paneles}{\%caida * V_{red}}$$

**Ecuación 13 – Cálculo de la sección que circula por los cables en corriente continua**

## Proyecto de vivienda energéticamente sostenible situada en San Vicente del Raspeig (Alicante). Instalación fotovoltaica.

Donde:

- “ $\rho_{cu}$ ” es la resistencia del cobre al paso de la corriente eléctrica;  $0.019 \Omega mm^2/m$
- “ $Long.max$ ” es la longitud del cable más largo de la línea, dependiente del tramo
- “ $I_{cc}$ ” es la intensidad de cortocircuito de los paneles, de 6,46 A
- “ $N^{\circ}Paneles$ ” son los paneles que convergen a cada línea.
- “ $\%caída$ ” es la caída de tensión máxima admisible, en este caso 0,03
- “ $V_{red}$ ” es la tensión de red, en este caso 48V

### Tramo paneles-regulador

Con una longitud entre el panel más alejado de 24,6 m al regulador, y 5 paneles por cada tramo, se calcula una sección mínima de  $20,96 \text{ mm}^2$ . La siguiente normalizada es de  **$25 \text{ mm}^2$** . Según la Tabla 1 de la ITC-BT-19 podrá circular una corriente por los conductores de 84 A, muy superior a la máxima esperada de 32,3 A.

### Tramo reguladores-inversor

A pesar de que ahora los cables llevarán el triple de corriente, son mucho más cortos pues ambos aparatos están en la misma habitación. La sección con 3 m de longitud y 10 paneles es de  $7,65 \text{ mm}^2$ .

La sección normalizada más cercana es de  $10 \text{ mm}^2$ . Para esta sección Tabla 1 de la ITC-BT-19 estipula una corriente máxima de 44 A, mucho menor de la máxima esperada de 96,9 A.

Por lo tanto, se elegirá una sección que admita esa corriente, en este caso de  **$50 \text{ mm}^2$**  que admite 117 A.

### Tramo inversor-vivienda

Este tramo irá entre el inversor y la vivienda. El cable descenderá por la pared exterior de la vivienda y atravesará la pared hasta el Cuadro General de Mando y Protección. La longitud del cable será el equivalente a 3 pisos unos 10 metros. Si se usará la potencia mínima de dimensionado de circuitos en viviendas de electrificación elevada, 9200 según la ITC-BT-07, ya que no supone un coste muy disparado y posibilita usar la instalación aunque se decida cambiar el inversor.

Se usará la fórmula siguiente:

**Proyecto de vivienda energéticamente sostenible situada en San Vicente del Raspeig (Alicante). Instalación fotovoltaica.**

$$Seccion = \frac{\rho_{cu} * Long * Pot}{\%caida * Vred^2} = 1.1 \text{ mm}^2$$

**Ecuación 14 – Cálculo de la sección de las líneas conectadas a red**

Donde:

- “ $\rho_{cu}$ ” es la resistencia del cobre al paso de la corriente eléctrica;  $0.019 \text{ } \Omega\text{mm}^2/\text{m}$
- “ $Long$ ” es la longitud del cable: 10 m
- “ $Pot$ ” es la potencia del inversor: 9200 W
- “ $\%caida$ ” es la caída de tensión máxima admisible, en este caso 0,03
- “ $Vred$ ” es la tensión monofásica de red, en este caso 230V

La sección más cercana a esta es de  $1,5 \text{ mm}^2$  según la Tabla 1de la ITC-BT-19. La corriente que circulará por esta línea vendrá dada por la ecuación siguiente:

$$Int. = \frac{Pot}{Vred * \cos\phi} = 40 \text{ A}$$

**Ecuación 15 – Cálculo de la intensidad que circulará por las líneas conectadas a red**

Donde:

- “ $Pot$ ” es la potencia del inversor: 9200 W
- “ $Vred$ ” es la tensión monofásica de red, en este caso 230V
- “ $\cos\phi$ ” es el factor de potencia de la instalación, que según Pliego de Condiciones Técnicas para instalaciones fotovoltaicas del IDEA es de 1

La Tabla 1 de la ITC-BT-19 estipula que para cables de PVC unipolares modelo B de  $1,5 \text{ mm}^2$  la corriente máxima será de 16 A. Como el valor de corriente es superior, se buscará una sección admisible, en este caso  **$10 \text{ mm}^2$**  que permite una corriente de hasta 44 A.

### **Conductores de protección**

La sección de cada conductor de protección depende de la sección de la línea que deben proteger. Al ser una instalación aislada de red, contará con dos puestas a tierra independientes, una para la parte fotovoltaica y otra para la vivienda.

En los conductores de protección para la vivienda, la sección superior de los conductores de protección de las diferentes líneas fuerza, en este caso  $16 \text{ mm}^2$ . Por lo

## Proyecto de vivienda energéticamente sostenible situada en San Vicente del Raspeig (Alicante). Instalación fotovoltaica.

tanto, el cable que irá desde el Cuadro General de Mando y Protección hasta la puesta a tierra de la vivienda será de 16 mm<sup>2</sup>.

En los conductores de protección de la instalación fotovoltaica, se seguirá el criterio de la Tabla 2 de la ITC-BT-18. Según esta norma, para conductores con sección superior a 35 mm<sup>2</sup>, como es nuestro caso, el cable de protección será el de la mitad de la sección mayor. En este caso en la instalación fotovoltaica habrá un cable de 50 mm<sup>2</sup>, por lo tanto los conductores de protección de toda la instalación serán de 25 mm<sup>2</sup>. Se lanzará un conductor que tendrá en paralelo las distintas placas y el inversor hasta el nivel de suelo, para allí conectarse con la puesta a tierra independiente que le corresponde.

### Resumen de las distintas secciones de cables

Este será el resumen:

Tramo	Tipo	Sección (mm <sup>2</sup> )	I.nominal	I.máxima
Paneles-Regulador	C.Continua	25	32,3	84
Regulador-Inversor	C.Continua	50	96,9	117
Inversor - Vivienda	C.Alterna	10	40	44
Vivienda-Tierra 1	Protección	16	-	-
Paneles-Inversor-Tierra 2	Protección	25	-	-

**Tabla 16 - Resumen de los cables de línea dependientes del esquema eléctrico**

Una vez con todo el cableado, se procederá a calcular la condición que aparece en la ITC-BT-22 de que:

$$I_f \leq 1,45 * I_z$$

Donde:

- “I<sub>z</sub>” es la corriente máxima que soporta el conductor
- “I<sub>f</sub>” es la corriente que garantiza el funcionamiento efectivo de la protección: 1,6I<sub>n</sub> para I<sub>n</sub> menores de 63 A y 1,45I<sub>n</sub> para superiores.

Con estos cálculos, se elaboran la tabla siguiente:

Tramo	I <sub>f</sub>	I <sub>z</sub>	1,45*I <sub>z</sub>
Paneles-Regulador		51,68	84
Regulador-Inversor	140,505		117
Inversor-Vivienda		64	44

**Tabla 17 - Comprobación de la condición anteriormente mencionada**

Que demuestra que la línea Inversor-Vivienda no cumple la condición, aunque por muy poco. Por lo tanto si se aumenta la sección a la siguiente cumplirá seguro. El resumen final del cableado quedaría así:

## Proyecto de vivienda energéticamente sostenible situada en San Vicente del Raspeig (Alicante). Instalación fotovoltaica.

Tramo	Tipo	Sección (mm <sup>2</sup> )	I.nominal	I.máxima
Paneles-Regulador	C.Continua	25	32,3	84
Regulador-Inversor	C.Continua	50	96,9	117
Inversor - Vivienda	C.Alterna	16	40	59
Vivienda-Tierra 1	Protección	16	-	-
Paneles-Inversor-Tierra 2	Protección	25	-	-

**Tabla 18 – Tabla con los valores que si que cumplen la condición anterior**

## Cálculo de los elementos de protección

En función de cada tramo, se irán exponiendo los distintos elementos de protección. Posteriormente se calculará las dimensiones de las puesta a tierra y su distancia entre ellas.

### Tramo paneles-regulador

- ❖ Descargador: es un aparato que protege el sistema contra sobretensiones debido tanto a impactos de rayos directos (Descargador clase I) como a sobretensiones indirectas atmosféricas (Descargador clase II). Como es una zona con un bajo riesgo de impacto de rayo, se colocará simplemente un descargador clase II.

El dimensionado de este aparato depende del voltaje máximo que puede haber en el circuito, que sería el voltaje de circuito abierto de los paneles solares, 64,9 V. Se escogerá un descargador adecuado a este valor.

- ❖ Interruptor-Seccionador: es un aparato destinado al corte de la corriente que proviene de las placas para labores de mantenimiento. Se escogerá en función de los valores de tensión máxima y corriente máxima del sistema, en este caso la tensión de circuito abierto de los paneles; 64,9 V y la corriente de cortocircuito de los paneles multiplicada por el numero de paneles en paralelo; 32,3 A

### Tramo reguladores-inversor

No se colocarán elementos de protección en este tramo.

## Proyecto de vivienda energéticamente sostenible situada en San Vicente del Raspeig (Alicante). Instalación fotovoltaica.

### Tramo inversor-vivienda

En este tramo ya están colocadas ciertas protecciones para cada línea de la vivienda. Se colocará además un interruptor magnetotérmico general a todas las líneas y un diferencial para la protección de las personas.

- ❖ Magnetotérmico: La intensidad de línea calculada previamente es 40 A

Tendrá que cumplir la norma de la ITC-BT-22:

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

Como la intensidad máxima que puede circular por la línea es 59 A, con seleccionar un PIA de 50 A de corriente nominal bastará

- ❖ Diferencial: Para escoger un diferencial se necesita la intensidad nominal, la tensión nominal y la sensibilidad. En viviendas, se usa una sensibilidad de 30mA, la tensión es la de red con 230 V y la intensidad nominal será de 50 A.

### Puesta a tierra

En este caso la instalación está formada por dos tomas a tierra independientes entre sí. El cálculo de su longitud es el mismo, puesto que ambas se consideran local húmedo y están gobernadas por el mismo diferencial.

Tal y como regula la ITC-BT-18, la resistividad del terreno es la propia de arenas arcillosas, cuyo valor más desfavorable es de 500  $\Omega\text{m}$ . El máximo valor de tensiones de contacto es de 24 V, suponiendo que será un local húmedo. Suponiendo que usásemos una pica clavada a tierra, el cálculo de su longitud sería el siguiente:

$$Longitud = \frac{I_{def} * \rho}{V_{contacto}} = 0.625 \text{ m}$$

#### Ecuación 16 - Cálculo de la longitud mínima de la pica de puesta a tierra

Donde:

- “ $I_{def}$ ” es la intensidad de defecto del diferencial: 30 mA
- “ $\rho$ ” es la resistividad del terreno de 500  $\Omega\text{m}$
- “ $V_{contacto}$ ” es la tensión de contacto, 24 V

Por motivos comerciales, la pica que se compre será algo mayor, probablemente de 1 m de longitud, pero esto no supondrá ningún problema para la seguridad.

**Proyecto de vivienda energéticamente sostenible situada en San Vicente del Raspeig (Alicante). Instalación fotovoltaica.**

La pica no estará protegida contra corrosión y será de cobre por lo que tendrá 25 mm<sup>2</sup> de sección como indica la Tabla 1 de la ITC-BT-18.

La distancia de separación mínima entre ambas picas responde a la ecuación que se puede encontrar en el ITC-BT-18:

$$D = \frac{\rho * Id}{2 * \pi * U} = 1 m$$

**Ecuación 12 Cálculo de la distancia mínima de separación entre las picas de puesta a tierra para garantizar su independencia**

Donde:

- “*I.d*” es la intensidad de defecto del diferencial: 30 mA
- “*ρ*” es la resistividad del terreno de 500 Ωm
- “*U*” es la tensión de contacto: 24V

Por lo tanto, con asegurarse de que las picas estén a más de un metro de distancia se garantiza su independencia.

# **PRESUPUESTO**

**Proyecto de vivienda energéticamente sostenible situada en San Vicente del Raspeig (Alicante). Instalación fotovoltaica.**

**AUTOR: Andreu Dana Martín**

**TUTOR: César Santiago Cañas Peñuelas**

**COTUTOR: Saturnino Catalán Izquierdo**



## Presupuesto de la instalación conectada a red

<b>Equipos principales de la instalación</b>				
Artículo	Cantidad	Unidades	Precio unitario	Precio total
Módulos SunPower E20-27	10	Ud.	529	5290
Inversor Schneider Xantrex XW4548-230-50	1	Ud.	2662,36	2662,36
Reguladores Schneider MPPT 60 150	2	Ud.	587	1174
<b>Total equipos principales</b>				<b>9126,36</b>
<b>Cableado</b>				
Artículo	Cantidad	Unidades	Precio unitario	Precio total
Cable de cobre de 1,5 mm <sup>2</sup>	350	m	0,17	59,5
Cable de cobre de 4 mm <sup>2</sup>	600	m	0,45	270
Cable de cobre de 6 mm <sup>2</sup>	350	m	0,58	203
Cable de cobre de 16 mm <sup>2</sup>	250	m	1,6	400
Cable de cobre de 25 mm <sup>2</sup>	100	m	2,4	240
<b>Total cableado</b>				<b>1172,5</b>
<b>Elementos de protección</b>				
Artículo	Cantidad	Unidades	Precio unitario	Precio total
Interruptores Magnetotérmicos	11	Ud.	10	110
Interrupor Diferencial 25 A 30mA	1	Ud.	25	25
Interrupor Diferencial 50 A 30mA	1	Ud.	50	50
Descargador	1	Ud.	150	150
Seccionador	1	Ud.	25	25
<b>Total elementos de protección</b>				<b>360</b>
			Total bruto	10658,86
			Gastos varios - 10%	1065,89
			IVA - 21%	2462,20
<b>Total neto</b>				<b>14186,94</b>

### **Proyecto de vivienda energéticamente sostenible situada en San Vicente del Raspeig (Alicante). Instalación fotovoltaica.**

El cálculo de la vida útil del sistema se ha pensado para 20 años. Los paneles solares suelen tener una vida útil de 20-25 años, lo que ha propiciado la elección. El resto de componentes no tienen una vida útil definida, por lo que no será necesario cambiarlos en ese periodo.

No tiene sentido hacer un cálculo de la viabilidad del proyecto por un motivo, no es rentable. El “balance neto” en España (nombre por el que se conoce el acto de verter energía a la red eléctrica y dejar de pagar esa energía a las eléctricas; llegando incluso a generar beneficios cuando la energía vertida sea superior a la consumida) lleva pendiente de regulación desde 2011. Un proyecto complementario a ese proyecto de “balance neto” está aprobado, que regula la forma de conexión de la instalación generadora a la red. Sin embargo, el documento de ley por el que se estipulan las condiciones para negociar un “balance neto” con las compañías eléctricas está pendiente de regulación.

Tendría que haberse finalizado para finales de 2012, pero se retrasó indefinidamente, hasta el día de hoy, a fecha de Julio de 2015, que sigue pendiente de regulación. Unas de las trabas más potentes impuestas a este sistema es el denominado “peaje de respaldo”, un precio a pagar a la compañía eléctrica por el usuario para subsanar la caída de ingresos que experimentarían las eléctricas por el autoconsumo y que repercutirían, según las mismas, en unos costes fijos a los usuarios sin autoconsumo más elevados a causa de que el dinero a pagar por el mantenimiento de las líneas de eléctricas se repartiría entre menos.

Según el borrador del Real Decreto de Autoconsumo, este peaje neto podría llegar hasta el 700% de los costes fijos actuales, lo que terminaría con la paradoja de tener que pagar más dinero aunque se esté generando un porcentaje de la energía consumida.

Por lo tanto, este proyecto no es viable desde el punto de vista económico.

## Presupuesto de la instalación aislada de red

<b>Equipos principales de la instalación</b>				
Artículo	Cantidad	Unidades	Precio unitario	Precio total
Módulos SunPower E20-27	15	Ud.	529	7935
Baterias EnerSys Hawker 4 EPZS 500	24	Ud.	1000	24000
Inversor Schneider Xantrex XW4548-230-50	1	Ud.	2662,36	2662,36
Reguladores Schneider MPPT 60 150	3	Ud.	587	1761
Total equipos principales				36358,36
<b>Cableado</b>				
Artículo	Cantidad	Unidades	Precio unitario	Precio total
Cable de cobre de 1,5 mm <sup>2</sup>	350	m	0,17	59,5
Cable de cobre de 4 mm <sup>2</sup>	600	m	0,45	270
Cable de cobre de 6 mm <sup>2</sup>	350	m	0,58	203
Cable de cobre de 16 mm <sup>2</sup>	250	m	1,6	400
Cable de cobre de 25 mm <sup>2</sup>	80	m	2,4	192
Cable de cobre de 50 mm <sup>2</sup>	5	m	4,3	21,5
Total cableado				1146
<b>Elementos de protección</b>				
Artículo	Cantidad	Unidades	Precio unitario	Precio total
Interruptores Magnetotérmicos	10	Ud.	10	100
Interruptor Diferencial 50 A 30mA	1	Ud.	50	50
Descargador	1	Ud.	150	150
Seccionador	1	Ud.	25	25
Total elementos de protección				325
Total bruto				37829,36
Gastos varios - 10%				3782,94
IVA - 21%				8738,58
<b>Total neto</b>				<b>50350,88</b>

### **Proyecto de vivienda energéticamente sostenible situada en San Vicente del Raspeig (Alicante). Instalación fotovoltaica.**

Igual que en el apartado anterior, la vida útil del sistema se ha pensado para 20 años. Los paneles solares suelen tener una vida útil de 20-25 años, lo que ha propiciado la elección. Las baterías se han calculado con una vida útil de 5 años, lo que supondría que se necesitan 4 cambios completos, 24 baterías en total. El resto de componentes no tienen una vida útil definida, por lo que no será necesario cambiarlos en ese periodo.

El coste medio mensual conectado a red era de 252,86 € según las facturas de la compañía. Por lo tanto, para amortizar el coste bastaría que el precio total de la instalación fuera menor que el coste de la factura eléctrica en toda la vida útil, en este caso 20 años.

Se obviará la subida del precio de la factura eléctrica y de la inflación, que en todo caso mejoraran el resultado obtenido.

<b>Coste eléctrico medio mensual</b>	252,86
<b>Coste eléctrico anual</b>	3034,32
<b>Coste eléctrico a los 20 años</b>	60686,4
<b>Coste del proyecto</b>	<b>50350,88</b>
<b>Vida útil</b>	20
<b>Tiempo de amortización</b>	16,59
<b>Beneficios de la inversión</b>	10335,52

Esto significa que se recuperará el dinero invertido en aproximadamente 17 años, y que al final de la vida útil se habrá llegado a ganar algo de dinero teniendo en cuenta lo que se dejará de pagar de factura de la luz.

# **BIBLIOGRAFIA**

**Proyecto de vivienda energéticamente sostenible situada en San Vicente del Raspeig (Alicante). Instalación fotovoltaica.**

**AUTOR: Andreu Dana Martín**

**TUTOR: César Santiago Cañas Peñuelas**

**COTUTOR: Saturnino Catalán Izquierdo**



Se ha hecho uso de los diferentes documentos para la redacción de este proyecto:

- “Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión y sus Instrucciones Complementarias”. Ministerio de Ciencia y Educación
- Borrador del “Real Decreto de Autoconsumo”.
- “Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red”. IDAE 2002.
- Roger-Folch, J., Riera-Guasp, M. y Roldán-Porta, C. . (2010). Tecnología Eléctrica. Madrid: Síntesis.
- “Número de horas de sol por región, estación, años y meses.” Instituto Nacional de Estadística.
- Documentación de la asignatura “Tecnología eléctrica”. GITI-ETSII-UPV.

Se ha hecho uso del siguiente software:

- Software AUTOCAD
- Software DIALUX



# **PLANOS**

**Proyecto de vivienda energéticamente sostenible situada en San Vicente del Raspeig (Alicante). Instalación fotovoltaica.**

**AUTOR: Andreu Dana Martín**

**TUTOR: César Santiago Cañas Peñuelas**

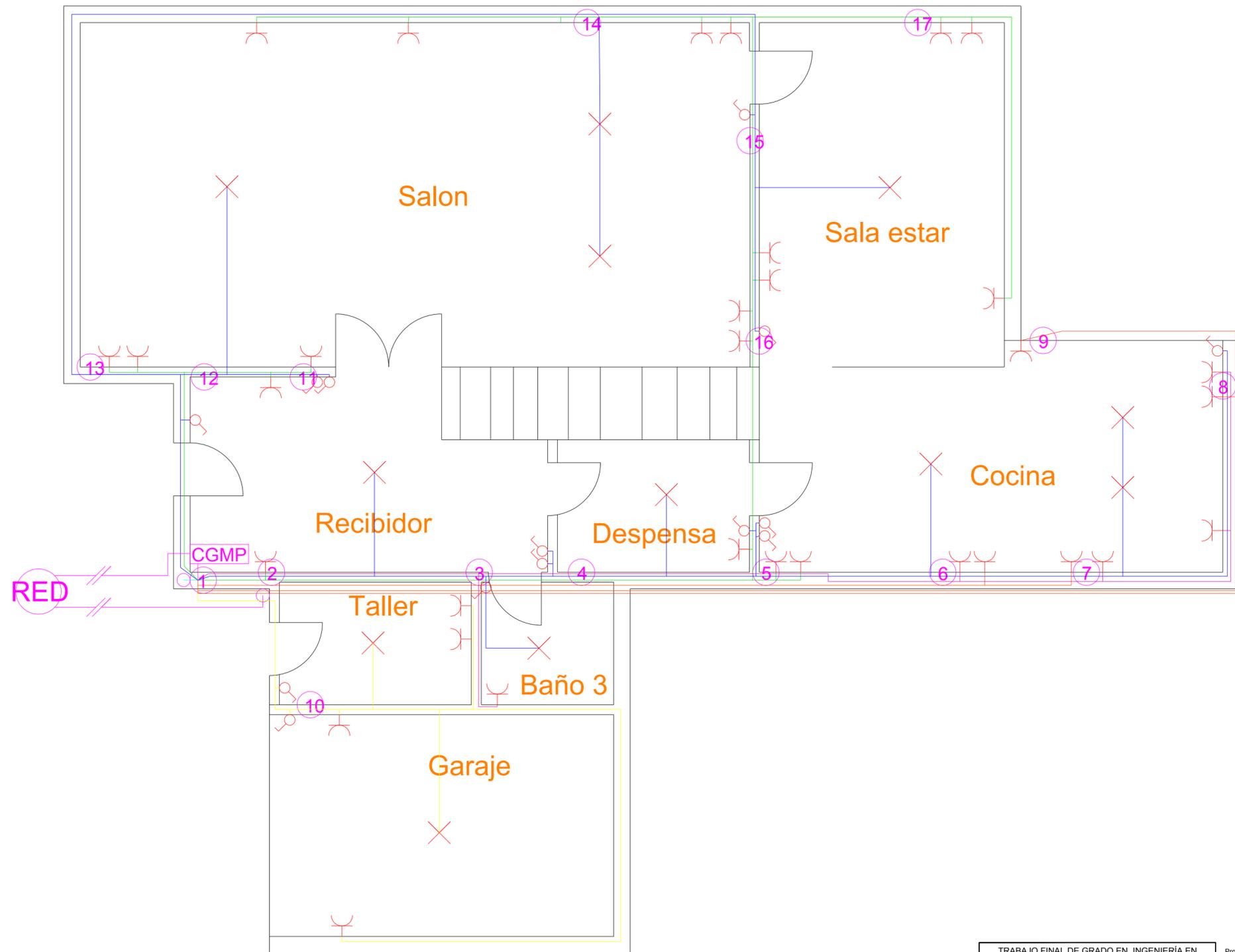
**COTUTOR: Saturnino Catalán Izquierdo**



## Leyenda de los planos

Línea	Color
General, para las líneas que no son las líneas de la vivienda	Magenta
Illum.Bajo	Azul
Illum.Arriba	Cian
Enchufes Bajo	Verde
Enchufes Arriba	Verde claro
Exterior	Amarillo
Horno y Cocina, Nevera, Lavadora y Lavavajillas	Naranja
Aseos y Cocina	Púrpura





TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA EN  
TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES VALENCIA

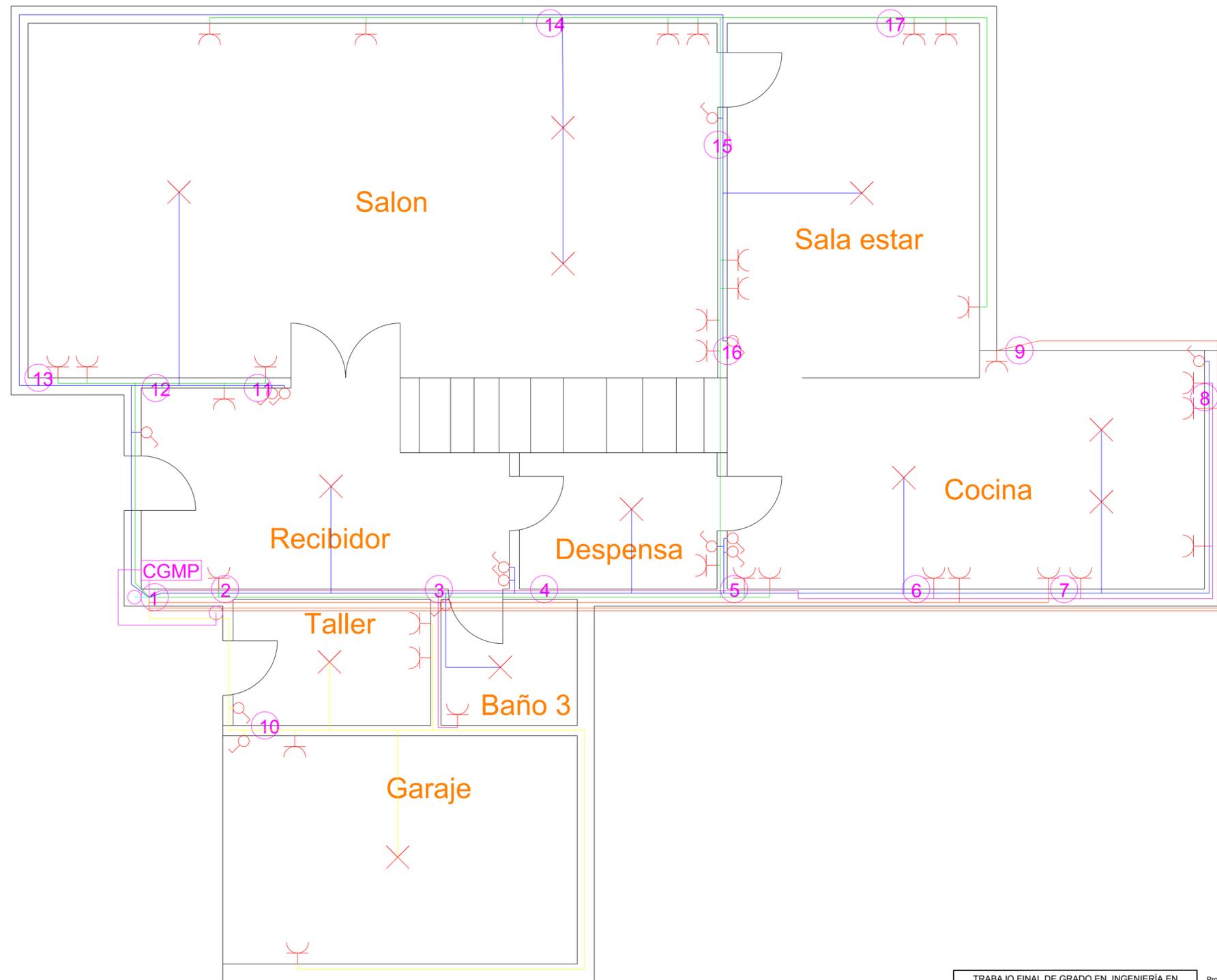
Andreu Dana Martín  
Autor proyecto

Proyecto: \_\_\_\_\_  
**PROYECTO DE VIVIENDA ENERGÉTICAMENTE SOSTENIBLE SITUADA EN SAN VICENTE DEL RASPEIG (ALICANTE). INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA.**

Fecha: Julio 2015 Escala: 1:50

Plano: \_\_\_\_\_ Nº Plano: \_\_\_\_\_

**Vista en planta del cableado de la planta baja conectada a red**



TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA EN  
TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES



Proyecto: **PROYECTO DE VIVIENDA ENERGÉTICAMENTE SOSTENIBLE SITUADA EN SAN VICENTE DEL RASPEIG (ALICANTE). INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA.**

Fecha: **Julio 2015**

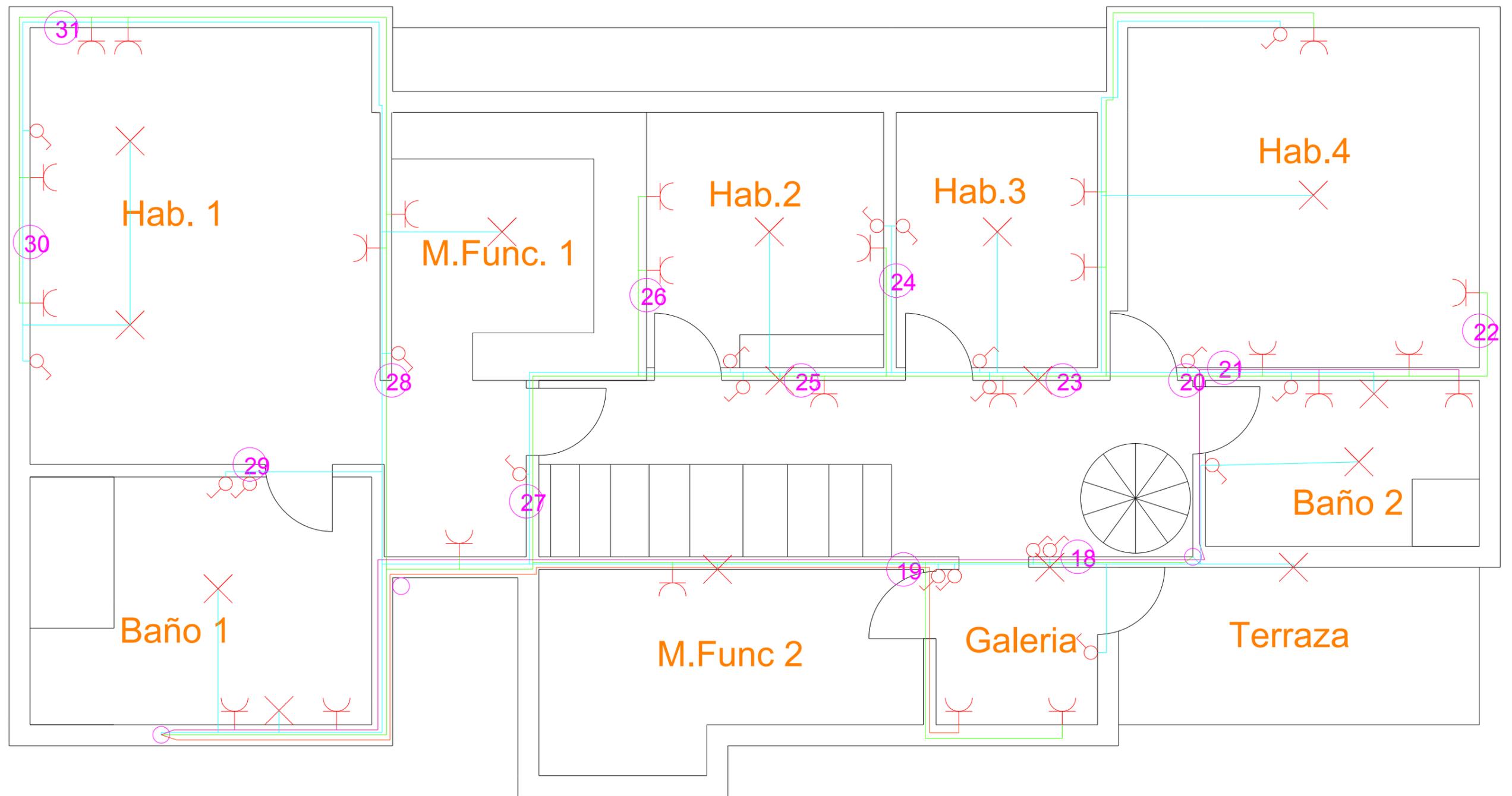
Escala: **1:50**

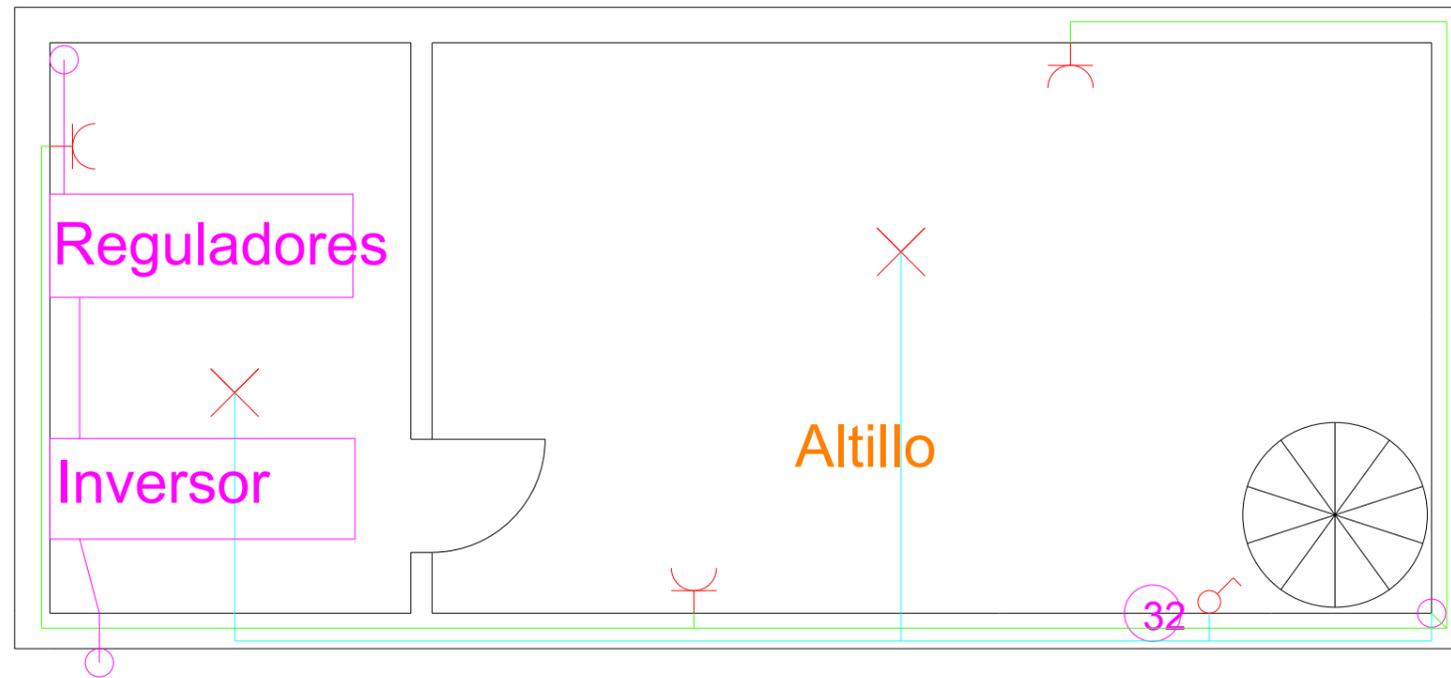
Plano:

Nº Plano:

**Vista en planta del cableado de la planta baja aislada**

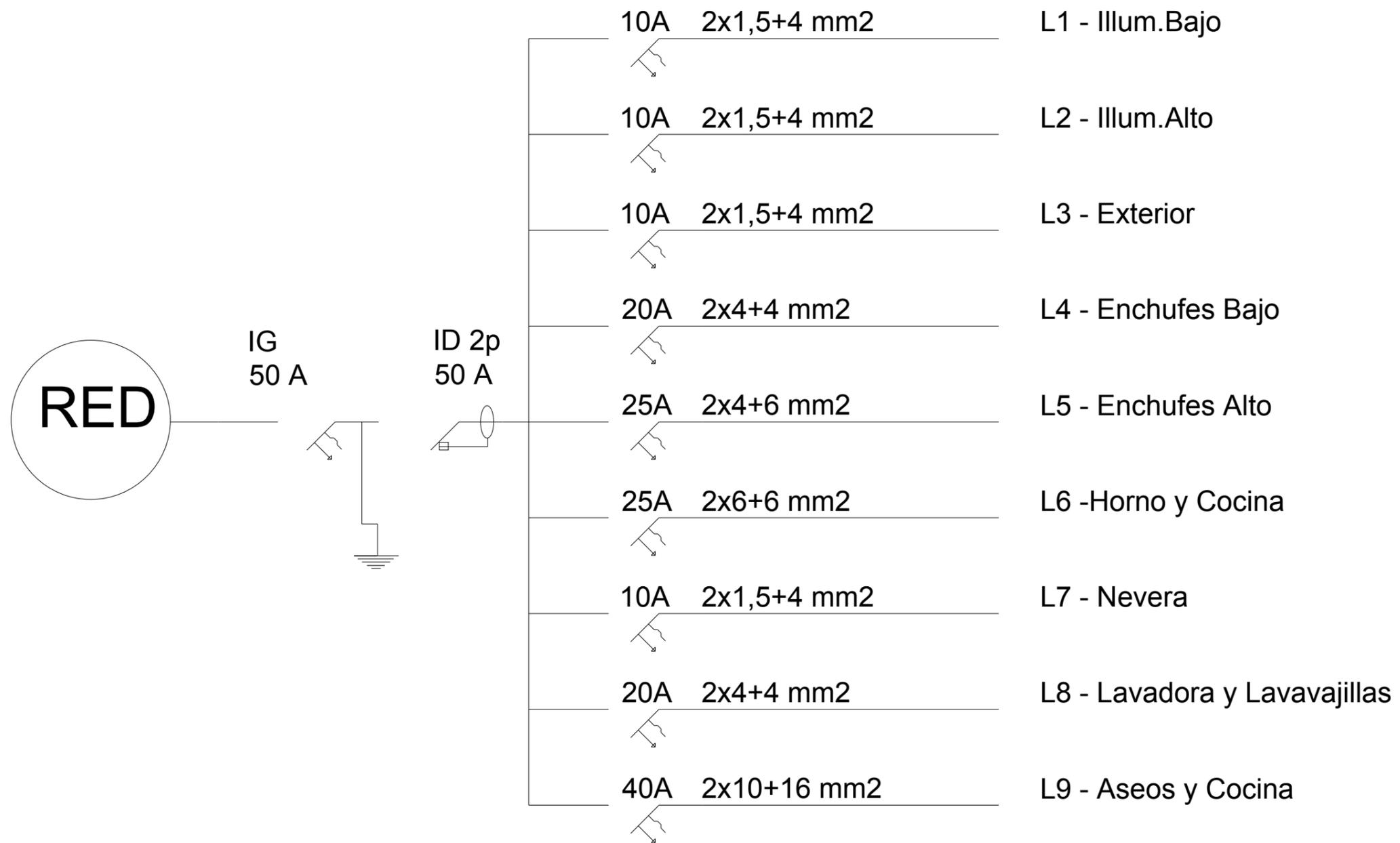
Andreu Dana Martín  
Autor proyecto







Paneles



# **ANEXOS**

**Proyecto de vivienda energéticamente sostenible situada en San Vicente del Raspeig (Alicante). Instalación fotovoltaica.**

**AUTOR: Andreu Dana Martín**

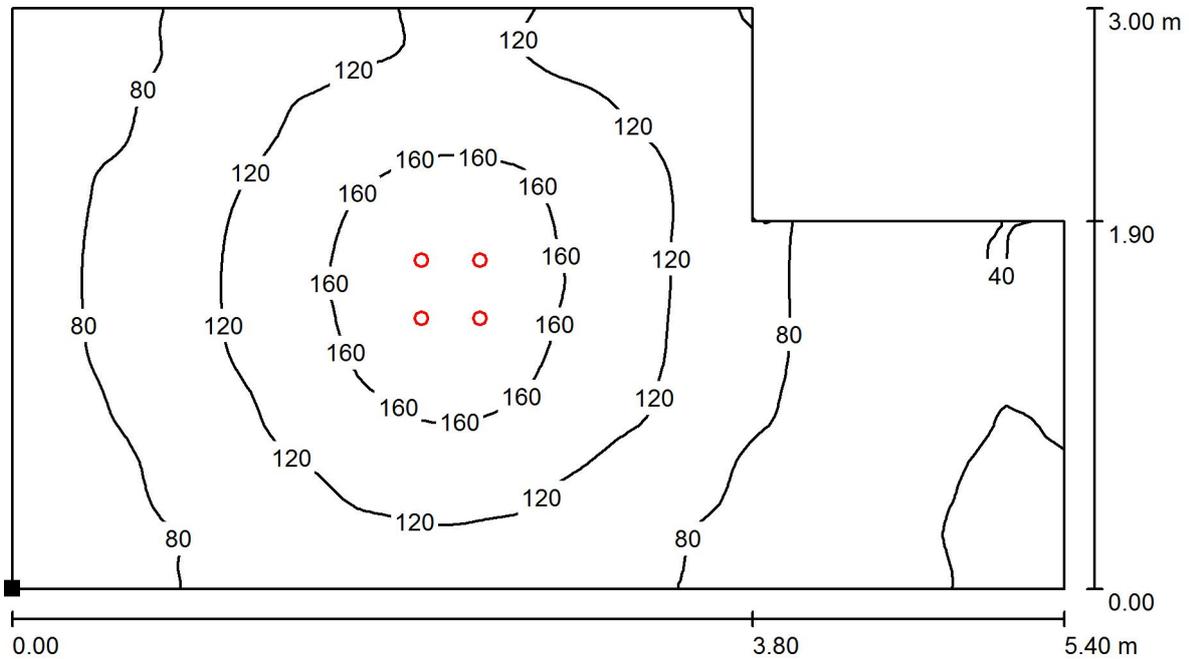
**TUTOR: César Santiago Cañas Peñuelas**

**COTUTOR: Saturnino Catalán Izquierdo**



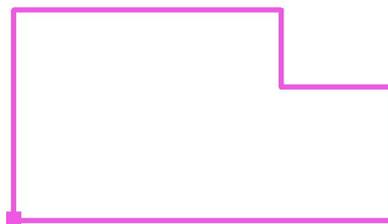
Proyecto elaborado por  
Teléfono  
Fax  
e-Mail

**Recibidor / Plano útil / Isolíneas (E)**



Valores en Lux, Escala 1 : 39

Situación de la superficie en el local:  
Punto marcado:  
(0.000 m, 0.000 m, 0.850 m)



Trama: 128 x 64 Puntos

$E_m$  [lx]  
102

$E_{min}$  [lx]  
34

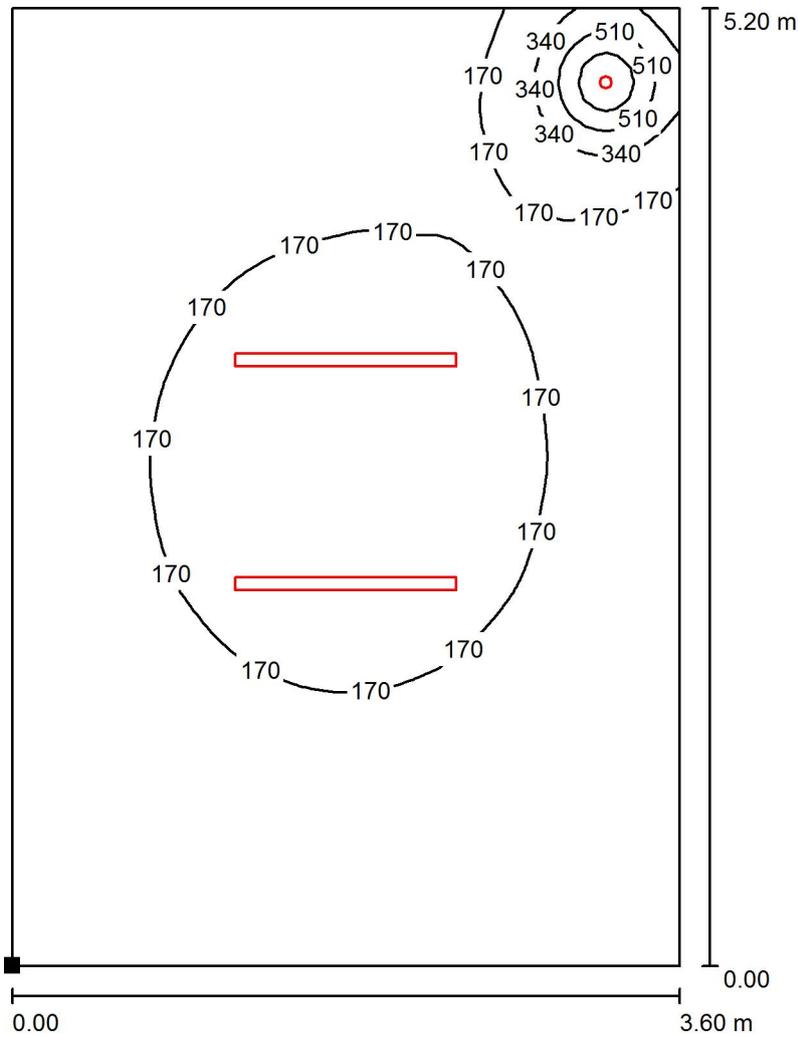
$E_{max}$  [lx]  
184

$E_{min} / E_m$   
0.339

$E_{min} / E_{max}$   
0.187

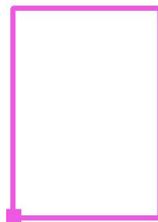
Proyecto elaborado por  
Teléfono  
Fax  
e-Mail

SalaEstar / Plano útil / Isolíneas (E)



Valores en Lux, Escala 1 : 41

Situación de la superficie en el local:  
Punto marcado:  
(0.000 m, 0.000 m, 0.850 m)

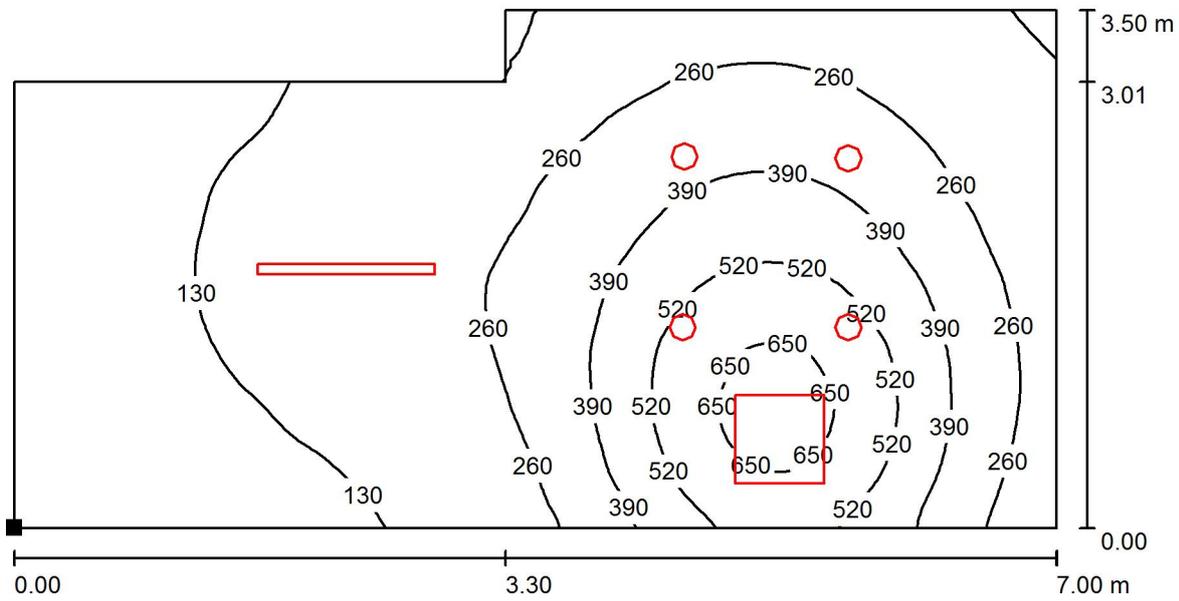


Trama: 64 x 64 Puntos

$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
146	48	859	0.329	0.056

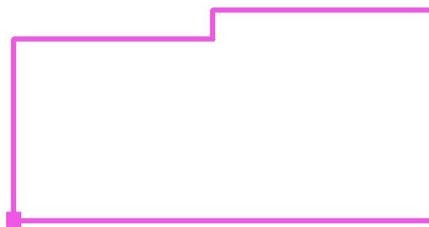
Proyecto elaborado por  
Teléfono  
Fax  
e-Mail

**Cocina / Plano útil / Isolíneas (E)**



Valores en Lux, Escala 1 : 51

Situación de la superficie en el local:  
Punto marcado:  
(0.000 m, 0.000 m, 0.850 m)

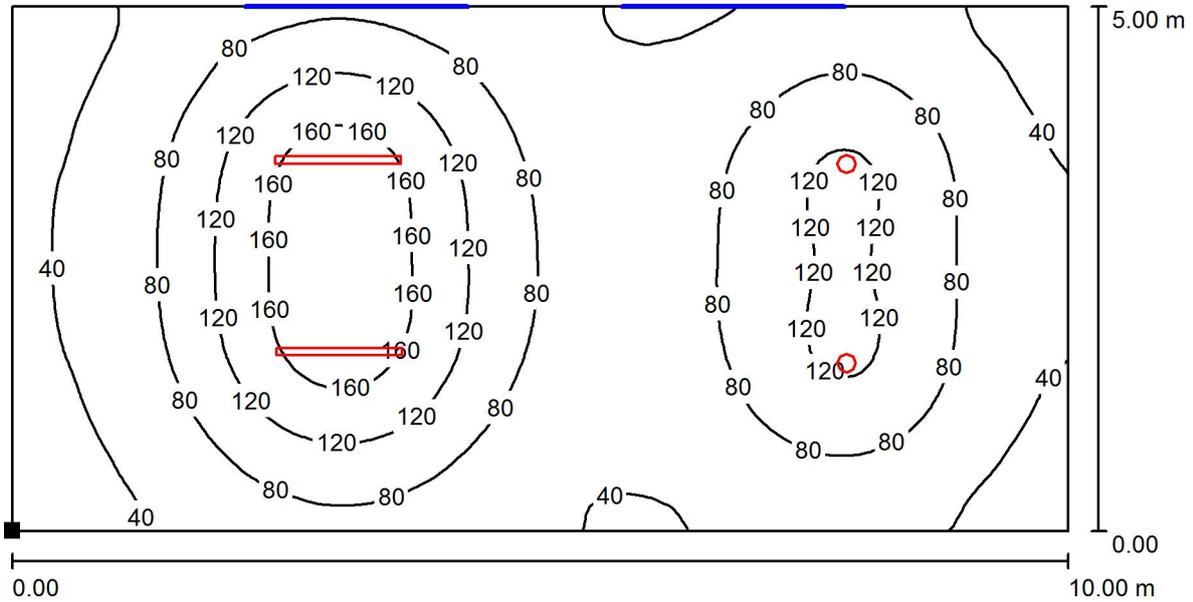


Trama: 128 x 64 Puntos

$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
266	52	701	0.194	0.074

Proyecto elaborado por  
Teléfono  
Fax  
e-Mail

**Salon / Plano útil / Isolíneas (E)**



Valores en Lux, Escala 1 : 72

Situación de la superficie en el local:  
Punto marcado:  
(0.000 m, 0.000 m, 0.850 m)

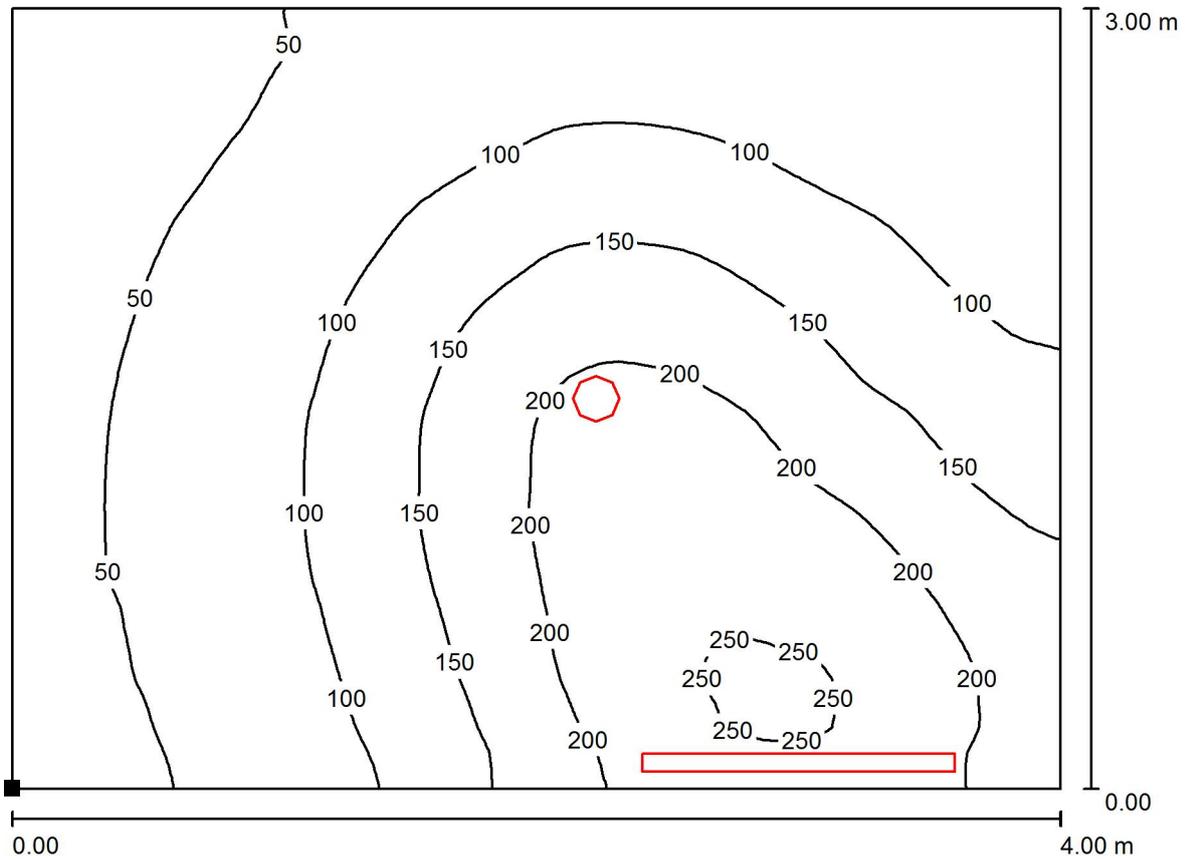


Trama: 128 x 64 Puntos

$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
81	25	187	0.311	0.134

Proyecto elaborado por  
Teléfono  
Fax  
e-Mail

**Baño 1 / Plano útil / Isolíneas (E)**



Valores en Lux, Escala 1 : 29

Situación de la superficie en el local:  
Punto marcado:  
(0.000 m, 0.000 m, 0.850 m)

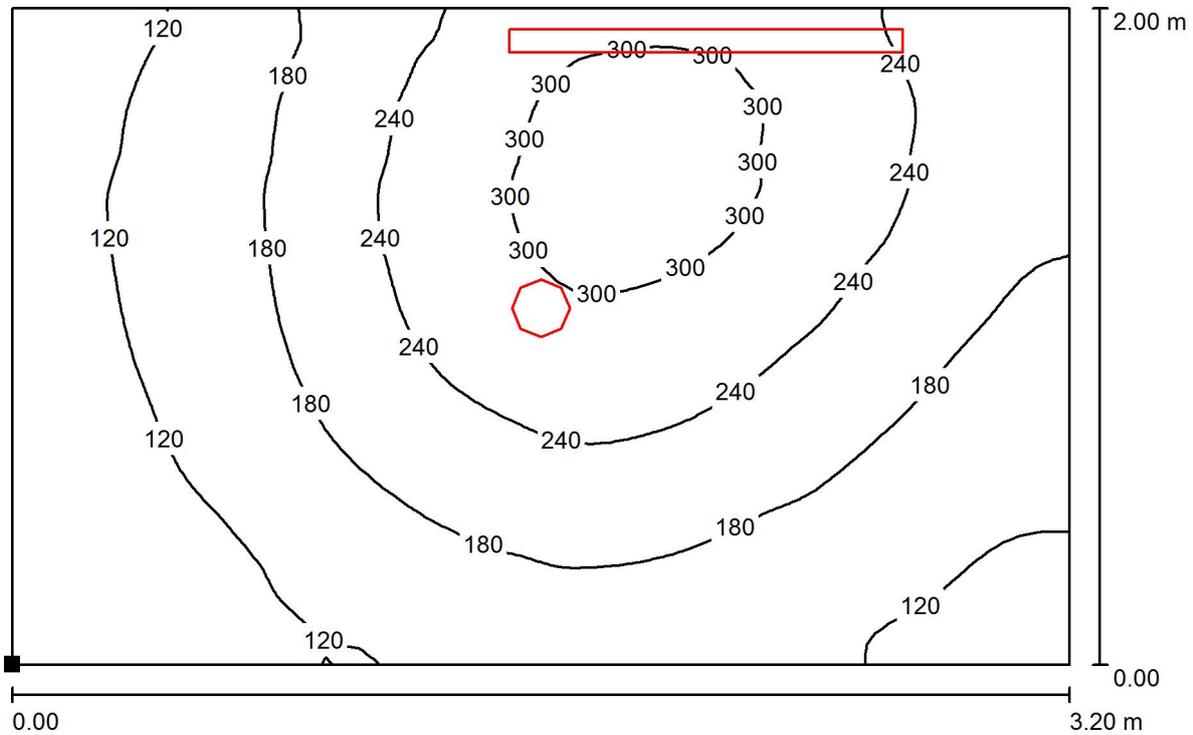


Trama: 64 x 64 Puntos

$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
121	30	256	0.246	0.117

Proyecto elaborado por  
Teléfono  
Fax  
e-Mail

**Baño 2 / Plano útil / Isolíneas (E)**



Valores en Lux, Escala 1 : 23

Situación de la superficie en el local:  
Punto marcado:  
(0.000 m, 0.000 m, 0.850 m)

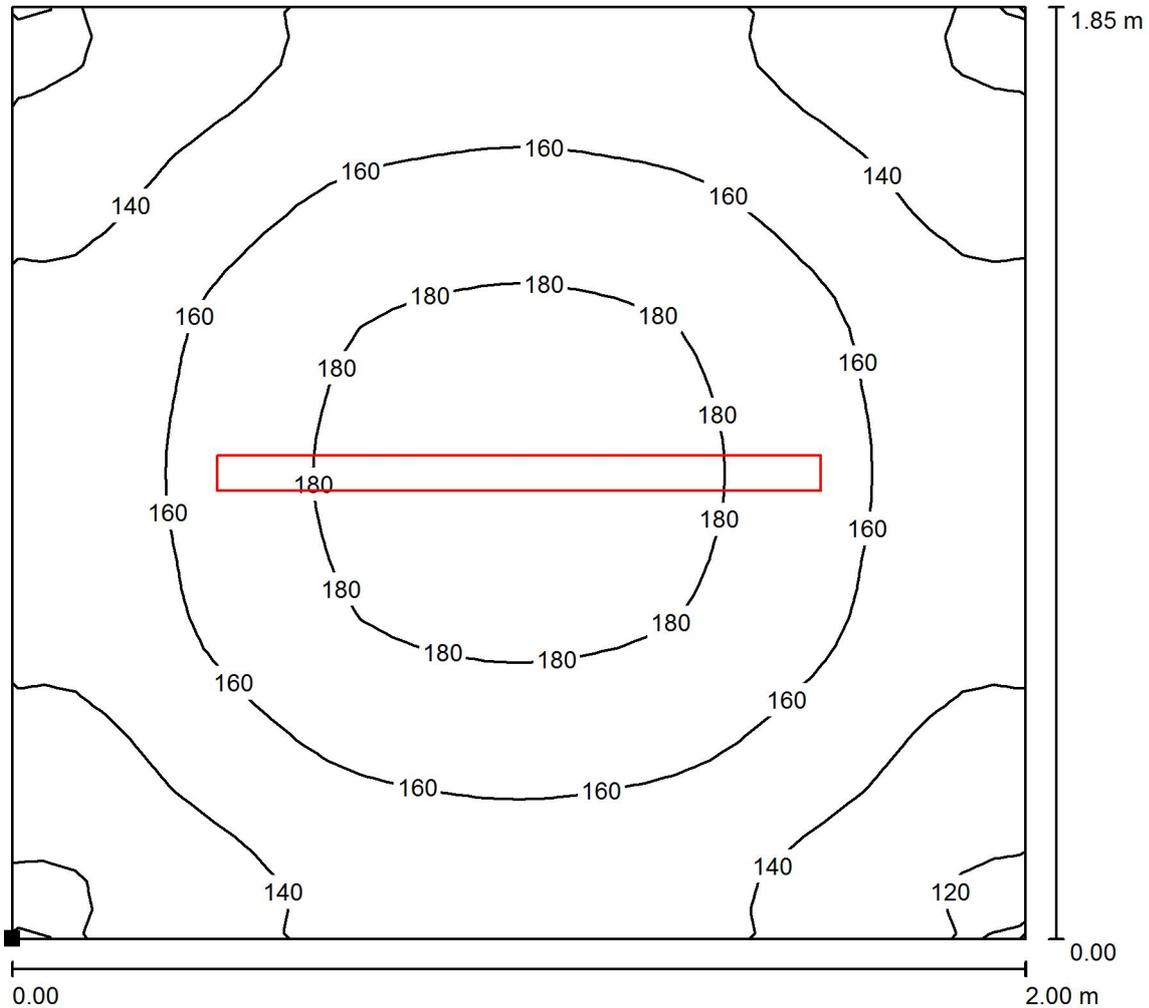


Trama: 64 x 64 Puntos

$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
192	74	325	0.386	0.227

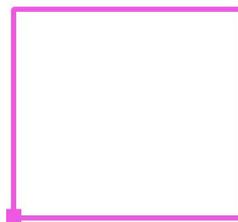
Proyecto elaborado por  
Teléfono  
Fax  
e-Mail

**Baño 3 / Plano útil / Isolíneas (E)**



Valores en Lux, Escala 1 : 15

Situación de la superficie en el local:  
Punto marcado:  
(0.000 m, 0.000 m, 0.850 m)



Trama: 32 x 32 Puntos

$E_m$  [lx]  
155

$E_{min}$  [lx]  
112

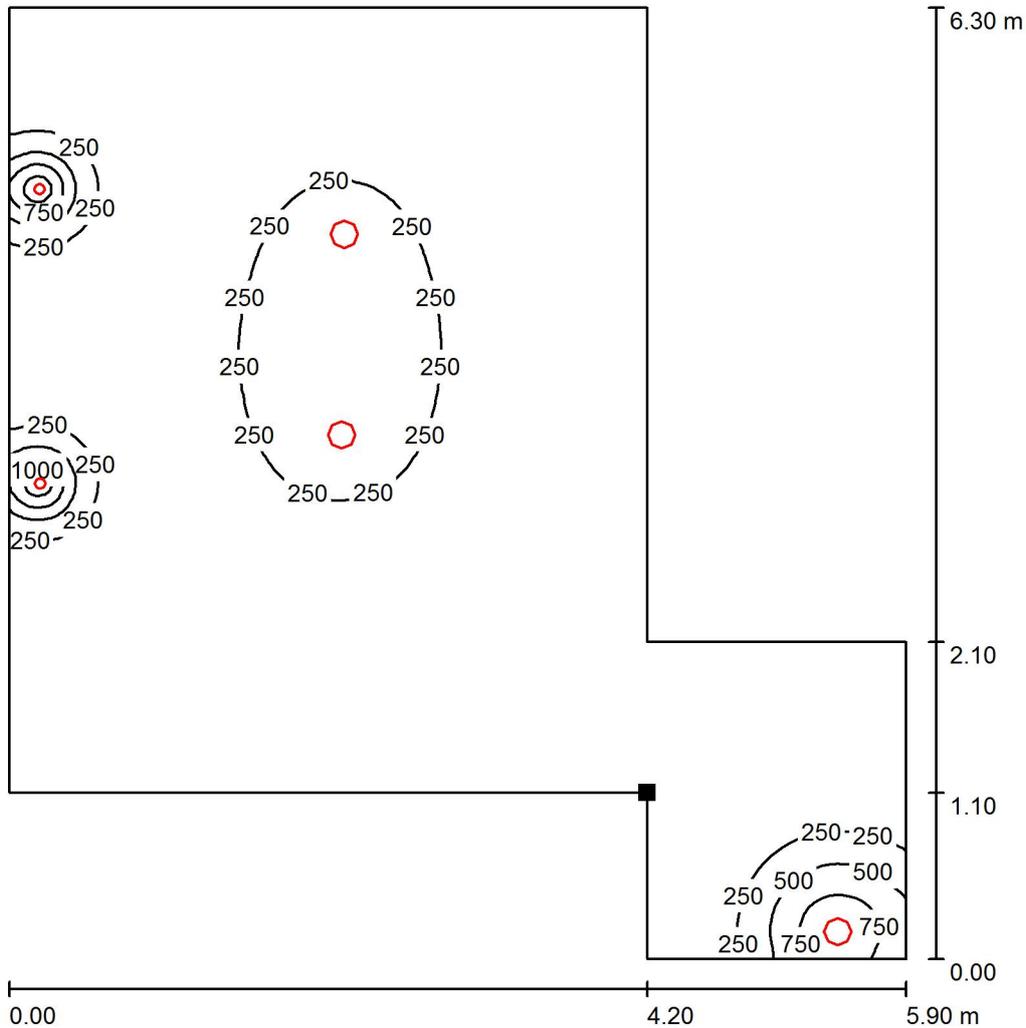
$E_{max}$  [lx]  
188

$E_{min} / E_m$   
0.722

$E_{min} / E_{max}$   
0.599

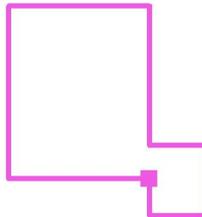
Proyecto elaborado por  
Teléfono  
Fax  
e-Mail

Hab.Principal / Plano útil / Isolíneas (E)



Valores en Lux, Escala 1 : 50

Situación de la superficie en el local:  
Punto marcado:  
(4.200 m, 1.100 m, 0.850 m)

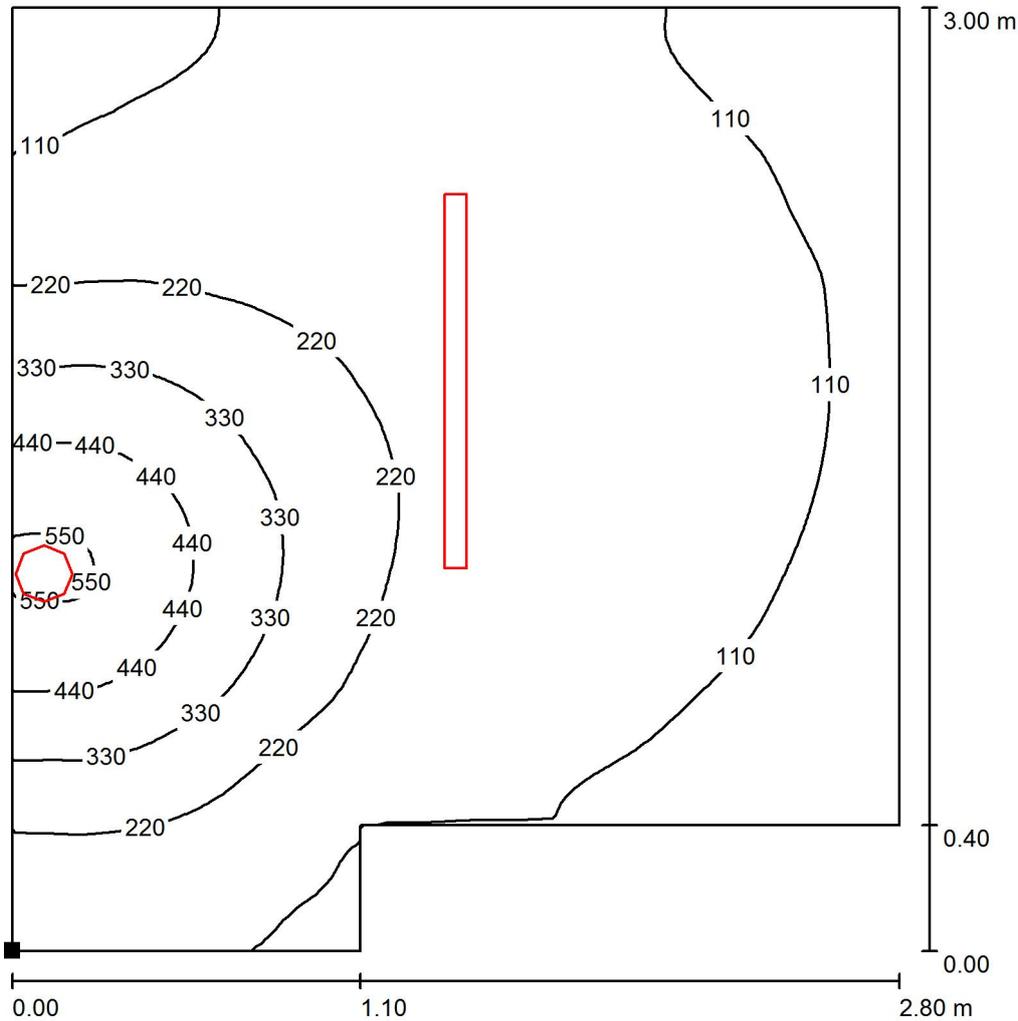


Trama: 128 x 128 Puntos

$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
132	15	1220	0.110	0.012

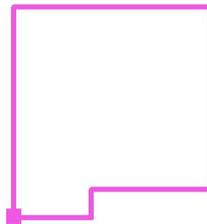
Proyecto elaborado por  
Teléfono  
Fax  
e-Mail

**Hab.2 / Plano útil / Isolíneas (E)**



Valores en Lux, Escala 1 : 24

Situación de la superficie en el local:  
Punto marcado:  
(0.000 m, 0.000 m, 0.850 m)



Trama: 64 x 64 Puntos

$E_m$  [lx]  
186

$E_{min}$  [lx]  
57

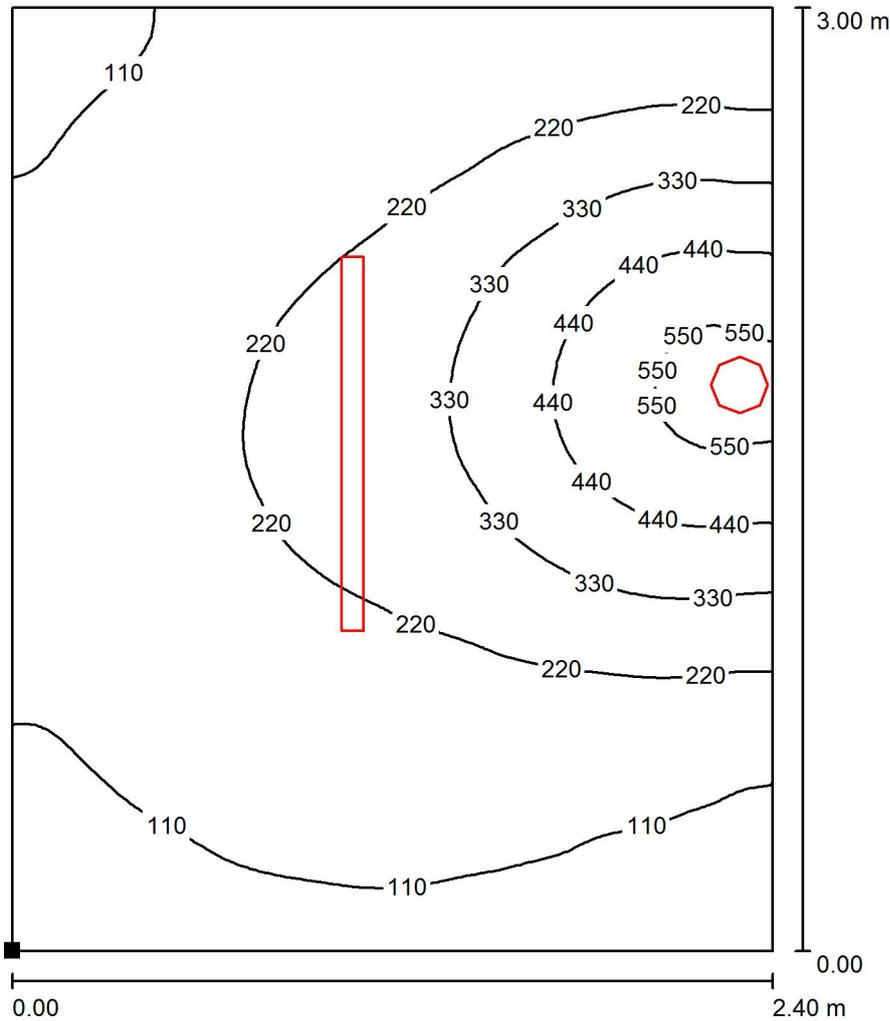
$E_{max}$  [lx]  
567

$E_{min} / E_m$   
0.305

$E_{min} / E_{max}$   
0.100

Proyecto elaborado por  
Teléfono  
Fax  
e-Mail

**Hab.3 / Plano útil / Isolíneas (E)**



Valores en Lux, Escala 1 : 24

Situación de la superficie en el local:  
Punto marcado:  
(0.000 m, 0.000 m, 0.850 m)



Trama: 64 x 64 Puntos

$E_m$  [lx]  
213

$E_{min}$  [lx]  
71

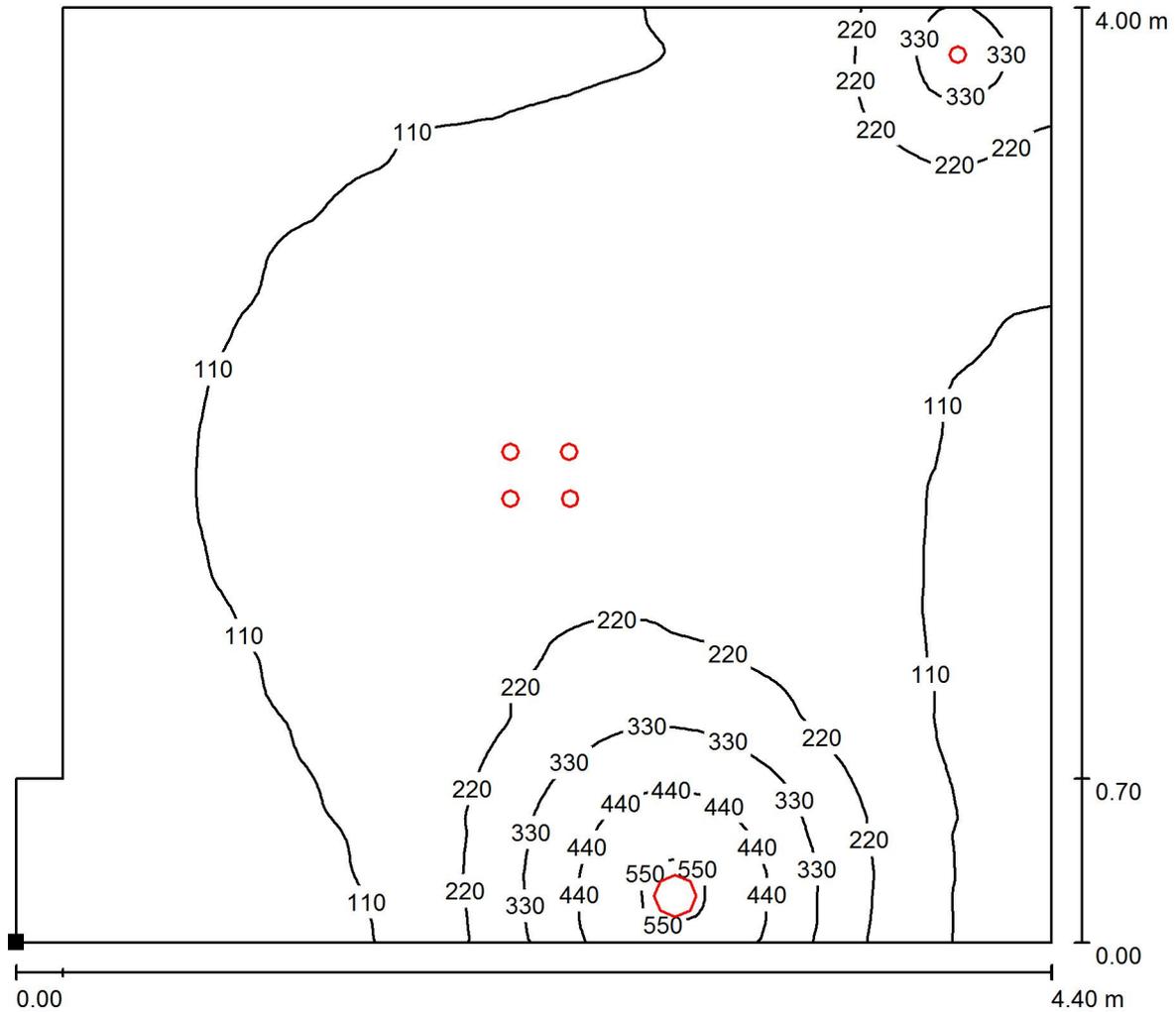
$E_{max}$  [lx]  
594

$E_{min} / E_m$   
0.335

$E_{min} / E_{max}$   
0.120

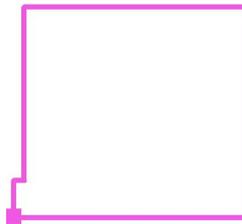
Proyecto elaborado por  
Teléfono  
Fax  
e-Mail

Hab.4 / Plano útil / Isolíneas (E)



Valores en Lux, Escala 1 : 32

Situación de la superficie en el local:  
Punto marcado:  
(0.000 m, 0.000 m, 0.850 m)



Trama: 128 x 128 Puntos

$E_m$  [lx]  
160

$E_{min}$  [lx]  
44

$E_{max}$  [lx]  
569

$E_{min} / E_m$   
0.276

$E_{min} / E_{max}$   
0.077

