

UNIVERSIDAD DE ALMERÍA
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y FACULTAD
DE CIENCIAS EXPERIMENTALES



TRABAJO FIN DE GRADO
GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL
**DESARROLLO DE UN SISTEMA DE SUPERVISIÓN DEL
CONFORT LUMÍNICO DE UNA SALA MULTIFUNCIÓN
DEL EDIFICIO INMÓTICO CIESOL**

Autor:

Félix Sánchez Montilla

Tutores:

Dr. D. Francisco Rodríguez Díaz

D. Juan Diego Gil Vergel

Almería, Septiembre 2018

Dedicatoria

A mis padres, hermana y hermanos.

A María.

Agradecimientos

En primer lugar, me gustaría expresar mi agradecimiento a mis tutores, Francisco Rodríguez y Juan Diego Gil. Gracias por la confianza depositada en mí, por vuestra capacidad de motivarme y hacerme dar lo mejor de mí. Asimismo, gracias al Centro Mixto CIESOL por permitirme trabajar y desarrollar mi trabajo en sus instalaciones.

En segundo lugar, me gustaría mencionar a mis amigos, a los que empezaron conmigo y a los que se han ido uniendo a mi vida, independientemente de si eran compañeros de clase o profesores. Habéis hecho de estos años en la Universidad de Almería una experiencia inolvidable.

Por último, gracias a mi madre y a mi padre, por vuestra paciencia y sufrimiento que espero un día poder compensar.

Índice

Agradecimientos	I
Índice	III
Acrónimos	V
Lista de símbolos	VII
Lista de figuras	IX
Lista de tablas	XI
Resumen	XIII
Abstract	XIII
Capítulo 1. Introducción	1
1.1 Motivación del proyecto	1
1.2 Objetivos del proyecto	2
1.3 Contexto	3
1.4 Fases de desarrollo	3
1.5 Resumen de resultados	5
1.6 Estructura de la memoria	7
Capítulo 2. Revisión bibliográfica	9
2.1 Confort visual	9
2.2 Parámetros de confort visual	10
2.2 Interfaz de usuario	16
Capítulo 3. Materiales y métodos	19
3.1 Edificio CIESOL	19
3.2 Sistema SCADA del edificio CIESOL	25
3.3 Sala de juntas del edificio CIESOL	31
3.4 Red de sensores y actuadores de la sala de juntas	33
3.5 Especificaciones de diseño	43
3.4 Arquitectura hardware	47
3.5 Arquitectura software	52
Capítulo 4: Resultados y discusión	55
4.1 Sistema de gestión del confort lumínico	55
4.2 Implantación del sistema	57
4.3 Prueba de escenarios	58
4.4 Análisis de satisfacción del usuario	63
Capítulo 5: Conclusiones y futuros trabajos	65
Bibliografía	67

Acrónimos

Abreviatura	Denominación original	Significado en castellano
CRF	Contrast Rendering Factor	Factor de Rendimiento de Contraste
HMI	Human Machine Interface	Interfaz Hombre-Máquina
HVAC	Heating, Ventilation and Air Conditioning	Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado
ISA	International Society of Automation	Sociedad Internacional de Automática
PLC	Programmable Logic Controller	Controlador Lógico Programable
PVD	Pantalla de Visualización de Datos	-
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition	Sistema de Control, Supervisión y Adquisición de Datos
UGR	Unified Glare Rating	Índice de Deslumbramiento Unificado
VPN	Virtual Private Network	Red Privada Virtual

Lista de símbolos

A	Anchura del recinto [m].
E_{med}	Iluminancia media [lux].
E_{min}	Iluminancia mínima [lux].
h	Altura del recinto [m].
K_L	Índice del local.
L	Luminancia [cd/m^2].
L_b	Luminancia de fondo [cd/m^2].
L_r	Longitud del recinto [m].
p	Índice de posición de Guth.
U_m	Uniformidad media [m].
Ω	Ángulo de las luminarias respecto al observador.

Lista de figuras

Figura 1.1. C-DdI-CIESOL-ARFRISOL.....	2
Figura 1.2. Ventana principal de la interfaz.....	5
Figura 1.3. Montaje final de la Raspberry Pi 3 B.....	6
Figura 1.4. Valores de luxómetros.....	6
Figura 2.1. Condición para reducir el deslumbramiento molesto.....	12
Figura 2.2. Diagrama del Sistema de Curva de Luminancia.....	13
Figura 3.1. Localización del edificio C-DdI-CIESOL-ARFRISOL.....	19
Figura 3.2. Esquema de la planta alta y baja del edificio.....	20
Figura 3.3. Retranqueo de las ventanas con orientación este y sur.....	21
Figura 3.4. Cerramiento exterior del edificio.....	22
Figura 3.5. Instalación de frío solar.....	22
Figura 3.6. Esquema del sistema HVAC basado en frío solar.....	24
Figura 3.7. Sistema SCADA en el ámbito empresarial.....	26
Figura 3.8. Distribución de los módulos de adquisición.....	27
Figura 3.9. SCADA de la sala de juntas: Monitorización.....	28
Figura 3.10. SCADA de la sala de juntas: Control.....	29
Figura 3.11. SCADA de la sala de juntas: Gráficas.....	29
Figura 3.12. SCADA de la sala de juntas: Garita.....	30
Figura 3.13. SCADA de la sala de juntas: Configuración.....	30
Figura 3.14. Esquema del sistema SCADA implementado.....	31
Figura 3.15. Sala de juntas del edificio CIESOL.....	32
Figura 3.16. Ventana sur de la sala de juntas.....	33
Figura 3.17. Luxómetro LP PHOT 01.....	34
Figura 3.18. Curva fotópica estándar $V(\lambda)$	35
Figura 3.19. Luxómetro de la sala de juntas.....	36
Figura 3.20. Configuración en fuente de corriente con alimentación externa...36	
Figura 3.21. Telerruptor A9C30115 de Schneider.....	38
Figura 3.22. Módulo cFP-DO-403.....	39
Figura 3.23. Configuración eléctrica de la tarjeta con los telerruptores.....	39

Figura 3.24. Relé para el estado de las luminarias.....	40
Figura 3.25. Montaje de la caja de registro.....	41
Figura 3.26. Módulo cFP-DI-330.....	41
Figura 3.27. Configuración eléctrica de la tarjeta con el relé.....	42
Figura 3.28. Visión detallada de la Raspberry Pi 3 B.....	49
Figura 3.29. Pantalla táctil Raspberry 7”.....	49
Figura 3.30. Pines GPIO de la Raspberry Pi 3 B.....	50
Figura 3.31. Cableado interno del edificio CIESOL.....	50
Figura 3.32. Arquitectura Hardware.....	51
Figura 3.33. Entorno de escritorio de Raspbian OS.....	52
Figura 3.34. Diagrama de flujo del software diseñado.....	54
Figura 4.1. Ventana principal Sala de Juntas CIESOL.....	56
Figura 4.2. Ventana Escenas Predeterminadas.....	56
Figura 4.3. Ventana Modo Manual.....	57
Figura 4.4. Mesa principal de la sala de juntas.....	58
Figura 4.5. Parte del diagrama de bloques del SCADA de la sala de juntas.....	59
Figura 4.6. Lectura del archivo de texto generado por la Raspberry Pi 3 B.....	60
Figura 4.7. Distribución de la sala de juntas para una reunión.....	61
Figura 4.8. Valores de los luxómetros en modo Reunión.....	61
Figura 4.9. Valores de los luxómetros en modo Clase.....	62
Figura 4.10. Valores de los luxómetros en modo Cine.....	62
Figura 4.11. Valores de los luxómetros en modo Proyector.....	63
Figura 4.12. Ejemplo de encuesta de satisfacción.....	63
Figura 4.13. Nivel de satisfacción de los usuarios.....	64

Lista de tablas

Tabla 1.1: Diagrama de Gantt.....	4
Tabla 2.1: Número de puntos en relación al índice del local.....	10
Tabla 2.2: Relación entre la t ^a de color y las actividades a realizar.....	15
Tabla 2.3: Parámetros para la selección de lámparas según criterios de color...15	
Tabla 3.1: Especificaciones del fluorescente TL-D estándar Ø 26mm.....	32
Tabla 3.2: Características técnicas del LP PHOT 01.....	34
Tabla 3.3: Asignación de terminales de la tarjeta cFP-AI-110.....	37
Tabla 3.4: Asignación de terminales de la tarjeta cFP-DO-403.....	40
Tabla 3.5: Asignación de terminales de la tarjeta cFP-DI-330.....	42
Tabla 3.6: Resumen de asignaciones de sensores y actuadores de la sala.....	43
Tabla 3.7: Análisis de mercado de sistemas hardware HMI.....	47
Tabla 4.1: Valores establecidos para cada escenario.....	60

Resumen

El presente proyecto se centra en la supervisión y el control de luminarias de la sala de juntas del centro de investigación CIESOL, el cual está situado en el Campus de la Universidad de Almería y en él, se realizan actividades de investigación y de transferencia tecnológica relacionadas con las aplicaciones de la energía solar.

Para ello, se ha diseñado una interfaz HMI mediante el uso de un sistema embebido, con la programación e instalación que ello conlleva.

El objetivo de este trabajo es conseguir que el control lumínico sea fácilmente configurable por el usuario, sin necesidad de conocimientos previos, de forma que la interfaz gráfica, que estará presente en una pantalla táctil, permite ver y modificar el estado de las luminarias de la sala de juntas, de manera rápida e intuitiva.

Los resultados obtenidos demuestran que es posible controlar las luminarias desde el interior de la sala de juntas sin necesidad de conocimientos previos del funcionamiento del sistema SCADA.

Palabras clave: Interfaz Hombre-Máquina, Control de luminarias, Sistema embebido.

Abstract

This project focuses on the supervision and control of luminaries in the boardroom of the research center CIESOL, which is located on the Campus of the University of Almeria and in which research and technology transfer activities related to the applications of solar energy are carried out.

To this end, a HMI interface will be designed through the use of an embedded system, with the corresponding programming and installation.

The objective of this work is to make the lighting control easily configurable by the user, without the need for prior knowledge, so that the graphical interface, which will be present on a touch screen, allow to view and modify the state of the boardroom's luminaries, in a fast and intuitive way.

The results obtained show that it is possible to control the luminaries from inside the meeting room without any prior knowledge of the operation of the SCADA system.

Key words: Human-Machine Interface, Control of luminaries, Embedded system.

1.1 Motivación del proyecto

Actualmente, uno de los principales motivos de preocupación del planeta es el gasto energético. Aproximadamente un 19% del consumo de energía a nivel mundial está destinado a la iluminación, pudiendo llegar incluso al 40% si se habla del consumo de un edificio común. Sin embargo, para reducir este excesivo consumo, no se debe renunciar a la cantidad y calidad de luz. Por consecuencia, se ha producido un crecimiento en la creación de los denominados edificios inteligentes o inmóticos, como el edificio C-DdI-CIESOL-ARFRISOL [1], situado en la Universidad de Almería. Se define como inmótica [2] al conjunto de tecnologías aplicadas al control y la automatización inteligente de edificios no destinados a la vivienda, permitiendo una gestión eficiente del uso de la energía, además de aportar seguridad, confort, comunicación entre el usuario y el sistema.

En general, las personas pasan alrededor de un 80% de sus vidas en el interior de los edificios, por ello, no se debe desatender el bienestar de los usuarios, ya que puede afectar a la salud y productividad de los mismos [3]. Afortunadamente, en septiembre de 2002 se aceptó la redacción por parte de la Comisión de Normalización Europea de la norma UNE 12464-1 relativa a “Iluminación de los lugares de trabajo en interior” [4]. Esta nueva norma, recomienda el cumplimiento no sólo cuantitativo, sino cualitativo de dos aspectos de la tarea visual: confort visual y rendimiento de colores. En cuanto al confort visual, en el que se centra este proyecto, estarán englobados parámetros tales como la relación de luminancias entre tarea y entorno, o el control del deslumbramiento producido por las fuentes de luz, así como el modo de evitar deslumbramientos reflejados en pantallas.

El edificio CIESOL, véase figura 1.1, es uno de los cinco C-DdI (contenedor demostrador de investigación) del Proyecto Singular Estratégico sobre Arquitectura Bioclimática y Frío Solar (PSE-ARFRISOL). Dicho proyecto tenía como objetivo principal demostrar que es posible ahorrar de un 80% a un 90% de energía convencional a través de la correcta aplicación de las tecnologías solares, adaptando el diseño del edificio al entorno y climatología [1].

En la actualidad, la sala de juntas, se utiliza para tareas y actividades de carácter laboral y educativo, tales como conferencias, reuniones, clases de idiomas, realización de exámenes o talleres de enseñanza. Por esta razón, nace la necesidad de desarrollar una herramienta con la que se puedan modificar los parámetros necesarios para la obtención de un confort visual o lumínico [5], según las diferentes condiciones en las que se encuentre la sala.

Se define como confort lumínico al nivel de iluminación óptimo para una tarea determinada que da como resultado un mayor rendimiento con una mínima fatiga. Estos parámetros se alcanzarán mediante la selección de una serie de escenarios programados en la interfaz hombre-máquina (HMI, *Human Machine Interface*), de forma que el usuario no necesite conocimientos de confort visual.



Figura 1.1 C-DdI-CIESOL-ARFRISOL

1.2 Objetivos del proyecto

El principal objetivo es diseñar un sistema que permita alcanzar un confort visual a los usuarios de la sala de juntas del edificio mixto CIESOL, mediante una herramienta accesible y fácil de comprender para los mismos. Con el fin de conseguir este objetivo, se llevará a cabo el estudio y la adquisición del hardware necesario para este proyecto, el diseño de una interfaz gráfica y su posterior implantación en dicha sala. Debido a esto, se plantean varios subobjetivos resumidos a continuación:

- Mejorar la infraestructura de la sala de juntas, mediante la modificación del Hardware.
- Modernizar y ampliar la interfaz existente, aportando nuevas funciones y de mejor acceso, necesarias para un trabajo más eficiente.
- Integrar el proyecto en el edificio CIESOL utilizando los sistemas de comunicación existentes.

1.3 Contexto

El presente trabajo fin de grado se ha desarrollado en el contexto del proyecto de Control y gestión óptima de recursos heterogéneos en distritos productivos agroindustriales integrando energías renovables (CHROMAE) DPI2017-85007-R financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación y Fondos FEDER. Los ensayos se han realizado utilizando las instalaciones del Centro de Investigación en Energía Solar (CIESOL) cuyas características se describen a continuación.

El C-DdI-CIESOL-ARFRISOL (Centro de Investigación de Energía Solar), se localiza en el campus de la Universidad de Almería y cuenta con una superficie total de 1071,92 m². Está formado por seis despachos, todos ellos con orientación este, situados en la planta baja, a excepción del despacho de dirección situado en la planta alta, además existen un total de ocho laboratorios orientados al norte (cuatro en la planta baja dedicados a 'Química Solar' y cuatro en la planta superior, dos de 'Modelado y Control Automático' y otros dos de 'Recursos Energéticos Solares y Climatología'), una nave-taller, donde se encuentra una caldera de alta eficiencia y una máquina de absorción.

La disparidad de herramientas que se emplean en la recogida de los datos necesarios para el C-DdI-CIESOL-ARFRISOL permiten obtener un amplio abanico de variables que son necesarias en este TFG. Para la toma de datos se ha usado el Sistema de Control, Supervisión y Adquisición de Datos (SCADA) y el conjunto de sensores que el grupo de investigación de Automática, Robótica y Mecatrónica tiene instalado en el edificio.

1.4 Fases de desarrollo

La organización de las distintas actividades en las que se ha dividido el proyecto se presenta a continuación, en la tabla 1.1, donde se muestra el orden y el tiempo empleado en cada una de las fases de desarrollo.

Durante los primeros cuatro meses en la realización del proyecto el horario fue de 9:30 a 13:30, es decir, 14 semanas de lunes a viernes, 4 horas cada día. Por otro lado, en Mayo de 2018 se comenzó la documentación del proyecto con mayor intensidad, 5 días a la semana, 6 horas cada día. Y los dos últimos meses de, 8 horas al día durante 7 semanas. Esto hace un total de 680 horas de trabajo para realizar y cumplir los objetivos de este proyecto.

Tareas	Febrero 2017	Marzo 2017	Abril 2017	Mayo 2017	Mayo 2018	Junio 2018	Julio 2018
Revisión bibliográfica							
Aprendizaje del sistema SCADA del edificio CIESOL							
Establecimiento de objetivos y estudio de métodos							
Estudio de mercado							
Instalación del SO en Raspberry Pi 3							
Estudio y pruebas de compatibilidad de software							
Aprendizaje del lenguaje de programación Python							
Diseño de la interfaz con IDLE Tkinter							
Pruebas de conectividad con la red CIESOL							
Realización de ensayos							
Documentación del proyecto							

Tabla 1.1 Diagrama de Gantt

1.5 Resumen de resultados

Una vez realizado el desarrollo del sistema de supervisión del confort visual y su implantación en la sala de juntas del edificio CIESOL, los resultados obtenidos se pueden evaluar como positivos, puesto que el usuario dispone de una interfaz intuitiva para el control de las luminarias desde la propia sala de juntas, sin necesidad de acceso al SCADA general. Un ejemplo de esta interfaz se muestra a continuación en la figura 1.2.

Para la realización de este proyecto, la arquitectura hardware que se ha necesitado se describe detalladamente en capítulos posteriores. En la figura 1.8, se observa la placa Raspberry Pi 3 B conectada tanto a la pantalla táctil de 7" de la misma marca, como a la red interna del edificio.

Para el desarrollo de la interfaz se ha utilizado el lenguaje de programación Python a través del software IDLE. Este software, descrito más adelante, proporciona diferentes herramientas con las cuales satisfacer los requisitos impuestos al comienzo del trabajo, así como las normas que se han tenido en cuenta para el diseño de la interfaz. Además, ha sido necesario realizar una pequeña modificación en el SCADA actual de la sala de juntas, de forma que el archivo generado por el sistema diseñado, será leído por el SCADA y su valor será asignado a la consigna del luxómetro, para su control automático, como se muestran en el ejemplo de la figura 1.4 las variables LuxSalaReuniones01_convertido y LuxSalaReuniones02_convertido.



Figura 1.2 Ventana principal de la interfaz

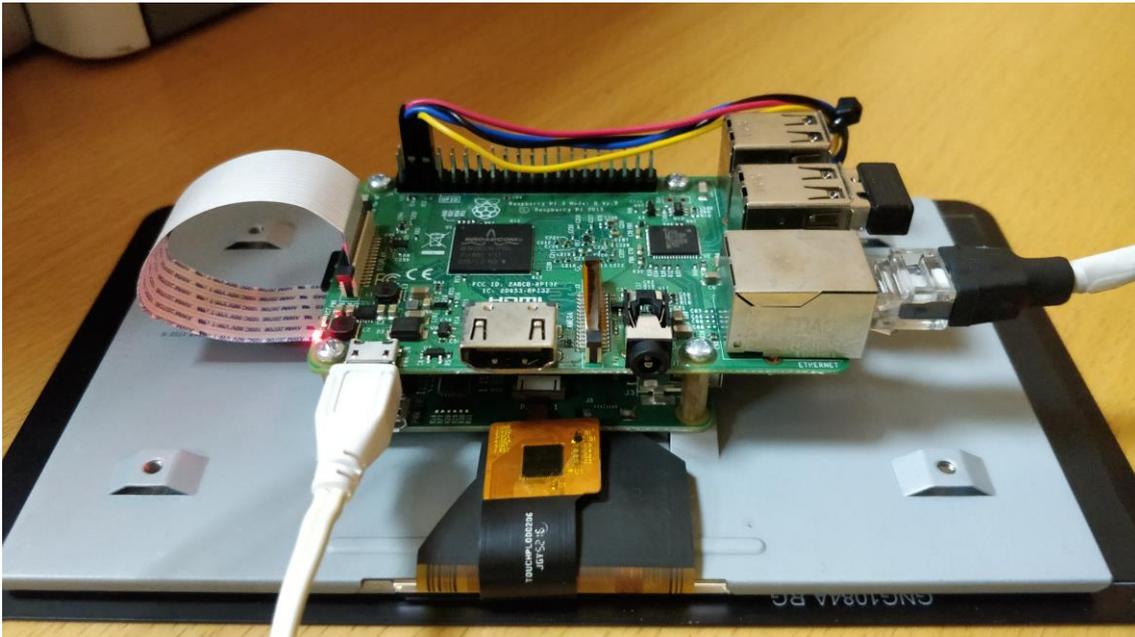


Figura 1.3 Montaje final de la Raspberry Pi 3 B

Finalmente, se realizó una breve encuesta anónima a los usuarios de la sala de juntas con el fin de verificar la utilidad de la implantación del sistema. Con los datos obtenidos en las encuestas, se ha calculado un porcentaje de satisfacción de los usuarios del 95%.

Por tanto, se han conseguido los objetivos del proyecto. De forma que aquellos que no se han conseguido superar quedan pendientes para futuros trabajos.

Monitorización.vi

SENSORES CONFIGURACIÓN ABOUT

FECHA JULIANA	199,705660	CABECERAS	DATOS	FLAGS
FECHA	18-07-2018	Lux_SalaReuniones_01_señal	0.0040205158	-1
HORA	16:56:09	Lux_SalaReuniones_01_convertido	225.3883387893	-1
		Lux_SalaReuniones_02_señal	0.0040305257	-1
		Lux_SalaReuniones_02_convertido	23.7775534391	-1
		Lux_Garita_01_señal	0.0050819027	-1
		Lux_Garita_01_convertido	13523.7840469927	-1
		Tlr_SalaReuniones_01	0.0000000000	-1

Listado de sensores con problemas (Actualización cada 30 segundos)

FECHAS	HORAS	INDICES	CABECERAS	VALORES	FLAGS
18-07-2018	09:53:29	77	Tg_01_Lab5	850.0000000000	8.00
18-07-2018	09:53:29	117	Tm_Fachada_1.0.2 señal	0.0799999982	8.00
18-07-2018	09:53:29	121	Tm_Fachada_3.1.2 señal	0.0799999982	8.00
18-07-2018	09:53:29	132	Tm_Fachada_1.0.2	60783.9218383789	8.00
18-07-2018	09:53:29	136	Tm_Fachada_3.1.2	60783.9218383789	8.00
18-07-2018	09:53:29	190	Ts_01_Laboratorio8_05	850.0000000000	8.00

DESACTIVAR

CONFIGURAR SENSORES LISTAR SENSORES VER DIARIO VER BITÁCORA

SALIR DEL PROGRAMA

Figura 1.4 Valores de luxómetros

1.6 Estructura de la memoria

Con el fin de mejorar la lectura y comprensión de este proyecto, se resume la estructura de la memoria en los siguientes puntos:

Capítulo 1. Introducción.

Al inicio de la memoria se muestra una introducción sobre el contexto y motivación del tema a tratar así como de los objetivos y un resumen de los resultados obtenidos.

Capítulo 2. Revisión bibliográfica.

En este capítulo se resume la información estudiada previamente relacionada con el desarrollo del proyecto.

Capítulo 3. Materiales y métodos.

Se describen los sensores y actuadores de los que dispone la sala de juntas, los materiales necesarios utilizados a lo largo del trabajo, así como las técnicas y programas con los que se han trabajado.

Capítulo 4. Resultados y discusión.

Se muestra el desarrollo del proyecto: estrategias, decisiones, problemas y soluciones. Además, se incluirán los resultados obtenidos.

Capítulo 5. Conclusiones y futuros trabajos.

Se exponen conclusiones sobre el proyecto, así como una pequeña serie de posibles futuros trabajos relacionados con el mismo.

2.1 Confort visual

Anteriormente, se definió como objetivo principal de este proyecto el diseño un sistema que permita alcanzar un confort visual a los usuarios de la sala de juntas del edificio mixto CIESOL. Debido a esto, es necesario definir el significado de confort visual y sus parámetros.

El ser humano percibe la mayor parte de la información a partir del sentido de la vista, por lo que la luz resulta un elemento muy importante, ya que permite distinguir la forma, el color y la perspectiva de los distintos objetos existentes en un determinado entorno [6]. Por ello, se puede definir el confort visual como un estado generado por la armonía o equilibrio de una elevada cantidad de variables como son la iluminación, la luminancia y el color [7].

Para permitir que las personas realicen tareas visuales de modo eficiente y preciso, debería preverse una iluminación adecuada y apropiada. Por una parte, la iluminación puede ser proporcionada mediante luz natural, alumbrado artificial o una combinación de los mismos. Por otro lado, el grado de visibilidad y confort requerido en un amplio ámbito de lugares de trabajo es gobernado por el tipo y duración de la actividad. Debido a ello, existen normas, tanto a nivel nacional como internacional, como la norma ‘UNE-EN 12464-1: 2012’ [4], que especifica los requisitos para sistemas de iluminación para la mayor parte de los lugares de trabajo en interiores y sus áreas asociadas, así como recomendaciones sobre buena práctica de iluminación, cuyos métodos de cálculo se recogen en el Código Técnico de la Edificación (CTE).

Además, para la realización de este capítulo, se han tenido en cuenta algunas normas y guías como por ejemplo, ‘Iluminación en el puesto de trabajo. Criterios para su evaluación y acondicionamiento’ [8] publicada por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, la ‘Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación. Oficinas’ [9] redactada por el grupo de trabajo formado por el Comité Español de Iluminación (CEI) y el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDEA), así como la guía titulada ‘Guía técnica para el aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios’ [10] con la colaboración del Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos de España (CSCAE).

Por último, cabe destacar el libro ‘The lighting handbook’ [11] escrito por Illuminating Engineering Society of North America (IESNA) y la Comisión Internacional de la Iluminación (CIE).

2.2 Parámetros de confort visual

Como se mencionó anteriormente, el confort visual se puede expresar a través de niveles óptimos de iluminación, luminancia y color. Estas variables están relacionadas con la naturaleza, estabilidad y cantidad de luz, en relación con las exigencias visuales de las tareas.

Iluminancia

La iluminancia [9] o nivel de iluminación, E , expresada en lux, se define como la cantidad de luz, en lúmenes, lm , por el área de la superficie a la que llega, en m^2 . Esta cantidad de luz, afecta de forma directa a la agudeza visual, la sensibilidad de contraste y a la eficiencia de enfoque sobre las tareas a diferentes distancias. Cuanto mayor sea la cantidad de luz, mejor será el rendimiento visual, siempre que no se sobrepase el límite de deslumbramiento.

La iluminancia es consecuencia directa del alumbrado y la reflectancia constituye una propiedad intrínseca de la tarea. En una misma oficina, pueden darse diferentes reflectancias según la tarea, lo que hace muy complicado tanto su estudio como sus medidas. Sin embargo, la iluminancia permanece dependiendo únicamente del sistema de alumbrado. Por ello, para alumbrados en interiores, la cantidad de luz se especifica en términos de iluminancias y normalmente de la iluminancia media, E_{med} , a la altura del plano de trabajo.

Para establecer los valores de la iluminancia media de un plano, se tomarán medidas de iluminación en un número determinado de puntos distribuidos simétricamente sobre el mismo y posteriormente se realizará la media aritmética de estas medidas. Se establece el número de puntos a tomar en función del índice del local, que representa la geometría del local y cuya fórmula es:

$$K_L = \frac{L_r \cdot A}{h \cdot (L_r + A)}, \quad (2.1)$$

donde K_L es el índice del local, L_r es la longitud del recinto, A la anchura y h la altura de la luminaria sobre el plano de trabajo, todo ello medido en m.

Según el índice del local se establecerá el número de puntos mínimos, asegurando así que no se tendrá una información errónea, y se realiza siguiendo las indicaciones de la tabla 2.1:

K_L	Número de puntos
$K_L < 1$	4
$1 < K_L < 2$	9
$2 < K_L < 3$	16
$K_L > 3$	25

Tabla 2.1 Número de puntos en relación al índice del local.

Con el fin de asegurar que el nivel de alumbrado en un punto concreto del área no sea menor a cierto valor, debe cumplirse también una relación de uniformidad o uniformidad media, U_m , obtenida mediante el cociente de la iluminancia mínima, E_{min} , entre la iluminancia media, E_{med} , ambas en lux, como se observa en la ecuación 2.2 [9].

$$U_m = E_{min}/E_{med} \quad (2.2)$$

Luminancia

Se define luminancia, L, como el cociente entre la intensidad luminosa, cd, procedente de una superficie en una dirección dada y el área aparente de dicha superficie en m² [9].

El ojo humano se adapta con facilidad a la luminancia al explorar una tarea, de forma que si el ojo abandona la tarea y mira hacia un área de diferente luminancia se readaptará. Con el objetivo de ver los detalles de las diferentes tareas visuales con rapidez y exactitud, las diferencias de luminancia dentro del campo de visión no deben ser excesivas. Sin embargo, el entorno visual de una oficina deberá ser tal que permita a los músculos del ojo el margen completo de enfoque y apertura. Por este motivo, es necesaria una variación en las luminancias del campo de visión del trabajador.

El confort visual queda afectado negativamente por un exceso de grandes diferencias de la luminancia en grandes zonas del campo de visión. Los investigadores indican que la incomfortabilidad está asociada a la fatiga producida en los músculos del ojo, los cuales reducen el tamaño de la pupila en presencia de luminancias excesivas, y vuelven a expandirla cuando las luminancias son muy pequeñas.

Con el cambio en las actividades de oficinas, de aquellas directamente relacionadas con una tarea visual hacia las del tipo de comunicación, el establecimiento de relaciones de luminancia adecuadas en el entorno total llega a ser más y más importante [9].

Deslumbramientos

El deslumbramiento es un fenómeno de la visión que produce molestia o disminución en la capacidad de diferenciar objetos, o ambas cosas a la vez, debido a una inadecuada distribución o escalonamiento de luminancias, o como consecuencia de contrastes excesivos en el espacio o en el tiempo. Este fenómeno actúa sobre la retina del ojo en la que se produce una reacción fotoquímica, insensibilizándola durando un tiempo, transcurrido el cual vuelve a recuperarse.

Los efectos que originan el deslumbramiento pueden ser de tipo psicológico (molestia) o de tipo fisiológico (perturbación). En cuanto a la forma de producirse, puede ser directo como el que proviene de fuentes luminosas (lámparas o ventanas) que están dentro del campo visual, o reflejado por superficies de gran reflectancia (especialmente los vidrios o los metales pulidos) [12].

En el alumbrado de oficinas, el deslumbramiento directo se mantendrá dentro de límites aceptables, si se controla el grado de deslumbramiento molesto. La magnitud de la sensación de deslumbramiento molesto, depende del número, posición, luminancia y tamaño de las fuentes deslumbradoras y de la luminancia a la cual los ojos están adaptados.

El índice del deslumbramiento molesto procedente directamente de las luminarias de una instalación interior se determina utilizando el método de tabulación del Índice de Deslumbramiento Unificado (UGR, *Unified Glare Rating*) [9], que se obtiene de la siguiente ecuación:

$$UGR = 8 \log_{10} \left(\frac{0,25}{L_b} \cdot \sum \frac{L^2 \cdot \omega}{p^2} \right) , \quad (2.3)$$

donde L_b es la iluminancia de fondo en cd/m^2 , L es la iluminancia de las partes luminosas de cada luminaria en la dirección del ojo expresada en cd/m^2 , ω es el ángulo de las partes luminosas de cada luminaria en el ojo del observador y p es el índice de posición de Guth para cada luminaria individual que se refiere a su desplazamiento de la línea de visión.

En condiciones de trabajo normales, la zona angular de medida a partir de un eje vertical desde la luminaria hacia abajo, dentro del cual es más probable que se produzcan deslumbramientos, abarca la gama de 45° a 85° , como se puede observar en la figura 2.1 [9].

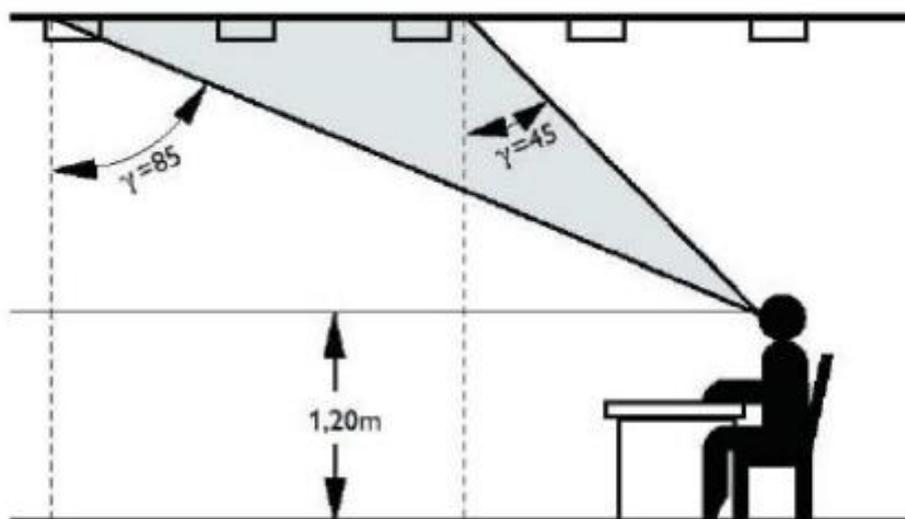


Figura 2.1 Condición para reducir el deslumbramiento molesto [9]

Bajo una serie de circunstancias normalmente presentes en oficinas iluminadas mediante luminarias empotradas o adosadas al techo de forma regular, el deslumbramiento puede limitarse utilizando el Sistema de Curva de luminancia. Este método, se conoce también como el Método Europeo de Limitación del Deslumbramiento o diagrama CIE, facilita límites de luminancia media de las luminarias para diferentes “Clases de Calidad” en limitación de deslumbramiento y en el margen de ángulos críticos mencionados antes (es decir, desde 45° a 85° desde la vertical de la luminaria) [9].

La figura 2.2 muestra los límites de luminancia para las diferentes clases de calidad, válido para todas las luminarias sin salida lateral de flujo, tanto para visión longitudinal como transversal, donde la línea punteada es referida a la curva fotométrica de la luminaria en el plano longitudinal y la continua al plano transversal de la luminaria.

La forma más fácil de comprobar si una combinación de lámpara/luminaria dada, satisface los requisitos en cuanto a la limitación del deslumbramiento para una Clase de Calidad y para una determinada instalación, consiste en trazar la distribución de luminancia de la combinación en cuestión sobre el diagrama de Curvas de Luminancia.

Un detalle importante a tener en cuenta, es que los diagramas normalmente dados por los fabricantes en los catálogos de sus luminarias, representan tan sólo las curvas fotométricas en el plano transversal y longitudinal de la luminaria. Sin embargo, en oficinas donde existen puestos de trabajo que se encuentran en sentido oblicuo respecto a las luminarias, el estudio ha de realizarse con la curva fotométrica en el plano perpendicular a las mesas y que contiene a las luminarias.

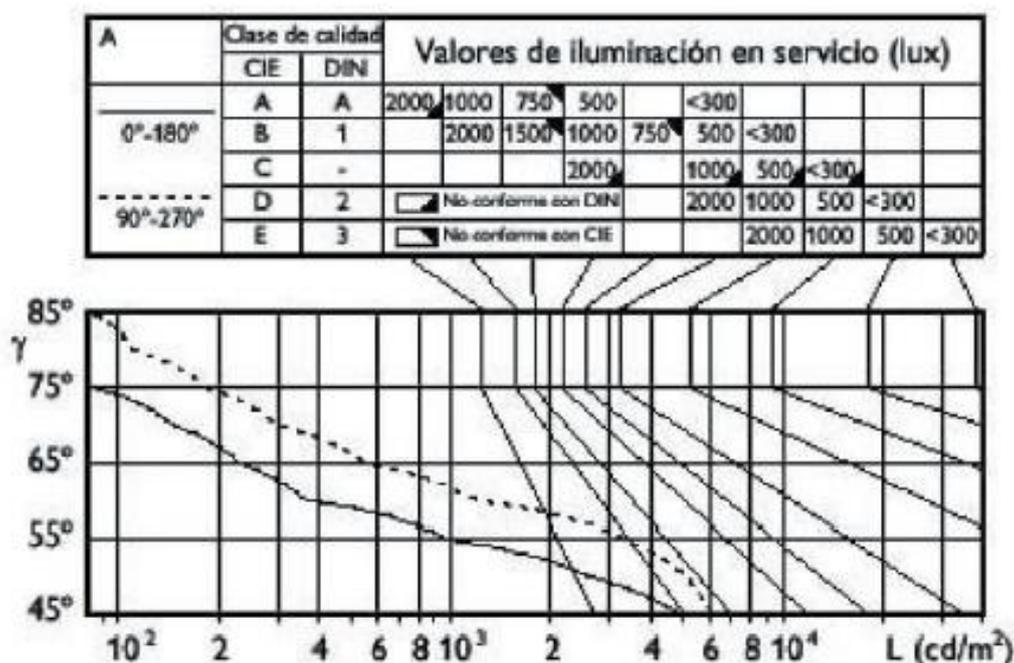


Figura 2.2 Diagrama del Sistema de Curva de Luminancia.[9]

Además, en el caso en que existan pantallas de ordenador, para no obtener brillos molestos en las mismas, se ha de cumplir que la luminancia sea menor de 200 cd en todas las direcciones de las que puedan afectar la pantalla. Las luminarias que cumplen esto para los 360° se denominan de baja luminancia omnidireccional [9].

Deslumbramiento reflejado

La luz de una fuente luminosa reflejada hacia los ojos de un observador, desde la tarea que contenga una superficie satinada, puede disminuir la visibilidad de la tarea y producir una sensación de incomodidad. Esto es debido a que el deslumbramiento reflejado, ensombrece la tarea y reduce el contraste en la misma.

El término técnico utilizado para evaluar la reflexión de velo es el “Factor de Rendimiento de Contraste” o CRF. Este se define como la relación del contraste de tarea real bajo unas condiciones de alumbrado determinadas y el contraste de tarea (teórico) en un entorno de referencia, una esfera de luminancia uniforme [9].

El valor CRF para determinadas situaciones de trabajo, depende de las características reflectantes de la tarea, las posiciones de las luminarias y sus características fotométricas. El CIE ha especificado las propiedades de reflexión de una tarea de referencia, haciendo posible calcular el valor CRF para la tarea de referencia en cada situación de alumbrado y para posición de trabajo. A este valor se le denomina CRFR y cuanto mayor sea, mejores serán la visibilidad y la satisfacción visual. Sin embargo, un alto valor de CRFR no conduce necesariamente a una situación satisfactoria en cuanto a la supresión de reflexiones de velo, puesto que el deslumbramiento reflejado está influido en gran medida por el color y acabado de las superficies que aparecen en el campo de visión, por lo que es recomendable que todas las superficies dispongan de un acabado mate que evite reflejos molestos.

Color

Cuando los trabajadores de una oficina permanecen expuestos a un determinado ambiente durante largos periodos de tiempo, el color puede influir en su rendimiento y es seguro que tiene algún efecto sobre el grado de satisfacción visual experimentado.

Es necesario distinguir dos importantes aspectos de las propiedades cromáticas de las fuentes de luz:

- La apariencia de color de una fuente de luz o Temperatura de Color [K], es la impresión de color recibida cuando se mira a la propia luz.

- El rendimiento en color de la fuente de luz, es la capacidad de la luz para reproducir con fidelidad los colores de los objetos que ilumina.

Tanto la apariencia de color como el rendimiento en color de una fuente de luz son completamente dependientes de la distribución espectral de la luz emitida. Además, cuanto más baja sea la temperatura de color, más ‘cálida’ será la luz, y cuanto más alta sea, más ‘fría’ [9].

Dependiendo del tipo de actividad a realizar, la Temperatura de Color debe variar, tal y como se muestra en la tabla 2.2.

Temperatura de Color	Tipo de actividad
Tonos cálidos (< 3000 K)	Áreas de descanso Salas de espera Oficinas tipo reunión Zonas con usuarios de avanzada edad.
Tonos neutros (3300-5000 K)	Lugares con mucha luz natural Tareas visuales de requisitos medios
Tonos fríos (> 5000 K)	Altos niveles de iluminación Tareas visuales de alta concentración

Tabla 2.2 Relación entre la tª de color y las actividades a realizar.

Por otro lado, la propiedad de rendimiento en color de una fuente de luz puede indicarse por el Índice de Rendimiento en Color (Ra), que puede variar entre 0 y 100, de forma que a mayor Ra, mayor será la veracidad con que se perciben todos los colores que ilumine la fuente de luz. Por tanto, para seleccionar una lámpara, según los criterios de color recomendados, se utiliza la tabla 2.3, que se muestra a continuación.

Ra	Grupo de rendimiento	Cálido	Neutro	Frío
Excelente (90-100)	1A	Halógenas Flourescencia	Fluorescencia	Fluorescencia
Bueno (80-90)	2A	Fluorescencia Sodio Blanco	Fluorescencia Halogenuros e Inducción	
Razonable (70-80)	1B	Halogenuros metálicos	Halogenuros metálicos	Halogenuros metálicos
Mala (<70)	2B	Mercurio Sodio	Mercurio	

Tabla 2.3 Parámetros para la selección de lámparas según criterios de color.

Ergonomía del puesto de trabajo

Desde el punto de vista ergonómico, la instalación de alumbrado debe satisfacer una serie de aspectos que hagan de la actividad a desarrollar por el observador una tarea cómoda [9]. Estos aspectos serán los siguientes:

- No debe crear problemas de adaptación visual.
- Debe proveer la agudeza visual adecuada.
- Debe proveer a la tarea visual de un rendimiento y satisfacción visual.

- Debe limitar la producción de ruido.
- Debe eliminar el efecto estroboscópico.
- Debe generar al recinto iluminado poca carga térmica.

2.2 Interfaz de usuario

Cualquier proceso industrial que se desee automatizar y controlar requiere ser monitorizado. Para ello, todos los elementos del proceso deben estar comunicados entre sí, con el fin de tener un control y supervisión de los mismos. Estos elementos son los sensores, encargados de obtener información relevante del sistema en cuestión, y los actuadores, que se encargan de modificar el estado del sistema. Además, entre los sensores y actuadores es necesario un elemento que se encargue de la toma de decisiones. Este es el caso de los autómatas programables o controladores lógicos programables (PLC, *Programmable Logic Controller*), diseñados para controlar en tiempo real una serie de procesos secuenciales.

Sin embargo, en ocasiones es interesante que el sistema proporcione información de su funcionamiento en todo momento al operario, así como que el operario pueda controlar el sistema de forma fácil y rápida. La interfaz de usuario es el medio con que el usuario puede comunicarse con una máquina, equipo, computadora o dispositivo, y comprende todos los puntos de contacto entre el usuario y el equipo.

Normalmente suelen ser fáciles de entender y fáciles de accionar, aunque en el ámbito de la informática es preferible referirse a que suelen ser "amigables e intuitivos" porque es complejo y subjetivo decir "fácil" [13].

Por un lado, algunas de las funciones principales de una interfaz de usuario son las siguientes:

- Puesta en marcha y apagado.
- Control de las funciones manipulables del equipo.
- Manipulación de archivos y directorios.
- Herramientas de desarrollo de aplicaciones.
- Comunicación con otros sistemas.
- Información de estado.
- Configuración de la propia interfaz y entorno.
- Intercambio de datos entre aplicaciones.
- Control de acceso.
- Sistema de ayuda interactivo.

Por otro lado, en las interfaces de usuario se pueden distinguir básicamente tres tipos:

- Interfaz de hardware. A nivel de los dispositivos utilizados para ingresar, procesar y entregar los datos: teclado, ratón y pantalla de visualización.

- Interfaz de software. Destinada a entregar información acerca de los procesos y herramientas de control, a través de lo que el usuario observa habitualmente en la pantalla.
- Interfaz de software-hardware

Atendiendo a como el usuario puede interactuar con una interfaz, existen varios tipos de interfaces de usuario:

- Interfaz de línea de comandos (CLI, *Command-Line Interface*). Se trata de interfaces alfanuméricas que sólo presentan comandos.
- Interfaces gráficas de usuario (GUI, *Graphic User Interface*). Permiten comunicarse con la computadora de forma rápida e intuitiva representando gráficamente los elementos de control y medida.
- Interfaz natural de usuario (NUI, *Natural User Interface*): Pueden ser táctiles, representando gráficamente un panel de control en una pantalla sensible al tacto que permite interactuar con el dedo de forma similar a si se accionara un control físico.

Interfaz HMI

Comprende los sinópticos de control y sistemas de presentación gráfica. La función de un Panel Sinóptico es la de representar, de forma simplificada, el sistema bajo control, en el caso de este proyecto el sistema de iluminación de la sala de juntas del C-DdI-CIESOL-ARFRISOL.

En un principio, los paneles sinópticos eran de tipo estático, colocados en grandes paneles plagados de indicadores y luces. Con el tiempo han ido evolucionando, junto al software, en forma de representaciones gráficas en pantallas de visualización (PVD, Pantallas de Visualización de Datos) [14].

En los sistemas complejos suelen aparecer los terminales múltiples, que permiten la visualización, de forma simultánea, de varios sectores del sistema. De todas formas, en ciertos casos, interesa mantener la forma antigua del Panel Sinóptico, pues la representación del sistema completo es más clara para el usuario al tenerla presente y no le afectan los eventuales fallos de alimentación de componentes o de controladores gráficos.

3.1 Edificio CIESOL

El C-DdI-CIESOL-ARFRISOL (Centro de Investigación de Energía Solar), localizado en el campus de la Universidad de Almería, véase figura 3.1, cuenta con una superficie total de 1071,92 m², y se encuentra dividido en dos plantas. Más detalladamente, como se observa en la figura 3.2, este C-DdI está formado por seis despachos, todos ellos con orientación este, situados en la planta baja, a excepción del despacho de dirección situado en la planta alta, además existen un total de ocho laboratorios orientados al norte (cuatro en la planta baja dedicados a 'Química Solar' y cuatro en la planta superior, dos de 'Modelado y Control Automático' y otros dos de 'Recursos Energéticos Solares y Climatología'), una nave-taller, donde se encuentra una caldera de alta eficiencia y una máquina de absorción y otras estancias para el personal del centro, como la cocina y los aseos [1].



Figura 3.1 Localización del edificio C-DdI-CIESOL-ARFRISOL

El edificio se construyó según diversos criterios de arquitectura bioclimática, como el uso de un sistema de calefacción-refrigeración (HVAC, *Heating, Ventilation and Air Conditioning*) basado en frío solar [15]. Este sistema HVAC usa un campo de colectores solares planos, un sistema de almacenamiento de agua caliente, una caldera y una máquina de absorción con su torre de refrigeración para producir aire caliente o frío, dependiendo de las necesidades, utilizando casi exclusivamente energía solar.

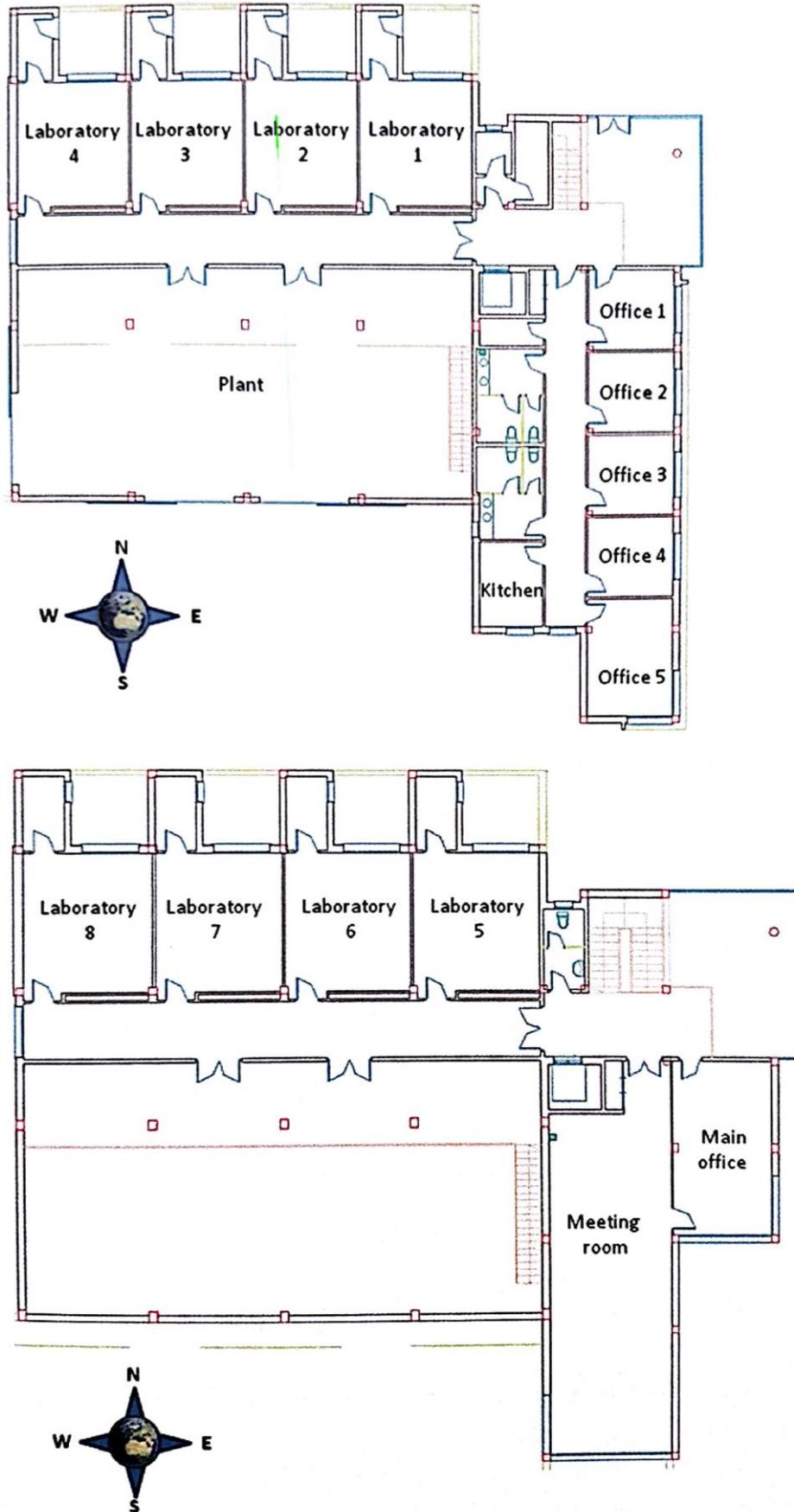


Figura 3.2 Esquema de la planta alta y baja del edificio [3]

Además, el cerramiento del edificio difiere en función de la orientación, por ejemplo, en las fachadas norte y oeste el cerramiento está compuesto por chapa ondulada en la parte exterior, aislamiento y un bloque de termo arcilla, proporcionando un mayor aislamiento que los materiales que se usan habitualmente. Mientras que en las fachadas sur y este, el cerramiento consiste en una fachada ventilada con revestimiento exterior cerámico, cámara de aire, aislamiento de poliuretano y un muro interior de alta inercia térmica. Combinando este tipo de cerramientos de elevada inercia térmica interior, con el uso apropiado de un aislamiento térmico, producen un retardo en las condiciones interiores respecto de las exteriores, amortiguando las oscilaciones diarias de temperatura en el interior del edificio.

Otra de las estrategias utilizadas es el retranqueo de las ventanas con orientación sur y este, con el fin de evitar la incidencia directa de la radiación solar en los meses más calurosos y permitir la entrada de radiación en los meses de invierno, véase figura 3.3. Además, la cubierta esta sombreada de dos formas distintas para evitar la incidencia de la radiación solar de forma directa.

A continuación, se realizará una breve descripción de una serie de estrategias pasivas que permiten aprovechar al máximo las características ambientales del emplazamiento del edificio, así como de estrategias activas que hacen uso de energías renovables.



Figura 3.3 Retranqueo de las ventanas con orientación este y sur

Cerramientos del edificio

A la hora del diseño y construcción de un edificio, uno de los factores más importantes es su cerramiento, ya que a través del mismo se realiza el proceso de captación solar. En general, en un edificio se pueden considerar dos tipos de cerramientos distintos: acristalados y opacos.

El cerramiento acristalado es el elemento a través del cual tiene más influencia el proceso de captación solar y se convierte por lo tanto, en el responsable de la mayor parte de las ganancias solares [16]. Por lo tanto, el diseño de estos cerramientos es vital tanto a nivel preventivo (selección de la orientación correcta) como a nivel correctivo (selección del tipo de vidrio correcto). En el caso de este edificio, fueron seleccionados tanto vidrios dobles termo acústicos [17] como vidrios de seguridad, con carpintería de aluminio.

Por otro lado, al contrario que ocurre con los cerramientos acristalados, el flujo de calor a través de un cerramiento opaco no es instantáneo, ya que llega al interior con una cierta amortiguación y desfase de tiempo. En el edificio estudiado, se optó por distintos tipos de cerramientos exteriores en función de su orientación y su uso. Específicamente, los cerramientos de las fachadas sur y este consisten en una fachada ventilada que está compuesta por una citara de ladrillo perforado, aislamiento de poliuretano proyectado de 3 cm, una cámara de aire y un aplacado de cerámica compacta [17]. Por otra parte, el cerramiento de la zona de la nave y la fachada norte está formado por un bloque de termo arcilla de 20 cm de espesor, un aislamiento de poliuretano proyectado de 3 cm y un revestimiento de chapa ondulada de acero galvanizado [17], véase figura 3.4.



Figura 3.4 Cerramiento exterior del edificio

Sombreamientos

Debido al clima mediterráneo semidesértico característico de la ubicación del edificio, es recomendable el uso de estrategias capaces de amortiguar la influencia de la radiación solar. Una de las técnicas más apropiadas para resolver esta situación es la instalación de sombreamientos. En general, en la construcción del edificio hay dos diferentes sombreamientos, exteriores e interiores. Los sombreamientos exteriores evitan la incidencia de la radiación solar dentro del edificio antes de su paso por el acristalamiento. Por otra parte, las protecciones interiores son responsables de reducir el efecto de la radiación solar una vez ha atravesado el cristal.

En el caso del edificio, se han instalado, en todas las ventanas de las fachadas sur y este, persianas regulables tanto en altura como en orientación. Además, se ha sombreado la cubierta de la nave y de los laboratorios con orientación norte mediante la instalación de paneles solares térmicos, para la instalación de frío solar, y fotovoltaicos, para la producción de energía [3].

Ventilación natural

La ventilación natural es una de las técnicas más usadas en refrigeración natural. Se basa en intentar utilizar el aire exterior para disipar el exceso de calor en el interior del edificio.

En el caso de este edificio, se ha adoptado una estrategia de ventilación cruzada (originada por las fuerzas del viento) para el acondicionamiento pasivo de la nave durante los meses más calurosos. La ventilación cruzada se consigue mediante la apertura de rejillas en los portones situados en el sur de la nave y en la cara norte superior. Con ello, se pretende refrigerar la nave aprovechando la orientación sur-norte y la configuración de la cubierta inclinada [18].

Instalación de frío solar

El edificio CIESOL posee un sistema HVAC basado en energía solar compuesto de un campo de colectores solares, un sistema de acumulación-almacenamiento de agua caliente, una caldera y una máquina de absorción, con su torre de refrigeración, con una potencia de 70 kW de frío, véase figura 3.5.

Además, la figura 3.6, muestra un esquema de la instalación, donde se pueden observar tres circuitos principales. El primario, a la izquierda, es responsable de proveer la energía necesaria para el sistema HVAC. El secundario, a la derecha, se encarga de llevar agua fría (en verano) o caliente (en invierno) a los distintos fancoils distribuidos por el edificio. Finalmente, el tercer circuito auxiliar, conecta la máquina de absorción con la torre de refrigeración.



Figura 3.5 Instalación de frío solar

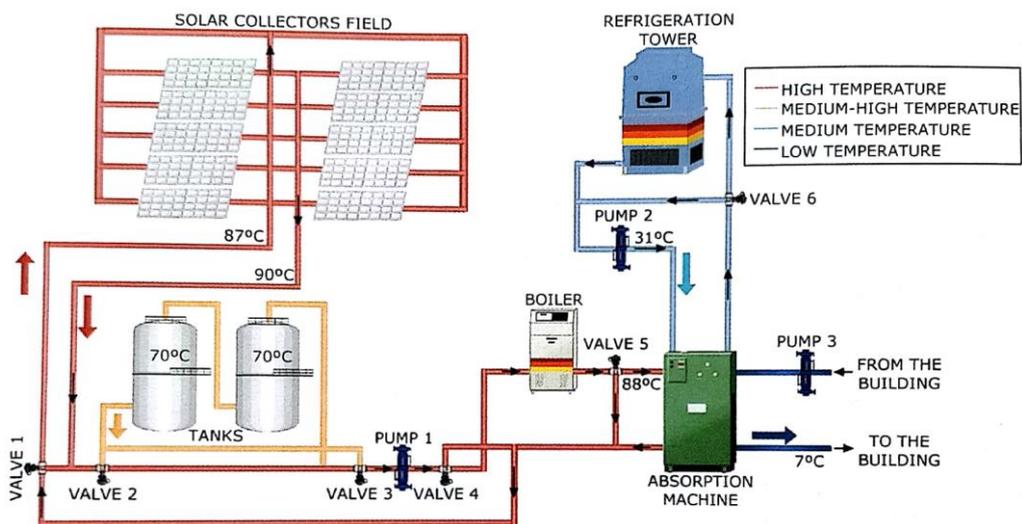


Figura 3.6 Esquema del sistema HVAC basado en frío solar. [3]

En condiciones ideales, el sistema HVAC presenta el siguiente comportamiento [18]: el agua fluye a través de los colectores solares, aumentando su temperatura. Esta agua caliente entra en la máquina de absorción, la cual enfría el agua adecuadamente para ser inyectada al sistema fancoil, con el objetivo de satisfacer las necesidades de temperatura del entorno.

Por otro lado, en función de las condiciones climatológicas, puede resultar imposible utilizando sólo los colectores solares, calentar el agua lo suficiente para que la máquina de absorción sea capaz de enfriar el agua a la temperatura de salida.

Por este motivo, se justifica el uso de un acumulador de agua caliente y una caldera. El sistema acumulador de agua caliente, consta de dos tanques de 5000 L cada uno, los cuales se encuentran aislados térmicamente para que no se pierda el calor del agua almacenada, y de esta forma, cuando el sistema está libre y la radiación aún se puede aprovechar, se almacena el agua caliente que se genera con los colectores solares en estos tanques. Finalmente, la caldera aporta la potencia necesaria para poder dar servicio a los usuarios del sistema de aire acondicionado bajo cualquier condición meteorológica, pero el objetivo de los sistemas de frío solar es minimizar el uso de esta energía auxiliar. Se puede utilizar sola o calentando hasta la temperatura necesaria el agua proveniente de los acumuladores o de los colectores solares [3].

3.2 Sistema SCADA del edificio CIESOL

Se conoce con el nombre de SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition* o Sistema de Control, Supervisión y Adquisición de Datos) a cualquier software que permita el acceso a datos remotos de un proceso y el control del mismo [14], utilizando las herramientas de comunicación necesarias en cada caso.

Atendiendo a esta definición, se entiende que no se trata de un sistema de control, sino de una utilidad software de monitorización o supervisión, que realiza la tarea de interfaz entre los niveles de control y los de gestión.

En la actualidad, existen una gran variedad de sistemas SCADA en el ámbito empresarial, encargados de la supervisión y el control de procesos (véase Figura 3.7). Sin embargo, para la mayoría de sistemas SCADA, las empresas que se encargan de su desarrollo son las mismas que se dedican a su instalación, de forma que estos sistemas son propietarios y no se pueden adaptar a otros procesos.

Inicialmente, el sistema SCADA del C-DdI-CIESOL-ARFRISOL fue proyectado para comprobar las diferencias del edificio entre el comportamiento real y simulado. Pero además, los datos recogidos son útiles para identificar malos hábitos en el uso de la energía por parte de los usuarios, realizar estudios de confort y su coste energético, así como la evaluación de las medidas pasivas que incluye el edificio o sistemas de control que puedan diseñarse como medida activa [19].

En este caso, el sistema SCADA está dividido en varios módulos de adquisición, supervisión y análisis desarrollados con Labview® [20], que facilita la interfaz, las comunicaciones y la gestión de la información. En lo referido a los algoritmos de control, se han desarrollado en Matlab.

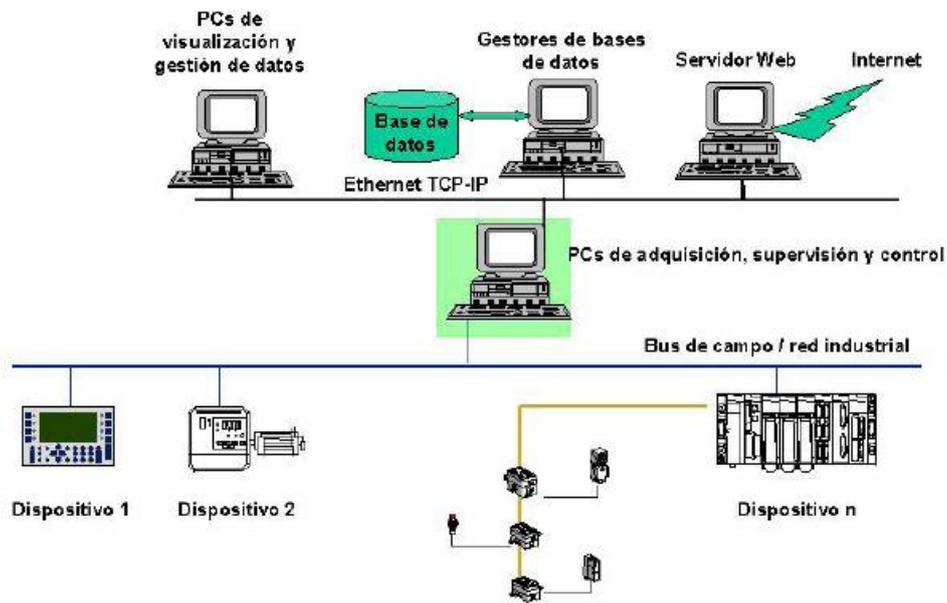


Figura 3.7 Sistema SCADA en el ámbito empresarial [19]

3.2.1 Módulo de adquisición

La instalación se divide en diez módulos de recolección de datos conectados vía Ethernet, como se muestra en la Figura 3.8. Dependiendo de su localización, los sensores y actuadores estarán conectados a uno de los módulos *Compact FieldPoint* (cFP) instalados en el edificio, mediante los cuales se envía la información al sistema de supervisión para su visualización.

Para el trabajo realizado se usan el módulo de adquisición 8, para la adquisición de los datos de la instalación en la sala de juntas, y el módulo de adquisición 10, para obtener los datos de la garita.

3.1.2 Módulo de supervisión

Este módulo se encarga de mostrar en una interfaz amigable los valores que toma cada uno de los sensores del edificio. La interfaz se divide en diversas pantallas que muestran cada una de las zonas de interés del edificio.

En el caso de este proyecto, como se ha comentado anteriormente, el módulo de supervisión se centrará en la sala de juntas. En el SCADA de esta sala se pueden diferenciar cinco grupos o pestañas, donde se han agrupado los distintos elementos del sistema que tienen una función similar. Estos grupos son los siguientes:



Figura 3.8 Distribución de los módulos de adquisición [3]

Monitorización

Esta primera pestaña es la más importante y es por esto que en ella se pretende obtener la máxima información posible a primera vista, pues su principal función es mostrar el estado de las variables de control. Además, se puede observar el valor de la iluminancia, en la sala de juntas y en el exterior, y el estado de las persianas (apertura y orientación de las lamas), ver figura 3.9.

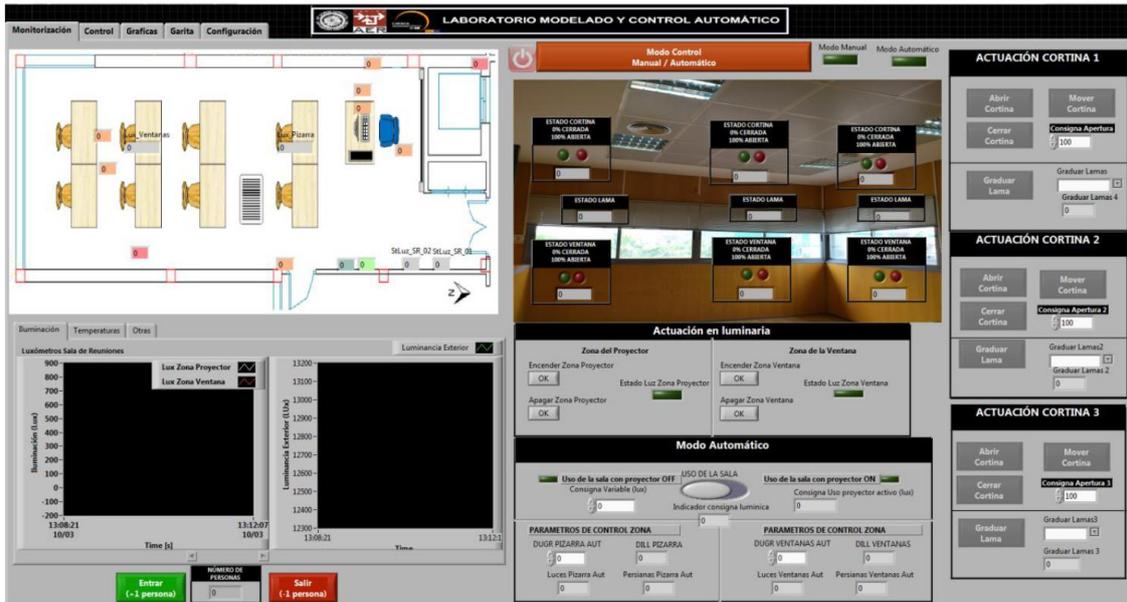


Figura 3.9 SCADA de la sala de juntas: Monitorización

La parte izquierda de esta pestaña se centra en la representación de la sala de juntas. En la esquina superior se muestra la planta de la sala de juntas, donde se encuentran localizados de forma orientativa los sensores que hay en ella. Además, en la parte inferior se muestran dos gráficas para la representación de la iluminancia interior y exterior. Por último, se muestra el número de personas que hay dentro de la sala.

En la parte central de la pestaña de monitorización, se diferencian tres funciones. La primera, en la parte superior, se encuentra el botón de apagado y selección del modo manual o automático. Justo debajo, la segunda, se muestra el estado de las persianas y las luminarias. Por último, en la parte central inferior, se encuentra una zona dedicada a control automático del sistema.

En la parte derecha de la primera pestaña, se encuentran los botones de actuación manual de las persianas.

Control

La segunda pestaña, o pestaña de control (ver Figura 3.10), muestra el estado en el que se encuentra el sistema, tanto en lo referido a las luminarias como a las persianas. Para el control de las persianas existen 6 estados, dependiendo de las combinaciones posibles de las persianas.

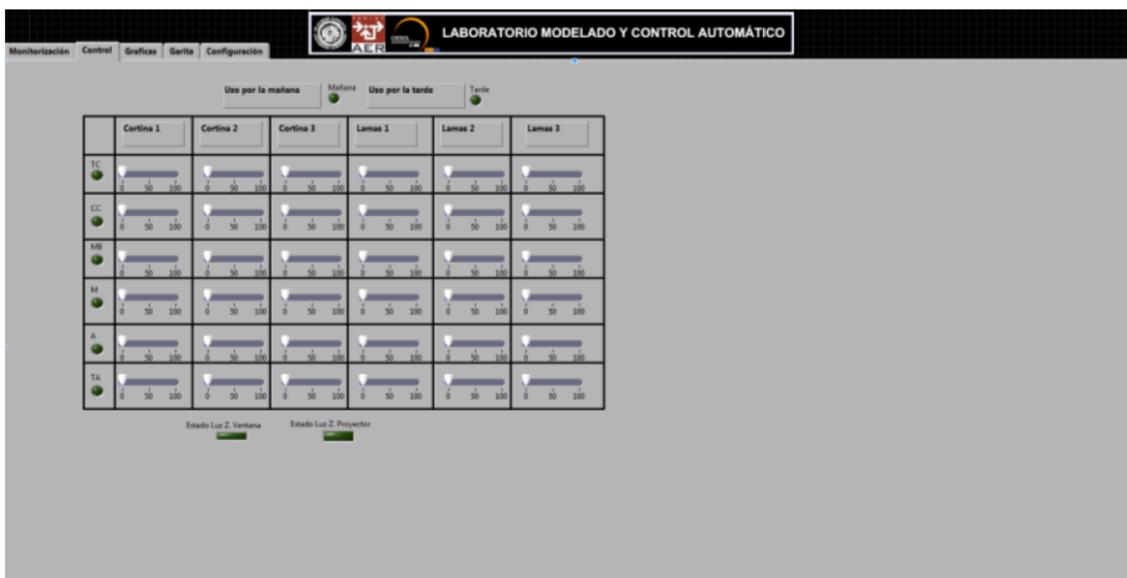


Figura 3.10 SCADA de la sala de juntas: Control

Gráficas

Esta tercera pestaña se compone a su vez de dos pestañas más (ver Figura 3.11), sin embargo, para la realización de este proyecto sólo será necesaria la primera, que muestra el estado de las persianas, así como el número de personas en el interior de la sala, puesto que la otra pestaña se centra en el estado del fancoil, relacionada con el confort térmico.

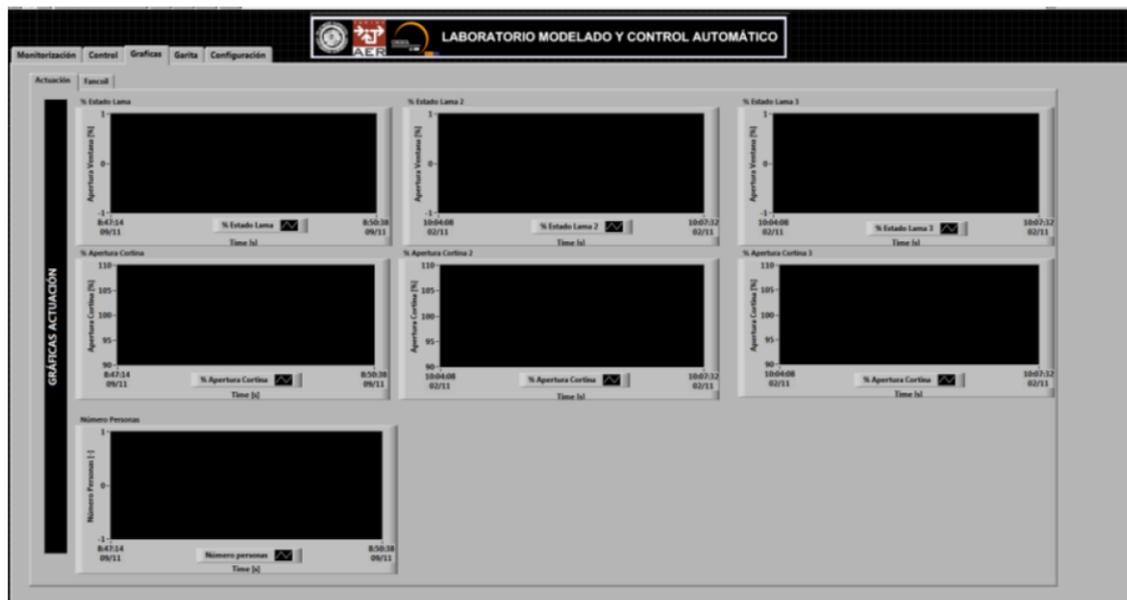


Figura 3.11 SCADA de la sala de juntas: Gráficas

Garita

En esta cuarta pestaña (ver Figura 3.12) se representan mediante una imagen de la garita las variables exteriores que se miden, como son el caso de la radiación difusa, la radiación directa, la iluminancia exterior, la temperatura, la humedad y la presión. Además de todos estos valores, en la parte derecha de la pestaña se muestran gráficas de algunas de las variables exteriores.

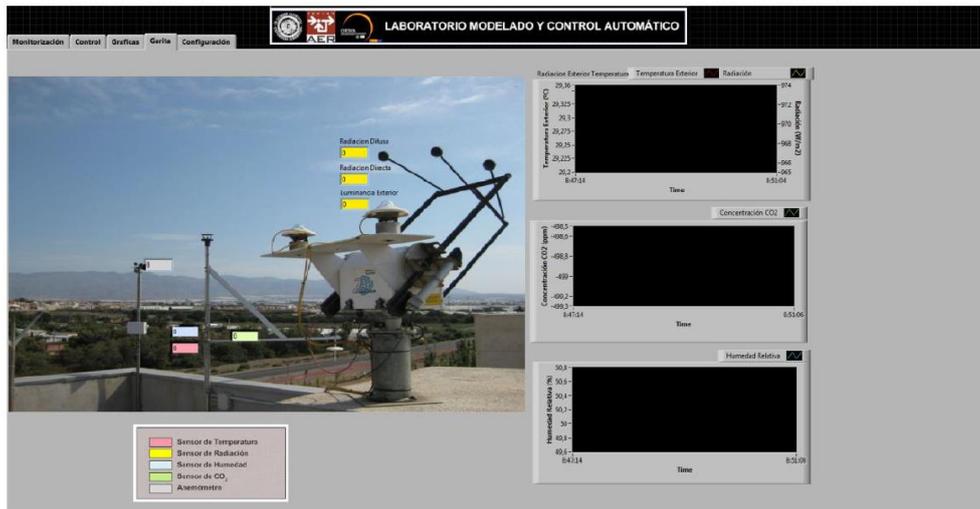


Figura 3.12 SCADA de la sala de juntas: Garita

Configuración

Esta última pestaña del sistema SCADA de la sala de juntas (ver Figura 3.13) se centra, como su propio nombre indica, en la configuración de las direcciones de los canales de comunicación. En ella se pueden diferenciar varias secciones a configurar: actuación, adquisición de datos, modo automático, instalación de frío solar y luminarias.

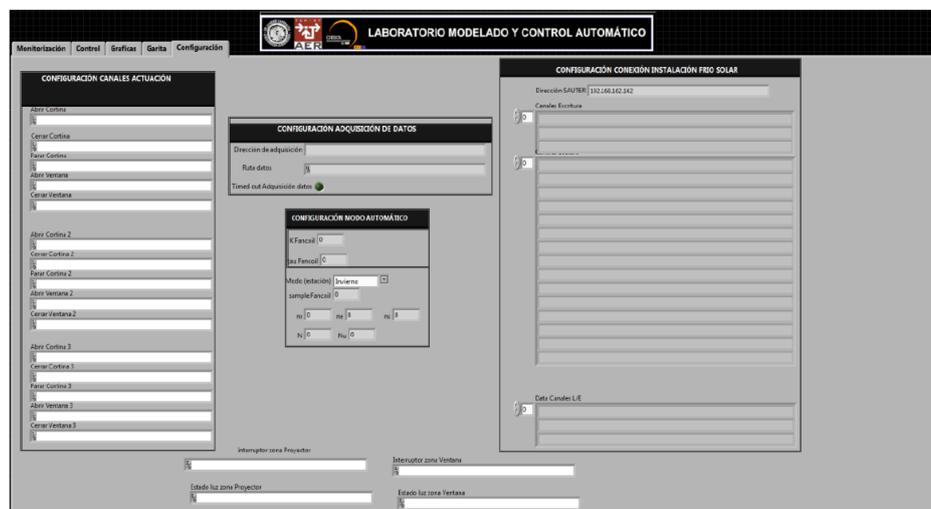


Figura 3.13 SCADA de la sala de juntas: Configuración

3.2.3 Módulo de análisis de datos

Este módulo permite visualizar, filtrar y extraer los datos históricos recolectados por el módulo de adquisición. Además, existe un método para acceder a los datos del edificio desde el exterior mediante una conexión de red privada virtual (VPN, *Virtual Private Network*) a un ordenador del C-DdI-CIESOL-ARFRISOL, con acceso al sistema SCADA mediante Ethernet. Este sistema se representa a continuación en la figura 3.14.

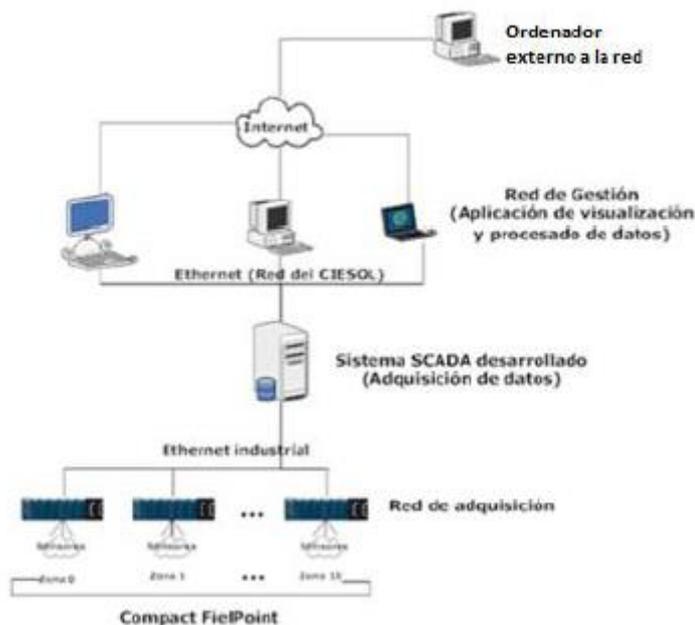


Figura 3.14 Esquema del sistema SCADA implementado

3.3 Sala de juntas del edificio CIESOL

La sala de juntas, ver figura 3.15, en la que se ha centrado este trabajo se encuentra ubicada en la primera planta del C-DdI-CIESOL-ARFRISOL, con orientación sur. Como su propio nombre indica, esta sala se usa principalmente para reuniones de la junta directiva del edificio, para exposiciones y, en ocasiones, para la realización de clases y exámenes, siendo por la mañana cuando más se suele utilizar.

En cuanto a las dimensiones de la sala de juntas, esta cuenta con un área de 67,87 m² y un perímetro de 40,7 m. La parte útil de la sala tiene un largo de 13,37 m y un ancho de 5 m. Por otro lado, cuenta con un espacio previo al grueso de la sala con una longitud de 2,13 m y 1,50 m de ancho. Por último, cabe destacar que la sala se puede dividir en dos zonas, claramente diferenciadas debido a que poseen diferentes alturas.

La primera zona, la cual se conoce como ‘zona proyector’, situada cerca de la entrada, la pizarra y el proyector, posee una altura de 2,80 m, mientras que la segunda zona, conocida con el nombre de ‘zona ventanas’, tiene una altura de 2,95 m y está situada junto a las ventanas.

Esta diferencia de altura se debe a que en la sala se construyó un falso techo con el fin de pasar el cableado de la instalación.



Figura 3.15 Sala de juntas del edificio CIESOL

En lo referido a su descripción interna, el suelo está compuesto de parque laminado flotante en madera de haya sobre espuma de polietileno y pasta niveladora y tanto las paredes como las puertas son de madera laminada.

Como se ha mencionado antes, la sala se encuentra seccionada en dos zonas. La ‘zona proyector’ cuenta con 8 puntos de luz, mientras que la ‘zona ventanas’ posee la mitad. Esto es debido a que la primera zona necesita un mayor aporte lumínico artificial al estar más alejada de las ventanas.

Los puntos de luz de la sala de juntas son montajes empotrados, cada uno de ellos, con 4 fluorescentes Philips, modelo TL-D 18W/54-765, cuyas características se muestran en la tabla 3.1.

Lámpara		TL-D 18W/54-765
Casco		G13
Flujo Luminoso (lm)		1050
Eficacia (lm/W)		58
Temperatura de color		6200
I.R.C.		>70
Clase		B
Vida Media (h)	EEM inducido	13000
	HF-P	20000
Vida Útil (h)	EEM inducido	6000
	HF-P	7000

Tabla 3.1 Especificaciones del fluorescente TL-D estándar Ø 26 mm

La sala cuenta con dos interruptores para el encendido y apagado de las distintas zonas donde se encuentran las luminarias, así como de dos relés que proporcionan la realimentación sobre el estado de las luminarias, de los cuales se hablará detalladamente más adelante.

Por último, la sala posee tres ventanas, ver figura 3.16, dos de ellas con orientación sur y otra con orientación oeste. Estas tienen un tamaño de 2,34 m de largo y 1 m de alto y se encuentran a una altura de 1,18 m del suelo. Cada ventana cuenta con una persiana veneciana regulable en altura y orientación, que como se verá a continuación, se puede controlar a través de un motor de corriente continua. Además, como se mencionó al principio de este capítulo, todas las ventanas cuentan con un retranqueo, evitando así la radiación directa al interior de la sala en los meses de verano.



Figura 3.16 Ventana sur de la sala de juntas

3.4 Red de sensores y actuadores de la sala de juntas

En este apartado, se describe el acondicionamiento existente en la sala de juntas del edificio CIESOL. Para poder realizar un control sobre el confort lumínico de la sala, es necesario poseer una serie de sensores y actuadores, que serán gobernados mediante los módulos cFP de National Instrumentes.

A continuación se explicarán detalladamente los sensores, actuadores y las tarjetas de adquisición de datos, con sus propiedades y configuraciones correspondientes.

Luxómetro LP PHOT 01

Este tipo de sensores son clave para el desarrollo del trabajo, puesto que se encargan de medir la luz. El sistema estudiado posee tres luxómetros LP PHOT 01, dos de ellos en el interior de la sala de juntas y uno en la garita exterior.

Los luxómetros de la sala de juntas se encuentran repartidos entre las anteriormente mencionadas distintas zonas, uno en la ‘zona proyector’ y otro en la ‘zona ventanas’, con el fin de medir el nivel de iluminación en dos puntos representativos de la sala.

La serie LP, a la que pertenece este sensor, permite la medición de cantidades fotométricas y radiométricas como la iluminancia (lux), la irradiancia (W/m^2) y el número de fotones recibidos por unidad de tiempo en una unidad de superficie [21].

El sensor LP PHOT 01, ver figura 3.17, presenta una forma cilíndrica, cuyo diámetro es de 40 mm y su altura de 38 mm. Esta geometría le permite tener un rango de visión de 180°.

Los componentes que forman el LP PHOT 01 son: un fotodiodo de silicio, un filtro (para adaptar la curva de la respuesta del fotodiodo), un difusor, 5 m de cable y una carcasa.



Figura 3.17 Luxómetro LP PHOT 01 [21]

La curva de respuesta espectral de una sonda fotométrica es similar a la del ojo humano. Esta es conocida como curva fotópica estándar $V(\lambda)$, ver figura 3.18, y en ella se describe la sensibilidad luminosa espectral del observador [22]. La diferencia entre la respuesta espectral y la curva fotópica estándar $V(\lambda)$ se calcula por medio del error f_1' , siendo este valor una de las características principales de este tipo de sensores, las cuales se muestran en la tabla 3.2.

Sensibilidad	0,431 mV/kLux
Rango de medida	0 – 200000 Lux
Incertidumbre de calibración	<4%
f_1' (error $V(\lambda)$)	<8%
f_2 (ley del coseno)	<3%
f_3 (linealidad)	<1%
f_5 (fatiga)	<0,5
Temperatura de trabajo	0 – 50 °C
Impedancia de salida	1 k Ω

Tabla 3.2 Características técnicas del LP PHOT 01

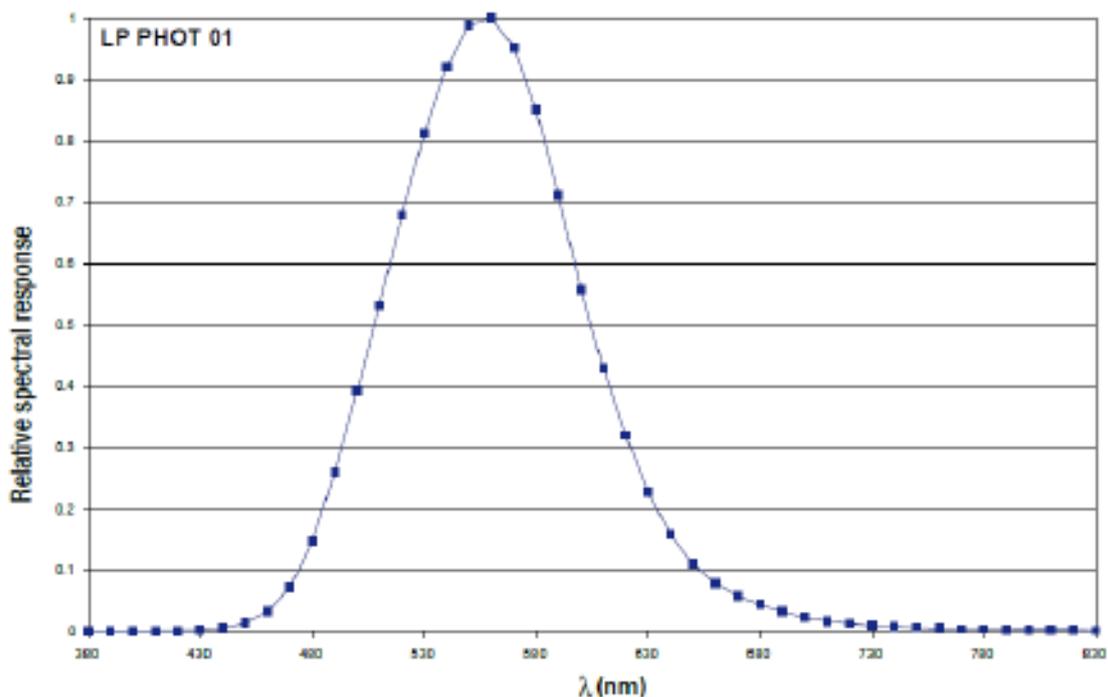


Figura 3.18 Curva fotópica estándar $V(\lambda)$ [21]

Para finalizar con la descripción de los luxómetros, se ha de mencionar que este tipo de sensores no necesitan de una fuente de alimentación externa, ya que proporcionan una señal de salida en mV, administrada a través de una resistencia de derivación en los extremos del fotodiodo. La fotocorriente generada por el fotodiodo cuando incide la luz, se convierte en una diferencia de potencial, que será leída por un voltímetro y calculada mediante un factor de calibración. Todas las sondas son calibradas individualmente y el factor de calibración se muestra tanto en el propio sensor como en el manual de usuario [21], siendo específico de cada sonda. La señal de salida se puede amplificar o convertirla en una medida acotada entre 4-20 mA ó 0-10Vdc mediante el uso de un convertidor de la serie HD978TR3 (4-20 mA) y HD978TR4 (0-10 Vdc).

Los sensores, ver figura 3.19, se encuentran instalados lo más cerca posible de los módulos de National Instruments, con el fin de que la influencia de la longitud del cable sea despreciable a la hora de tomar los datos. La instalación de los sensores se realiza entre el sensor y el voltímetro, sin embargo, para este caso, las tarjetas de adquisición de datos harán la función de voltímetro.



Figura 3.19 Luxómetro de la sala de juntas

Debido a que la tarjeta, como se verá más adelante, tiene unos rangos en tensión demasiados grades con respecto al voltaje de salida del sensor será necesario un convertidor o adaptador que pase los mV de salida del sensor al rango de 4-20 mA. Este convertidor a diferencia del sensor, sí necesitará de alimentación externa.

La conversión se realiza mediante una regresión lineal (ecuación 3.1), a través de la aplicación instalada en el ordenador que recoge los datos.

$$\begin{aligned}
 y &= a \cdot x + b, \\
 0 &= a \cdot 4 \cdot 10^{-3} + b, \\
 200000 &= a \cdot 20 \cdot 10^{-3} + b, \\
 a &= 125 \cdot 10^3, \\
 b &= -50000, \\
 y &= 125 \cdot 10^3 \cdot x - 50000.
 \end{aligned}
 \tag{3.1}$$

Donde x el valor de la salida del convertidor en mA e y es la iluminancia. Además, se introducen como datos de la ecuación los valores proporcionados por el fabricante para el rango de medida (0-200000 lux).

cFP-AI-110

Para el almacenar la información recibida por el luxómetro se utilizan las tarjetas de adquisición cFP-AI-110 [23]. Este tipo de tarjeta cuenta con las siguientes características:

- 8 canales de entrada de tensión o corriente.
- 8 rangos de entrada en tensión: 0-1 V, 0-5 V, 0-10 V, ± 300 mV, ± 1 V, ± 5 V, y ± 10 V.
- 3 rangos de entrada en corriente: 0-20, 4-20, y ± 20 mA.
- 16 bits de resolución.
- 3 configuraciones de filtros: 50, 60, 500 Hz.
- 250 V_{rms} CAT II continuo aislamiento de canal a tierra, verificado para 2300 V_{rms} de prueba de resistencia dieléctrica.

- Rango de operación de -40 a 70 °C.
- Intercambiable en caliente.

Como se ha mencionado anteriormente, para la adquisición de información del sensor es necesaria la instalación de un convertidor de señal y, con ello, el uso de una fuente de alimentación externa, por lo que para su uso, se utilizará una configuración en fuente de corriente con fuente de alimentación externa, ver figura 3.20, donde V_{SUP} irá al terminal del convertidor del luxómetro, y la salida del convertidor irá a I_{IN} .

El módulo tiene conexiones para los ocho canales de entrada, cada canal tiene terminales de entrada separados para la tensión (V_{IN}) y para la corriente (I_{IN}), referenciadas a los terminales COM, conectados internamente entre sí [23]. En la tabla 3.3 se muestran las asignaciones de terminales para las señales de cada canal.

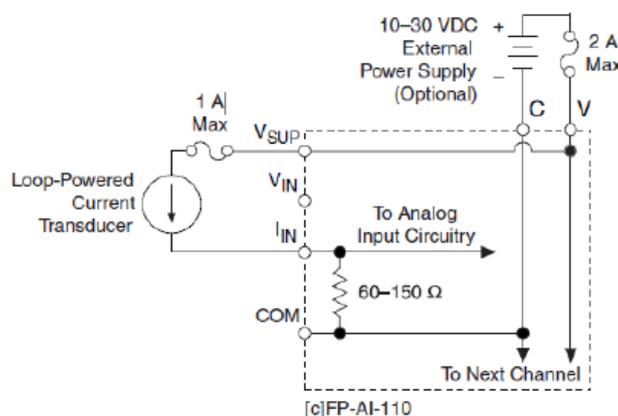


Figura 3.20 Configuración en fuente de corriente con alimentación externa [23]

Canal	Número del terminal			
	V_{IN}	I_{IN}	V_{SUP}	COM
0	1	2	17	18
1	3	4	19	20
2	5	6	21	22
3	7	8	23	24
4	9	10	25	26
5	11	12	27	28
6	13	14	29	30
7	15	16	31	32

Tabla 3.3 Asignación de terminales de la tarjeta cFP-AI-110

Telerruptores

Con el objetivo de controlar automáticamente la iluminación de la sala de juntas, en esta se encuentran instalados dos telerruptores, los cuales, mediante corriente continua procedente de los módulos de National Instruments, permiten el encendido y apagado automático de la sala sin interferir en el control manual.

Con este fin, se instalaron telerruptores de Schneider Electric, modelo A9C30115, como el de la figura 3.21. Este dispositivo se trata de un telerruptor iTLI de dos polos, normalmente uno de ellos se encuentra abierto y el otro cerrado. Se controla mediante pulsos, de 24 V a 50-60 Hz en corriente alterna o de 12V en corriente continua, y tiene la capacidad de soportar una demanda de 16 A [24].



Figura 3.21 Telerruptor A9C30115 de Schneider

cFP-DO-403

La tarjeta cFP-DO-403 de National Instruments, ver figura 3.22, se encarga de mandar los pulsos en corriente continua a los telerruptores y posee las siguientes características:

- 16 canales digitales de salida.
- Máximo de 2 A de salida por canal.
- Compatible con tensiones de 5 a 30 Vdc.
- Indicadores LED de ON/OFF.
- 250 V_{rms} CAT II continuo aislamiento de canal a tierra, verificado para 2300 V_{rms} de prueba de resistencia dieléctrica.
- Rango de operación de -40 a 70 °C.
- Intercambiable en caliente.

Para realizar este uso de la tarjeta con los telerruptores, se utiliza una configuración específica [25], ver figura 3.23, donde los telerruptores se conectan por un polo a la tarjeta y por el otro a la fuente de alimentación externa. Esta última se conecta a su vez al terminal COM de la tarjeta.



Figura 3.22 Módulo cFP-DO-403

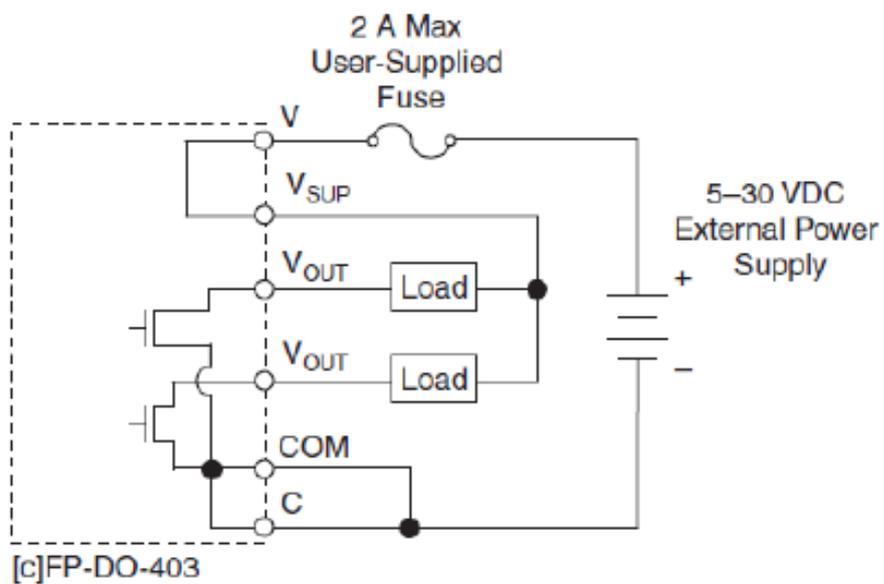


Figura 3.23 Configuración eléctrica de la tarjeta con los telerruptores

En la tabla 3.4 se muestran las asignaciones de terminales para las señales de cada canal.

Canal	Número del terminal		
	V _{OUT}	V _{SUP}	COM
0	1	17	18
1	2	17	18
2	3	19	20
3	4	19	20
4	5	21	22
5	6	21	22
6	7	23	24
7	8	23	24
8	9	25	26
9	10	25	26
10	11	27	28
11	12	27	28
12	13	29	30
13	14	29	30
14	15	31	32
15	16	31	32

Tabla 3.4 Asignación de terminales de la tarjeta cFP-DO-403

Relés

Con el objetivo de conocer el estado de las luminarias de la sala de juntas, en esta se encuentran instalados dos relés de la marca Sassin, ver figura 3.24, los cuales, mediante el paso de la corriente para mantener encendidas las luminarias, permiten el paso de una señal de control.

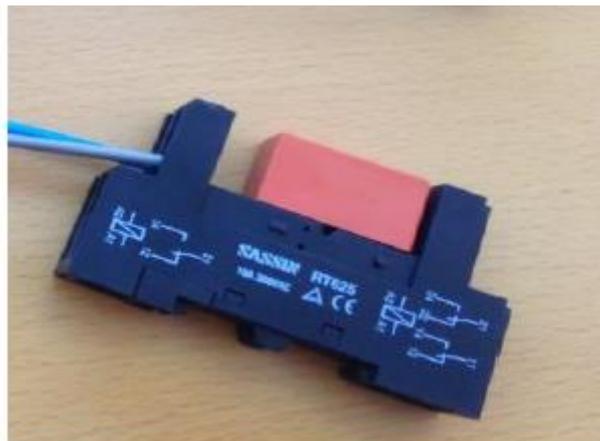


Figura 3.24 Relé para el estado de las luminarias

El montaje de los relés y los telerruptores, ver figura 3.25, se encuentra anclado en el techo del despacho de dirección en una caja de registro, siendo este un punto cercano a los interruptores manuales de la sala de juntas, así como a las tarjetas de adquisición.



Figura 3.25 Montaje de la caja de registro

cFP-DI-330

La tarjeta cFP-DI-330 de National Instruments, ver figura 3.26, se encarga de recopilar la información sobre el estado de las luminarias y posee las siguientes características:

- 8 canales digitales de entrada.
- Entradas universales que trabajan con voltajes desde 5 V TTL hasta 250 Vdc/Vac.
- Indicadores LED de ON/OFF.
- 250 V_{rms} CAT II continuo aislamiento de canal a tierra, verificado para 2300 V_{rms} de prueba de resistencia dieléctrica.
- Rango de operación de -40 a 70 °C.
- Intercambiable en caliente.

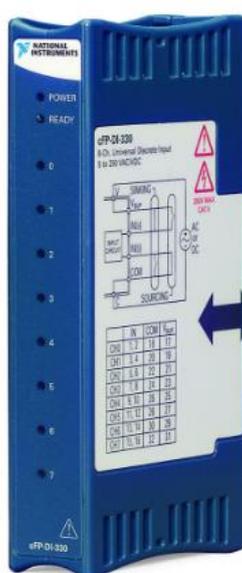


Figura 3.26 Módulo cFP-DI-330

Para utilizar los relés junto con la tarjeta cFP-DI-330, se necesita una configuración eléctrica específica [26], ver figura 3.27, donde el relé se conecta a la tarjeta en el terminal INa y la tarjeta, a su vez, se conecta con un cable entre los terminales INb y COM.

En la tabla 3.5 se muestran las asignaciones de terminales para las señales de cada canal.

Canal	Número del terminal			
	IN _A	IN _B	V _{SUP}	COM
0	1	2	17	18
1	3	4	19	20
2	5	6	21	22
3	7	8	23	24
4	9	10	25	26
5	11	12	27	28
6	13	14	29	30
7	15	16	31	32

Tabla 3.5 Asignación de terminales de la tarjeta cFP-DI-330

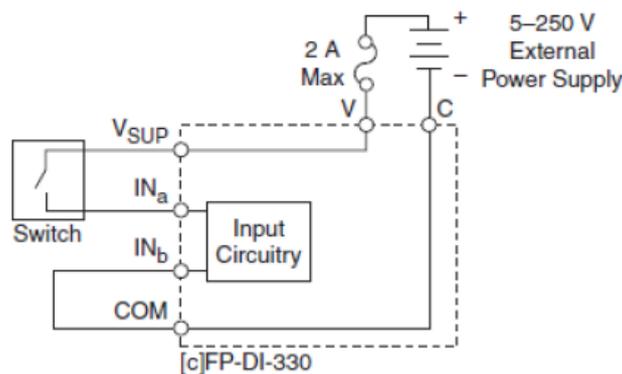


Figura 3.27 Configuración eléctrica de la tarjeta con el relé

Motores de las cortinas

Como se mencionó anteriormente, cada ventana cuenta con una persiana veneciana regulable en altura y orientación, las cuales se utilizan gracias a un motor de corriente continua de la marca Somfy, especialmente diseñados para este tipo de sombreamientos de interior.

Estas cortinas, con sus correspondientes motores, son controladas por una tarjeta cFP-DO-403 como la ya descrita. Para ello, serán necesarios el uso de 3 canales por cortina, un canal para bajar, un canal para parar y un tercer canal para subir.

Para finalizar, en la tabla 3.6 se muestra un resumen general con las asignaciones realizadas de los diferentes módulos, tarjetas y canales para la red de actuadores y sensores descrita hasta el momento.

Módulo	Slot	Tarjeta	Canal	Nombre archivo
10	4	cFP-AI-110	0	Lux_Garita
8	2	cFP-AI-110	5	Lux_SalaReuniones01
8	2	cFP-AI-110	6	Lux_SalaReuniones02
8	6	cFP-DO-403	0	Tlr_SalaReuniones01
8	6	cFP-DO-403	1	Tlr_SalaReuniones02
8	7	cFP-DI-330	0	Std_SalaReuniones01
8	7	cFP-DI-330	1	Std_SalaReuniones02
8	5	cFP-DO-403	0	P1_Bajar
8	5	cFP-DO-403	1	P1_Parar
8	5	cFP-DO-403	2	P1_Subir
8	5	cFP-DO-403	3	P2_Bajar
8	5	cFP-DO-403	4	P2_Parar
8	5	cFP-DO-403	5	P2_Subir
8	5	cFP-DO-403	6	P3_Bajar
8	5	cFP-DO-403	7	P3_Parar
8	5	cFP-DO-403	8	P3_Subir

Tabla 3.6 Resumen de asignaciones de sensores y actuadores de la sala

3.5 Especificaciones de diseño

En este apartado se desarrollan las especificaciones tanto de aspecto técnico, como de diseño, referentes al desarrollo del sistema de supervisión. Además, se repasará la normativa a cumplir relacionada con el diseño de interfaces HMI.

3.5.1 Especificaciones técnicas

El proyecto debe estar en concordancia con los requisitos impuestos en el edificio y debe resolverse en torno a ellos:

- El sistema debe permitir realizar acciones sobre el control visual de la sala, variando el estado de las luminarias.
- Cualquier usuario de la sala debe tener la posibilidad de modificar el estado de confort de la sala de juntas a través de la interfaz HMI.
- Debe poseer una arquitectura abierta y flexible, permitiendo combinaciones con aplicaciones estándar.
- Puesto que el edificio CIESOL posee un sistema SCADA, el software necesario para la interfaz HMI debe ser compatible con este.
- La conectividad entre la interfaz y el sistema SCADA debe realizarse mediante alguno de los medios de comunicación o protocolos existentes en el edificio.

3.5.2 Especificaciones de visualización

El sistema que se va a diseñar debe solventar las siguientes necesidades:

- Proporcionar un control del confort visual más completo que el que ofrece el sistema existente.
- Debe haber opciones de control manual y escenarios predeterminados para el control automático.
- El diseño debe ser sencillo, sin excesivos menús, ni demasiados pasos.
- La distribución de los elementos en pantalla debe ser de fácil comprensión, con el fin de reducir tiempos en aprendizaje del nuevo sistema.

3.5.3 Normativa a cumplir

En lo referente al alumbrado de oficina se han tenido en consideración las normas relativas a luminarias como son el caso de la normas UNE-EN-60598.1 Luminarias, UNE-EN-60598.21 Luminarias de uso general y UNE-EN-60598.2.2 Luminarias empotradas.

A cerca del diseño de las interfaces HMI, a nivel internacional no ha habido una línea a seguir hasta el momento. Por lo que, a lo largo de los años, han aparecido múltiples iniciativas que pretendían cubrir necesidades concretas de diseño:

- ANSI American National Standards Institute
- CENELEC European Committee for Electrotechnical Standardization
- ETSI European Telecommunications Standards Institute
- IEEE Institute of Electronic and Electrical Engineers
- ISO International Standards Organization
- NUREG Nuclear Regulatory Commission
- SAE Society of Automotive Engineers

En Estados Unidos, la organización ISA (*International Society of Automation*), publicó en 1985, el informe RP60.3, *Human Engineering of Control Centres*, que englobaba ideas de diseño adaptadas a las capacidades físicas y psíquicas del ser humano.

Sin embargo, ante la falta de estándares claros en torno a las interfaces hombre-máquina, se crea en Julio de 2005, el comité ISA-SP101 con el objetivo de establecer estándares, prácticas recomendadas y apoyo técnico, que permitan normalizar el campo de las interfaces HMI en los procesos productivos [14].

Los principales objetivos de este comité son:

- Disminuir la tasa de errores de los operarios gracias a unas representaciones claras e intuitivas.
- Reducir los tiempos de aprendizaje de los nuevos operadores, permitiendo el cambio de un sistema a otro con el mínimo entrenamiento necesario.

- Reducir costes de rediseño al estandarizar procedimientos.

En Europa, el Comité Europeo de Normalización, en colaboración con la Organización Internacional de Normalización (ISO), promueve la elaboración de un marco normativo orientado a regularizar y racionalizar el diseño de sistemas con terminales de visualización. Estas normas son ISO 9241 y EN 29241: “*Ergonomics requirements of visual display terminals used for office tasks*”, las cuales establecen los requisitos ergonómicos que deben cumplir los equipos con PVD, con el fin de asegurar que los usuarios puedan desempeñar sus tareas de forma segura y eficiente.

Recomendaciones de diseño

Aunque no siempre se tiene en cuenta, los usuarios finales son los que realmente saben cómo deben ser sus pantallas de visualización ideales, puesto que son los más indicados para señalar las necesidades de su aplicación.

El éxito de una aplicación de visualización, así como su efectividad y rendimiento, radica en la aceptación de ésta por parte del usuario [14]. Es decir, la aplicación de visualización debe parecerse a lo que el usuario está acostumbrado a manejar, debe implementarse de manera que su manejo sea intuitivo. Por tanto, interesa diseñar una aplicación práctica, sencilla y cómoda antes que una vistosa y complicada.

Para implementar cualquier aplicación hay tres puntos básicos a tener en cuenta por el diseñador.

1. Conocer las bases.

Para diseñar una aplicación se dispone de conocimientos clasificados bajo diferentes denominaciones que permiten realizar un desarrollo coherente y conseguir un resultado práctico.

Gracias a diferentes estudios de la conducta humana, existen una serie de recomendaciones de alto nivel, basadas en el comportamiento del individuo (avanzar hacia la derecha, aumentar hacia arriba). Además de especificaciones de diseño que son de consenso y significado implícito, es decir que no requieren de explicaciones, como por ejemplo una señal de Stop.

2. Tener los objetivos claros.

Conocer de antemano los principios de interacción entre usuario y aplicación, siguiendo principios gráficos de aceptación universal.

De esta manera, se tendrán los objetivos claros y el trabajo de desarrollo podrá progresar con mayor rapidez.

3. Desarrollar y valorar

Una vez estén estos principios claros, puede procederse a la realización de la aplicación en una primera versión que, cuando esté terminada, se utilizará

para valorar posibles alternativas a la misma y decidir las modificaciones necesarias para reducir al mínimo los costes de la puesta en marcha [14].

Como último paso está la evaluación de la aplicación, es decir, tener en cuenta los resultados de utilización de la misma para prever posibles modificaciones, ampliaciones o mejoras: facilidad de aprendizaje, rapidez de utilización, errores de utilización, remanencia (facilidad de recordar cómo funciona) y grado de satisfacción del usuario.

Norma ISO 9241

Para la realización de este proyecto se ha tomado como principal guía de diseño la norma UNE-EN ISO 9241, en su parte 10, *Principios de diálogo*, donde se trata el diseño ergonómico de programas para equipos con PVD. En ella se enumera una serie de ideas que se pretende sirvan de guía a la hora de realizar el planteamiento y desarrollo de las interfaces gráficas, que desarrolla en los capítulos 14, 15, 16 y 17 de dicha norma:

- La aplicación debe estar adaptada a la tarea para la cual se ha diseñado, el diálogo con el usuario debe ser limpio, presentando y exigiendo solamente la información estrictamente necesaria.
- La aplicación debe informar del progreso al interlocutor de forma comprensible.
- La aplicación debe poder adaptarse al nivel de capacitación del usuario.
- La aplicación debe ser controlable por el usuario, no al revés.
- Las respuestas de la interfaz deben ser coherentes y adaptadas al nivel de capacitación del usuario.
- La aplicación debería ser tolerante a fallos y con herramientas de corrección automáticas.
- Debería ser clara y sencilla de utilizar.

El objetivo a conseguir queda por tanto definido por los siguientes principios: tener un aspecto coherente que corresponda a las expectativas del usuario, dar indicaciones con claridad para una asimilación correcta, ser comprensible, ser concisa, aportar detectabilidad presentando una interfaz atrayente y aportar discriminabilidad mediante la presentación adecuada de la información [14].

Norma ISO 11064

Esta norma establece una serie de recomendaciones y principios aplicables al diseño de centros de control. Propone aspectos de propósito general y en el caso de aplicaciones en sala de control industrial, la ergonomía aparece prioritariamente en forma de ergonomía física [14].

Aunque se han tenido en cuenta principios y recomendaciones de varios de los documentos mencionados anteriormente, el diseño y desarrollo del proyecto se ha centrado en el seguimiento de la norma ISO 9214, que se centra en aspectos básicos del diseño de la interfaz.

3.4 Arquitectura hardware

En este apartado se desarrollan las características del hardware empleado para la realización de este trabajo. La palabra hardware en informática se refiere a las partes físicas tangibles de un sistema informático; sus componentes eléctricos, electrónicos, electromecánicos y mecánicos. Cables, gabinetes o cajas, periféricos de todo tipo y cualquier otro elemento físico involucrado componen el hardware [27].

En primer lugar, tras el estudio de las actividades anteriormente realizadas en el C-DdI-CIESOL-ARFRISOL relacionadas con este proyecto, se propuso realizar un estudio de los sistemas hardware para interfaces de usuario disponibles en el mercado, analizando sus características para seleccionar aquel que mejor se adaptase a las necesidades del proyecto.

En la tabla 3.7 se muestran las características de los sistemas disponibles en el mercado tras el estudio anteriormente mencionado.

Display	Puertos Comunicación	Memoria Integrada	Precio	Fabricante	Serie
7" LCD	USB 2.0, Ethernet, SD	1 GB	90.86 €	Raspberry Pi	Touch Screen LCD
7" LCD	Ethernet, Serie, USB	256 MB, 512 KB	484.84 €	Schneider	HMIDT
7" LCD	RS232/RS485, USB, Ethernet, SD	128 MB	776.17 €	Delta	DOP-B
7" LCD	RS232/RS485, USB 2.0, Ethernet, SD	128 MB	850 €	Crouzet	MTP8/70
7" LCD	RS232/RS485, USB, Ethernet, SD	9 MB	850 €	Mitsubishi	GS21
7" LCD	Ethernet, Serie, USB	256 MB, 512 KB	1237.52 €	Schneider	HMIDT

Tabla 3.7 Análisis de mercado de sistemas hardware HMI

Entre las opciones posibles, finalmente se decidió la compra de la pantalla táctil de la marca Raspberry Pi.

Esta decisión fue tomada con el objetivo de cumplir la mayor parte de las especificaciones técnicas que se mencionaron anteriormente, entre las que cabe destacar que el sistema posea una arquitectura abierta y flexible, sea compatible con el SCADA y la arquitectura de comunicación existente en el edificio. Además, de esta forma se consiguió minimizar el coste de la adquisición.

Para el correcto funcionamiento de esta pantalla, fue necesaria la compra conjunta de un computador de placa simple (SBC) de la misma marca, en concreto, una Raspberry Pi 3 B.

Raspberry Pi es un computador de placa reducida, computador de placa única o computador de placa simple (SBC), de bajo costo desarrollado en Reino Unido por la Fundación Raspberry Pi, con el objetivo de estimular la enseñanza de ciencias de la computación en las escuelas [28].

Más detalladamente, en el año 2016, el modelo Raspberry Pi 3 B, ver figura 3.28, utilizado en este proyecto, salió al mercado con las siguientes especificaciones técnicas:

- Chipset Broadcom BCM2837 a 1,2 GHz.
- ARM Cortex-A53 de 64 bits y cuatro núcleos.
- LAN inalámbrica 802.11 b/g/n.
- Bluetooth 4.1.
- Coprocesador multimedia de doble núcleo Videocore IV.
- Memoria LPDDR2 de 1GB
- Conector micro USB para fuente de alimentación de 2,5 A.
- 1 puerto Ethernet 10/100.
- 1 conector de vídeo/audio HDMI.
- 1 conector de vídeo/audio RCA.
- 1 conector de cámara CSI.
- 4 puertos USB 2.0.
- 40 pines GPIO.
- Antena de chip.
- Conector de pantalla DSI.
- Ranura de tarjeta microSD.
- Dimensiones: 85 x 56 x 17 mm.

Por otro lado, como se mencionó anteriormente, el dispositivo escogido para la visualización del sistema se trata de una pantalla táctil capacitiva de 7", ver figura 3.29. Esta pantalla de la marca Raspberry Pi tiene un tamaño de 194 x 110 x 20 mm, aunque cuenta con marco, dejando el tamaño de pantalla visible en 155 x 86 mm y una resolución de 800 x 480 píxeles.

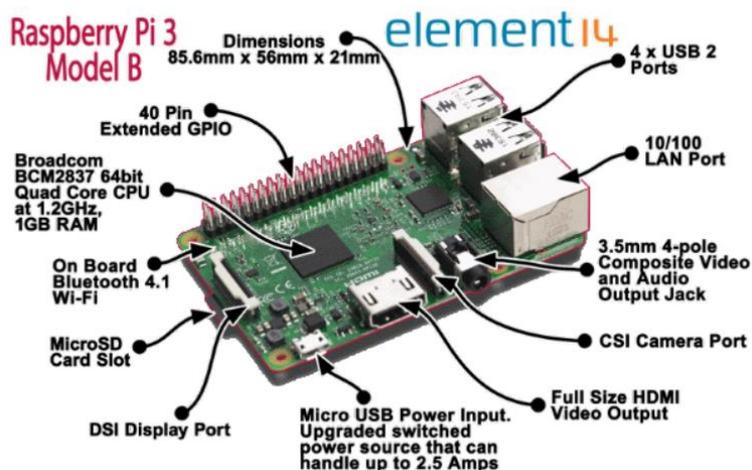


Figura 3.23 Visión detallada de la Raspberry Pi 3 B [29]



Figura 3.29 Pantalla táctil Raspberry Pi 7"

Como se puede observar en la figura 3.30, la Raspberry Pi 3 B cuenta con dos filas de 20 pines cada una. Estos pines sirven de interfaz entre la Raspberry Pi y el exterior. GPIO (General Purpose Input/Output) es un sistema de entrada/salida de propósito general, es decir, una serie de conexiones que se pueden usar como entradas o salidas para usos múltiples.

Pin#	NAME		NAME	Pin#
01	3.3v DC Power	Red	DC Power 5v	02
03	GPIO02 (SDA1 , I2C)	Blue	DC Power 5v	04
05	GPIO03 (SCL1 , I2C)	Black	Ground	06
07	GPIO04 (GPIO_GCLK)	Green	(TXD0) GPIO14	08
09	Ground	Orange	(RXD0) GPIO15	10
11	GPIO17 (GPIO_GEN0)	Black	(GPIO_GEN1) GPIO18	12
13	GPIO27 (GPIO_GEN2)	Green	Ground	14
15	GPIO22 (GPIO_GEN3)	Black	(GPIO_GEN4) GPIO23	16
17	3.3v DC Power	Red	(GPIO_GEN5) GPIO24	18
19	GPIO10 (SPI_MOSI)	Green	Ground	20
21	GPIO09 (SPI_MISO)	Purple	(GPIO_GEN6) GPIO25	22
23	GPIO11 (SPI_CLK)	Purple	(SPI_CE0_N) GPIO08	24
25	Ground	Black	(SPI_CE1_N) GPIO07	26
27	ID_SD (I2C ID EEPROM)	Yellow	(I2C ID EEPROM) ID_SC	28
29	GPIO05	Black	Ground	30
31	GPIO06	Green	GPIO12	32
33	GPIO13	Black	Ground	34
35	GPIO19	Green	GPIO16	36
37	GPIO26	Green	GPIO20	38
39	Ground	Black	GPIO21	40

Figura 3.30 Pines GPIO de la Raspberry Pi 3 B

De los 40 pines existentes en la Raspberry Pi, 12 son de alimentación (5V o 3,3V), de los cuales son necesarios únicamente 2, para la instalación de la pantalla, uno de 5V y otro de tierra. Además, se utilizará el puerto DSI (Display Serial Interface), el cual permite la conexión de pantallas LCD directamente a la unidad de procesamiento gráfico del dispositivo.

Por último, para llevar a cabo el proyecto, ha sido necesaria la elección de un método de comunicación basado en Ethernet, basándose en las facilidades que la propia arquitectura de comunicaciones del edificio presenta, ver figura 3.31, por lo que fue necesaria la adquisición e instalación de un cable Ethernet entre uno de los router de la planta superior del edificio y el puerto Ethernet específico de la placa Raspberry Pi 3 B.



Figura 3.31 Cableado interno del edificio CIESOL

De esta forma, la arquitectura hardware del sistema diseñado se muestra en la figura 3.32.

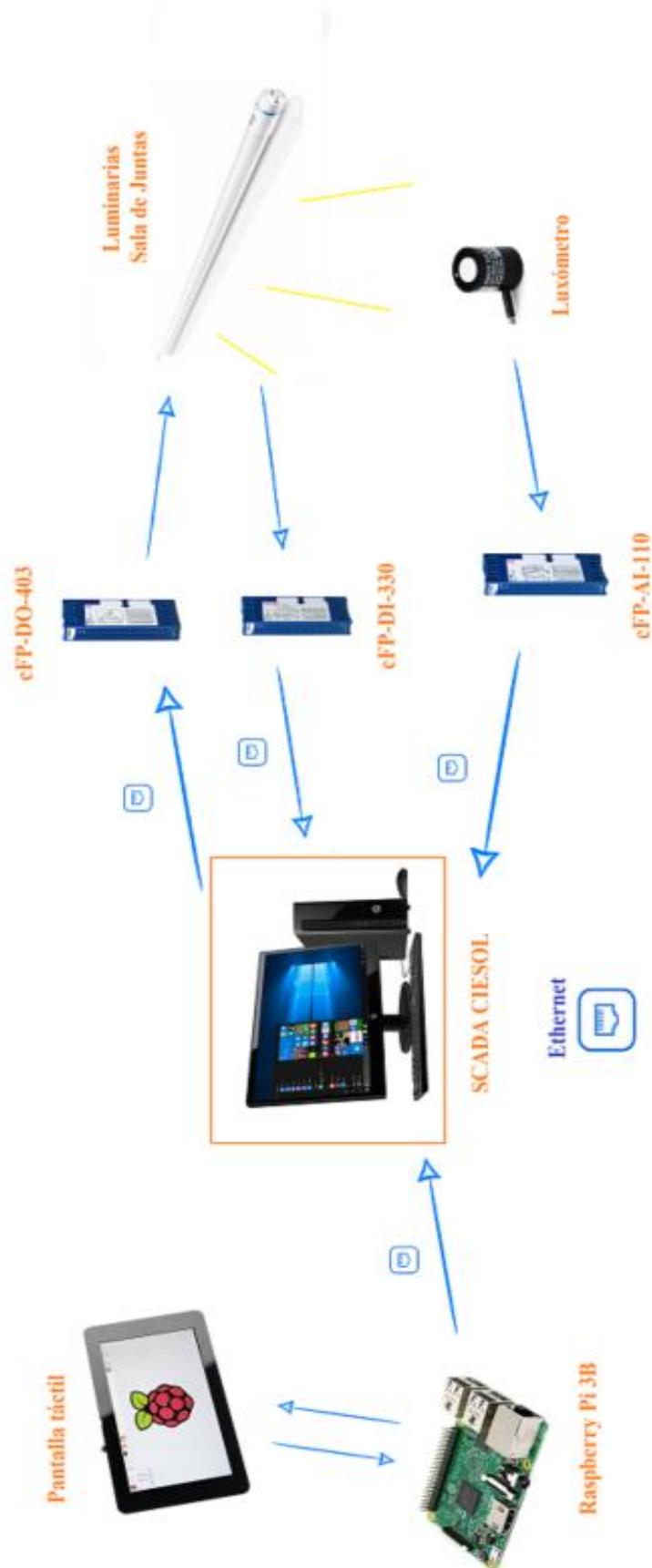


Figura 2.32 Arquitectura Hardware

3.5 Arquitectura software

Tras la adquisición del hardware necesario, el siguiente paso para la realización de este proyecto fue la búsqueda del software específico para el diseño y desarrollo de interfaces gráficas de usuario más apropiado para las características tanto del hardware seleccionado, como para la comunicación entre la Raspberry Pi y el sistema SCADA del edificio.

En primer lugar, el sistema operativo seleccionado fue Raspbian OS. Este es el sistema operativo por excelencia para la Raspberry Pi. Es el único sistema operativo que cuenta con apoyo oficial y esto se debe a que es el más completo y optimizado.

Para la instalación del sistema operativo es necesaria una tarjeta SD que contenga la imagen. La cual se puede descargar de forma gratuita desde el siguiente enlace: <https://www.raspberrypi.org/downloads/raspbian/>.

Raspbian OS, basado en Debian, usa un entorno de escritorio LXDE, ver figura 3.33, y Midori como navegador web predeterminado.

Además, contiene herramientas de desarrollo como IDLE para el lenguaje de programación Python, que como se explicará a continuación, han sido de gran utilidad.

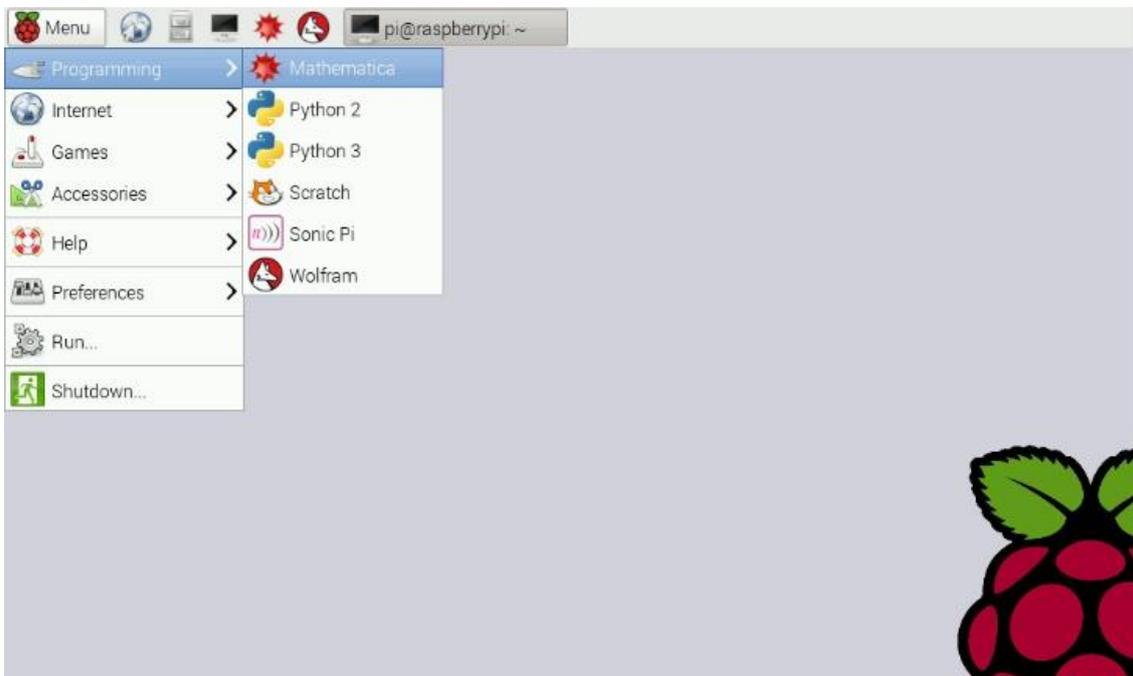


Figura 3.33 Entorno de escritorio de Raspbian OS

El siguiente paso fue elegir el programa con el que se iba a diseñar la interfaz gráfica. Puesto que se decidió que una conexión Ethernet era la mejor forma de comunicar ambos elementos, se procedió a probar distintos tipos de software como Linx de LabVIEW, que ofrece un firmware para plataformas embebidas comunes que actúan como un motor de E/S y se conecta con VI's de LabVIEW a través de conexión Ethernet.

Sin embargo, debido a problemas de compatibilidad entre versiones de los distintos componentes de trabajo, se decidió desarrollar la interfaz mediante el entorno de desarrollo integrado IDLE, utilizando Python como lenguaje de programación y el conjunto de herramientas Tkinter GUI.

Python es un lenguaje de programación interpretado. Este tipo de lenguajes no requieren de un código a ser compilado. Por lo general, los lenguajes interpretados suelen ser de alto nivel y se caracterizan por expresar el algoritmo diseñado de una manera que facilite su entendimiento por los humanos en lugar de facilitar su ejecución en la máquina. Este lenguaje intenta mantener una sintaxis que favorezca un código limpio y fácilmente legible, proporcionando una serie de características que conviene nombrar a continuación:

- Es un lenguaje de programación multiparadigma. Esto significa que permite varios estilos de programación: programación orientada a objetos, programación imperativa y programación funcional. Esto se considera una gran ventaja ya que no obliga al programador a adoptar un estilo particular de programación, como si pasa con otros lenguajes.
- Utiliza un tipado dinámico, esto quiere decir que no es necesario declarar el tipo de dato que contendrá nuestra variable. Dicha variable se adaptará al tipo que se le asigne a la ejecución del programa. A su vez, está denominado como fuertemente tipado, lo que significa que no permite violaciones en los tipos de datos. Es decir, no permitirá el uso de una variable de un tipo como si fuese de otro.
- Posee una gran cantidad de librerías que permiten comunicarse con hardware de diferentes tipos, por ejemplo: Tkinter, el cual se ha utilizado en este trabajo.
- Es multiplataforma, es decir, se puede encontrar en distintos sistemas operativos.

En cuanto al diseño de la interfaz, se muestra detalladamente en el capítulo 4. Sin embargo, en la figura 3.34 se ilustra el diagrama de flujo del software.

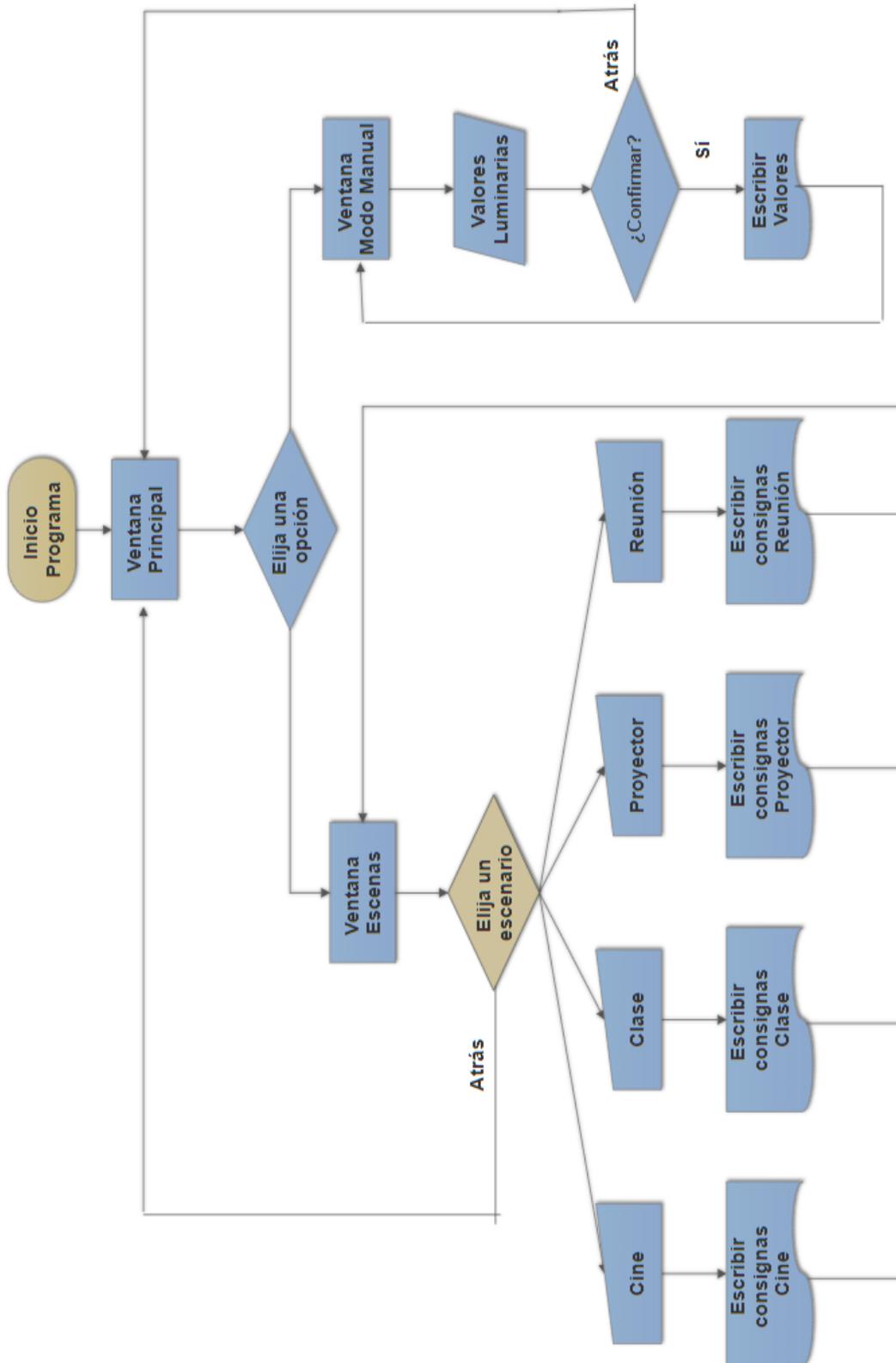


Figura 3.34 Diagrama de flujo del software diseñado

En este capítulo se desarrollan detalladamente el diseño de la interfaz, el proceso de implantación del sistema en la sala de juntas, así como la realización de pruebas con los diferentes escenarios.

4.1 Sistema de gestión del confort lumínico

El programa principal consiste en una serie de ventanas y botones, así como barras de desplazamiento, que irán ejecutando unas funciones de escritura, hasta finalizar el proceso de selección de iluminación. Una vez hecho esto, el programa genera un documento de texto, con un valor característicos en función de los datos preseleccionados, que será leído por el ordenador del Laboratorio 6, conectado con la Raspberry Pi 3 por Ethernet, y se encargará del procesamiento del mismo, configurando de forma inmediata el valor de los actuadores pertinentes.

Al ejecutar el código del programa, emerge en pantalla una ventana principal, ver figura 4.1, en la que se encuentran dos opciones a elegir, según el tipo de configuración deseada, las cuales serán una serie de escenas predeterminadas o una configuración manual de las luminarias.

En el caso de que se haya elegido el modo de escenas predeterminadas, la siguiente ventana que se abrirá, ver figura 4.2, contendrá cuatro botones, en los que al seleccionar cada uno de ellos, se ejecutará una función que escribirá un valor específico para cada escena, generándose así el documento de texto mencionado con anterioridad. Estos datos han sido elegidos en la fase de pruebas de iluminación de la sala de juntas de CIESOL siguiendo las recomendaciones de la “Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación. Oficinas” [9].

Por otro lado, en el caso de que se haya elegido el modo de configuración manual, ver figura 4.3, se abrirá una ventana que contiene 6 barras de desplazamiento, cada una para el porcentaje de iluminación de los grupos de luminarias de la sala de juntas, los cuales están representados a la derecha para facilitar al usuario la tarea, y 2 botones cuya función será la de confirmar la configuración establecida y volver a la pantalla inicial.



Figura 4.1 Ventana principal Sala de Juntas CIESOL



Figura 4.2 Ventana Escenas Predeterminadas

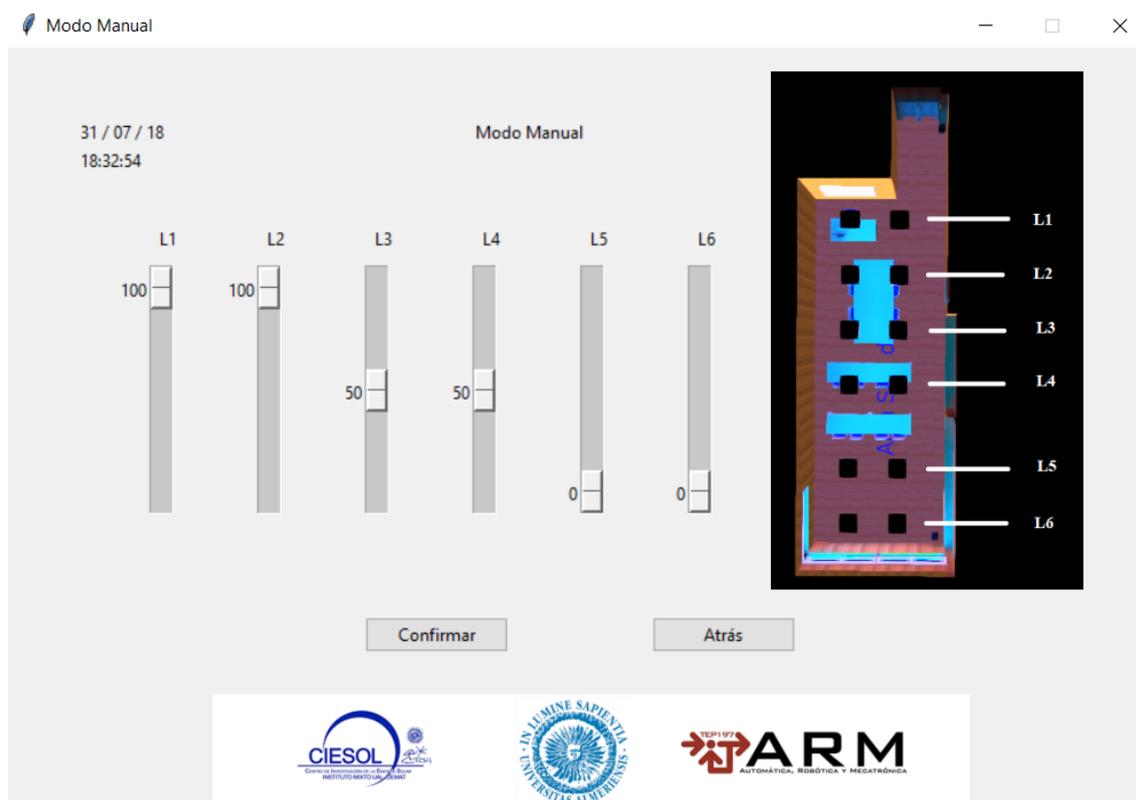


Figura 4.3 Ventana Modo Manual

4.2 Implantación del sistema

Como se explicó al principio de este trabajo, la sala de juntas del edificio CIESOL se utiliza para tareas y actividades de carácter laboral y educativo, tales como conferencias, reuniones, clases de idiomas, realización de exámenes o talleres de enseñanza. Por este motivo se ha tomado la decisión de implantar el sistema en una zona de fácil acceso para el responsable de la sala. El lugar elegido se trata de la mesa que se encuentra más cerca de la pizarra, ver figura 4.4, puesto que esta, suele ser el puesto de trabajo del profesor en caso de una clase, o del ponente en caso de tratarse de una proyección.

El sistema diseñado se encuentra sobre la propia mesa de trabajo como si de un periférico más del ordenador se tratase, permitiendo así continuar con la planificación establecida durante el uso de la sala sin la necesidad de interrumpir la misma teniendo que desplazarse el usuario hasta la herramienta, como ocurría antes de la realización de este proyecto.



Figura 4.4 Mesa principal de la sala de juntas

Otro motivo importante a la hora de elegir este punto como el más indicado para la colocación del sistema ha sido la localización de un punto de acceso a la red del edificio mediante Ethernet y de una toma de corriente para la fuente de alimentación de la Raspberry Pi 3.

4.3 Prueba de escenarios

Como última actividad a realizar en este trabajo, se ha llevado a cabo una serie de pruebas de conexión entre el sistema diseñado y el SCADA, comprobando que este funciona correctamente y que se cumplen las especificaciones y objetivos de los que se ha hablado a lo largo de esta memoria.

Para llevar esto a cabo, primero ha sido necesario modificar, mediante lenguaje de programación LabVIEW, el diagrama de bloques del SCADA actual de la sala de juntas, ver figura 4.5, donde el control automático de las luminarias se realizaba en función de una consigna establecida de forma manual desde el propio ordenador que contiene el SCADA en el laboratorio 6.

Este cambio consiste en la asignación de la consigna a través de la lectura del archivo generado por el programa ejecutado en la Raspberry Pi 3 tal y como se muestra en la figura 4.6. Este archivo se encuentra en una carpeta compartida entre el ordenador del laboratorio 6 y la interfaz de la sala de juntas, cumpliendo así la especificación técnica de que el sistema no tarde más de 1 minuto, puesto que los datos registrados por el SCADA tienen ese intervalo.

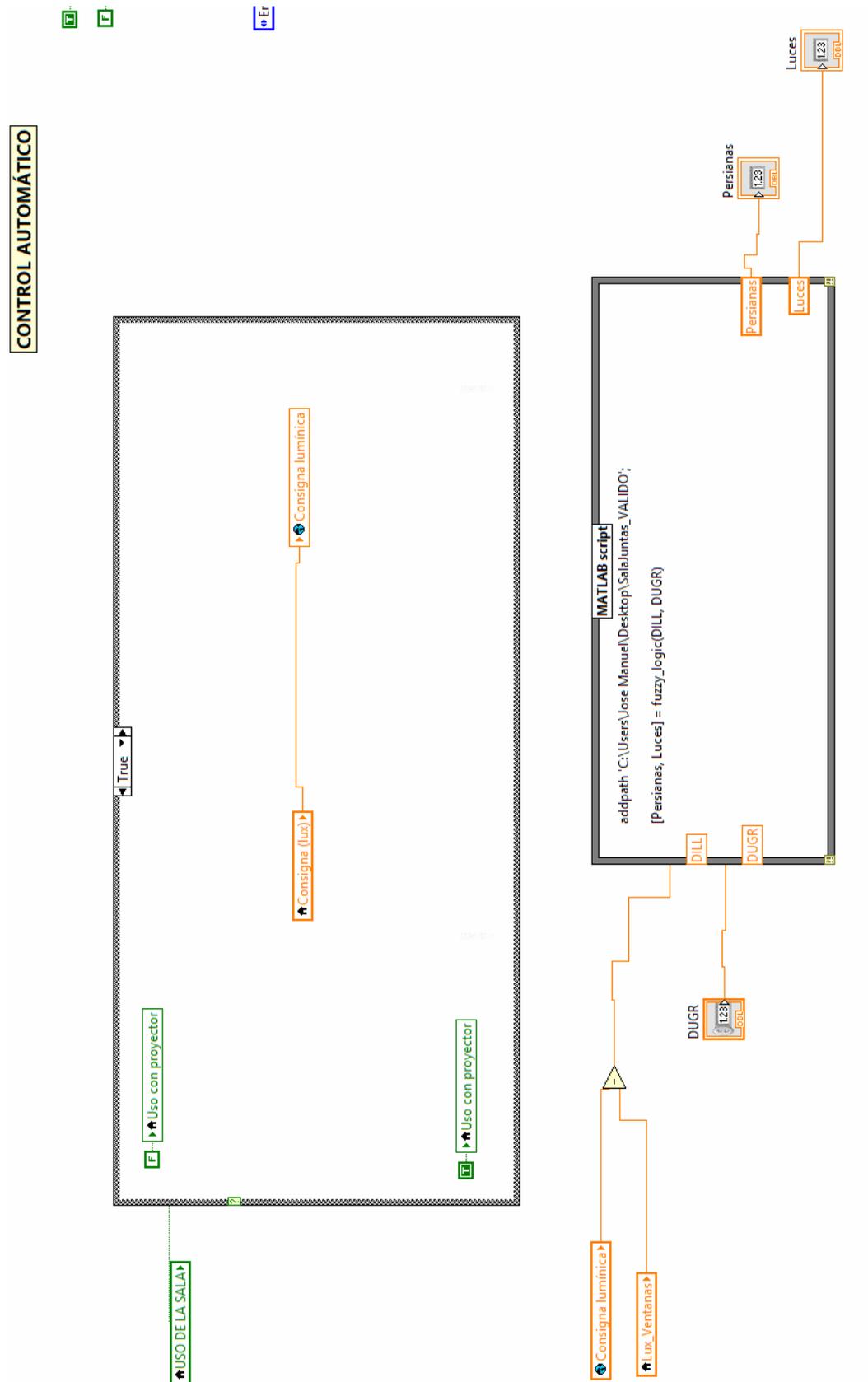


Figura 4.5 Parte del diagrama de bloques del SCADA de la sala de juntas

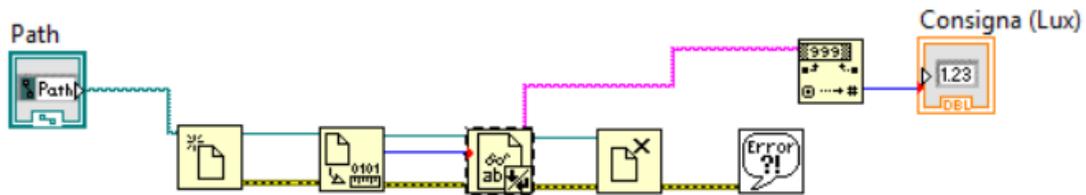


Figura 4.6 Lectura del archivo de texto generado por la Raspberry Pi 3 B

La tabla 4.1 muestra las consignas de los diferentes luxómetros para cada uno de los escenarios predeterminados que se han diseñado. Esta diferenciación entre los valores de cada uno de los luxómetros se debe a la posición en el interior de la sala de cada uno de ellos, como se mencionó en el capítulo anterior.

Escenario	Luxómetro 1	Luxómetro 2
Cine	25 lux	25 lux
Clase	250 lux	50 lux
Proyector	50 lux	125 lux
Reunión	400 lux	400 lux

Tabla 4.1 Valores establecidos para cada escenario

A continuación, se muestran algunas pruebas de escenarios realizadas en la sala de juntas, junto con los datos obtenidos por los luxómetros.

Aprovechando la distribución de las mesas de la sala de juntas, ver figura 4.7, se decidió comprobar los resultados obtenidos para el caso de escena predeterminada Reunión.

La iluminación en las zonas de reunión deben ser lo más flexible posible. Además, ya que la distribución de todos los elementos de la sala está dedicada a la función de reunión, la luz también debe de favorecer esta función.

Dado que la comunicación es la tarea esencial en una sala de reuniones, todo el espacio está optimizado y el nivel general de alumbrado podrá variar desde moderado a alto. Además, el deslumbramiento directo debe estar controlado para que durante las reuniones el ambiente visual sea confortable. Con este objetivo, la “Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación. Oficinas” establece que el nivel general de iluminación para una sala de reuniones debe estar entre los 300 y 1000 lux [13]. Por ello, se ha decidido que el sistema diseñado asignará a la consigna un valor de 400 lux.

En la ventana de monitorización, ver figura 4.8, donde se representan los datos de todos los sensores del edificio CIESOL, los valores obtenidos para este escenario son de 479 lux para la variable Lux_SalaReuniones_01_convertido correspondiente al luxómetro 1 y 347 lux para la variable Lux_SalaReuniones_02_convertido correspondiente al para el luxómetro 2.



Figura 4.7 Distribución de la sala de juntas para una reunión

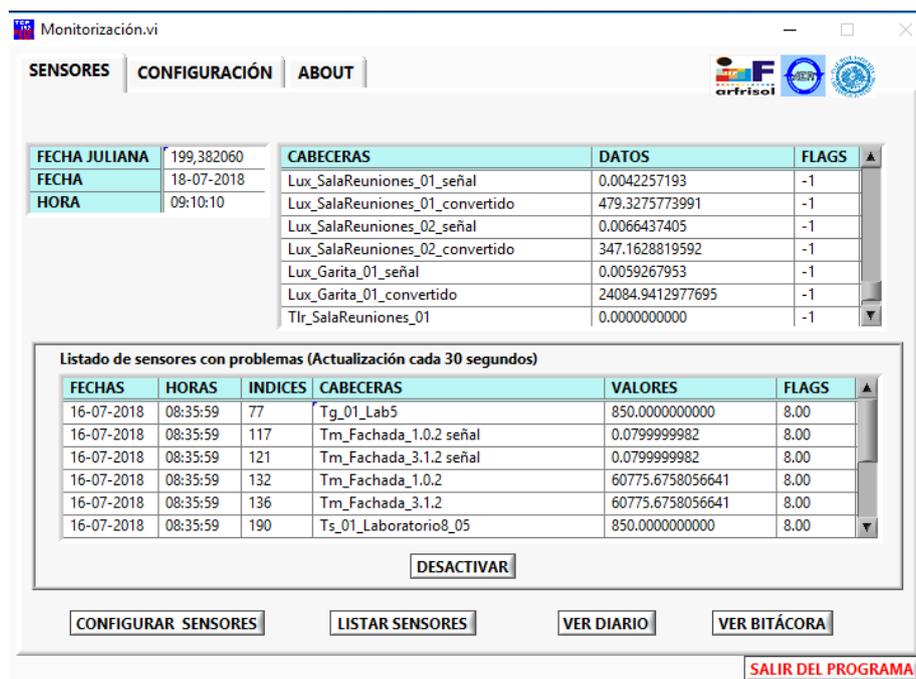


Figura 4.8 Valores de los luxómetros en modo Reunión

Otra de las pruebas que se realizaron con el modo automático fue el escenario clase.

Los valores obtenidos por los luxómetros, mostrados en la ventana de monitorización, ver figura 4.9, se ajustan a los resultados deseados, mostrados anteriormente en la tabla 4.1.

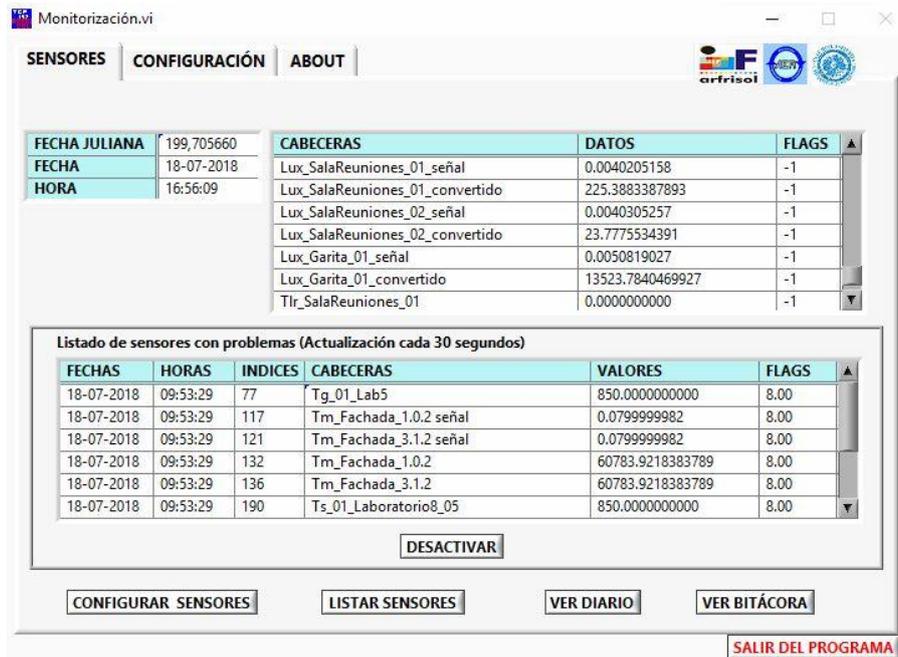


Figura 4.9 Valores de los luxómetros en modo Clase

Los valores de luminosidad obtenidos al probar el modo Cine, ver figura 4.10, son de aproximadamente 25 lux para cada luxómetro. Estos valores se obtienen con el apagado de todas las luminarias y se ajustan a los resultados deseados, mostrados anteriormente en la tabla 4.1.

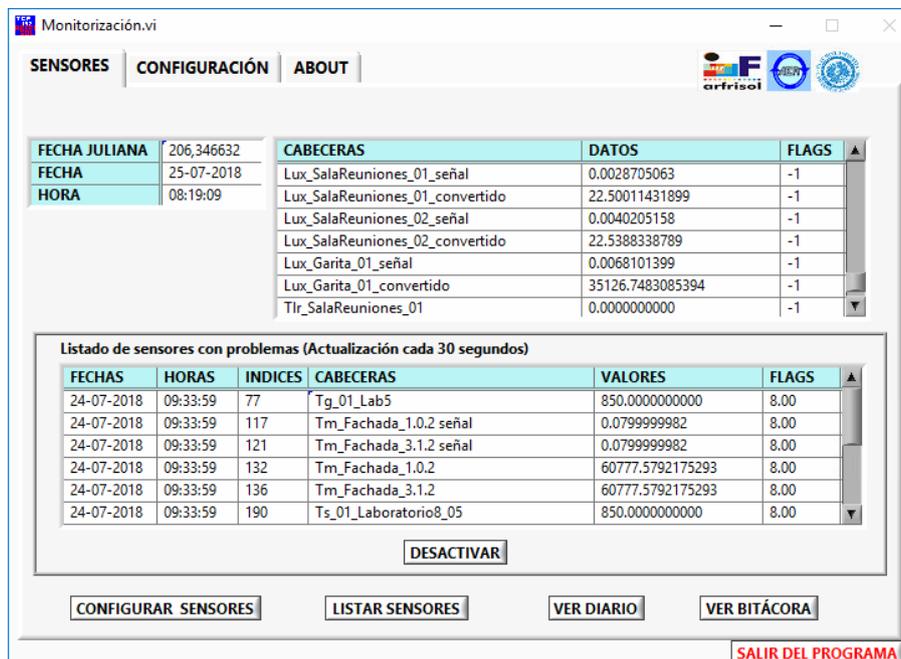


Figura 4.10 Valores de los luxómetros en modo Cine

Al igual que ocurre con el resto de escenarios, para el modo Proyector, ver figura 4.11, los valores de los luxómetros se encuentran próximos a las consignas establecidas.

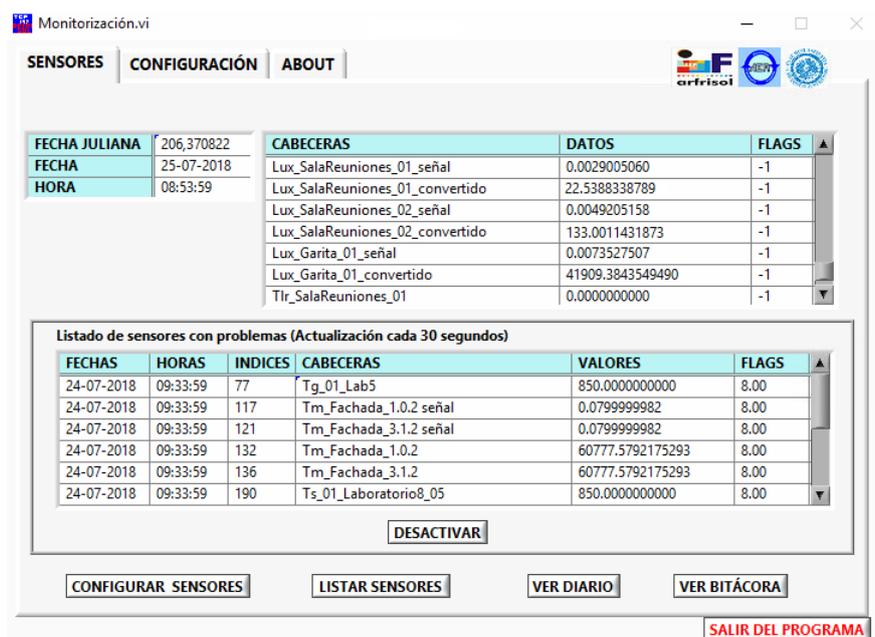


Figura 4.11 Valores de los luxómetros en modo Proyector

4.4 Análisis de satisfacción del usuario

Con el fin de verificar la utilidad de la implantación del sistema en la sala de juntas del edificio CIESOL, se pidió a los usuarios completar una breve encuesta de satisfacción de forma anónima. La figura 4.12 muestra un ejemplo de las cinco encuestas que se han realizado para este análisis.

Indicador	Valor
Estructura	
Existencia de mapa	[SI, NO] [5,0] 5
Número de niveles le	[le<4, le>4] [5,0] 5
Distribución	
Formato	[a,m,na] [5,3,0] 5
Densidad	[a,m,na] [5,3,0] 5
Visibilidad	[a,m,na] [5,3,0] 3
Navegación	
Relación con estructura	[a,m,na] [5,3,0] 5
Navegación entre pantallas	[a,m,na] [5,3,0] 5
Color	
Ausencia de combinaciones no apropiadas	[SI, NO] [5,0] 5
Numero de colores C	[4<C<7, C>7] [5,0] 4
Contraste entre fondo y objetos	[a,m,na] [5,3,0] 3
Relación con Texto	[a,m,na] [5,3,0] 5
Texto	
Número de fuentes f	[f<4, f>4] [5,0] 5
Ausencia de fuentes pequeñas (mínimo 8)	[SI, NO] [5,0] 5
Ausencia de combinaciones no apropiadas	[SI, NO] [5,0] 5
Uso de abreviaciones	[a,m,na] [5,3,0] 5
Comando de entrada de datos	
Visibilidad	[a,m,na] [5,3,0] 5
Uso	[a,m,na] [5,3,0] 5
Realimentación	[a,m,na] [5,3,0] 5

a – apropiado; m – medio; na - no apropiado

Figura 4.12 Ejemplo de encuesta de satisfacción

Con estos datos obtenidos, se ha calculado el nivel de satisfacción de los usuarios de la sala. Para ello, en la figura 4.13, se puede observar cada uno de los apartados contemplados en la encuesta junto con la puntuación media obtenida del sistema sobre un máximo de cinco puntos.

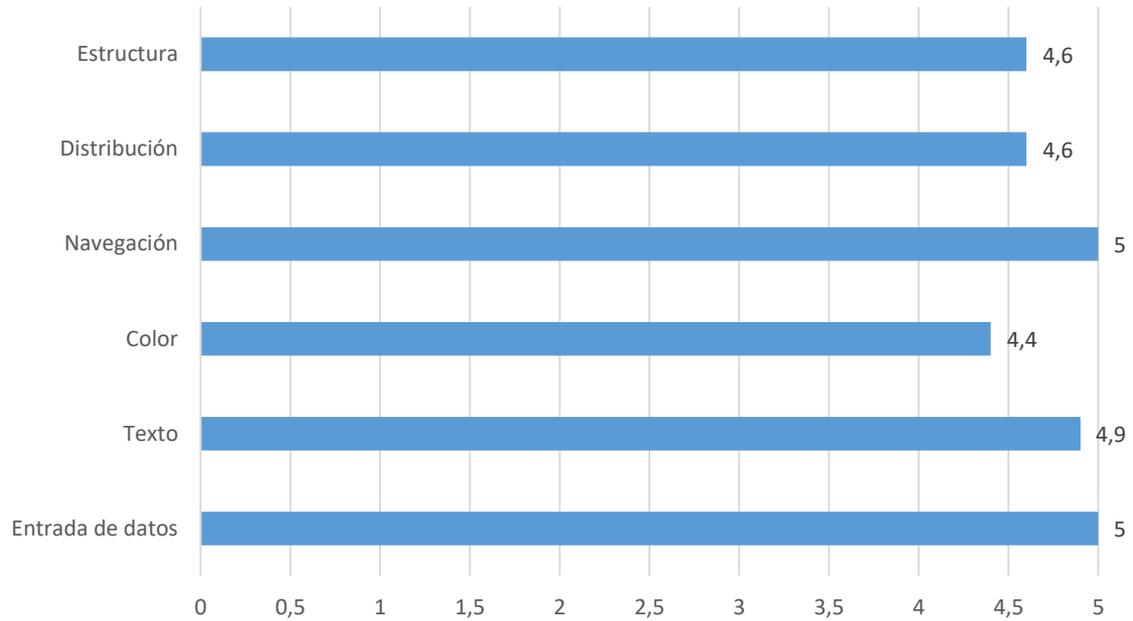


Figura 4.13 Nivel de satisfacción de los usuarios

Se establece por tanto, un porcentaje de satisfacción de los usuarios con el sistema de supervisión del confort lumínico implantado en la sala de juntas del 95%.

Capítulo 5: *Conclusiones y futuros trabajos*

El objetivo principal de este trabajo fin de grado era el desarrollo de un sistema de supervisión para el confort lumínico en la sala de juntas del edificio CIESOL. Esta finalidad conlleva otros objetivos de los cuales algunos se han alcanzado y otros que han ido surgiendo a lo largo del proyecto no se han podido resolver.

Algunos de los objetivos que se han conseguido son los siguientes: se ha logrado mejorar la infraestructura de la sala de juntas, ampliando y modificando el hardware presente en ella, para ello se decidió el uso de un dispositivo de bajo coste como es la Raspberry Pi 3 B, frente a otras posibles opciones como Arduino, así como la elección de una pantalla táctil de la misma marca, con un tamaño de siete pulgadas, un tamaño óptimo para su uso en la localización escogida. También se ha conseguido modernizar y ampliar la interfaz existente, aportando nuevas funciones y de mejor acceso, necesarias para un trabajo más eficiente. Para la consecución de este objetivo, se ha utilizado el lenguaje de programación Python, el cual permite la creación de interfaces sencillas e intuitivas. Además, se ha conseguido integrar el proyecto en el edificio CIESOL utilizando los sistemas de comunicación existentes. Este objetivo se debe a que la elección tanto del hardware como del software empleado en el diseño del sistema ha sido la apropiada, evitando problemas de incompatibilidad entre los dispositivos ya instalados en el edificio.

Por lo que, en general, esta interfaz permite una actuación rápida sobre el confort lumínico de la sala de juntas, reduce el tiempo de aprendizaje del sistema SCADA del personal y facilita la interacción máquina-hombre, como ha quedado demostrado mediante las encuestas realizadas anteriormente expuestas, considerándose un éxito la finalización de este proyecto.

Este trabajo fin de grado ha supuesto una importante fuente de conocimientos sobre nuevas tecnologías e instrumentación presente en el C-DdI-CIESOL-ARFRISOL, que se han ido detallando a lo largo de la memoria. Además de resultar un proceso de formación al tratarse con problemas que no existen en situaciones teóricas, obteniendo así algunas competencias específicas de ingeniero electrónico, como una mejor capacidad de resolver problemas con iniciativa, toma de decisiones, creatividad, razonamiento crítico y de comunicar y transmitir conocimientos, habilidades y destrezas en el campo de la Ingeniería Industria, o capacidad de organización y planificación en el ámbito de la empresa, y otras instituciones y organizaciones en un entorno multilingüe y multidisciplinar.

Finalmente, alguna de las ideas y posibles mejoras que han ido surgiendo a lo largo del trabajo se presentan a continuación, posibilitando futuros trabajos:

- Establecer un protocolo de prioridad entre la interfaz existente en la sala de juntas y el SCADA general del edificio, para evitar errores de medición en posibles pruebas o estudios.
- Crear un control de usuarios para registrar las acciones que llevan a cabo, obteniendo un mejor seguimiento de los datos adquiridos por el sistema.
- Ampliar el software de la interfaz HMI para controlar el movimiento completo de las cortinas.
- Desarrollar una red de sensores mayor y con mejor precisión en el interior de la sala.

- [1] CIESOL. 2016. *Información CIESOL*. Recuperado el 10 de Mayo de 2018. <http://www.ciesol.es/>
- [2] CEDOM. *Qué es Inmótica*. Recuperado el 10 de Mayo de 2018. <http://www.cedom.es/sobre-domotica/que-es-inmotica>
- [3] Castilla M, Rodríguez F, Álvarez J.D, Berenguel M. 2014. *Comfort control in buildings*. Ed. Springer. Londres (Reino Unido). 265 pp.
- [4] AENOR. 2016. *UNE-EN 12464-1:2012*. Recuperado el 10 de Mayo de 2018. <http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0048898>
- [5] INSHT. *NTP 211: Iluminación de los centros de trabajo*. Recuperado el 10 de Mayo de 2018. http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/201a300/np_211.pdf
- [6] Guasch J, Forster R, Ramos F, Hernandez A, & Smith N.A. 2001. *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo: Iluminación*. Organización Internacional del Trabajo. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.
- [7] Yener A.K. 1999. *A method of obtaining visual comfort using fixed shading devices in rooms*. *Building and Environment* 34, 285–291.
- [8] Peñahora M.P. 2012. *Iluminación en el puesto de trabajo. Criterios para su evaluación y acondicionamiento*. Ministerio de Empleo y Seguridad Social. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Madrid (España).
- [9] *Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación. Oficinas*. CEI-IDAE. 2001. Madrid (España).
- [10] *Guía técnica para el aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios*. CEI-IDEA-CSCAE. 2005. Madrid (España).
- [11] Mark S. Rea, *The lighting handbook*. IESNA. 2000. 9ª edición. 1004 pp.
- [12] Wikipedia. 2018. *Deslumbramiento*. Recuperado el 25 Mayo de 2018. <https://es.wikipedia.org/wiki/Deslumbramiento>
- [13] Wikipedia. 2018. *Interfaz de usuario*. Recuperado el 28 Mayo de 2018. https://es.wikipedia.org/wiki/Interfaz_de_usuario
- [14] Rodríguez A. 2012. *Sistemas SCADA*. Ed. Marcombo: 3ª edición. Barcelona (España). 448 pp.
- [15] Pasamontes M, Álvarez J.D, Guzmán J.L, Berenguel M. 2009. *Hybrid modeling of a solar cooling system*. En IFAC International Conference on Analysis and Design of Hybrid System, Zaragoza (España). pp. 26-31.

- [16] Bosqued, A., R. Enríquez, J. A. Ferrer, M. R. Heras, C. San Juan, & S. Soutullo. 2008. *Informe final del SP1 relativo al SP2. estudios previos relativos al SP2-CIESOL*. Inf. téc., Unidad de Eficiencia Energética en la Edificación (UiE3) del CIEMAT.
- [17] Climatic. 2018. Ventanas. Recuperado el 14 de Mayo de 2018. <http://www.climalit.es/>
- [18] Pasamontes M., Guzmán J.L, Rodríguez F, Berenguel M, Camacho E.F. 2007. *Modelo híbrido de una planta de frío solar*. En Congreso Internacional de Aislamiento Térmico y Acústico - CIATEA, Oviedo (España).
- [19] Maestre J. M. 2015. *Domótica para ingenieros*. Ed. Paraninfo. Madrid (España). 359 pp.
- [20] Medina R. 2002. *LabVIEW User Manual*. National Instruments Corporation.
- [21] DeltaOhm. 2018. *LP PHOT 01*. Recuperado el 10 de Junio de 2018. http://www.deltaohm.com/ver2012/index.php?main_page=product_info&products_id=52&language=es
- [22] Imagen Digital. 2007. *Curva de eficiencia luminosa*. Recuperado el 10 de Junio de 2018. http://www.gusgm.com/curva_eficiencia_luminosa
- [23] National Instruments. 2005. *FP-AI-110 and cFP-AI-110 Operating Instructions*. Recuperado el 20 de Junio de 2018 <http://www.ni.com/pdf/manuals/373280b.pdf>
- [24] Schneider Electric. *A9C30115*. Recuperado el 20 de Junio de 2018 <https://www.schneider-electric.es/es/product/download-pdf/A9C30115>
- [25] National Instruments. 2005. *FP-DO-403 and cFP-DO-403 Operating Instructions*. Recuperado el 20 de Junio de 2018 <http://www.ni.com/pdf/manuals/373354b.pdf>
- [26] National Instruments. 2004. *FP-I-330 and cFP-DI-330 Operating Instructions*. Recuperado el 20 de Junio de 2018 <http://www.ni.com/pdf/manuals/323301c.pdf>
- [27] Wikipedia. 2018. *Hardware*. Recuperado el 1 de Julio de 2018. <https://es.wikipedia.org/wiki/Hardware>
- [28] Wikipedia. 2018. *Raspberry Pi*. Recuperado el 1 de Julio de 2018. https://es.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi
- [29] Raspberry Shop. 2017. *Raspberry Pi 3*. Recuperado el 1 de Julio de 2018. <https://www.raspberrypi.es/raspberrypi-3.php>