



industriales
etsii

Escuela Técnica
Superior
de Ingeniería
Industrial

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

GEMELO DIGITAL: MODELADO, PROGRAMACIÓN Y SENSORIZACIÓN DE UN CUADRO ELÉCTRICO

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA



Universidad
Politécnica
de Cartagena

Autor: Jose Javier Silvente Teruel
Director: Dolores Ojados González
Codirector: Isidro J. Ibarra Berrocal

Cartagena, enero de 2019

A mis padres, a mis hermanos, a mis abuelos y a mis amigos,
gracias por aguantarme durante todo este tiempo.

ÍNDICE

RESUMEN	5
1. INTRODUCCIÓN	5
1.1. PROTECCIÓN DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS EN BAJA TENSIÓN	5
1.1.1. FUSIBLES.....	5
1.1.2. INTERRUPTORES AUTOMÁTICOS	8
1.1.3. INTERRUPTORES Y RELÉS DIFERENCIALES.....	12
1.2. MEDIDORES DE CONSUMO ELÉCTRICO	18
1.3. TERMOGRAFÍA Y MANTENIMIENTO.....	24
1.4. SOLIDWORKS.....	25
1.5. UNITY.....	26
1.6. INDUSTRIA 4.0.....	28
2. OBJETIVOS	37
3. MATERIALES Y MÉTODOS	37
3.1. ELECCIÓN DEL CUADRO ELÉCTRICO.	38
3.2. ELECCIÓN DE LOS INTERRUPTORES AUTOMÁTICOS.....	39
3.3. CABLEADO.	40
3.4. CONEXIONES.	41
3.5. SENSORES DE TEMPERATURA	43
3.6. DISEÑO ELETRÓNICO.....	44
3.7. PROGRAMACIÓN ARDUINO	46
3.8. CARGA	49
3.9. CONSTRUCCIÓN DE LAS CONEXIONES	50
3.10. CONSTRUCCIÓN DEL SOPORTE PARA EL SENSOR	53
4. RESULTADOS	55
4.1. TOMA DE MEDIDAS DE TEMPERATURA 1.....	55
4.2. TOMA DE MEDIDA DE TEMPERATURAS 2.....	56
4.3. MODELADO DE LOS COMPONENTES	63
4.4. PROGRAMACIÓN EN UNITY	67
5. CONCLUSIONES	74
BIBLIOGRAFIA, RECURSOS WEB	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema fusible.....	6
Figura 2: Curvas de fusión de fusible gG del fabricante Legrand.....	7
Figura 3: Esquema de un Interruptor Magnetotérmico.....	9
Figura 4: Curva B.....	10
Figura 5: Curva C.....	11
Figura 6: Curva D.....	11
Figura 7: Esquema Intensidad Diferencial.....	12
Figura 8: Funcionamiento protección diferencial	13
Figura 9: Curvas de disparo protección diferencial.....	14
Figura 10: Curva AC.....	14
Figura 11: Tiempo de desconexión curva tipo A.....	15
Figura 12: Tiempo de desconexión curva tipo A.....	16
Figura 13: Corriente de choque de 250 ^a (cresta) con forma de onda 8/20 μ s	17
Figura 14: Corriente de choque de 200 ^a (cresta) con forma de onda senoidal	17
Figura 15: Esquema funcionamiento pinza amperimétrica.....	20
Figura 16: Ejemplo instalación domestica con medidor de consumo.....	21
Figura 17: Cámara termográfica sobre protección eléctrica.....	24
Figura 18: Logo corporativo SolidWorks.....	25
Figura 19: Plataformas Unity.....	27
Figura 20: Esquema cronológico de la Revolución Industrial.....	28
Figura 21: Análisis DAFO.....	29
Figura 22: Esquema Internet de las Cosas	31
Figura 23: Esquema Gemelo Digital.....	34
Figura 24: Cuadro eléctrico Famatel NUOVA con capacidad para 10 módulos.....	38
Figura 25: Schneider electric Unipolar Neutro.....	39
Figura 26: Cable Lexman negro RVK 3G2.5mm ²	40
Figura 27 y 28: Clavija 16A goma blanco.....	42
Figura 29: sensor infrarrojo MLX90614ESF-BCI.....	43
Figura 30: Ventana de Sensores Infrarrojos.....	44

Figura 31: Detalle de las conexiones de los sensores.....	44
Figura 32: Sensores utilizados separados del resto de la cadena.....	45
Figura 33: Conexión Arduino.....	45
Figura 34: Calefactor.....	49
Figura 35: Esquema de conexión del interruptor automático.....	50
Figura 36: Montaje enchufe hembra.....	50
Figura 37: Montaje enchufe macho.....	51
Figura 38: Enchufe hembra terminado.....	51
Figura 39: Enchufe macho terminado.....	52
Figura 40: Conexión interruptor automático.....	52
Figura 41: Componentes del soporte de sensor.....	53
Figura 42: Capuchón del sensor.....	53
Figura 43: Soporte del sensor.....	54
Figura 44: Localización dispositivo térmico dentro del interruptor.....	56
Figura 45: Pinza amperimétrica.....	57
Figura 46: Gráfico de curva de temperaturas obtenidas a Carga Media.....	58
Figura 47: Gráfico de curva de temperaturas obtenidas a Carga Alta.....	60
Figura 48: Curva de disparo proporcionada por el fabricante.....	61
Figura 49: Pieza 1. Caja.....	63
Figura 50: Pieza 2. Carril metálico.....	64
Figura 51: Pieza 3 y 4. Soporte izquierdo y derecho.....	64
Figura 52: Pieza 5. Cuerpo del interruptor.....	65
Figura 53: Pieza 6. Palanca del interruptor.....	65
Figura 54: Pieza 7. Tapadera exterior.....	66
Figura 55: Ensamblaje. Cuadro eléctrico.....	66
Figura 56: Escena en Unity.....	70
Figura 57: Nomenclatura de los interruptores del cuadro.....	70
Figura 58: Ejemplo de interruptor con carga media.....	71
Figura 59: Ejemplo de interruptor con carga alta.....	71
Figura 60: Ejemplo de interruptor con sobrecarga.....	72
Figura 61: Ejemplo de la aplicación en funcionamiento.....	72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Zonas fusibles e infusibles de los fusibles de baja tensión de tipo gG y Gm.....	7
Tabla 2: Clasificación de los Interruptores Automáticos.....	8
Tabla 3: Características de un Pequeño Interruptor Automático.....	9
Tabla 4: Márgenes de disparo instantáneo.....	10
Tabla 5: Curvas de disparo normalizadas de un PIA.....	10
Tabla 6: Tiempo de desconexión de Interruptor diferencial AC.....	14
Tabla 7: Precios medidores de consumo individuales.....	22
Tabla 8: Precios medidores de consumo globales.....	23
Tabla 9: Ficha técnica Schneider electric Unipolar Neutro.....	40
Tabla 10: Ficha técnica Cable Lexman.....	41
Tabla 11: Ficha técnica MLX90614ESF-BCI.....	43
Tabla 12: Características calefactor.....	49
Tabla 13: Resultados primeras lecturas.....	55
Tabla 14: Prueba en vacío.....	58
Tabla 15: Prueba en carga media (4,6 Amperios).....	58
Tabla 16: Prueba en carga alta (9,1 Amperios).....	59
Tabla 17: Prueba disparo del interruptor (15 Amperios).....	60
Tabla 18: Relación Temperatura-Carga.....	62
Tabla 19: Relación temperatura-color-carga para un interruptor automático de 10 ^a	71

RESUMEN

Se pretende monitorizar la evolución de la temperatura dentro de un cuadro eléctrico con la intención de obtener, mediante el uso de sensores infrarrojos, una alternativa económica y práctica a los medidores de consumo y seguridad de un cuadro eléctrico. Para ello se construirá un cuadro físico real donde se realizará la fase de experimentación y posteriormente se modelará en 3D dicho cuadro con la intención de crear su gemelo virtual. Este gemelo virtual será el que permitirá la monitorización en tiempo real del estado de consumo/seguridad del cuadro.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. PROTECCIÓN DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS EN BAJA TENSIÓN

1.1.1. FUSIBLES

Se trata de dispositivos cuyo objetivo es abrir el circuito en el que se encuentra integrado por la fusión de elementos que han sido diseñados y calibrados para esta tarea, seccionando la corriente si esta excede un valor determinado durante el tiempo necesario.

(UNE EN 60269-1)

El conductor se encuentra envuelto en arena de sílice o aire y protegido dentro de una cabina de cerámica, cristal o plástico. El sílice se utiliza para extinguir rápidamente el arco eléctrico que se origina cuando se produce el corte del circuito. Su tamaño vendrá determinado por la tensión de funcionamiento y su intensidad.

Están compuestos por 2 elementos principales, el conjunto portador (portafusible + base) y cartucho fusible (conductor, borne, aislamiento, percutor)

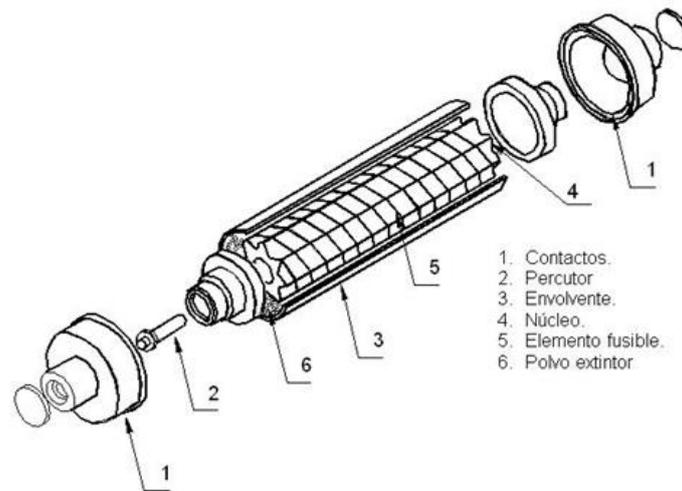


Figura 1: Esquema fusible

Clasificación de los fusibles según el tipo de servicio

Los fusibles se clasifican de la siguiente manera según sus características funcionales, la primera letra indicará la clase de función y la segunda el objeto a proteger.

Primera letra

Clase de función	g. De uso general, protección integral.
	a. De acompañamiento, protección parcial.

Segunda letra

Objeto de protección	G(L): Cables y conductores
	B: Instalaciones mineras
	M: Aparatos de conexión y maniobra
	Tr: Transformadores
	R: Semiconductores

Tabla 1: Zonas fusibles e infusibles de los fusibles de baja tensión de tipo gG y gM

Corriente nominal I_n (A)	Corriente infusible convencional	Corriente fusible convencional I_f Inf	Tiempo convencional (h) I_2
$I_n \leq 4$ A	$1.5 I_n$	$2.1 I_n$	1
$4 < I_n < 16$ A	$1.5 I_n$	$1.9 I_n$	1
$16 < I_n \leq 63$ A	$1.25 I_n$	$1.6 I_n$	1
$63 < I_n \leq 160$ A	$1.25 I_n$	$1.6 I_n$	2
$160 < I_n \leq 400$ A	$1.25 I_n$	$1.6 I_n$	3
$400 < I_n$	$1.25 I_n$	$1.6 I_n$	4

(IEC 60269-1 y 60269-2-1)

Los fusibles del tipo gG se utilizan para la protección de cortocircuitos y sobrecargas.

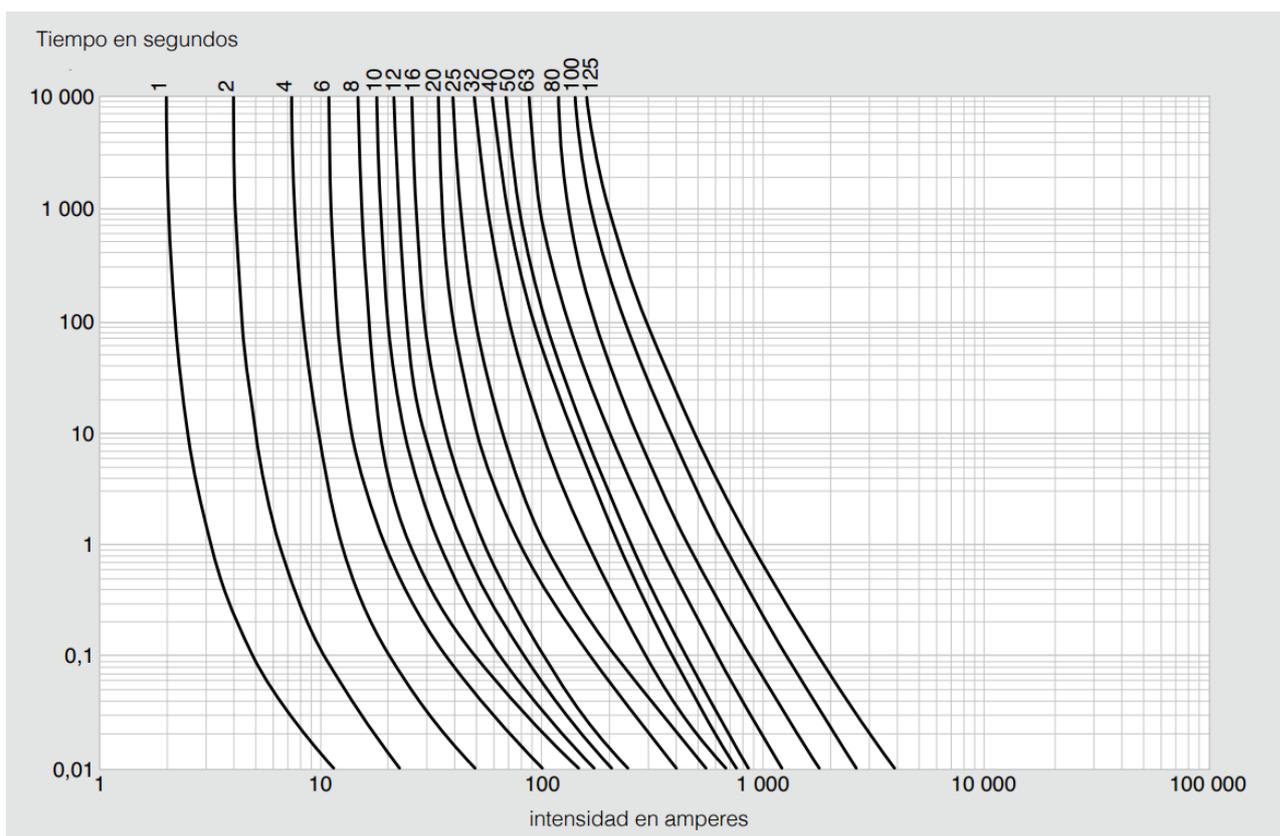


Figura 2: Curvas de fusión de fusible gG del fabricante Legrand

1.1.2. INTERRUPTORES AUTOMÁTICOS

Los interruptores automáticos o IA son dispositivos mecánicos con la capacidad de establecer, soportar e interrumpir corrientes de un circuito en su estado habitual, así como establecer, soportar durante un periodo de tiempo determinado e interrumpir corrientes en condiciones anormales como podría ser un cortocircuito.

(UNE EN 60947-2)

Estos dispositivos son utilizados para maniobra y protección. Son capaces de interrumpir corrientes de sobrecarga o cortocircuito antes de que se produzcan daños en la instalación, pero a diferencia de los fusibles, estos pueden volver a su estado original después de producir un corte en el circuito.

Se pueden clasificar en “Pequeños Interruptores Automáticos” (PIA) o simplemente “Interruptores Automáticos” (IA).

Tabla 2: Clasificación de los Interruptores Automáticos

	Interruptores Automáticos	Pequeños Interruptores Automáticos
Corriente	0.5 A a 6300 A	6 A a 125 A
Tensión	Hasta 1000V	Hasta 400V
Permite Regulación	Si	No
Aplicación	Industrial	Domiciliaria

Se le llama también Interruptor Magnetotérmico (a los PIA) porque consta de dos mecanismos diferentes de protección, el magnético y el térmico.

Principio de funcionamiento

La protección magnética se encarga de las sobreintensidades por cortocircuito. Dicha protección esta formada por un solenoide el cual, cuando se produce el cortocircuito la intensidad que circula por él es tan alta que provoca el desplazamiento del núcleo situado en su interior, esto a su vez accionará el mecanismo que abre los contactos del dispositivo.

La protección térmica se encarga de las sobreintensidades por sobrecarga. Dentro del dispositivo se encuentra una lámina bimetálica, al circular por ella una corriente lo suficientemente alta hará que se dilate y se deforme accionando el mecanismo que separa los contactos del interruptor.

La cámara de extinción o cámara apagachispas fracciona y estira el arco eléctrico que pueda producirse, de esta manera el arco se divide en varios arcos más pequeños facilitando su extinción.

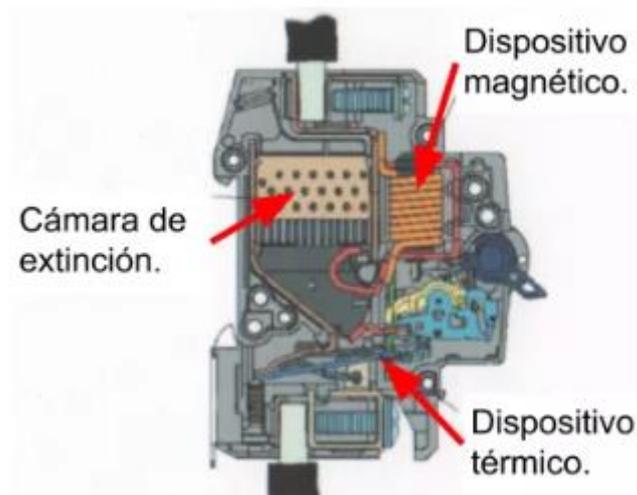


Figura 3: Esquema de un Interruptor Magnetotérmico

Tabla 3: Características de un Pequeño Interruptor Automático

Tensión asignada (<440 V)
Intensidad asignada (<125 A)
Nº de polos
Poder de corte (<25 kA)
Curvas de disparo

- Estos interruptores no permiten regulación.
- No suelen tener disparadores indirectos.
- Están preparados para la protección contra sobrecargas de viviendas y aplicaciones similares.
- No hace falta estar cualificado para utilizar estos dispositivos.
- No requieren mantenimiento.

(UNE EN 60898)

Tabla 4: Márgenes de disparo instantáneo

Tipo	Margen inferior	Margen superior
B	3 In	5 In
C	5 In	10 In
D	10 In	20 In
Tiempo límite	$t \geq 0.1$ s	$t \leq 0.1$ s

Tabla 5: Curvas de disparo normalizadas de un PIA

Desconexión		Curva B		Curva C	
		AC ~50 Hz	DC —	AC ~50 Hz	DC —
①	It1	1.13 In	1.13 In	1.13 In	1.13 In
②	It2	1.45 In	1.45 In	1.45 In	1.45 In
③	Im1	3 In	3 In	5 In	5 In
④	Im2	5 In	7.5 In	10 In	15 In

(UNE EN-EN 60898)

Curva B

Protección de generadores, de personas y grandes longitudes de cable (en régimen TN e IT).
Sobrecarga: térmico estándar. Cortocircuito: umbrales magnéticos fijados por curva B (Im entre 3 y 5 In o 3,2 y 4,8 In según los aparatos, según UNE-EN 60898 y UNE-EN 60947-2 respectivamente).

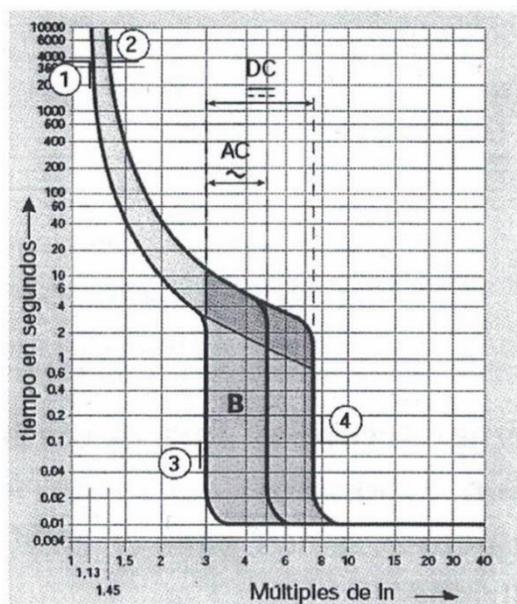


Figura 4: Curva B

Curva C

Protección de cables alimentando receptores clásicos. Sobrecarga: térmico estándar.

Cortocircuito: umbrales magnéticos fijados por curva C (I_m entre 5 y 10 I_n o 7 y 10 según los aparatos, según UNE-EN 60898 y UNE-EN 60947-2 respectivamente).

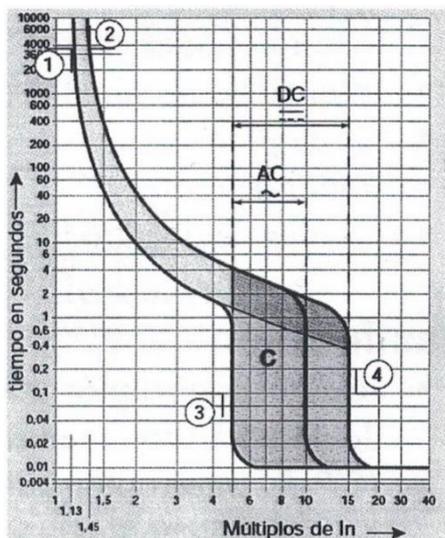


Figura 5: Curva C

Curva D

Protección de cables alimentando receptores con fuertes puntas de arranque.

Sobrecarga: térmico estándar.

Cortocircuito: umbrales magnéticos fijados por curva D (I_m entre 10 y 14 I_n según UNE-EN 60898 y UNE-EN 60947-2).

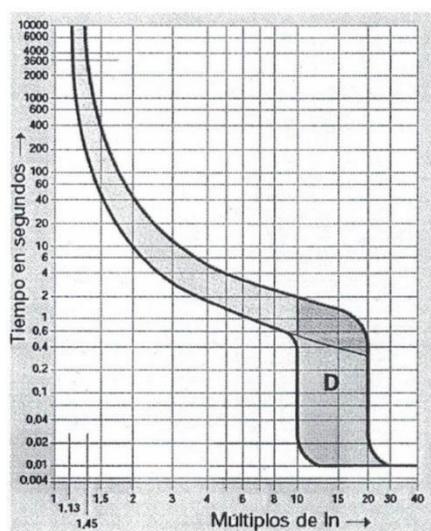


Figura 6: Curva D

1.1.3. INTERRUPTORES Y RELÉS DIFERENCIALES

Un interruptor automático con dispositivo diferencial es un aparato electromecánico de interrupción cuya finalidad es cortar automáticamente la alimentación de una instalación eléctrica, o una parte de esta, cuando se ponen en contacto partes activas de la instalación, y de esta manera proteger a las personas de cualquier accidente que pudiera causarse.

(UNE 20-383)

Fundamentos de la protección diferencial

En cualquier instalación eléctrica en un estado de funcionamiento normal, el sumatorio vectorial de las corrientes de los conductores de una línea es nulo.

- Si la distribución es monofásica, $\sum \vec{I}_a = \vec{I}_F + \vec{I}_N$
- Si la distribución es trifásica sin neutro, $\sum \vec{I}_a = \vec{I}_1 + \vec{I}_2 + \vec{I}_3$
- Si la distribución es trifásica con neutro, $\sum \vec{I}_a = \vec{I}_1 + \vec{I}_2 + \vec{I}_3 + \vec{I}_N$

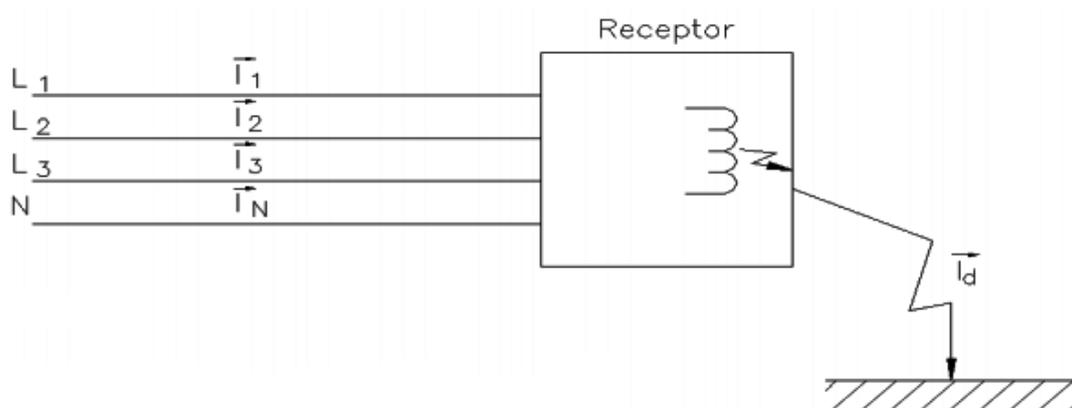


Figura 7: Esquema Intensidad Diferencial

A través de la protección diferencial se realiza un balance de las corrientes que circulan por los conductores activos del circuito.

- Instalación en funcionamiento normal, $\sum \vec{I}_a = 0$
- Instalación en caso de defecto, $\sum \vec{I}_a = \vec{I}_d \neq 0$

La intensidad I_d es el valor de la corriente que circula por el conductor de protección (PE) al que se conectan las masas metálicas de los equipos eléctricos.

El componente perceptivo a la corriente diferencial está compuesto por un núcleo toroidal de material ferromagnético que es traspasado por todos los conductores activos que alimentan el circuito (excepto el conductor de protección).

El flujo magnético que se origina por el paso de las corrientes de estos conductores será nulo cuando la instalación se encuentre en estado de funcionamiento normal ($I_d = 0$) pero que tendrá un determinado valor (ϕ_R) en el momento en el que se produzca una corriente de defecto a tierra ($I_d \neq 0$).

El flujo que se origina ϕ_R , produce en una bobina auxiliar una fuerza electromotriz que alimentara la bobina de disparo del elemento de corte del circuito.

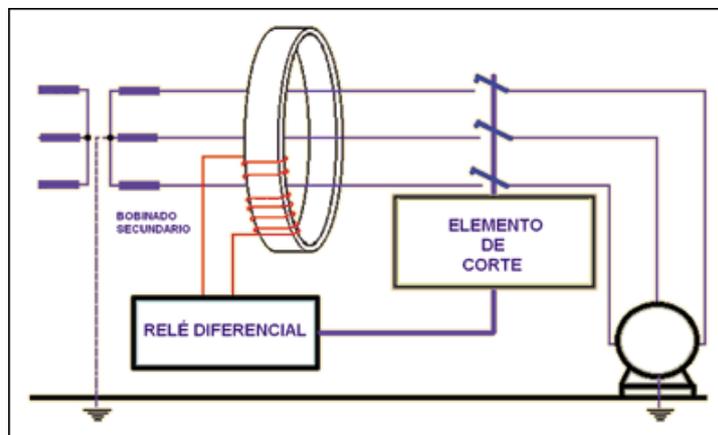


Figura 8: Funcionamiento protección diferencial

Características

- Sensibilidad ($I_{\Delta N}$) ($I_{\Delta nofunc}$): valor de la corriente diferencial para el cual el interruptor diferencial se abre
 - Alta sensibilidad, valores ≤ 30 mA
 - Baja sensibilidad, valores ≥ 30 mA (300 o 500 mA)
- Intensidad nominal ($I_N \leq 63$ A) (UNE 20-383)
- Corriente nominal de funcionamiento ($I_{\Delta Nf}$): valor de la corriente por el cual, debajo de este, se garantiza que el interruptor no abre el circuito.

$$I_{\Delta Nf} = \frac{1}{2} I_{\Delta N}$$

- Tensión nominal de utilización (U_N)
- Poder de corte ($< 5 \text{ kA}$)
- Características de disparo ($I_{\Delta N} - t$)

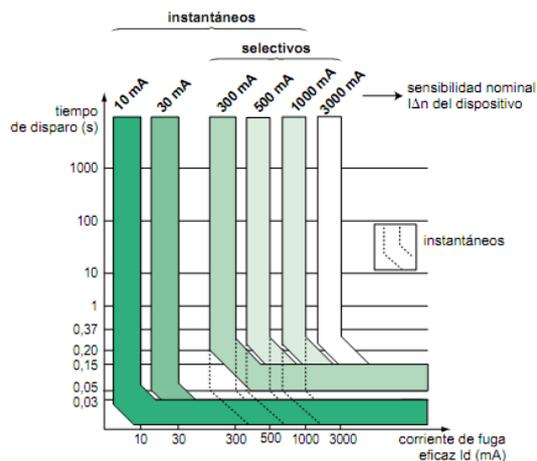


Figura 9: Curvas de disparo protección diferencial

Clasificación de los interruptores automáticos diferenciales

Clase AC

Un interruptor diferencial de la clase AC asegura la conexión ante una corriente diferencial senoidal, aplicada bruscamente, o de valor creciente.

Tabla 6: Tiempo de desconexión de Interruptor diferencial AC

Corriente diferencial	Tiempo desconexión
$0.5 \times I_{\Delta N}$	$t = \infty$
$1 \times I_{\Delta N}$	$t < 300 \text{ ms}$
$2 \times I_{\Delta N}$	$t < 150 \text{ ms}$
$5 \times I_{\Delta N}$	$t \leq 40 \text{ ms}$

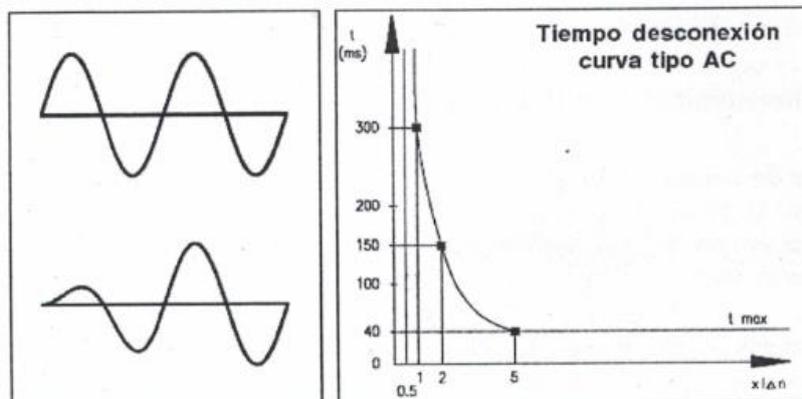


Figura 10: Curva AC

Clase A

Con la existencia de elementos semiconductores (diodos, tiristores, etc) cada vez más frecuentes en los receptores, pueden originarse corrientes de fuga continuas pulsantes.

Una corriente continua pulsante es una corriente senoidal, que toma a lo largo de cada periodo el valor cero, o que no supere el valor de 6mA en corriente continua, durante un intervalo de tiempo único, de duración igual por lo menos al tiempo correspondiente a 150° (50Hz).

Los interruptores diferenciales clase A garantizan la desconexión ante corrientes diferenciales alternas o continuas pulsantes aplicadas bruscamente o de valor creciente.

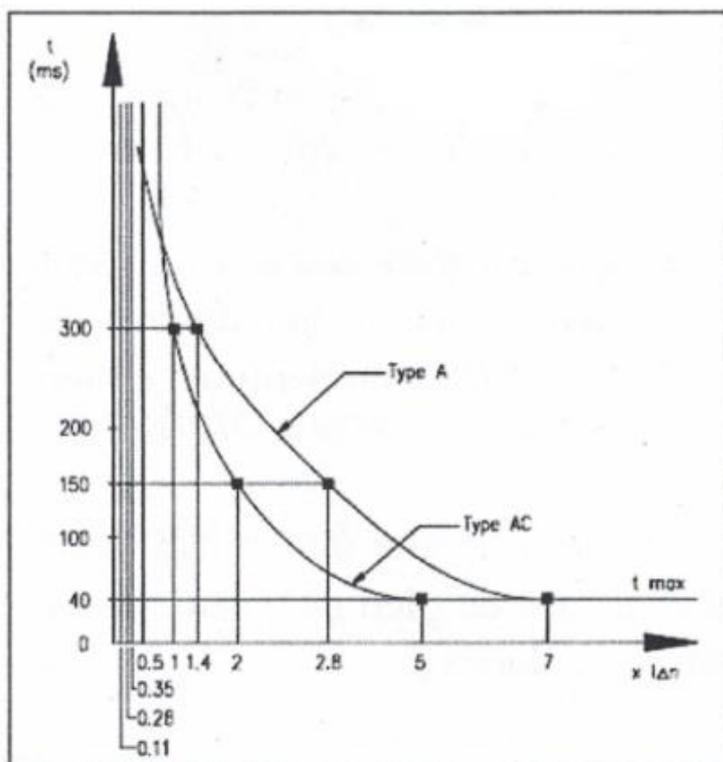


Figura 11: Tiempo de desconexión curva tipo A

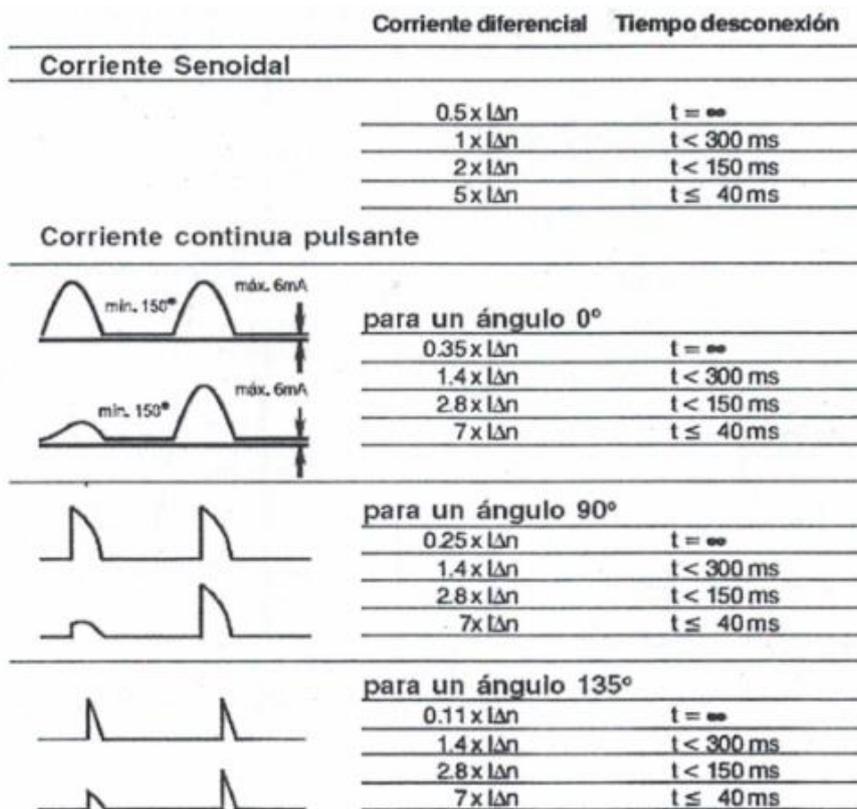


Figura 12: Tiempo de desconexión curva tipo A

Clase Ai

Cada vez es más frecuente que los equipos eléctricos estén dotados de elementos electrónicos que provocan el disparo de los interruptores diferenciales de 30 mA de tipo A o Ac a causa de sobretensiones o corrientes de alta frecuencia producidas por perturbaciones atmosféricas, equipos de iluminación y alumbrado, ordenadores, aparatos, grandes longitudes de cable etc.

Por este motivo, para este tipo de instalaciones es recomendable subdividir los circuitos o utilizar interruptores diferenciales de alta inmunidad (Ai).

Los interruptores diferenciales de alta inmunidad protegen de los disparos por perturbaciones para intensidades de pico de hasta 3000 A 8/20 μ s para 30 mA y 5000 A 8/20 μ s para 300mA selectivo.

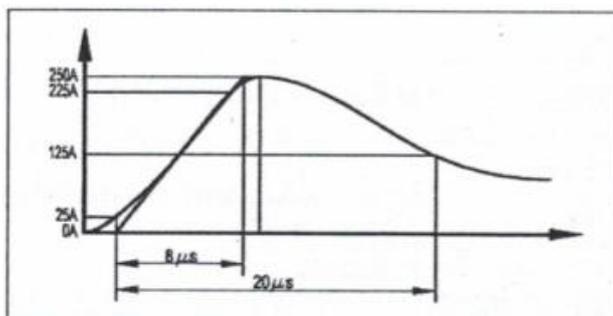


Figura 13: Corriente de choque de 250^a (cresta) con forma de onda 8/20 μ s (VDE 0664)

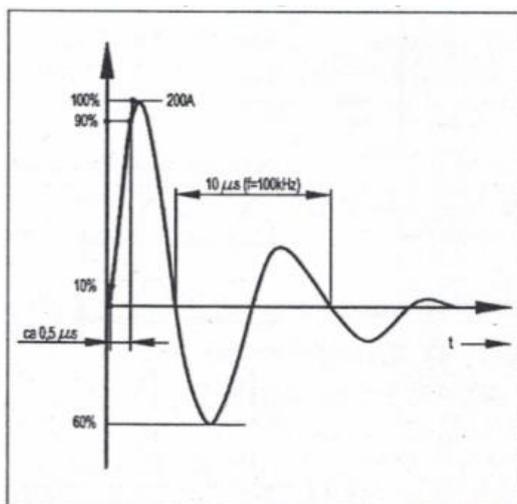


Figura 14: Corriente de choque de 200^a (cresta) con forma de onda senoidal atenuada 0.5 μ s-100kHz (pr EN 61.1008)

1.2. MEDIDORES DE CONSUMO ELÉCTRICO

Los medidores de consumo son dispositivos diseñados para mostrar la electricidad que está consumiendo en tiempo real, una instalación, una parte de ella o un aparato en concreto.

Existen dos tipos de medidores de consumo:

- Individual: este tipo de medidores aporta los datos de un determinado enchufe y por tanto de todo lo que se conecte a él, por ejemplo, una lámpara, un ordenador, una impresora... Son muy fáciles de instalar ya que solo hay que conectarlo entre el enchufe y el aparato que se desea controlar.
- Global: recoge la información de toda la instalación. Se conecta al cuadro eléctrico y puede monitorizar el consumo eléctrico de dicha instalación. Estos aparatos son más complejos que los anteriores y más difíciles de instalar, pero ofrecen una visión mucho más extensa de los hábitos de consumo eléctrico de la vivienda.

Los medidores de consumo eléctrico desde el punto de vista doméstico permiten:

- Ahorrar: conocer el consumo eléctrico de una vivienda permite observar en que partes de esta se está excediendo más o menos y tomar medidas para tratar de reducir dicho consumo.
- Control: los dispositivos más modernos disponen de conexión a internet, lo que permite consultar datos desde un dispositivo externo como un ordenador o un teléfono móvil. Otros incluso permiten actuar sobre la instalación, por ejemplo, si se encuentra en el trabajo, puede apagar una luz o un electrodoméstico que se hubiese quedado conectado.
- Detección de problemas: conociendo el consumo que suelen tener los elementos de la vivienda se puede dar con un aparato averiado al detectar un consumo por debajo o por encima del habitual.

Principio de funcionamiento

Los medidores de consumo eléctrico suelen estar compuestos por 3 elementos totalmente diferenciados.

- Sensor: suele tratarse de una pinza amperimétrica que se coloca abrazando el conductor de fase y que realizara las mediciones. Los hay con sensor óptico que se coloca directamente en el contador y lee el consumo que muestra este. Otros se colocan en serie en una línea determinada, teniendo que cortar el cable de dicha línea, y por último están los enchufes medidores, que también se colocan en serie, pero solo hay que conectarlos a la red y enchufarles cualquier aparato que deseemos medir.
- Emisor: se encarga de mandar la información que recoge el sensor y transmitirla al receptor. La conexión con el sensor es física mientras que la conexión con el receptor puede ser física o inalámbrica.
- Receptor: es la cabeza del sistema. Recibe la información del sensor y la analiza para mostrar en pantalla lo que el usuario desea conforme a la configuración que haya hecho del dispositivo, puede mostrar el consumo en tramos de tiempo, los costes de la electricidad, etc.

Centrándonos en los medidores con pinza amperimétrica, el funcionamiento es sencillo. La pinza actúa de forma similar a un transformador de intensidad, obteniendo el flujo magnético que genera la corriente del conductor alrededor del cual hemos colocado la pinza. El primario de dicho transformador sería la corriente que circula por el conductor que se está midiendo. Mediante inducción electromagnética se consigue una intensidad proporcional a la del primario en la bobina del secundario, que se encuentra en la abrazadera de la pinza y que conecta con el sistema de medición de esta, obteniendo así la intensidad de corriente alterna que circula por el conductor.

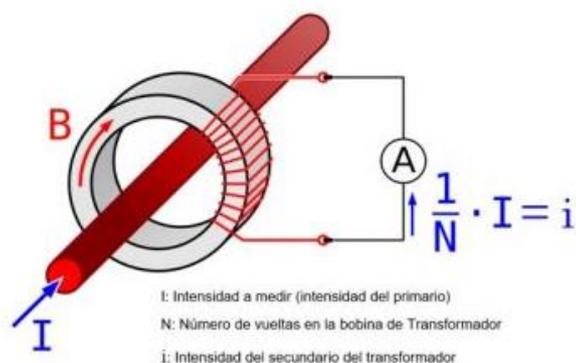


Figura 15: Esquema funcionamiento pinza amperimétrica

Número de pinzas

Como se señalaba anteriormente, la pinza amperimétrica es el sensor a instalar y dependiendo del número de pinzas del que disponga el medidor se podrá hacer un seguimiento más o menos complejo del consumo de la instalación. Si solo se dispone de una pinza, se tendrá que elegir el circuito a medir y lo más recomendable sería colocarla en el circuito principal y poder controlar la vivienda como un único elemento. En cambio, si se dispone de más sensores se puede monitorizar la vivienda por zonas o incluso separando un electrodoméstico determinado del resto del circuito, y de esta manera obtener unas lecturas mucho más detalladas del consumo de la casa. Para esto, es importante conocer la distribución del cuadro eléctrico de la vivienda. En un cuadro doméstico estándar encontraríamos una línea principal de la cual divergen varios circuitos secundarios que suelen ser de iluminación, enchufes normales y enchufes de potencia donde conectar los electrodomésticos de mayor consumo. Cuantos más circuitos diferenciados se observen en el cuadro, más amplio y detallado será el control que se pueda realizar sobre la instalación.

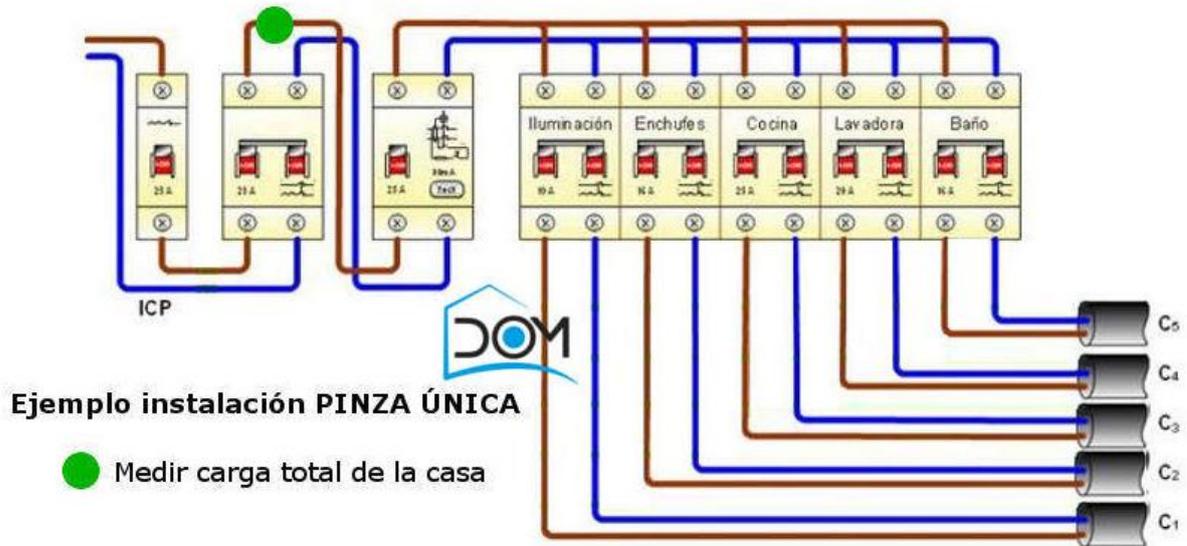


Figura 16: Ejemplo instalación domestica con medidor de consumo

En caso de tener una instalación trifásica, se tiene que colocar un medidor con 3 pinzas que permita sumar los valores de las 3 fases para conocer el consumo total de la instalación.

Gama de precios de los medidores de consumo

Algunos de los medidores de consumo individuales del mercado, todos ellos disponibles en Amazon

Tabla 7: Precios medidores de consumo individuales

Fabricante	Precio	Fuente	Foto
CSL-COMPUTER	9.85€	www.amazon.es	
ARENDO	17.99€	www.amazon.es	
TACKLIFE	18.99€	www.amazon.es	
TACKLIFE	23.09€	www.amazon.es	
METERK	20.99€	www.amazon.es	
ZAEEL	10.99€	www.amazon.es	

Aquí se muestran varios medidores de consumo globales, todos con una sola pinza amperimétrica.

Tabla 8: Precios medidores de consumo globales

Fabricante	Precio	Nº Pinzas	Fuente	Foto
MIRUBEE	99.95€	1	http://www.leroymerlin.es	
EFERGY	79.50€	1	www.amazon.es	
SMAPPEE	198.36€	1 o 3 para trifásico	www.amazon.es	
EFERGY	76.41€	1	www.merkasol.com	
EFERGY	65.96	1	es.rs-online.com	

Como se puede observar, los precios de los medidores individuales rondan entre los 10-20€, siendo el más vendido según Amazon, de 17.99€. Los precios de los medidores globales son algo menos homogéneos, aunque la mayoría de ellos ronda entre los 70-100€, podemos encontrar equipos bastante caros.

1.3. TERMOGRAFÍA Y MANTENIMIENTO

La termografía infrarroja podría definirse como una técnica basada en la obtención de medidas superficiales de temperatura de un cuerpo, para ello es necesario una cámara termográfica que permite captar la radiación infrarroja del espectro electromagnético y convertirla en una imagen visible que permita leer los valores de temperatura. Cada pixel de la fotografía radiométrica es, de hecho, una medición de temperatura.

Dentro del ámbito del mantenimiento eléctrico, se trata de una técnica muy útil que puede constituir la primera línea de defensa de un programa de mantenimiento de una instalación. Los técnicos pueden realizar esta tarea sin necesidad de detener los equipos ya que no es necesario el contacto físico y las plantas industriales necesitan operar sin interrupciones 24 horas al día, los 365 días del año.

Un pequeño problema eléctrico podría tener consecuencias muy graves si no se detecta a tiempo, no solo se reduce el rendimiento del equipo ya que se gasta más energía en generar calor, si no que dicho calor puede acumularse y desencadenar en una avería mucho más grave o incluso un incendio.

Si se desea realizar un control de un punto concreto pueden utilizarse termómetros infrarrojos, sin embargo, para zonas de mayor tamaño sería fácil pasar por alto componentes esenciales que puedan producir fallos, para estos casos es necesario el uso de la cámara termográfica. Estas cámaras pueden analizar motores, componentes o paneles completos de una vez, lo que permite descubrir cualquier anomalía en el calentamiento de la máquina, por pequeña que sea.

La termografía suele utilizarse dentro del mantenimiento preventivo de sistemas eléctricos, en inspecciones de componentes de todo tamaño y forma, sobre todo en instalaciones de alta tensión.

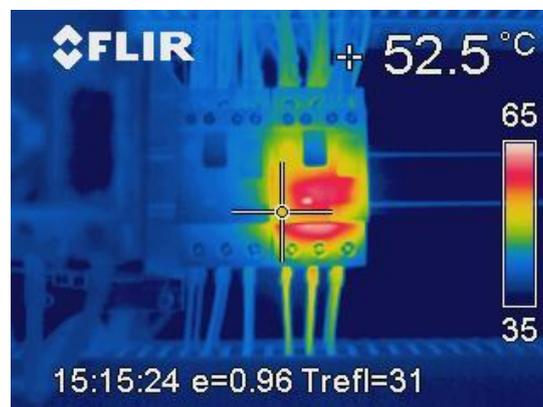


Figura 17: Cámara termográfica sobre protección eléctrica

1.4. SOLIDWORKS

“El software de diseño de SOLIDWORKS es tan sencillo como potente y permite que cualquier empresa pueda hacer sus ideas realidad y hacerse con mercados globales.

Las soluciones de SOLIDWORKS® se centran en la forma en que trabaja a diario, con un entorno de diseño en 3D integrado e intuitivo que abarca todos los aspectos del desarrollo del producto y que ayuda a maximizar la productividad del diseño y la ingeniería. Más de 2 millones de diseñadores e ingenieros de todo el mundo usan SOLIDWORKS para hacer realidad sus diseños, desde los dispositivos más novedosos hasta innovaciones para lograr un futuro mejor.

Las soluciones de desarrollo de productos y diseño en 3D intuitivas de SOLIDWORKS le permiten conceptualizar, crear, validar, comunicar, gestionar y transformar sus ideas innovadoras en grandes diseños de productos.”

El software de diseño asistido por ordenador SolidWorks para modelado mecánico tanto en 2D como en 3D, lo desarrolla la empresa SolidWorks Corporation, filial de Dassault Systèmes. La primera versión de este programa se lanzó al mercado en noviembre de 1995, con la finalidad de hacer la tecnología CAD más accesible, siendo el primer software de modelado relevante para Windows. Originalmente SolidWorks estaba dirigido a ingenieros mecánicos, pero desde entonces se ha expandido para cubrir una gran variedad de industrias.

Desde una interfaz sencilla e intuitiva, el programa proporciona las herramientas para modelar piezas, realizar su posterior ensamblado y obtener todo tipo de información acerca de nuestros diseños, ya sean planos, materiales, cálculo de costes...



Figura 18: Logo corporativo SolidWorks.

1.5. UNITY

“La mitad de los juegos del mundo se creó con Unity. Nuestras herramientas flexibles en tiempo real ofrecen posibilidades increíbles a los desarrolladores de juegos, y a los creadores de una serie de industrias y aplicaciones. “

Unity es un motor de videojuego desarrollado por Unity Technologies, disponible para diversas plataformas. Su primera versión se lanzó en la Conferencia Mundial de Desarrolladores de Apple en 2005.

El editor de Unity presenta una gran variedad de herramientas que permiten una edición e iteración rápidas en los ciclos de desarrollo.

- Editor todo en uno: disponible para Windows y Mac, incluye una serie de herramientas sencillas para el diseño de experiencias y mundos de juego, además de un kit de herramientas completo para desarrolladores que servirán para implementar las lógicas del juego.
- 2D y 3D: Unity ayuda al diseño tanto de la tecnología 2D como la 3D con diversas prestaciones y funcionalidades específicas para ambos géneros.
- Herramientas AI Pathfinding: su sistema de navegación permite la creación de NPCs que puedan moverse con inteligencia artificial por el mundo del juego. El sistema utiliza mallas de navegación que se crean automáticamente a partir de la geometría de la escena.
- Interfaz de usuario: permite crear interfaces de usuario de forma rápida e intuitiva.
- Motores de física: consigue una experiencia sumamente realista y de alto rendimiento con el soporte de Box2D NVIDIA PhysX
- Herramientas personalizadas: permite crear y agregar extensiones personalizadas y expandir el Editor con las herramientas que se necesiten.
- Más de 25 plataformas entre móvil, PC, consola, TV, AR, VR y la web.
- Unity posee más soporte para plataformas que cualquier otro motor.

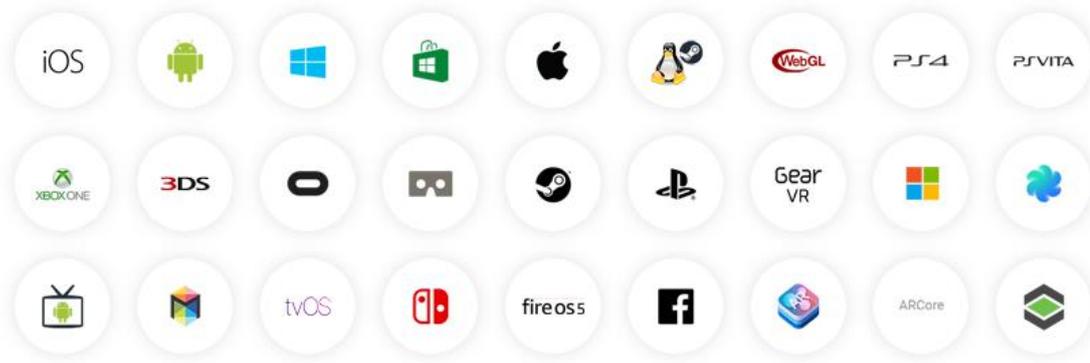


Figura 19: Plataformas Unity.

Desbloqueo de datos CAD

Mediante una asociación con el software PiXYZ, Unity ofrece todo lo necesario para importar, gestionar y optimizar de manera rápida los modelos CAD para proyectos de visualización en tiempo real.

“PiXYZ elimina las suposiciones y el trabajo pesado de la ecuación de preparación de datos CAD, asegurando que todos tus archivos CAD se optimicen para Unity, independientemente de la fuente”

VR y AR

Unity es una potente herramienta para los creadores de XR. La usan desde estudios de juegos AAA como Ubisoft, notables empresas creativas como Weiden+Kennedy, pioneros espaciales de la NASA, importantes directores de Hollywood como Eric Darnell y Neill Blomkamp e incluso diseñadores de Google para algunas de sus aplicaciones.

1.6. INDUSTRIA 4.0

Dejando atrás la tercera etapa de la Revolución Industrial, ligada a la computación y al automatismo en los sistemas de producción, la Humanidad ha ido acercándose en los últimos años a una nueva relación ligada a la inteligencia artificial en la cuarta Revolución Industrial. Se trata, principalmente, de un movimiento emergente cuyo fundamento se basa en la introducción de nuevas tecnologías digitales en el ámbito de las fábricas.

El nuevo paradigma tecnológico es el fruto de una suma de factores que se han ido añadiendo a las diferentes herramientas de las que la industria disponía de los últimos años hasta la actualidad, y se corresponde a la nueva manera de organizar la producción industrial y los diferentes medios productivos.

De la misma forma que la máquina de vapor cambió la manera de ver el mundo, pasando de una industria mínima basada en el trabajo manual y sin apenas una organización eficiente, al desarrollo hiperacelerado de nuevas tecnologías y nuevos elementos que facilitarían la vida de las personas al mismo tiempo que permitían a la misma industria seguir desarrollándose.

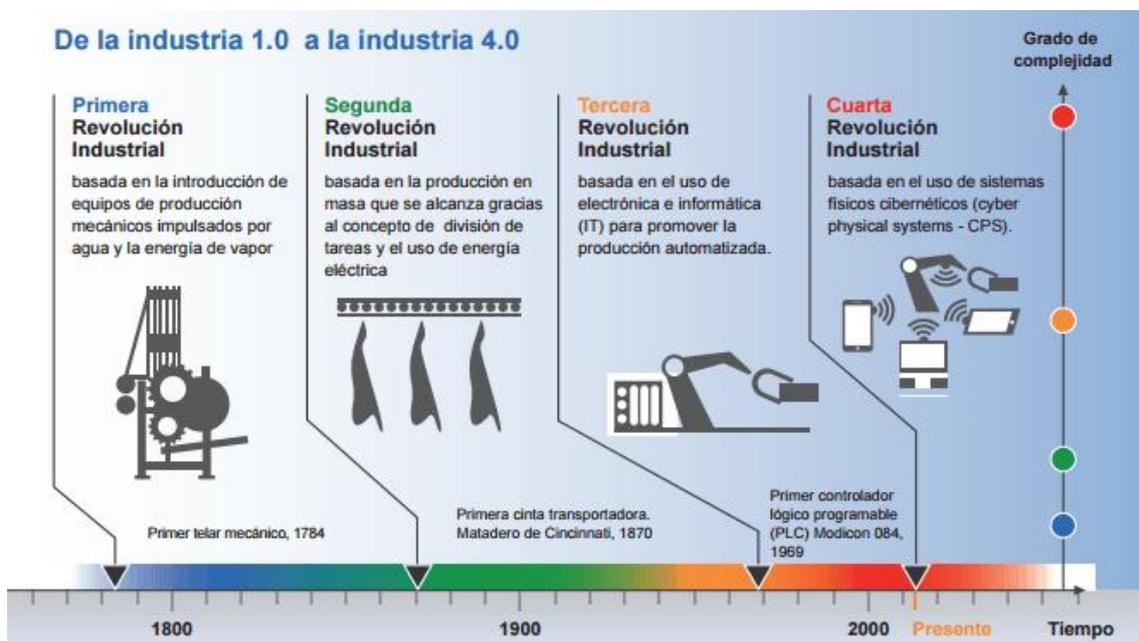


Figura 20: Esquema cronológico de la Revolución Industrial

La interconexión de todos los factores productivos y su automatización permite crear redes de producción digital y conectar las unidades productivas de forma que los procesos de producción se vean acelerados y el uso de los recursos sea mucho más eficiente.

Las mejoras en la producción van acompañadas de un drástico descenso de los costes debido a la maximización del uso de todos los recursos disponibles, y conlleva que en muchos casos las factorías puedan producir las 24 horas del día de forma prácticamente ininterrumpida, maximizando la producción. Esto es muy positivo especialmente en los casos de las industrias con trabajo estacional, como podría ser el caso de una conservera.

De tal forma el papel que juega la automatización va mucho más allá, en tanto que se consigue una mayor seguridad para el personal que trabaja en cada uno de los procesos, así como se mejoran los niveles de calidad por una mayor precisión en pesos y medidas.



Figura 21: Análisis DAFO

En términos generales se podría concluir en que una revolución tecnológica como la que se está desarrollando en la actualidad con la Industria 4.0, se dan los factores necesarios para crear esa retroalimentación de la misma industria que será sin duda la que permita a esta llegar a una quinta revolución en el futuro y seguir desarrollándose como hasta ahora.

Big Data en la Automatización

El uso extensivo de internet, ahora accesible para la totalidad de los países desarrollados, y que comienza a irrumpir con fuerza en los países en vías de desarrollo, ha permitido el florecimiento de billones de unidades de información almacenadas en bases de datos que permiten a la industria conocer los hábitos de comportamiento y tendencias de consumo de los usuarios, permitiendo a las empresas conocer a sus potenciales clientes y satisfacer las necesidades que vayan surgiendo incluso antes de que estas necesidades aparezcan.

Esta acumulación progresiva de los datos mencionados, ha provocado que en las fábricas todos los medios de producción, como maquinaria de cualquier tipo, dispositivos digitales y sistemas estén fuertemente conectados entre sí, de manera que la inteligencia artificial surge de entre otras cosas de la necesidad imperante de esta nueva industria de controlar de manera simultánea todos estos factores que intervienen en la producción para lograr la mayor productividad y eficiencia posible.

La aparición del Big Data ha proporcionado un conjunto de elementos que son necesarios para el desarrollo de la nueva actividad industrial, otorgando la capacidad de despejar incógnitas relativas a factores como el rendimiento y la producción y sentando las bases de la fabricación predictiva.

Llegado el momento tras la recopilación de todos esos datos masivos, era necesario utilizarlos para hallar resultados.

Las direcciones que toma la Industria 4.0 pasan directamente por la interconexión de los medios de producción. mediante el Internet de las Cosas (IoT) y las conexiones M2M o *Machine to Machine*, esto es, un entorno de comunicación que permite la interacción remota de dos máquinas.

En el contexto que estas tecnologías se van desarrollando, las necesidades de la industria se encuentran en torno a la capacidad que una fábrica tiene de resolver problemas complejos antes de que ocurran para que no interfieran en la capacidad productiva y en la eficiencia, de modo

que estos componentes tengan las vías necesarias para atajar inconvenientes a medida que estos se presenten. Es pues el caso de corporaciones como ThyssenKrupp, que han empezado a incorporar entre sus servicios un mantenimiento preventivo y predictivo de sus ascensores, de forma que cada componente tiene la capacidad de enviar una señal automática cuando necesite reparación o un reemplazo.

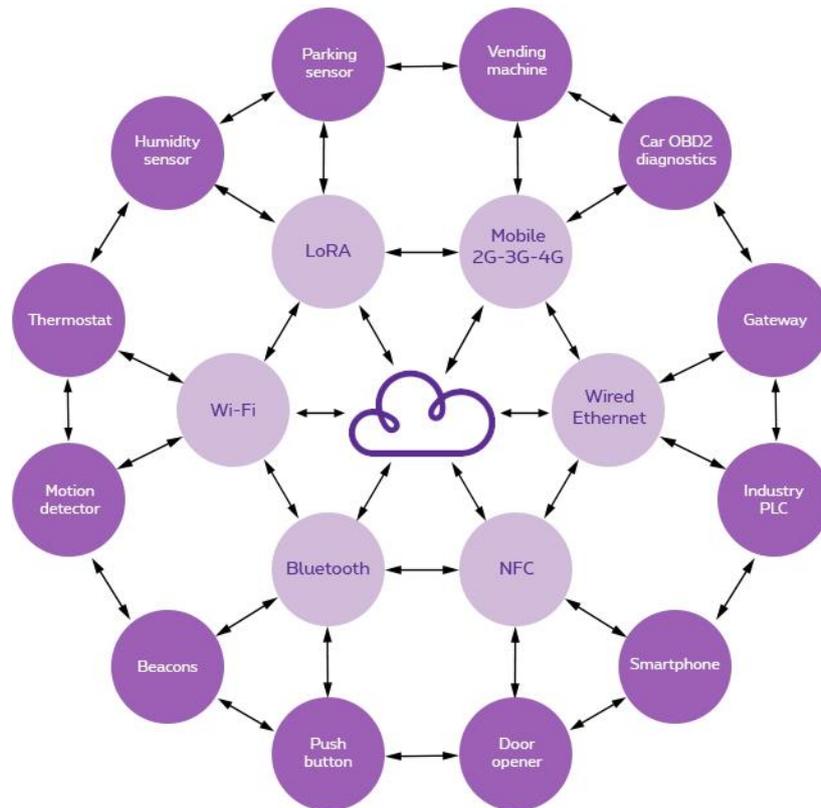


Figura 22: Esquema Internet de las Cosas.

Machine Learning y otros procesos asociados

Este proceso de automatización depende en gran medida de que las inspecciones que se realicen sean lo más precisas posible, relegando a la visión artificial la principal fuente de información sobre los procesos y la producción. Lo positivo de asignar este papel a la visión artificial es que su margen de error se mantiene constante y puede funcionar de manera ininterrumpida. Es por la precisión y este margen de error mínimo, sobre todo si se le compara con el margen de error existente en una inspección manual, por la que la visión artificial adquiere un papel fundamental en la automatización de los procesos industriales, de tal forma que los sistemas de visión artificial y su hardware implicado han evolucionado enormemente en los últimos años, por lo que las *librerías de visión* que posee este tipo de maquinaria hacen que los sistemas de visión artificial puedan trabajar en todo tipo de espacios estandarizados.

De nuevo, los avances tecnológicos necesitaban de otros factores para pasar de escenarios de reactividad a escenarios de proactividad para que de esa manera la producción pueda ser lo más predictiva e inteligente posible.

Por lo tanto, es necesario que la maquinaria que va a realizar tal o cual proceso adquiera la capacidad de aprender y saber predecir diferentes situaciones en función de unos patrones que previamente se han analizado.

Crear modelos de comportamiento es lo que permite que una máquina sea capaz de solucionar problemas en función a situaciones de las que ha aprendido.

De esta forma, gracias al aprendizaje automático se podría llegar a detectar fraudes con mayor facilidad, seleccionar clientes basándose en el comportamiento en redes sociales o su interacción en internet, adaptar aplicaciones móviles al uso que le da cada usuario, realizar diagnósticos médicos, y, lo que más influencia tendría en lo que se refiere a la automatización de los procesos industriales es predecir cualquier fallo de la maquinaria antes de que este llegue a ocurrir.

Este nuevo cambio en las capacidades de la industria para la producción trae consigo evidentemente una nueva retahíla de retos, responsabilidades y expectativas que van ligada al cambio de paradigma de la Revolución Industrial. Así como la segunda Revolución Industrial trajo consigo la producción en masa y la tercera facilitó el acceso a la electrónica y las tecnologías de la información, la cuarta Revolución depende del adecuado desarrollo del software y sistemas de análisis necesarios para que todo ese Big Data que se ha ido recopilando en los últimos años no caiga en saco roto y pueda ser utilizado convenientemente.

En la misma línea, se incorpora a las nuevas capacidades de las fábricas la flexibilidad de los procesos de fabricación, siendo una transformación digital de la industria tradicional, dependiente en gran medida de las capacidades humanas de cometer errores. Esta hibridación del mundo digital y el físico depende en buena medida de una serie de habilitadores digitales, que son una serie de tecnologías que permiten explotar el potencial que ofrece el Internet de las Cosas, a la vez que hacen posible la digitalización de datos físicos, el transporte de estos, y por último su interpretación, procesamiento y actuación, dando uso a estos datos físicos digitalizados mediante la inteligencia artificial.

Y es precisamente de esta hibridación entre lo físico y lo digital, entre lo tangible y lo intangible, que entra en juego una idea surgida de la representación digital de un sistema físico, llamada Gemelo Digital.

Gemelo digital

El concepto se basa en la generación de un “gemelo” que se vincula al sistema físico de un producto durante su ciclo de vida, que permiten la simulación y el análisis de cualquier proceso industrial, conectados mediante un sistema ciberfísico.

Los sistemas ciberfísicos son dispositivos que integran al mismo tiempo capacidades de computación y almacenamiento de información al mismo tiempo que puede controlar e interactuar con un proceso físico.

Sabiendo esto, es fácil entender las posibilidades que entrañan los Gemelos Digitales, dada la capacidad que permiten para poder desarrollar simulaciones, experimentos y pruebas en un entorno seguro, simular posibles escenarios y planear debidamente las tareas de mantenimiento y los problemas que puedan ocurrir antes de que sucedan.

A pesar de que esta tecnología está todavía en proceso por las dificultades que implica monitorizar y digitalizar masivamente todos los procesos industriales, para los que existen aún algunas barreras tecnológicas. Los avances en la información que el Big Data proporciona, ligado de paso a las capacidades casi ilimitadas que ofrece el Internet de las Cosas, permitirán en los próximos años sortear estas barreras que impiden a los Gemelos Digitales establecerse del todo en el nuevo paradigma del sector industrial.

Un gemelo digital funciona a partir de que los sensores conectados recopilen toda la información posible sobre el estado del proceso, mientras que se interpretan estos datos de forma que el mismo proceso puede reproducirse de manera virtual, para dotarlo de aquellas modificaciones que se precisen y testear sus posibilidades antes de incorporarlo al proceso de producción. De esta manera se pueden simular diversos escenarios de forma que no se realice la fabricación del producto final hasta que las características requeridas sean las que se necesitan.

Básicamente, los operarios humanos recogen toda la información posible que se necesite. Toda esta información se conceptualiza en forma de números, letras o símbolos y otra información simbólica relativa al proceso y al entorno en el que este se desarrolla, por otro lado, a veces, siendo un humano el que recoja todos estos datos, pueden llegar a darse inconclusiones que, definitivamente, puedan producir ineficiencias a largo, plazo. Es por eso que todo el proceso de toma de datos se realiza mediante sensores que monitorizan todos los aspectos que puedan influir en la producción, como la humedad, temperatura, vibración, el desgaste de los materiales mediante la visión artificial, etcétera, de forma que el margen de error se reduce drásticamente,

de tal manera que si en algún momento del proceso industrial se encontrara algún tipo de parámetro fuera del coto ideal, podrían cambiarse otros parámetros hasta alcanzar unas cotas de tolerancia mayores.

La colaboración entre el operario humano y el gemelo digital será crucial, y la intervención por parte del operario en cualquier problema que la máquina *in situ* pueda llegar a tener puede darse desde cualquier lugar del mundo, así que cualquier asociado a la producción puede aportar soluciones sin necesidad de estar junto a la propia máquina.

El gemelo digital necesita del Big Data y el Internet de las Cosas de la misma forma que la máquina de vapor necesitaba el carbón para funcionar, por tanto, la evolución ligada al Big Data y al IoT será proporcional al desarrollo posible del Gemelo Digital. Además de las aplicaciones en los procesos fabriles, esta cuarta Revolución Industrial extiende su influencia más allá de las propias fábricas y podría llegar a tener aplicaciones revolucionarias en domótica.

A pesar de que es un campo que lleva en desarrollo desde principios de los años 60 del siglo XX, la actualidad no es sino el momento más importante en cuanto al desarrollo de tecnología para la domótica se refiere.

En el contexto que sitúan los gemelos digitales a la nueva dinámica de la industria, cuya eficacia va mucho más allá de la mera experimentación o la puesta en práctica de modificaciones, la incursión de este nuevo elemento en la industria favorecerá tanto a empresas como a usuarios proporcionalmente al aumento de la vida útil de los productos que tienen réplicas digitales.

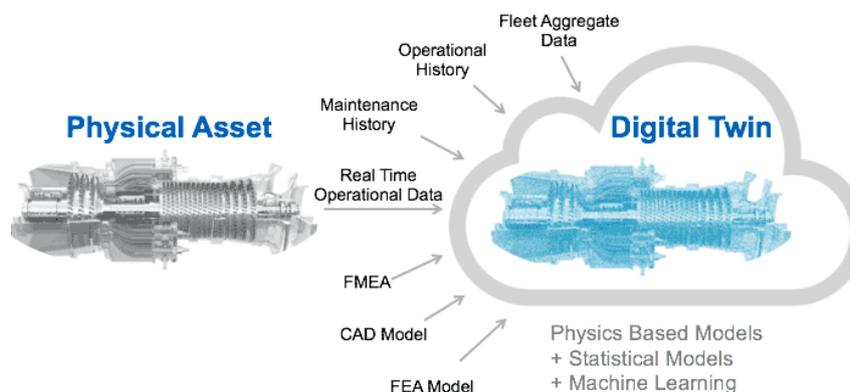


Figura 23: Esquema Gemelo Digital

Afectará a los procesos de fabricación, así como disminuirá costes por la nueva experimentación digital y permitirá la adhesión de datos históricos anteriores a la implementación de los gemelos digitales para poder asimilar el máximo de información posible relativo al objeto en cuestión. La vinculación a objetos reales es lo que más define a los gemelos digitales, puesto que sin esta relación, su utilidad será meramente teórica.

En la búsqueda de esa unificación del mundo real con la realidad virtual, la cantidad y calidad de información disponible será un requisito indispensable para el funcionamiento correcto de los modelos digitales, puesto que han de ser réplicas exactas para la apropiada experimentación y puesta en marcha de los distintos procesos a los que se someterá el objeto en cuestión.

Domótica

Más allá de las ventajas de la automatización en el campo de la domótica, es la propia domótica la que ofrece muchas soluciones en cuanto a la optimización de los hogares, ya que las aplicaciones que esta ofrece parecen estar limitadas únicamente a la imaginación de las personas.

La domótica se define como el conjunto de sistemas que permiten automatizar una vivienda, otorgando distintas prestaciones en seguridad, comunicación, gestión energética, etcétera. Estos sistemas están formados por redes interiores y exteriores de comunicación y se pueden gestionar desde dentro y fuera de la vivienda.

Tanto en el marco de la gestión energética como el de la seguridad, la domótica ofrece soluciones que intentan maximizar el potencial de cada una de las herramientas disponibles para tratar de optimizar al máximo los recursos disponibles. Un simple aviso de las puertas y ventanas que están abiertas al encender la climatización, convertir tareas rutinarias en tareas que se realicen de forma autónoma, la programación de escenas para controlar la iluminación de la casa, de forma que se adapte tanto a las necesidades de las personas como al consumo responsable de energía, el control a distancia de la iluminación, la climatización, los dispositivos multimedia, el riego de los exteriores, el control de aperturas y clausuras, etcétera.

En cuanto a la seguridad que aporta un sistema domótico en el hogar con respecto a los medios tradicionales, se sustenta tanto en la prevención como la detección para tomar las medidas oportunas. Dada la interconexión entre todos los elementos del inmueble, un sistema de seguridad eficaz podría fácilmente conocer el estado de puertas y ventanas, así como la actividad de los sensores para poner toda esa información al servicio de la seguridad.



El control de las cámaras de forma telemática, los avisos automáticos a la policía o cuerpo de seguridad correspondiente, forman parte de la red de seguridad que ofrece la domótica en la actualidad. El control de posibles incendios también se hace posible mediante el control pasivo de cortocircuitos, la posibilidad de encender o apagar diferentes dispositivos y electrodomésticos a distancia, y también avisar a los bomberos en caso de que llegara a producirse.

La telegestión integra también opciones para que los usuarios puedan controlar manualmente todos los servicios domóticos de su inmueble, pudiendo llegar a controlar todos estos factores mediante el control de voz y accesos directos.

2. OBJETIVOS

- Construir un cuadro eléctrico susceptible de realizar pruebas y ensayos con él.
- Dotar a dicho cuadro con un sistema sensor de temperatura.
- Comprobar la utilidad de los sensores para conocer el estado de los elementos que integran el cuadro.
- Modelar y ensamblar el cuadro con sus elementos interiores.
- Obtener un algoritmo capaz de obtener la información necesaria de los sensores y mostrarla de forma ordenada y comprensible.
- Simular el sistema creado en un entorno de realidad virtual para Industria 4.0.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Se han elegido y adquirido los elementos necesarios para la construcción de un cuadro eléctrico y del sistema de sensores que realizara las lecturas necesarias. Una vez hecho esto, se ha procedido a la fase de experimentación y a la toma de datos. Por último, se han modelado los distintos elementos en SolidWorks y se ha realizado la simulación de un gemelo digital del cuadro eléctrico en Unity.

3.1. ELECCIÓN DEL CUADRO ELÉCTRICO.

Para el desarrollo de este proyecto es necesario un cuadro que tenga capacidad para albergar distintos módulos y con el suficiente espacio para situar en su interior los distintos sensores que se vayan a colocar. Hay que tener en cuenta que la distribución de los módulos afectará directamente a la distribución de los sensores.

Tras comparar los distintos modelos, se ha elegido el siguiente:



Figura 24: Cuadro eléctrico Famatel NUOVA con capacidad para 10 módulos

Este cuadro posee un nivel de protección IP40 adecuado para interiores, los elementos quedarían protegidos de las partículas de polvo, pero no del contacto con líquidos si se produjera. En este caso las pruebas se van a realizar en un laboratorio así que con este nivel de protección es suficiente.

Tiene capacidad para 10 módulos individuales, esto permitirá estudiar un número razonable de interruptores sin complicar en exceso el problema que se plantea.

Esta diseñado para ser empotrado, aunque no será necesario para cumplir con los objetivos planteados, sus dimensiones son de 18.8 x 23 x 5.5 cm (alto x ancho x fondo).

3.2. ELECCIÓN DE LOS INTERRUPTORES AUTOMÁTICOS.

Para este proyecto se eligen los IA más pequeños, siendo estos de 10A ya que no se podrá conseguir más de unos 17A con las cargas que se van a utilizar y que se describen más adelante.

Este interruptor automático posee protección térmica para sobrecargas y magnética para sobreintensidades, aunque dicha protección solo se encuentra para el cable de fase, es decir, el polo izquierdo de este IA marcado con una N (neutro) no dispondrá de protección. Si la intención fuese elegir un IA para una instalación real, sería conveniente elegir un IA bipolar para disponer de protección tanto en fase como en neutro, pero en este caso solo interesa estudiar el comportamiento de las temperaturas en el IA así que con protección unipolar será suficiente.

Dispone de bornes de tornillo completamente protegidos (IP2X) con placas de presión dentadas y tornillos imperdibles, con capacidad para dos conductores de hasta 2,5 mm² cada uno.



Figura 25: Schneider electric Unipolar Neutro

Tabla 9: Ficha técnica Schneider electric Unipolar Neutro

Nº Módulos	2
Tensión de alimentación	230V
Potencia	2300W
Tipo de Curva	Tipo C
Nº de polos	2
Sensibilidad	30mA
Intensidad	10A
Clase	Clase AC
Medida Ancho	3.6
Medida Alto	8.5
Medida Fondo	7.85

3.3. CABLEADO.

Las cargas que se van a utilizar alcanzan como máximo una potencia de 4000W y unos 17A por lo tanto se ha elegido un cable de 20A y 4600W, ideal para instalaciones de enchufes y aparatos de gran consumo.

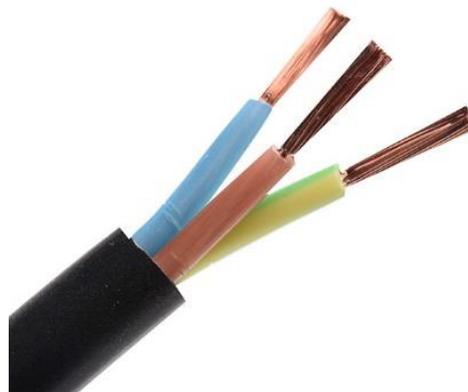


Figura 26: Cable Lexman negro RVK 3G2.5mm²

Esta manguera de cable eléctrico dispone de 3 hilos de 2,5 mm² de diámetro para la alimentación de aparatos electrodomésticos. Está preparado para instalaciones exteriores ya que puede ser enterrado o instalado en tubo, así como a la intemperie, sin requerir protección adicional. También soporta entornos húmedos incluyendo la total inmersión en agua.

En este caso será utilizada para una instalación interior (laboratorio) y solo se emplearán dos de los hilos, fase y neutro.

Tabla 10: Ficha técnica Cable Lexman

Tipo de cable	Manguera para aparatos domésticos
Tipo de conductor	Cobre electrolítico, clase 5
Tipo de aislamiento	Polietileno reticulado
Tipo de cubierta	PVC flexible
Sección	3G 2.5mm ²
Colores cubierta/aislamiento	Negro
Diámetro	10.1 mm
Peso	0.153kg/m
Diámetro de entubado	36mm
Caída de tensión	20.4 V/A· Km
Normas de referencia	UNE 21123-2
Tipo de uso	Uso en instalaciones de enchufes y aparatos de gran consumo de hasta 4600 W
Tipo de instalación	Instalación en exterior
Ejemplos de uso	Instalaciones de puntos de enchufe y aparatos de gran consumo como proyectores de iluminación, etc
Tensión	230 V
Longitud de cable	10 metros

3.4. CONEXIONES.

Para realizar las conexiones de los interruptores automáticos, aguas arriba a la red eléctrica y aguas abajo a la carga, serán necesarios dos tipos de conectores, uno macho que se conectará a la red y uno hembra que se conectará a la carga.

3.5. SENSORES DE TEMPERATURA

El modelo de sensor elegido es el MLX90614ESF-BCI, con un campo de visión de 5º, muestra más precisión y fiabilidad que otros sensores como se muestra en proyectos anteriores (Nuevos Dispositivos de Seguridad en Máquinas, Ventana de Sensores Infrarrojos).



Figura 29: sensor infrarrojo MLX90614ESF-BCI

Tabla 11: Ficha técnica MLX90614ESF-BCI

Fabricante	Melexis Technologies NV
Empaquetado	Tubo
Estado de la Pieza	Activo
Tipo de sensor	Digital, infrarrojo(IR)
Detección de temperatura – local	-40 °C ~ 85 °C
Detección de temperatura – remota	-70 °C ~ 380 °C
Tipo de salida	PWM, SMBus
Voltaje de la fuente	2.6V ~ 3.6V
Resolución	16 b
Características	Modo suspendido
Precisión – la más alta (la menor)	±0.5 °C (±4 °C)
Condiciones de prueba	0 °C ~ 60 °C (120 °C ~ 380 °C)
Temperatura de operación	-40 °C ~ 85 °C
Tipo de montaje	Orificio pasante

3.6. DISEÑO ELETRÓNICO

Para el montaje de los sensores y la instalación electrónica, se va a utilizar el proyecto antes mencionado “Nuevos Dispositivos de Seguridad en Máquinas, Ventana de Sensores Infrarrojos” en el cual, se diseñaba un dispositivo formado por 12 sensores activos que funcionarán según las instrucciones del circuito integrado en la caja. Dicho circuito ha sido programado en Arduino, utilizando comunicación tipo I2C (4 hilos) entre los sensores y el Arduino.

Cada sensor esta integrado dentro de un eslabón, cada eslabón esta dotado de un pequeño circuito que permite montar y desmontar con facilidad el sensor y conectar y desconectar dicho eslabón de la cadena de sensores.



Figura 30: Ventana de Sensores Infrarrojos

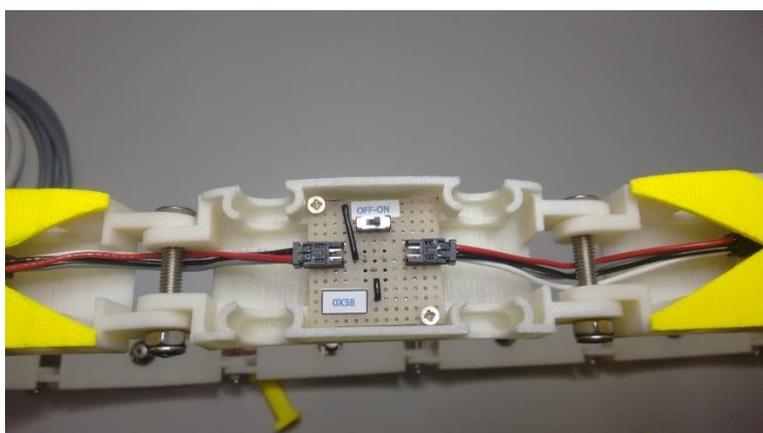


Figura 31: Detalle de las conexiones de los sensores

Para este proyecto, solo será necesario el uso de 2 sensores, por lo que se procede al desmontaje del resto de eslabones de la cadena, dejando únicamente los dos primeros sensores, uno medirá la temperatura ambiente y el otro medirá la temperatura del interruptor automático. Este último, se desmontará también del cuerpo del eslabón, dejando únicamente el sensor y el circuito para poder instalarlo en el soporte diseñado posteriormente.



Figura 32: Sensores utilizados separados del resto de la cadena

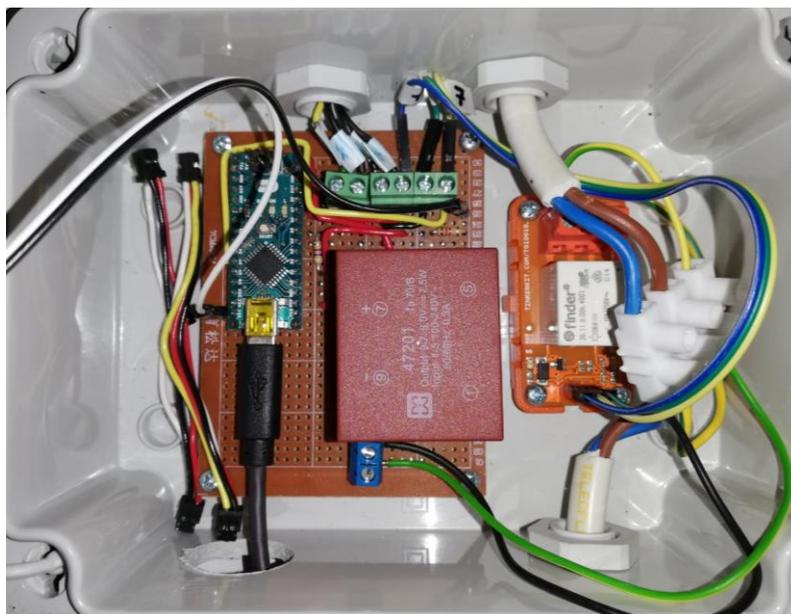


Figura 33: Conexión Arduino

3.7. PROGRAMACIÓN ARDUINO

Este fue el programa desarrollado para la Ventana de Sensores Infrarrojos en el proyecto antes mencionado y del que se hará uso para obtener las lecturas de temperatura posteriormente.

```
#include <i2cmaster.h>
#include <Wire.h>
#include "Math.h"

const int ledPin = 12;    // Pin de la alarma.
const int rele = 7;      // Pin del relé.
const int nMaxDevices = 20; //Número máximo de dispositivos que se pueden conectar.Este parámetro se puede cambiar.

float TempAlarmaMin = 27; //Configura la temperatura mínima que provoca la alarma.
float TempAlarmaMax = 35; //Configura la temperatura máxima que provoca la alarma.

int deviceAddress[nMaxDevices]; //Array que contiene las direcciones de los sensores conectados.
float celcius[nMaxDevices]; // Array que contiene la temperatura en Celcius de cada sensor conectado.
int nDevices=0; //Número de dispositivos conectados

int ledState = LOW;
int State = 0;

void setup()
{
  Scanner(); //Escanea los dispositivos conectados al bus i2c.
  Serial.begin(9600); // Inicia la comunicación serial a 9600bps.
  pinMode(ledPin, OUTPUT);
  pinMode(rele, OUTPUT);
  digitalWrite(rele, LOW);
  digitalWrite(ledPin, LOW);
  i2c_init(); // Inicia el bus i2c.
  PORTC = (1 << PORTC4) | (1 << PORTC5); // Habilita 'pullups'.
}

void loop()
{
  for(int i=0;i<nDevices;i++)
  {
    celcius[i] = temperatureCelcius(deviceAddress[i]); // Lee los datos del MLX90614 con la dirección dada, los trar
    Serial.print("S");
    if(i+1<10)
    {
      Serial.print("0");
    }
    Serial.print(i+1);
    Serial.print(": ");
    Serial.print(celcius[i]);
    // Serial.print("\t\t");
  }
}
```

```

    if (celcius[i] >= TempAlarmaMin && celcius[i]<=TempAlarmaMax) //Si Tª es mayor que 30°C activa la alarma y el relé.
    {
        State=1;
        Serial.print(" ->A ");
    }
    else {
        Serial.print("\t");
    }
}
if (State== 1)
{
    digitalWrite(rele, HIGH);
    digitalWrite(ledPin, HIGH);
}
else
{
    digitalWrite(rele, LOW);
    digitalWrite(ledPin, LOW);
}
State=0;
Serial.print("\n");
delay(10);
} // Espera un segundo para imprimir de nuevo.

```

```

//////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
//temperatureCelsius(): Función para obtener la temeperatura que está midiendo un sensor IR.//
//////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
float temperatureCelcius(int address)
{
    int dev = address;
    int data_low = 0;
    int data_high = 0;
    int pec = 0;

    // Escribe
    i2c_start_wait(dev+I2C_WRITE);
    i2c_write(0x07);

    // Lee
    i2c_rep_start(dev+I2C_READ);
    data_low = i2c_readAck(); // Lee 1 byte y envía ack.
    data_high = i2c_readAck(); // Lee 1 byte y envía ack
    pec = i2c_readNak();
    i2c_stop();
}

```

```

// Esto convierte los bytes altos y bajos juntos y procesa la temperatura.
double tempFactor = 0.02; // 0.02 grados por LSB (medida de
// resolución del MLX90614).

double tempData = 0x0000;
int frac; // Datos después del punto decimal.

// Esto oculta el error del byte alto y lo mueve a la izquierda
// 8 bits y agrega el byte bajo.
tempData = (double)((data_high & 0x007F) << 8) + data_low);
tempData = (tempData * tempFactor)-0.01;
float celcius = tempData - 273.15;

// Retorna la temperatura en Celcius.
return celcius;
}
//Scanner(): Función que obtiene la dirección I2C de cada sensor IR conectado y la guarda en el array DeviceAddress[]
//Scanner()
void Scanner()
{
Wire.begin();

Serial.begin(9600);
Serial.println("\nI2C Scanner");
Serial.println("Scanning...");

byte error, address;

for(address = 1; address < 127; address++)
{
// The i2c_scanner uses the return value of
// the Write.endTransmission to see if
// a device did acknowledge to the address.
Wire.beginTransmission(address);
error = Wire.endTransmission();

if (error == 0)
{
Serial.print("I2C device found at address 0x");
if (address<16)
Serial.print("0");
Serial.print(address,HEX);
Serial.println(" ");
deviceAddress[nDevices] = (address)<<1;
nDevices++;
}
else if (error==4)
{
Serial.print("Unknow error at address 0x");
if (address<16)
Serial.print("0");
Serial.println(address,HEX);
}
}
if (nDevices == 0)
Serial.println("No I2C devices found\n");
else
{
Serial.println("done");
Serial.print("nDevices = ");
Serial.println(nDevices);
Serial.print("\n");
for(int i=0;i<nDevices;i++)
{
Serial.print("Sensor ");
Serial.print(i+1);
Serial.print("\t");
}
Serial.print("\n");
delay(1000); // wait 1 seconds for next scan
}
}

```

3.8. CARGA

A modo de carga se conectarán dos de estos ventiladores-calefactores de 2200 W. Estos aparatos tienen la opción de regular la potencia por lo tanto son perfectos para obtener los distintos niveles de carga que se desea para realizar el experimento.



Figura 34: Calefactor

Tabla 12: Características calefactor

Calefactor compacto
Termostato con ajuste progresivo y función anticongelante
2 posiciones de ajuste de calor (1100W y 2200W)
Función de oscilación de 90 grados
Posición aire fresco (ventilador)
Indicador luminoso
Protección contra sobrecalentamiento
Gran estabilidad
Conexión:230V, 50Hz, 2200 W

3.9. CONSTRUCCIÓN DE LAS CONEXIONES

En primer lugar, se realizará la conexión de uno de los interruptores automáticos para tomar lecturas sobre este antes de aumentar la complejidad del problema.

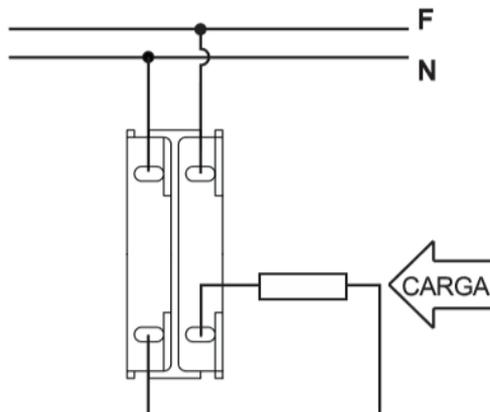


Figura 35: Esquema de conexión del interruptor automático

Siguiendo el esquema de conexión y con los distintos elementos descritos anteriormente, se comienza dividiendo el cable de 10m en 10 partes iguales de 1m para conectarlos a los enchufes.

Una vez realizadas las conexiones, se cierra el enchufe y se coloca el tornillo de seguridad.

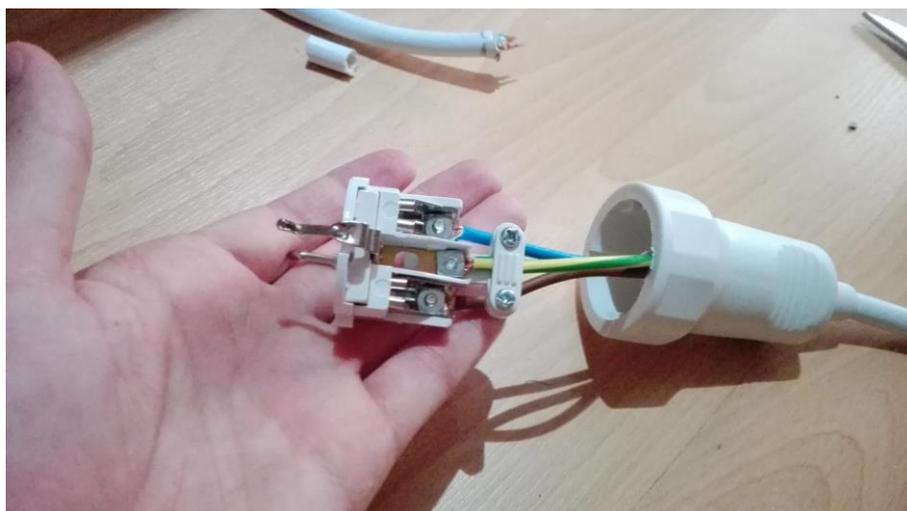


Figura 36: Montaje enchufe hembra

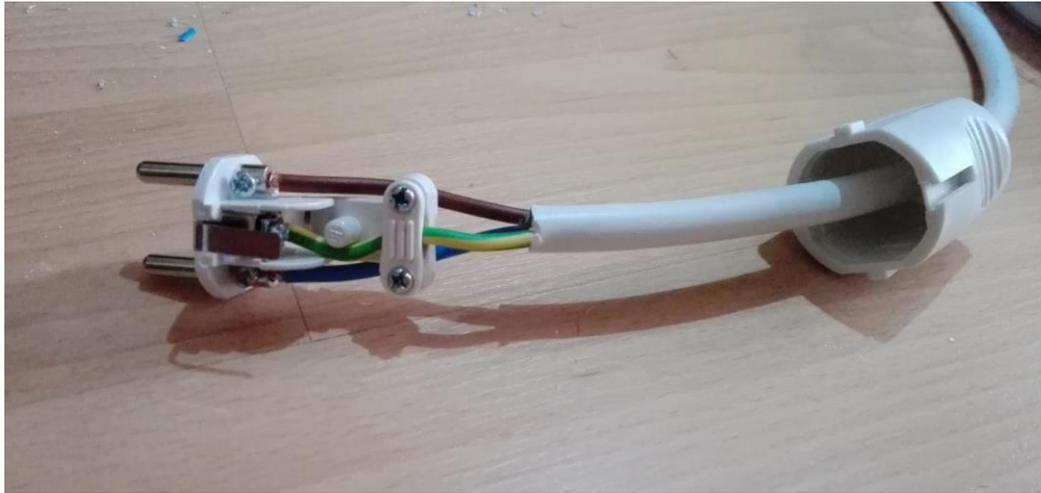


Figura 37: Montaje enchufe macho

Al final quedarán dos metros de cable independientes, ambos con un extremo libre y con otro de los extremos conectados al enchufe correspondiente.

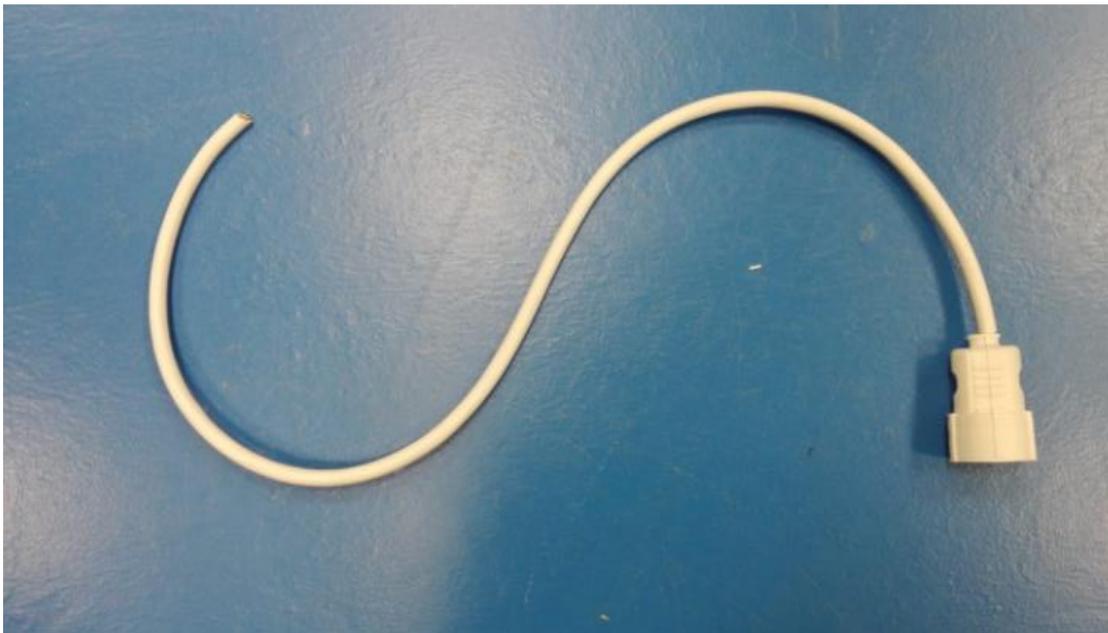


Figura 38: Enchufe hembra terminado



Figura 39: Enchufe macho terminado

Los extremos libres de los conductores, se conectan al interruptor automático. El cable azul (neutro) se conecta en el polo marcado con una N y el cable marrón (fase) se conecta en el polo de la derecha. Sobre el cable de tierra se coloca cinta para aislarlo ya que no será necesario usarlo en esta instalación.

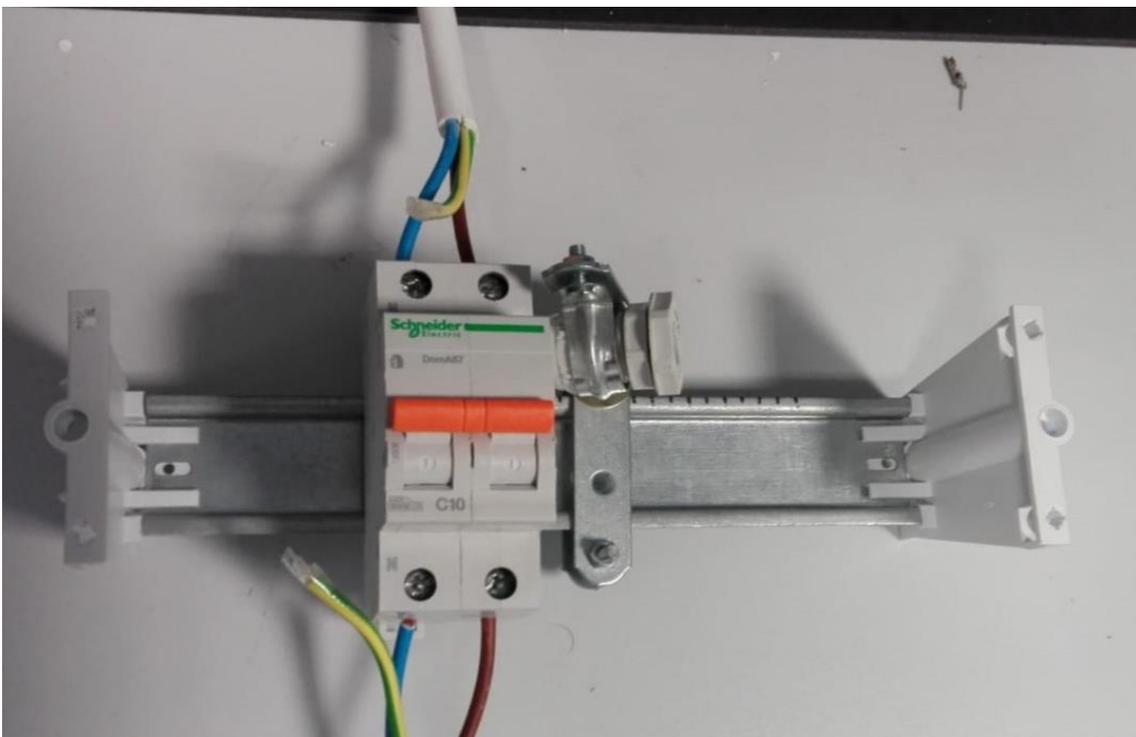


Figura 40: Conexión interruptor automático

3.10. CONSTRUCCIÓN DEL SOPORTE PARA EL SENSOR

Para tomar unas lecturas fiables de los sensores de temperatura es necesario que estos permanezcan inmóviles, para ello se construirá un soporte que permitirá orientar el sensor en distintas direcciones y que lo mantendrá fijo.

Para construir este soporte se van a utilizar distintos elementos de ferretería, que se muestran a continuación:

- 2 pletinas de 80mm
- 1 pletina de 60mm
- 2 tornillos de 22mm
- 3 tornillos de 12mm
- 5 tuercas
- 1 escuadra en ángulo
- 1 abrazadera
- 1 capuchón



Figura 41: Componentes del soporte de sensor



Figura 42: Capuchón del sensor

Las 2 pletinas de 8cm harán de base del soporte, mientras que la pletina de 6cm sujetará la abrazadera que a su vez sujetará el capuchón que contendrá el sensor.

El resultado final es el siguiente:

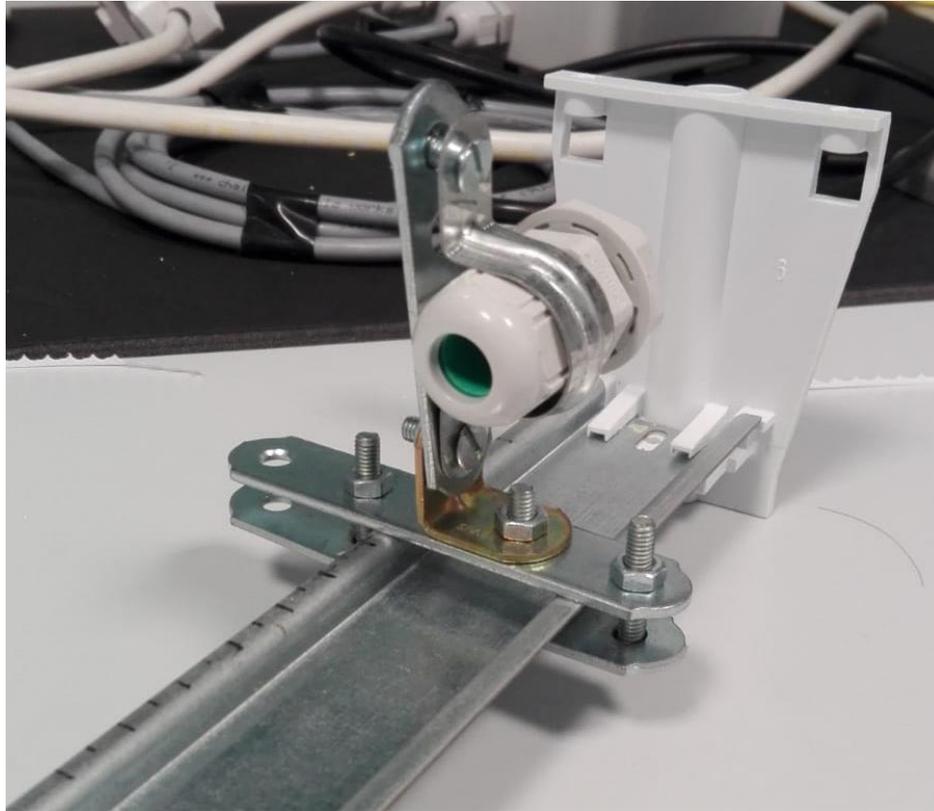


Figura 43: Soporte del sensor

4. RESULTADOS

4.1. TOMA DE MEDIDAS DE TEMPERATURA 1

En primer lugar, se pretende estudiar de forma aislada la distribución de temperaturas que se encuentra en un solo interruptor automático. Para ello se conecta el IA a la red mediante el cable preparado anteriormente (enchufe macho) y con el otro cable (enchufe hembra) se conecta a la carga. Al realizar la conexión del cableado con el IA es importante que se conecte el conductor neutro en polo del IA marcado con una N, en caso contrario la protección no se encontrará en el conductor deseado al ser el IA de protección unipolar. Una vez se han realizado estas conexiones, se procede a la primera prueba.

Dado que los IA se encuentran juntos dentro de un cuadro eléctrico, los costados derecho e izquierdo de cada interruptor deberían quedar tapados por los interruptores que tengan al lado, por ello los flancos a estudiar son el superior, el inferior y el frontal, ya que la parte de atrás del IA queda cubierta por el carril al que se acoplan los interruptores.

Se procede a la toma de temperaturas del IA

Carga 9.1 A, tiempo de exposición 1 hora

Tabla 13: Resultados primeras lecturas

Posición del IA	Superior	Inferior	Frontal
Temperatura media registrada	23.91 °C	24.17 °C	23.12 °C

El valor de temperatura adoptado se calcula como la media de todas las registradas en un periodo de 10 segundos sobre el flanco del IA una vez transcurrido el tiempo de exposición.

Tras esta primera toma de datos de temperaturas en el IA, se estudian los resultados obtenidos mostrados en la tabla 13 y se comprueba que no son los esperados. Esto se debe a que en el proceso de medición de la temperatura por el sensor sobre las regiones libres del interruptor, se tarda mucho tiempo en sufrir cambios notables, el incremento de temperatura se produce de manera lenta e imprecisa. Esto supone un gran problema para alcanzar el objetivo inicial planteado de realizar un mapa de temperaturas que indique qué interruptores están trabajando y cuáles no.

Debido a este inconveniente se propone un nuevo planteamiento para el proyecto, estudiar de forma individual un interruptor automático en función de la temperatura que alcance cuando

esté sometido a carga. De esta forma se podrá conocer la intensidad que circula por el interruptor y la carga a la que está sometido sin necesidad de medidores de consumo eléctrico. Para ello se estudia la temperatura del interruptor en sus costados, que es donde se encuentran los elementos de protección y donde sí deberían aparecer variaciones de temperatura significativas.

4.2. TOMA DE MEDIDA DE TEMPERATURAS 2

Los elementos del interruptor en los que se produce un mayor incremento de temperatura son la protección magnética y la protección térmica.

Dado que el dispositivo magnético es de acción instantánea (para proteger de posibles cortocircuitos) resulta más interesante estudiar la temperatura del dispositivo térmico puesto que, al ser de acción retardada permitirá prever una posible sobrecarga o determinar si tenemos un consumo alto o bajo.

Es necesario para comenzar, abrir físicamente uno de los interruptores para localizar con exactitud donde se encuentra la lámina bimetálica que actúa como protección térmica, tal y como se muestra en la figura 44.

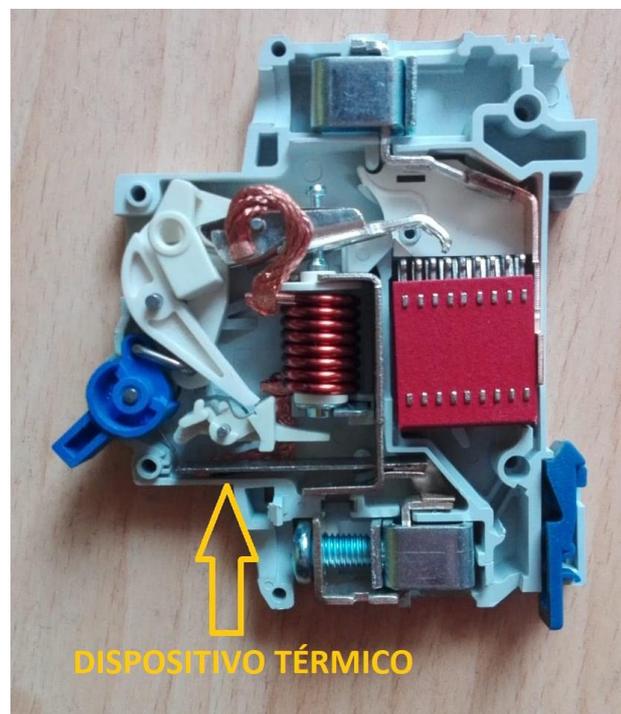


Figura 44: Localización dispositivo térmico dentro del interruptor

Una vez localizada la protección térmica, se marca en la cubierta del interruptor la posición exacta de la misma, para posteriormente, situar el sensor en el punto adecuado y así, obtener la temperatura del dispositivo térmico y no del magnético.

La toma de datos de temperatura se realizó de la siguiente forma:

- Se hizo uso de dos sensores, uno de ellos mide la temperatura ambiente del laboratorio y otro mide la temperatura del dispositivo.
- Se realizaron distintas pruebas, en vacío, con carga media, con carga alta, y por último, provocando el disparo del interruptor.
- Cada prueba se dio por finalizada cuando la temperatura se estabilizó.
- Se tomaron las lecturas de la medida de temperatura cada 10 minutos.

Para medir el nivel de carga se usará una pinza amperimétrica como la que se muestra en la figura 45.



Figura 45: Pinza amperimétrica

Los resultados obtenidos para las diferentes pruebas realizadas son los recogidos en las tablas 14, 15, 16 y 17.

Tabla 14: Prueba en vacío

Temperatura Ambiente	24,32°C
Temperatura Dispositivo	23,88°C

Tabla 15: Prueba en carga media (4,6 Amperios)

Tiempo de exposición	10 minutos
Temperatura Ambiente	24,24 °C
Temperatura Dispositivo	24,71 °C

Tiempo de exposición	20 minutos
Temperatura Ambiente	24,36 °C
Temperatura Dispositivo	25,94 °C

Tiempo de exposición	30 minutos
Temperatura Ambiente	24,32 °C
Temperatura Dispositivo	26,12 °C

Tiempo de exposición	40 minutos
Temperatura Ambiente	24,36 °C
Temperatura Dispositivo	26,14 °C

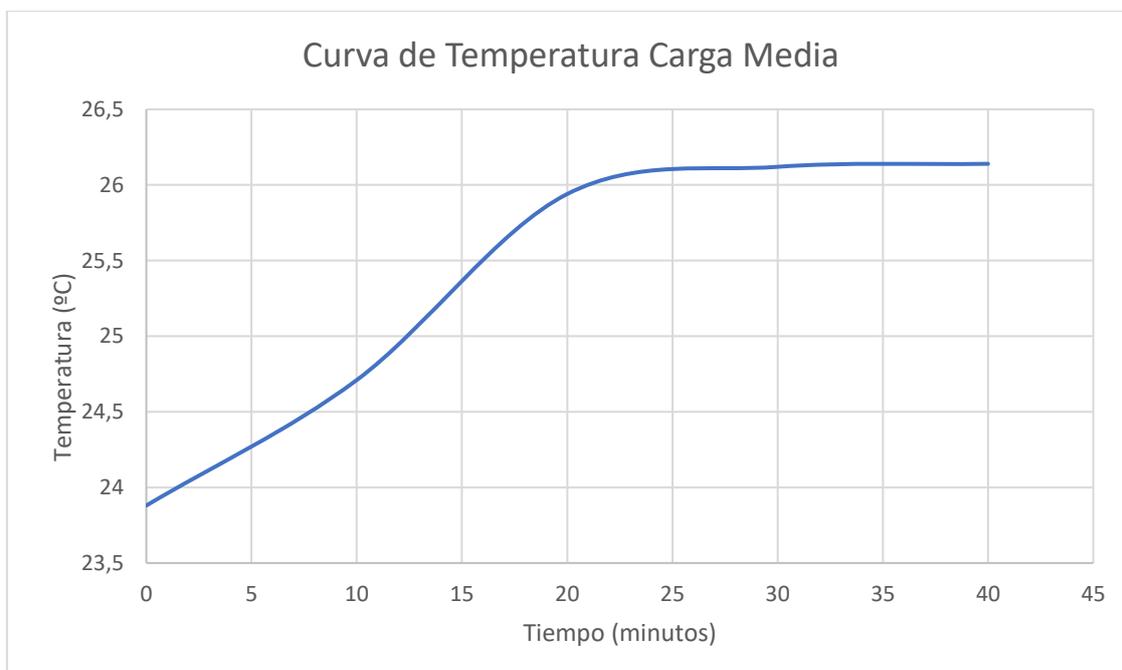


Figura 46: Gráfico de curva de temperaturas obtenidas a Carga Media

Se realizó la lectura sin esperar a que se enfriara el dispositivo tras la prueba anterior.

Tabla 16: Prueba en carga alta (9,1 Amperios)

Tiempo de exposición	10 minutos
Temperatura Ambiente	24,24 °C
Temperatura Dispositivo	30,68 °C

Tiempo de exposición	20 minutos
Temperatura Ambiente	24,36 °C
Temperatura Dispositivo	32,94 °C

Tiempo de exposición	30 minutos
Temperatura Ambiente	24,34 °C
Temperatura Dispositivo	33,92 °C

Tiempo de exposición	40 minutos
Temperatura Ambiente	24,40 °C
Temperatura Dispositivo	34,40 °C

Tiempo de exposición	50 minutos
Temperatura Ambiente	24,68 °C
Temperatura Dispositivo	34,84 °C

Tiempo de exposición	60 minutos
Temperatura Ambiente	24,81 °C
Temperatura Dispositivo	34,95 °C

Tiempo de exposición	70 minutos
Temperatura Ambiente	24,78 °C
Temperatura Dispositivo	35,14 °C

Tiempo de exposición	80 minutos
Temperatura Ambiente	24,94 °C
Temperatura Dispositivo	35,10 °C

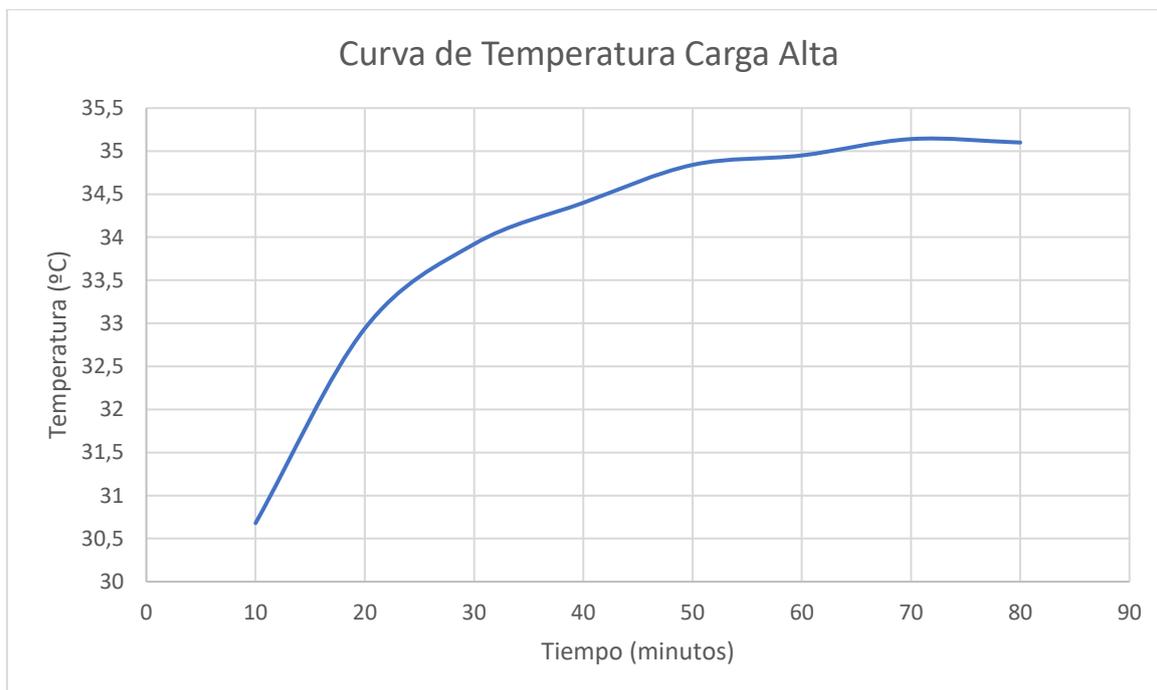


Figura 47: Gráfico de curva de temperaturas obtenidas a Carga Alta

Tabla 17: Prueba disparo del interruptor (15 Amperios)

Tiempo de exposición	2 minutos
Temperatura Ambiente	24,92 °C
Temperatura Dispositivo	37,70 °C

Cuando se produjo el disparo, se registró una temperatura máxima de 37,70 °C, en un tiempo de dos minutos. Se comprobó la curva de disparo proporcionada por el fabricante (que se muestra en la figura 48), y se apreció que el tiempo es el correcto para una intensidad de 15 A, que en este caso es, 1,5 veces la intensidad nominal del interruptor.

CURVA DE DISPARO TIPO C

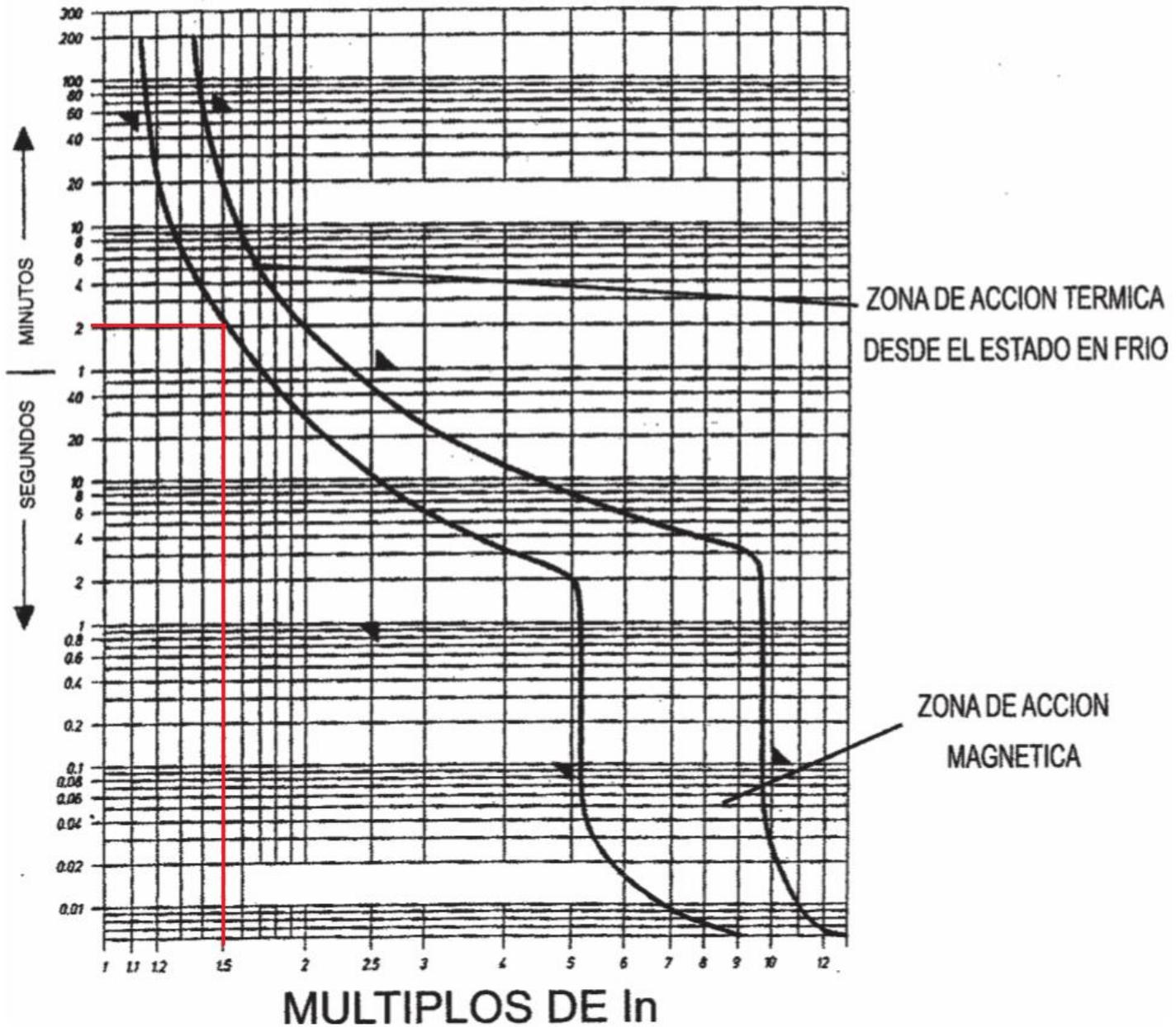


Figura 48: Curva de disparo proporcionada por el fabricante

La temperatura ambiente afecta directamente sobre la temperatura del interruptor, esto puede suponer una pérdida de precisión entre la relación de temperatura que posee el interruptor y la carga que soporta, aunque no tiene efecto sobre la temperatura máxima a la que se producirá el disparo por sobrecarga. Además, los incrementos y descensos de temperatura no se producen de manera instantánea si no que pueden prolongarse bastante en el tiempo, como en el caso de la prueba de 9,1 Amperios, donde la temperatura tarda en alcanzar su valor máximo y estabilizarse más de una hora.

Por este motivo se han establecido 3 niveles de carga más amplios y no una escala de intensidades que permitieran saber el nivel de carga exacto que soporta el interruptor en función de la temperatura de este, ya que estos datos no tendrían porque corresponder con el nivel de carga real.

Se establecen entonces 4 intervalos de temperatura:

Tabla 18: Relación Temperatura-Carga

TEMPERATURA DEL DISPOSITIVO	NIVEL DE CARGA
$\leq T^a$ Ambiente	VACIO
T^a Ambiente - 27° C	MEDIA (hasta 1150 W)
27°C - 35.5° C	ALTA (hasta 2300 W)
>35.5° C	SOBRECARGA

4.3. MODELADO DE LOS COMPONENTES

Para realizar el gemelo digital del cuadro eléctrico, se procedió al modelado y ensamblado de los distintos elementos que lo componen, este diseño CAD, será utilizado para recrear en un entorno de realidad virtual el funcionamiento de dicho cuadro eléctrico.

El cuadro se dividió en las 7 piezas enumeradas a continuación:

- Caja
- Carril metálico
- Soporte izquierdo
- Soporte derecho
- Cuerpo del interruptor
- Palanca del interruptor
- Tapadera exterior de la caja

Todas estas piezas se modelaron y ensamblaron mediante el uso del software CAD SolidWorks 2017.

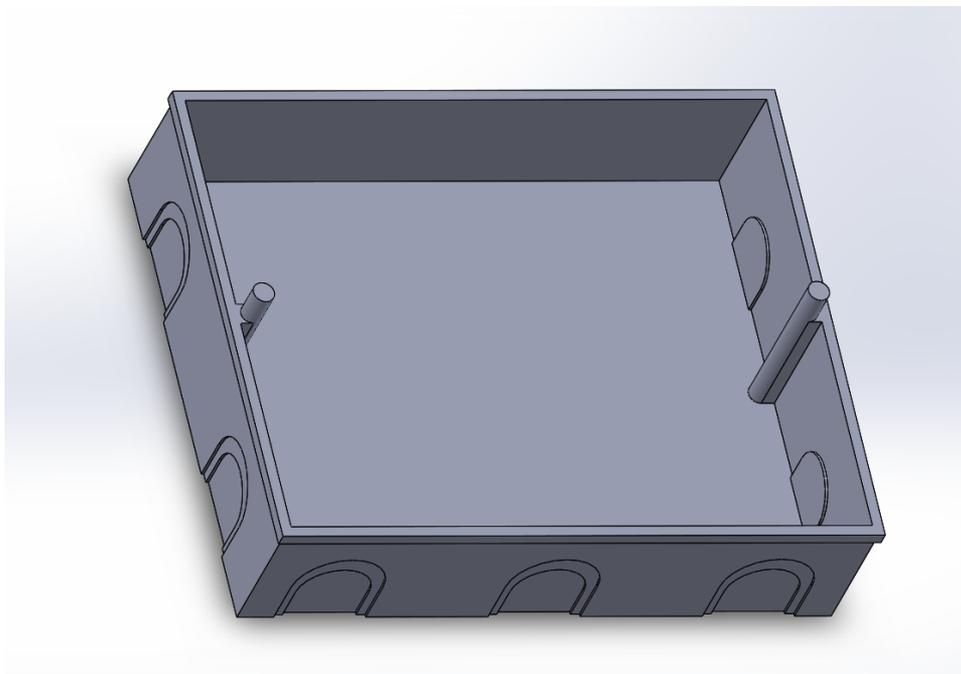


Figura 49: Pieza 1. Caja

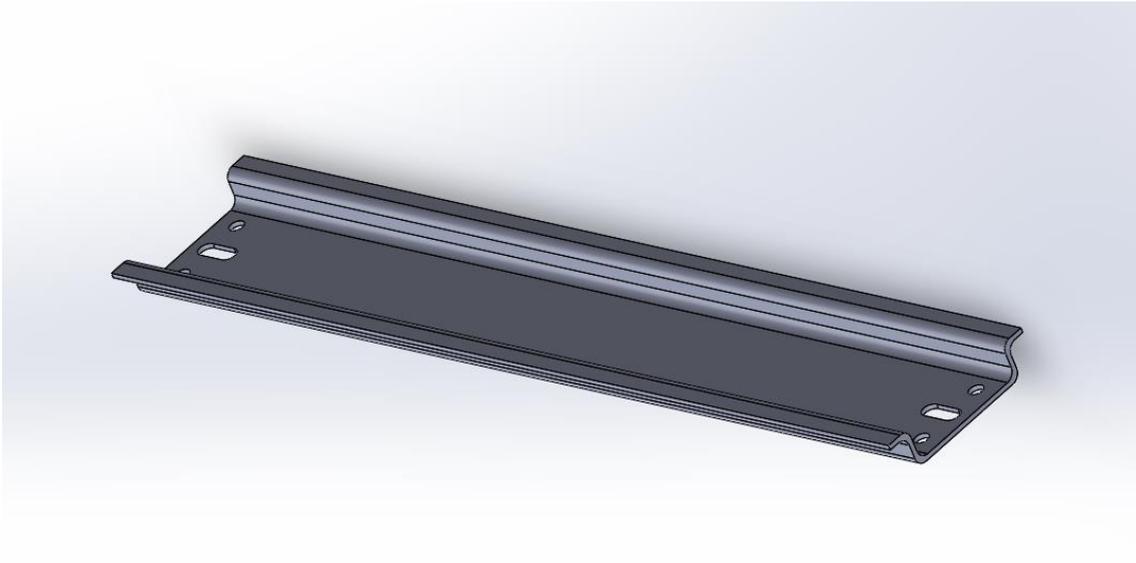


Figura 50: Pieza 2. Carril metálico

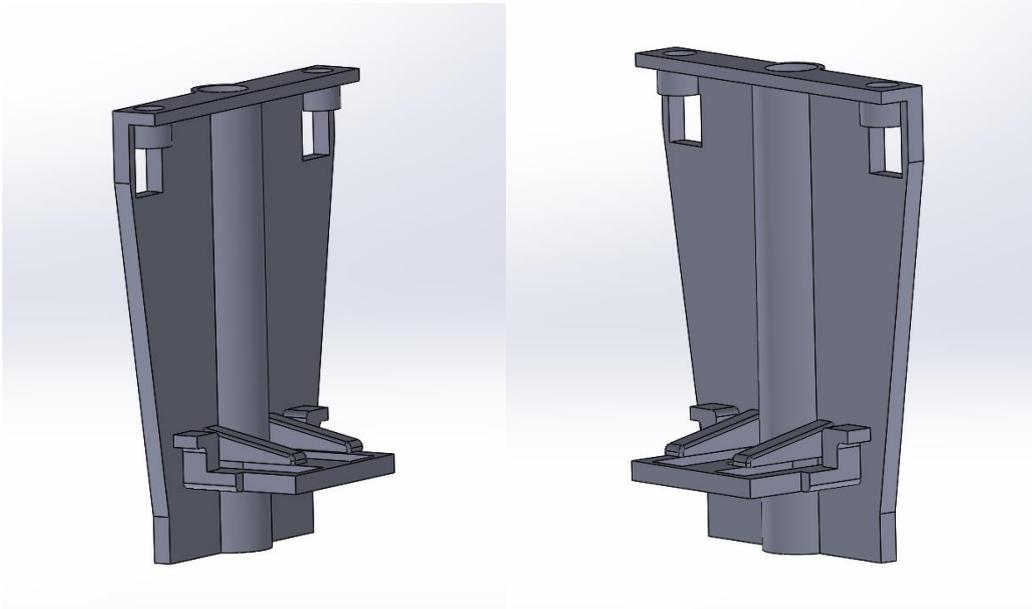


Figura 51: Pieza 3 y 4. Soporte izquierdo y derecho

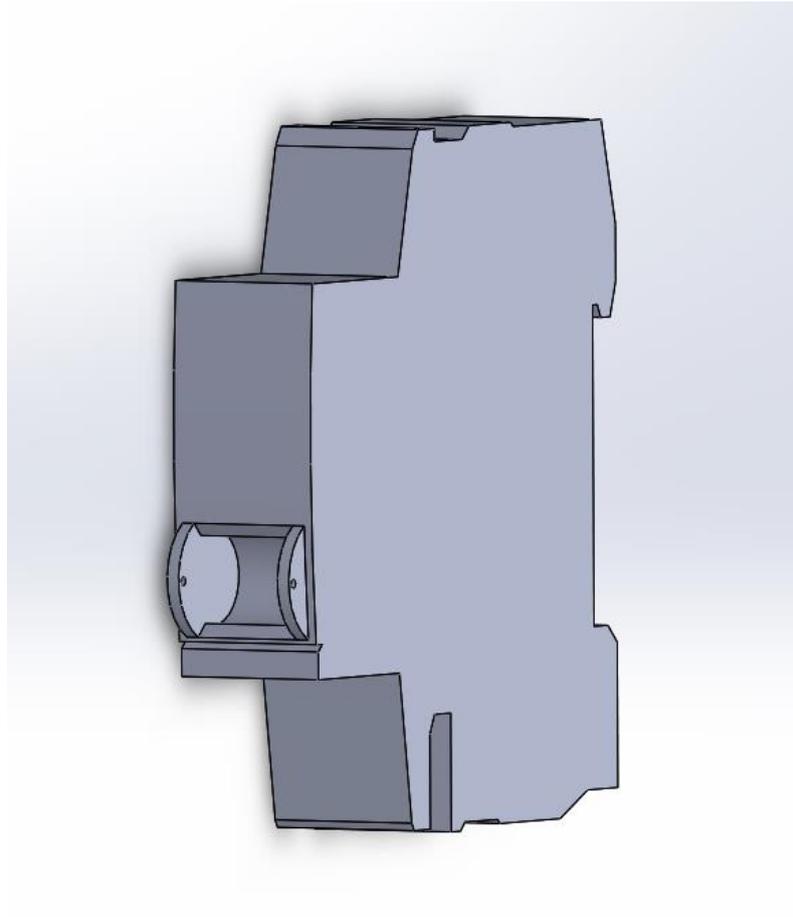


Figura 52: Pieza 5. Cuerpo del interruptor

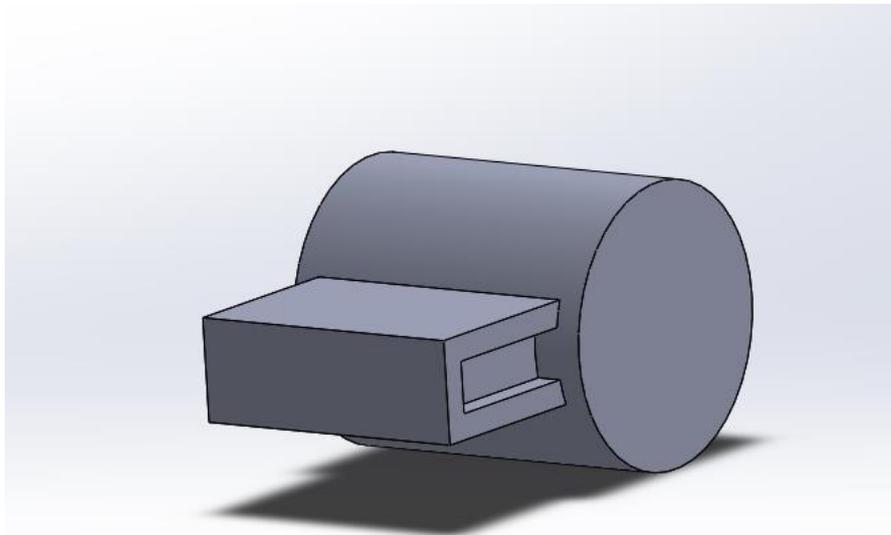


Figura 53: Pieza 6. Palanca del interruptor

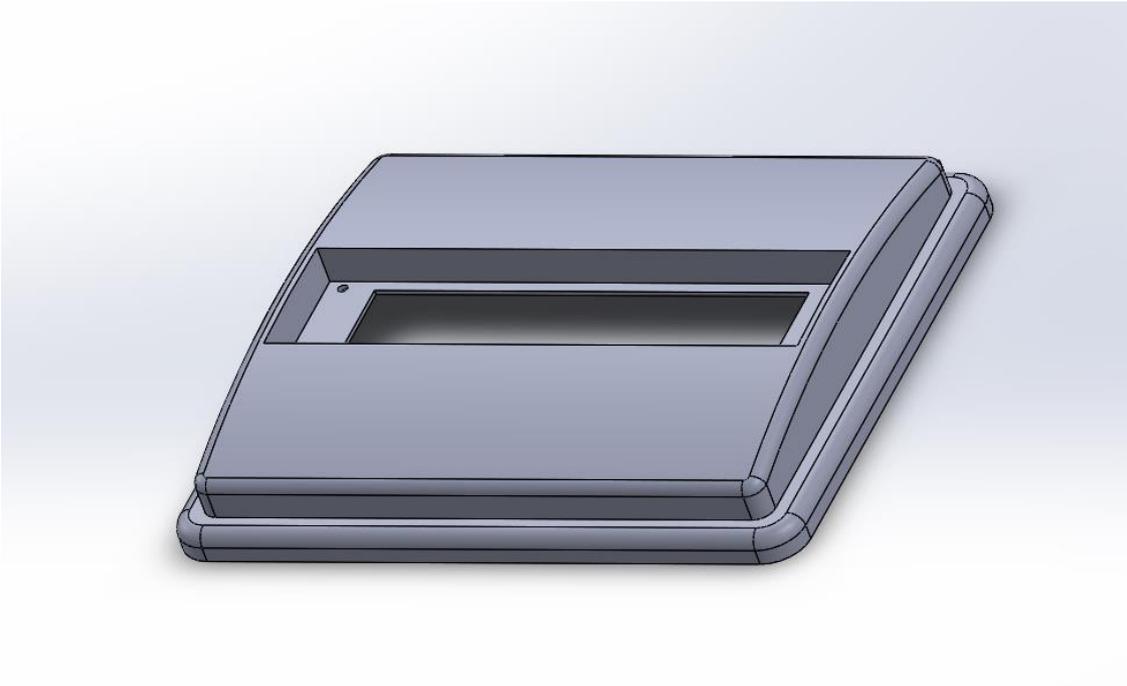


Figura 54: Pieza 7. Tapadera exterior

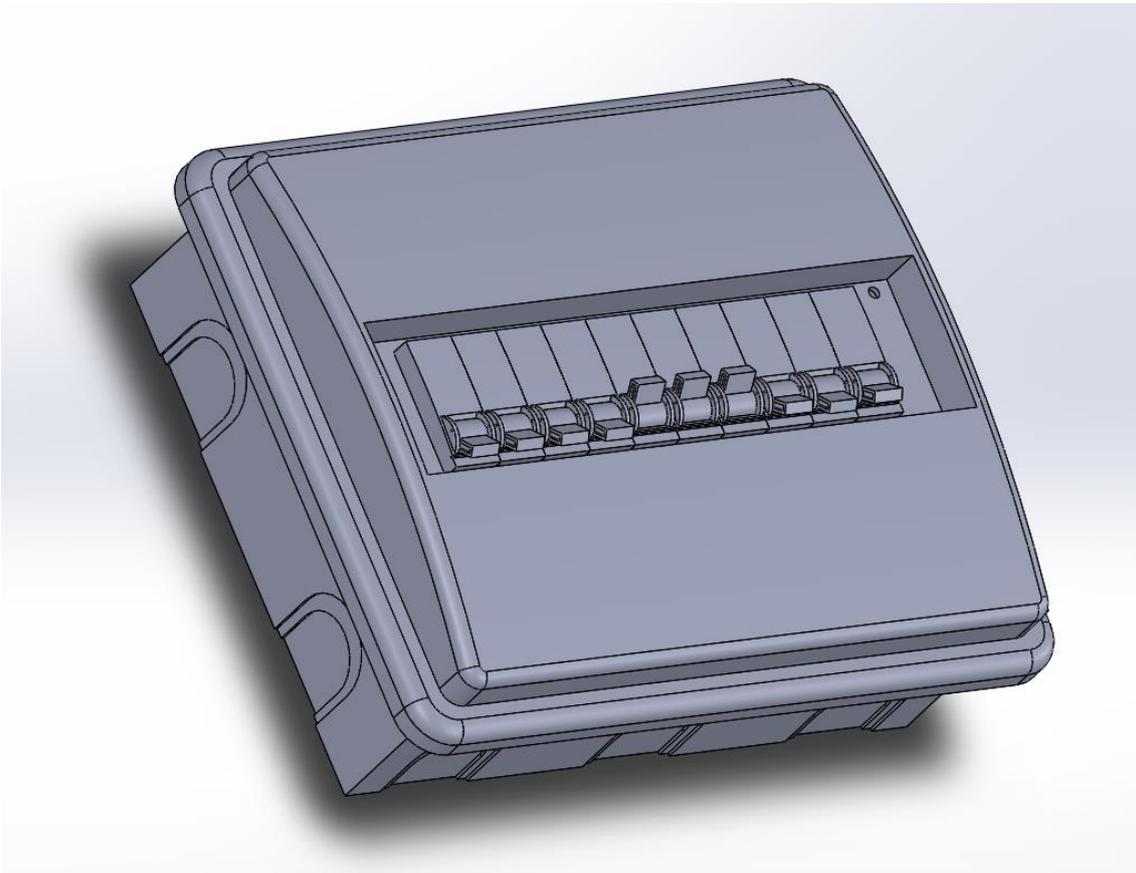


Figura 55: Ensamblaje. Cuadro eléctrico

4.4. PROGRAMACIÓN EN UNITY

Para realizar la programación en Unity fue necesario modificar el programa en Arduino para simplificar las medidas que se obtienen de él. En un principio se obtenían una cantidad desorbitada de lecturas por segundo, puesto que era necesario para su aplicación en el proyecto ya nombrado anteriormente, y también servía para obtener los datos de la toma de lecturas.

En cambio, a la hora de realizar una aplicación que obtenga datos directamente de Arduino es necesario modificarlo, para simplificar la información que se obtiene y reducir el número de medidas que transfiere a la aplicación.

Tras realizar las modificaciones necesarias el programa quedó así:

```
#include <i2cmaster.h>
#include <Wire.h>
#include "Math.h"

const int nMaxDevices = 20; //Número máximo de dispositivos que se pueden conectar.Este parámetro se puede cambiar.

int deviceAddress[nMaxDevices]; //Array que contiene las direcciones de los sensores conectados.
float celcius[nMaxDevices]; // Array que contiene la temperatura en Celcius de cada sensor conectado.
int nDevices=0; //Número de dispositivos conectados

void setup()
{
  Scanner(); //Escanea los dispositivos conectados al bus i2c.
  Serial.begin(9600); // Inicia la comunicación serial a 9600bps.

  i2c_init(); // Inicia el bus i2c.
  PORTC = (1 << PORTC4) | (1 << PORTC5); // Habilita 'pullups'.
}

void loop()
{
  Serial.flush();

  for(int i=0;i<nDevices;i++)
  {
    celcius[i] = temperatureCelcius(deviceAddress[i]); // Lee los datos del MLX90614 con la dirección dada, los transforma

    Serial.print(celcius[i]);
    if(i<nDevices-1) Serial.print(",");

    Serial.print("\r\n");
    delay(1000);
  } // Espera un segundo para imprimir de nuevo.

  //////////////////////////////////////
  //temperatureCelsius(): Función para obtener la temeperatura que está midiendo un sensor IR.//
  //////////////////////////////////////
  float temperatureCelcius(int address)
  {
```

```

float temperatureCelcius(int address)
{
    int dev = address;
    int data_low = 0;
    int data_high = 0;
    int pec = 0;

    // Escribe
    i2c_start_wait(dev+I2C_WRITE);
    i2c_write(0x07);

    // Lee
    i2c_rep_start(dev+I2C_READ);
    data_low = i2c_readAck();      // Lee 1 byte y envía ack.
    data_high = i2c_readAck();    // Lee 1 byte y envía ack
    pec = i2c_readNak();
    i2c_stop();

    // Esto convierte los bytes altos y bajos juntos y procesa la temperatura.
    double tempFactor = 0.02;      // 0.02 grados por LSB (medida de
                                   // resolución del MLX90614).
    double tempData = 0x0000;
    int frac;                       // Datos después del punto decimal.

    // Esto oculta el error del byte alto y lo mueve a la izquierda
    // 8 bits y agrega el byte bajo.
    tempData = (double)((((data_high & 0x007F) << 8) + data_low));
    tempData = (tempData * tempFactor)-0.01;
    float celcius = tempData - 273.15;

    // Retorna la temperatura en Celcius.
    return celcius;
}

/////////////////////////////////////////////////////////////////////
//Scanner(): Función que obtiene la dirección I2C de cada sensor IR conectado y la guarda en el array DeviceAddress[]//
/////////////////////////////////////////////////////////////////////
void Scanner()
{
    Wire.begin();

    Serial.begin(9600);
    // Serial.println("\nI2C Scanner");
    // Serial.println("Scanning...");

    byte error, address;

    for(address = 1; address < 127; address++ )
    {
        // The i2c_scanner uses the return value of
        // the Write.endTransmission to see if
        // a device did acknowledge to the address.
        Wire.beginTransmission(address);
        error = Wire.endTransmission();

        if (error == 0)
        {
            deviceAddress[nDevices] = (address)<<1;
            nDevices++;
        }
    }
}
}

```

Con este nuevo código, se eliminan todos los textos que aparecían antes en la consola, se reducen el número de lecturas a una por segundo y nos proporciona los datos de temperatura de los distintos sensores separados por una coma para facilitar el manejo de la variable en Unity.

Ahora se puede establecer la conexión entre Arduino y Unity, para ello se genera y programa una Script en C#, esta Script se va a encargar de que Unity coja todos los datos que entran por el puerto serie al que estarán conectados los sensores.

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;
using System.IO.Ports;
using UnityEngine.UI;
public class Comunicacion1 : MonoBehaviour {

    SerialPort serialPort = new SerialPort("COM3", 9600); //Inicializamos el puerto serie
    public string[] medidas;
    public Text T0;
    public Text T1;

    void Start()
    {

        serialPort.Open(); //Abrimos una nueva conexión de puerto serie
        serialPort.ReadTimeout = 60; //Establecemos el tiempo de espera cuando una operación de lectura no finaliza
    }

    void Update()
    {
        if(serialPort.IsOpen) //comprobamos que el puerto esta abierto
        {
            Debug.Log("Serialport abierto");
            try //utilizamos el bloque try/catch para detectar una posible excepción.
            {
                Debug.Log("try");

                string value = serialPort.ReadLine(); //leemos una linea del puerto serie y la almacenamos en un string

                medidas = value.Split(','); //Separamos el String leído valiendonos
                //de las comas y almacenamos los valores en un array.
                T0.text=medidas[0];
                T1.text = medidas[1];

                serialPort.BaseStream.Flush();

            }

            catch (System.Exception)
            {
            }

        }

    }
}
```

Una vez realizada la comunicación entre Arduino y Unity el resto de la programación fue más sencilla.

Se comenzó introduciendo los modelos 3D (modelados en Solidworks), se les aplicó textura y color y se compuso la escena.

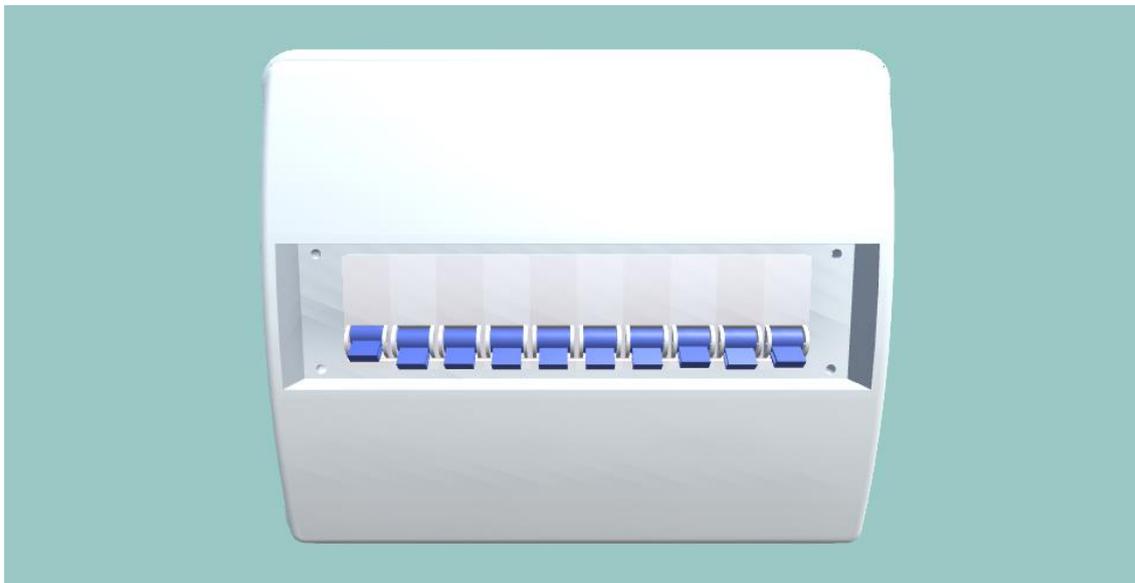


Figura 56: Escena en Unity

La escena en realidad virtual desarrollada en Unity muestra el nombre de los distintos interruptores como T1, T2, T3, T4... sucesivamente, en un caso real podría cambiarse esta enumeración por el nombre del circuito de la vivienda al que estén asignados, por ejemplo, cocina, planta baja, etc. Debajo de estos índices o nombres, se indica la temperatura en grados centígrados con dos decimales, también aparece información de la temperatura ambiente.

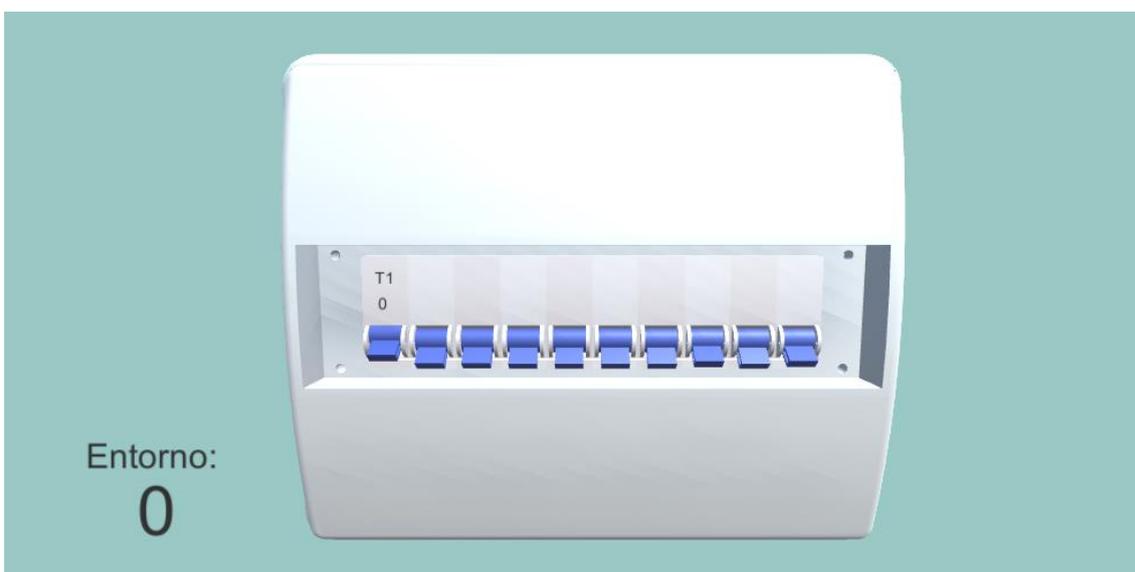


Figura 57: Nomenclatura de los interruptores del cuadro

Cuando el sensor está apagado se muestra en pantalla el valor 0 ya que no está recogiendo datos, en cambio cuando está conectado muestra la temperatura del interruptor y en función de esta temperatura se iluminará adquiriendo un color u otro.

Tabla 19: Relación temperatura-color-carga para un interruptor automático de 10A

Temperatura	Color	Carga (aproximada)
$T < 27^{\circ}\text{C}$	Verde	$P < 1150\text{W}$
$27^{\circ}\text{C} < T < 35^{\circ}\text{C}$	Amarillo	$1150\text{ W} < P < 2300\text{ W}$
$T > 35^{\circ}\text{C}$	Rojo	$P > 2300\text{ W}$

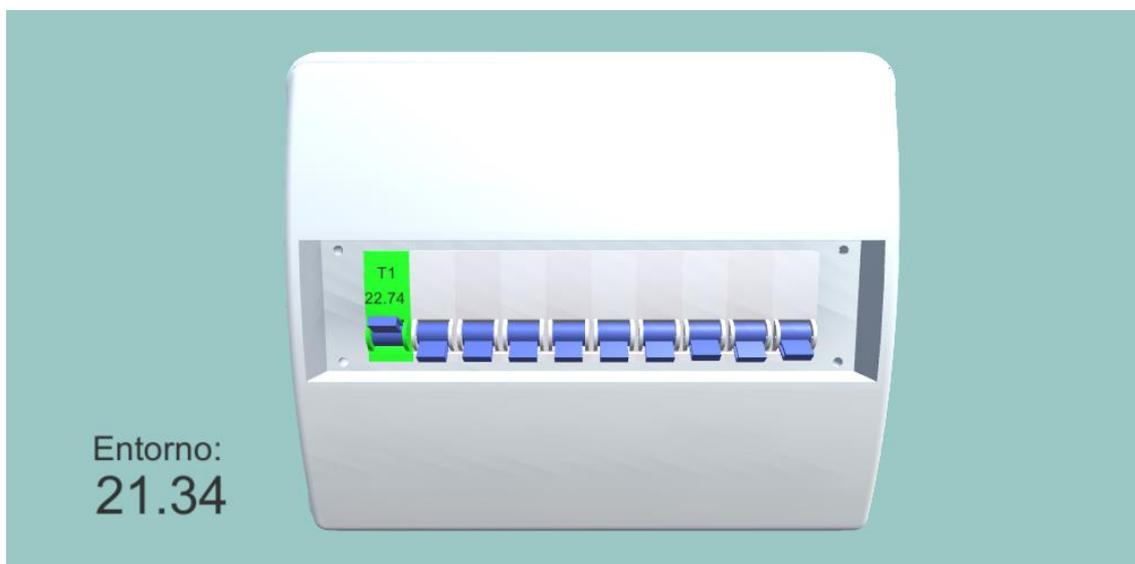


Figura 58: Ejemplo de interruptor con carga media

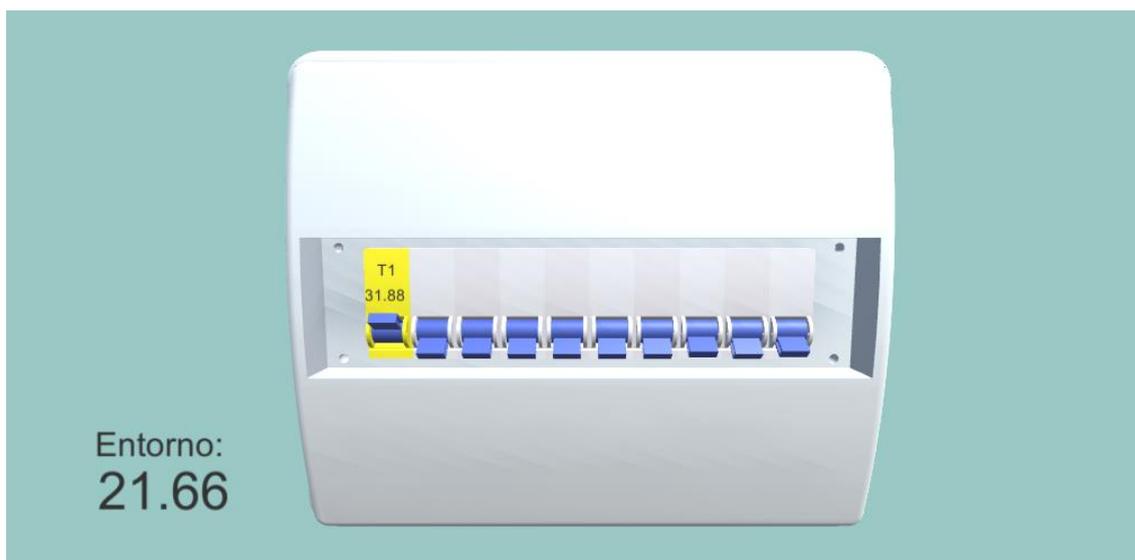


Figura 59: Ejemplo de interruptor con carga alta

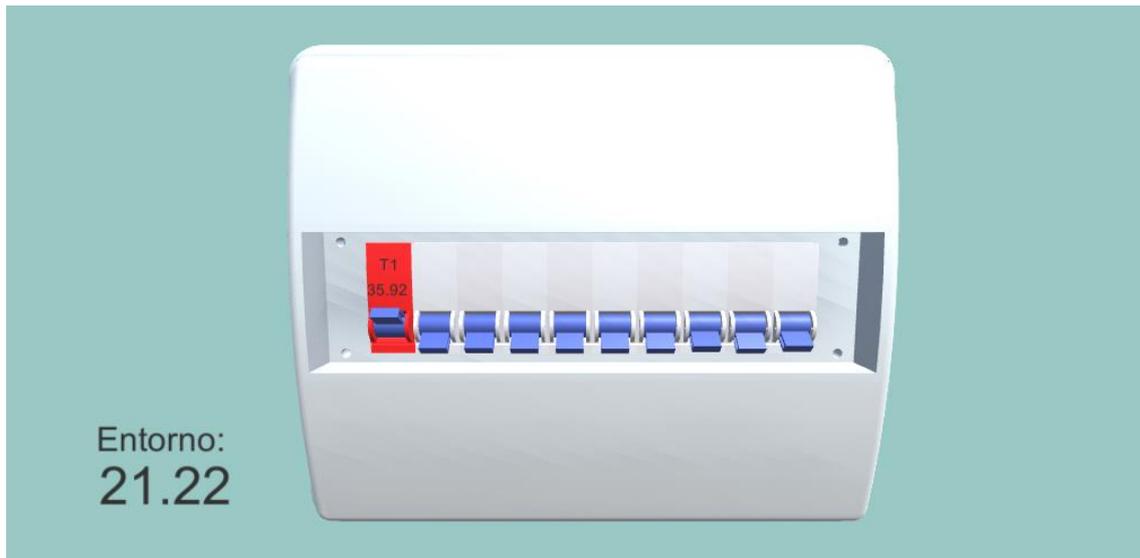


Figura 60: Ejemplo de interruptor con sobrecarga

En la figura 61 se observa la aplicación de Unity en funcionamiento trabajando en una instalación doméstica.



Figura 61: Ejemplo de la aplicación en funcionamiento



Los resultados de este trabajo, su evaluación y discusión derivan de la observación y pruebas de la aplicación creada en Unity y descrita en este punto, que consiste en el gemelo digital de un cuadro eléctrico doméstico, del que se puede obtener y extraer información acerca del funcionamiento del cuadro real pudiendo conocer a tiempo real los datos de carga y temperatura a los que cada elemento del cuadro está sometido y posibilitando predecir así y actuar de forma precoz o en tiempo mínimo ante cualquier anomalía de funcionamiento o sobrecarga que se pudiera producir.

De esta forma se confirma que la realidad virtual es aplicable a este tipo de tareas de monitorización de elementos eléctricos. Y da lugar a las conclusiones derivadas de este trabajo y del estudio de sus resultados.

5. CONCLUSIONES

1. Se puede construir un gemelo digital con las premisas planteadas y los softwares de modelado 3D y de realidad virtual.
2. El uso de la realidad virtual y en concreto de la creación de un gemelo digital de un cuadro eléctrico, permite conocer la carga aproximada de elementos de este cuadro, en concreto interruptores automáticos en función de su temperatura.
3. El algoritmo programado es capaz de obtener la información necesaria de los sensores y mostrarla de forma ordenada y comprensible en el software resultante.
4. La temperatura es una variable imprecisa y cuyas variaciones se prolongan en el tiempo, lo que hace imposible conocer el estado de cada elemento si no se realiza una lectura individual de cada dispositivo por separado, esto se puede realizar mediante la metodología desarrollada.
5. La temperatura del entorno afecta directamente a la temperatura a la que se encuentran los elementos, esto produce una mayor imprecisión de los resultados, esta variable también ha sido tomada en cuenta.
6. Los sensores utilizados ocupan bastante espacio dentro del cuadro, para un desarrollo comercial sería interesante incorporar los sensores directamente en los dispositivos de protección eléctrica

BIBLIOGRAFIA, RECURSOS WEB

(Wikipedia) Interruptor magnetotérmico, disponible en:

https://es.wikipedia.org/wiki/Interruptor_magnetot%C3%A9rmico

(Profe Tolocka) Interruptores Automáticos. Funcionamiento y simbología, disponible en:

<http://www.profetolocka.com.ar/2018/01/04/interruptores-automaticos-funcionamiento-y-simbologia/>

(Automatismo Industrial) Características de los Interruptores Automáticos, disponible en:

<https://automatismoidustrial.com/a-instalaciones-de-enlace/3-1-elementos-de-proteccion/3-1-1-el-magnetotermico/>

(Endesa Clientes) Utilidad de los medidores de consumo, disponible en:

<https://www.endesaclientes.com/blog/medidor-consumo-electrico-nexo>

(Leroy Merlin) Funcionamiento de un medidor de consumo, disponible en:

<https://comunidad.leroymerlin.es/t5/Bricopedia-Iluminaci%C3%B3n-y/C%C3%B3mo-funciona-un-medidor-de-consumo/ta-p/41953>

(Domótica Domestica) Medidores de consumo eléctrico, disponible en:

<http://www.domoticadomestica.com/que-son-los-medidores-de-consumo-electrico/>

(Certicalia) Funcionamiento de la pinza amperimétrica, disponible en:

<https://www.certicalia.com/blog/pinza-amperimetrica-funcionamiento>

(SolidWorks) CAD en 3D, disponible en:

<https://www.3ds.com/es/productos-y-servicios/solidworks/disciplinas/3d-cad/>

(SolidWorks) CAD en 3D, disponible en:

<https://www.3ds.com/es/productos-y-servicios/solidworks/>

(Scan 2D) Historia de SolidWorks, disponible en:

<https://www.scan2cad.com/cad/solidworks-history/>

(Unity) Características de Unity, disponible en:

<https://unity3d.com/es/unity>

(Wikipedia) Historia de Unity, disponible en:

[https://es.wikipedia.org/wiki/Unity_\(motor_de_juego\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Unity_(motor_de_juego))

(Leroy Merlin) Compra del Interruptor Magnetotérmico, disponible en:

<http://www.leroymerlin.es/fp/19439854/interruptor-magnetotermico-schneider-electric-unipolar-neutro?pathFamiliaFicha=342101>

(Papeles de Inteligencia) Industria 4.0, disponible en:

<https://papelesdeinteligencia.com/que-es-industria-4-0/>

(Leroy Merlin) Compra del cable, disponible en:

http://www.leroymerlin.es/fp/340702_negro1z1rvk1z13g2.5mm2/340702-negro-rvk-3g2.5mm2-lexman-negro-rvk-3g2.5mm2?pathFamiliaFicha=340702&uniSelect=undefined&ancho=undefined

(Leroy Merlin) Compra del cuadro eléctrico, disponible en:

<http://www.leroymerlin.es/fp/19463353/cuadro-electrico-famatel-nuova-empotrar-10?idCatPadre=603090&pathFamiliaFicha=342103>

(Amazon) Medidor de consumo individual CSL, disponible en:

https://www.amazon.es/CSL-Medidor-Energ%C3%ADa-Monitoreo-Efectivo/dp/B07GC56TP4/ref=sr_1_2?s=tools&ie=UTF8&qid=1543247335&sr=1-2&keywords=medidor+de+consumo+electrico

(Amazon) Medidor de consumo individual Arendo, disponible en:

https://www.amazon.es/Arendo-Instrumento-energ%C3%A9ticos-electricidad-protecci%C3%B3n/dp/B01HGVRDIW/ref=sr_1_1?s=tools&ie=UTF8&qid=1543247335&sr=1-1&keywords=medidor+de+consumo+electrico

(Amazon) Medidor de consumo individual TACKLIFE, disponible en:

https://www.amazon.es/Tacklife-Advanced-potencia-100-260V-electrico/dp/B073QG8Z63/ref=sr_1_3?s=tools&ie=UTF8&qid=1543247335&sr=1-3&keywords=medidor+de+consumo+electrico

(Amazon) Medidor de consumo individual TACKLIFE, disponible en:

https://www.amazon.es/Consumo-Tacklife-MPM02-Medidor-temporizador-programador-Registre/dp/B078WLHZFL/ref=sr_1_4?s=tools&ie=UTF8&qid=1543247335&sr=1-4&keywords=medidor+de+consumo+electrico

(Amazon) Medidor de consumo individual Meterk, disponible en:

https://www.amazon.es/Meterk-potencia-Contador-Electricity-Electric/dp/B07CLYQS1S/ref=sr_1_5?s=tools&ie=UTF8&qid=1543247335&sr=1-5&keywords=medidor+de+consumo+electrico

(Amazon) Medidor de consumo individual Zaeel, disponible en:

https://www.amazon.es/Zaeel-corriente-el%C3%A9ctrica-protecci%C3%B3n-sobrecarga/dp/B07CWRBPH7/ref=sr_1_6?s=tools&ie=UTF8&qid=1543247335&sr=1-6&keywords=medidor+de+consumo+electrico

(Leroy Merlin) Medidor de consumo global Mirubee, disponible en:

<http://www.leroymerlin.es/fp/19945100/medidor-de-consumo-mirubee-mirubox-v2#ficha-tecnica>

(Amazon) Medidor de consumo global Efergy, disponible en:

https://www.amazon.es/Efergy-Technologies-ENGAGE-HUB-1-1/dp/B00G5DZK8l/ref=sr_1_7?s=tools&ie=UTF8&qid=1543247335&sr=1-7&keywords=medidor+de+consumo+electrico

(Amazon) Medidor de consumo global Smappee, disponible en:

https://www.amazon.es/Smappee-Energy-Monitor-Sistema-seguimiento-Consumo/dp/B00Q4SD0S6/ref=sr_1_1?ie=UTF8&qid=1483782895&sr=8-1&keywords=smappee&tag=xataka-21

(Merkasol) Medidor de consumo global Efergy, disponible en:

https://www.merkasol.com/epages/62387086.sf/?Locale=es_ES&ObjectPath=/Shops/62387086/Products/consumo002&ViewAction=ViewProductViaPortal&esp=googlemerchan&gclid=Cj0KCQiA8_PfBRC3ARIsAOzJ2uoZBFrHCfmSiwezzSVh21kArUWREYF_5Xhd9ywliyuQhb-oERpCYriaAhrBEALw_wcB

(RS Components Ltd) Medidor de consumo global Efergy, disponible en:

https://es.rs-online.com/web/p/products/8199773/?grossPrice=Y&cm_mmc=ES-PLA-DS3A--google--PLA_ES_ES_Automatizaci%C3%B3n_Y_Control_De_Procesos--Indicaci%C3%B3n_De_Medidores_Para_Panel%7CMedidores_Digitales_De_Potencia--PRODUCT_GROUP&matchtype=&pla-438885750601&gclid=Cj0KCQiA8_PfBRC3ARIsAOzJ2uplLMxCNTDRJ8NoFlwqyESJXtgqmlzZKJp_gFBe7Qj_tXfd7TpFNbaYaAtVIEALw_wcB&gclsrc=aw.ds

(FLYR Systems Trading Belgium) Guía de termografía para mantenimiento predictivo, disponible en:

https://www.flirmedia.com/MMC/THG/Brochures/T820264/T820264_ES.pdf

(Wikipedia) Definición de termografía, disponible en:

<https://es.wikipedia.org/wiki/Termograf%C3%ADa>

(spmas) Termografía de cuadros eléctricos, disponible en:

<https://www.spmas.es/productos-especificos/seguridad/termografia-de-cuadros-electricos/>