

2. INSTALACIÓN DE ALUMBRADO

2.1. MEMORIA

Si bien la persona que realice el proyecto de legalización definitivo deberá revisar que todos los apartados de este estudio estén conformes la legislación vigente en el momento de su realización, para la confección de este apartado se ha tenido en cuenta la siguiente normativa

- R.D. 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.
- Código técnico de la Edificación, DB SUA 4. Seguridad frente al riesgo causado por iluminación inadecuada.
- Código técnico de la Edificación, DB HE3. Eficiencia energética en las instalaciones de iluminación.
- Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (R.D. 842/2002)
- UNE 12464.1 Norma Europea sobre iluminación para interiores.
- R.D. 486/1997, de 4 de abril. Disposiciones mínimas de seguridad y salud en los centros de trabajo.

Los equipos de alumbrado estarán dotados de armaduras construidas en chapa de acero de primera calidad, electro-cincada, con pintura epoxi en polvo, de color blanco, conformada en frío con perfiladora, termo esmaltada, de rígido anclaje y reflector de aluminio anodizado, pulido y abrillantado. Cumplirán con lo establecido en la norma UNE-EN 60598 y las partes metálicas deberán tener conexión a la red de puesta a tierra.

2.1.1. ALUMBRADO EXTERIOR

Se limitará a alumbrar el exterior de la parcela.

2.1.2. ALUMBRADO INTERIOR

Es el destinado a permitir la realización de las tareas visuales en condiciones de normalidad. Los pasos que debemos seguir para diseñarlo son:

- 1.- Elegir el tipo de iluminación acorde con el proyecto
- 2.- Seleccionar la iluminancia media
- 3.- Elegir el conjunto lámpara-luminaria
- 4.- Determinar el coeficiente de utilización
- 5.- Calcular el factor de mantenimiento
- 6.- Calcular el número de luminarias requeridas
- 7.- Calcular el valor de eficiencia energética de la instalación
- 8.- Definir el sistema de control

1. Tipo de iluminación

a) En función de la distribución de las luminarias:

Iluminación general: Las luminarias se distribuyen de forma más o menos uniforme en el espacio a iluminar. Tiene la ventaja de su flexibilidad para redistribuir o modificar las zonas de trabajo. Sus inconvenientes son su baja eficiencia energética pues las zonas de trabajo secundarias tienen la misma iluminación que las secundarias y que con frecuencia se producen deslumbramientos.

Iluminación general localizada: Las luminarias se concentran sobre las áreas de trabajo. Las áreas contiguas se iluminan con la luz emitida por las luminarias de las zonas principales. Las ventajas son su mayor eficiencia energética y menor deslumbramiento. El inconveniente es su poca flexibilidad para realizar cambios de distribución de las áreas de trabajo.

b) En función de la modelización del espacio:

Iluminación ambiental; Mediante una luz indirecta se consigue una iluminación difusa, de baja intensidad que permite la realización de tareas visuales sencillas.

Iluminación focalizada; Mediante una luz directa colocada en el mobiliario o dirigido a él. Resulta ideal cuando se combina con iluminación ambiental permitiendo una gran versatilidad, alta calidad y gran eficiencia energética. Para evitar contrastes excesivos la iluminación ambiental debe ser la tercera parte de la iluminación focalizada.

Iluminación de acento; Con iluminación directa y direccional hacemos resaltar un objeto o una parte de un edificio. Para esto la iluminación en la zona debe ser 10 veces mayor que la circundante.

Iluminación decorativa; Mediante lámparas y luminarias que se convierten en protagonistas. Su finalidad es resaltar el propio sistema de iluminación a la vez que proporciona la iluminación ambiental. Cuando es muy brillante puede ocasionar deslumbramientos.

2. Iluminancia media

Según establece el R.D. 486/97, de 14 de abril, disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo, siempre que sea posible, los lugares de trabajo tendrán una iluminación natural, que deberá complementarse con una artificial cuando la primera, por sí sola, no garantice las condiciones de visibilidad adecuadas. De este modo los valores mínimos de luminosidad son los siguientes:

CONCEPTO	PARÁMETRO	MEDIDAS R.D.
Niveles mínimos de iluminación	Exigencias visuales de cada zona	Bajas exigencias visuales 100 lux
		Exigencias visuales moderadas 200 lux
		Exigencias visuales altas 500 lux
		Exigencias visuales muy altas 1000 lux
	Áreas o locales según su uso	Uso ocasional 50 lux
		Uso habitual 100 lux
	Vías de circulación según su uso	Uso ocasional 25 lux
		Uso habitual 100 lux

Estos niveles mínimos deberán duplicarse cuando existan riesgos de caídas, choques u otros accidentes, exista peligro para el trabajador durante la realización de alguna tarea o cuando el contraste de luminancias o de color entre el objeto a visualizar y el fondo sea muy débil. La distribución de los niveles de iluminación debe ser lo más uniforme posible, se evitarán los deslumbramientos y los sistemas que perjudiquen la percepción de contrastes.

Por otra parte, el DB-SUA 4 del Código Técnico establece una iluminancia mínima de 20 lux en zonas exteriores y de 100 lux en zonas interiores, excepto en aparcamientos interiores donde será de 50 lux medidos a nivel de suelo. Dada la parquedad de esta información resulta especialmente útil la Norma UNE 12464.1 Norma Europea sobre iluminación para interiores. Sus recomendaciones se resumen en dos aspectos confort visual y rendimiento de colores.

Dentro del confort visual engloba parámetros como la relación de luminancias entre tarea y entorno o el control del deslumbramiento. Los requisitos de iluminación se determinan por el cumplimiento de tres necesidades básicas:

- Confort visual; en el que los trabajadores tienen una sensación de bienestar.
- Prestaciones visuales; en el que los trabajadores son capaces de realizar sus tareas visuales, incluso en circunstancias difíciles y durante periodos largos.
- Seguridad.

Según esta norma UNE 12464.1, los parámetros fundamentales que debe cumplir la iluminación en función de la actividad realizada son los siguientes:

ESTABLECIMIENTOS EDUCATIVOS					
1. Jardines de infancia y guarderías					
Nº ref	Tipo de interior, tarea y actividad	E _m lux	UGR _L	R _a	Observaciones
1.1	Sala de juegos	300	19	80	
1.2	Guardería	300	19	80	
1.3	Sala de manualides	300	19	80	
2. Edificios Educativos					
2.1	Aulas, aulas de tutoría	300	19	80	La iluminación debería se controlable.
2.2	Aulas para clases nocturnas y/o adultos	500	19	80	
2.3	Sala de lectura	500	19	80	
2.4	Pizarra	500	19	80	En pizarra evitar reflexiones especulares.
2.5	Mesa de demostraciones	500	19	80	
2.6	Aulas de arte	500	19	80	
2.7	Aulas de arte en escuelas de arte	750	19	80	En salas de lectura 750 lux En salas de escuelas de arte T _{cp} >5.000 K
2.8	Aulas de dibujo técnico	750	16	80	
2.9	Aulas de prácticas y laboratorios	500	19	80	
2.10	Aulas de manualidades	500	19	80	
2.11	Talleres de enseñanza	500	19	80	
2.12	Aulas de prácticas de música	300	19	80	
2.13	Aulas de prácticas de informática	300	19	80	
2.14	Laboratorios de lenguas	300	19	80	
2.15	Aulas de preparación y talleres	500	22	80	
2.16	Halls de entrada	200	22	80	
2.17	Áreas de circulación, pasillos	100	25	80	
2.18	Escaleras	150	25	80	
2.19	Aulas comunes de estudio y de reunión	200	22	80	
2.20	Salas de profesores	300	19	80	
2.21	Biblioteca; estanterías	200	19	80	
2.22	Biblioteca; salas de lectura	500	19	80	
2.23	Almacenes de material de profesores	100	25	80	
2.24	Salas de deporte, gimnasios, piscinas	300	22	80	
2.25	Cantinas escolares	200	22	80	
2.26	Cocina	500	22	80	

3. Elegir el conjunto lámpara-luminaria

En este paso seleccionamos el tipo de lámpara y luminaria que se usará, teniendo en cuenta el tipo de proyecto a realizar y la iluminación requerida. Al seleccionar este conjunto también se deben especificar sus características fotométricas principales;
Flujo luminoso (lm), potencia eléctrica (w), eficacia (lm/w), diagrama polar de distribución luminosa, tabla de coeficientes de utilización.

En la elección del tipo de luminaria a utilizar en cada zona, nos guiaremos por las recomendaciones recogidas en los manuales de Luminotecnia, los cuales definen el tipo de luminaria en función de la altura del local a iluminar.

Altura del local	Tipo de luminaria
< 4 metros	Luminaria Extensiva
Entre 4 y 6 metros	Luminaria Semi-extensiva
Entre 6 y 10 metros	Luminaria Semi-intensiva
Mas de 10 metros	Luminaria Intensiva

Otro de los factores que hemos considerado al escoger la luminaria es el tipo de actividad que se va a desarrollar en el local a iluminar. Así se suelen elegir luminarias estancas para las dependencias interiores donde se desarrollan actividades industriales y luminarias abiertas en las oficinas.

4. Determinar el coeficiente de utilización

El coeficiente de utilización es la relación entre el flujo luminoso que incide en el plano de trabajo y el flujo luminoso suministrado por la luminaria. Es la cantidad de flujo luminoso efectivamente aprovechado en el plano de trabajo después de interactuar con las luminarias y las superficies del

local. Se determina a partir de las tablas suministradas por el fabricante considerando las reflectancias del techo, del suelo, de las paredes y el factor de forma del local. Este factor de forma se calcula aplicando la fórmula.

$$K = \frac{a \cdot b}{h(a + b)}$$

siendo: a = longitud en metros

b = ancho en metros.

h = altura en metros del punto luminoso al plano de trabajo

La altura del plano de trabajo se toma 0,75 m para trabajos sentados y 0,85 m para trabajos realizados de pie.

La reflectancia de una superficie es la razón entre el flujo luminoso reflejado por la superficie y el flujo que incide sobre ella, es decir, el porcentaje de la luz que refleja la superficie. Depende de su color, material y textura. Se obtiene con la ayuda de la tabla siguiente:

TONO	COLOR		SUPERFICIES		ACABADOS DE CONSTRUCCIÓN			
Muy claro	Blanco nuevo	88	Arce	43	Piedra blanca	18		
	Blanco viejo	76	Nogal	16	Cemento	27		
	Blanco azulado	76	Caoba	12	Hormigón	40		
	Crema	81	Pino	48	Mármol blanco	45		
	Azul	65	Madera clara	30-50	Vegetación	25		
	Miel	76	Madera oscura	10-25	Asfalto limpio	7		
	Gris	83			Adoquín	17		
	Azul verde	72			Grava	13		
					Ladrillo claro	30-50		
		Ladrillo oscuro			15-25			
Claro	Crema	79	ACABADOS METÁLICOS					
	Azul	55						
	Miel	70						
	Gris	73						
Mediano	Azul verde	54	Blanco polarizado	80				
	Amarillo	65	Aluminio pulido	75				
	Miel	63	Aluminio mate	75				
	Gris	61	Aluminio claro	63				
Oscuro	Azul	8						
	Amarillo	50						
	Café	10						
	Gris	25						
	Verde	7						
	Negro	3						

En caso de desconocerse las características de las paredes, suelo y techo se tomarán como valores de reflexión por defecto 0,5 para las paredes, 0,3 para el suelo y 0,7 para el techo.

5. Calcular el factor de mantenimiento

El factor de mantenimiento es la relación entre la iluminancia promedio en el plano de trabajo después de un periodo de uso determinado y la iluminancia promedio obtenida al empezar a usar la instalación. Se obtiene a partir de la expresión;

$$f = f_s \times f_l \times f_b$$

siendo; f_s = depreciación de la luminaria por la suciedad

f_l = depreciación del flujo luminoso de la lámpara

f_b = factor del balasto

Para facilitar el proceso se puede escoger el factor de mantenimiento de la tabla sugerida por la Comisión internacional de iluminación, a partir de la frecuencia de limpieza y de las condiciones ambientales:

Frecuencia de limpieza (años)	1				2			
Condiciones ambientales	Muy limpio	Limpio	Normal	Sucio	Muy limpio	Limpio	Normal	Sucio
Luminaria abierta	0.96	0.93	0.89	0.83	0.93	0.89	0.84	0.78
Reflector parte superior abierta	0.96	0.90	0.86	0.83	0.89	0.84	0.80	0.75
Reflector parte superior cerrada	0.94	0.89	0.81	0.72	0.88	0.80	0.69	0.59
Reflector cerrado	0.94	0.88	0.82	0.77	0.89	0.83	0.77	0.71
Luminarias a prueba de polvo	0.98	0.94	0.90	0.86	0.95	0.91	0.86	0.81
Luminarias de luz indirecta	0.91	0.86	0.81	0.74	0.86	0.77	0.66	0.57

6. Calcular el número de luminarias requeridas

El número total de luminarias requeridas lo obtenemos a partir de la expresión:

$$N = \frac{E \times S \times P}{\Phi \times n \times f}$$

siendo: N = Número de luminarias.

E = Iluminación nominal deseada.

S = Superficie del local.

Φ = Flujo luminoso total en lúmenes de las lámparas de la luminaria.

f = Factor de mantenimiento

n = Coeficiente de utilización.

P = factor de Planificación (1,10-1,25)

Después de calcular N, elegiremos el número de luminarias a emplear de acuerdo a su disposición en el local. Con este número calcularemos el flujo luminoso obtenido en el local.

7. Calcular el valor de eficiencia energética de la instalación y definir su sistema de control

El documento básico DB-HE 3, del Código Técnico de la Edificación, establece la eficiencia energética de las instalaciones de iluminación, que debe aplicarse a las instalaciones de iluminación interior en:

- edificios de nueva construcción;
- rehabilitación de edificios existentes con una superficie útil superior a 1000 m², donde se renueve más del 25% de la superficie iluminada;
- reformas de locales comerciales y de edificios de uso administrativo en los que se renueve la instalación de iluminación.

Además de los alumbrados de emergencia, se excluyen del ámbito de aplicación:

- edificios y monumentos con valor histórico o arquitectónico reconocido, cuando el cumplimiento de las exigencias de esta sección pudiese alterar de manera inaceptable su carácter o aspecto;
- construcciones provisionales con un plazo previsto de utilización igual o inferior a 2 años;
- instalaciones industriales, talleres y edificios agrícolas no residenciales;
- edificios independientes con una superficie útil total inferior a 50 m²;
- interiores de viviendas.

En estos casos se justificarán las soluciones adoptadas

1. Cálculo de la eficiencia energética de la instalación

Los valores de eficiencia energética límite en recintos interiores se establecen en la tabla siguiente:

ZONAS DE ACTIVIDAD DIFERENCIADA	VEEI LIMITE
Administrativo en general	3,0
Andenes de estaciones de transporte	3,0
Pabellones de exposición o ferias	3,0
Salas de diagnóstico	3,5
Aulas y laboratorios	3,5
Habitaciones de hospital	4,0
Recintos interiores no descritos en este listado	4,0
Zonas comunes	4,0
Almacenes, archivos, salas técnicas y cocinas	4,0
Aparcamientos	4,0
Espacios deportivos	4,0
Estaciones de transporte	5,0
Supermercados, hipermercados y grandes almacenes	5,0
Bibliotecas, muros y galerías de arte	5,0
Zonas comunes en edificios residenciales	6,0
Centros comerciales (excluidas tiendas)	6,0
Hostelería y restauración	8,0
Religioso en general	8,0
Salones de actos, auditorios y salas de usos múltiples y convenciones, salas de ocio o espectáculo, salas de reuniones y salas de conferencias	8,0
Tiendas y pequeño comercio	8,0
Habitaciones de hoteles, hostales, etc.	10,0
Locales con nivel de iluminación superior a 600 lux	2,5

El VEEI de la instalación viene dado en función de:
$$VEEI = \frac{P \times 100}{S \times E_m}$$

Siendo: P la potencia total instalada en lámparas más los equipos auxiliares [w].

S la superficie iluminada [m²]

E_m la iluminancia media horizontal mantenida.

La iluminancia media mantenida del local viene dada
$$E_m = \frac{F \times U \times R}{1.25 \times S}$$
 por;

Siendo: E_m la iluminancia media mantenida sobre el plano de trabajo [lux]

F el flujo luminoso entregado por las lámparas [lúmenes]

U el coeficiente de utilización.

R el coeficiente de mantenimiento de la instalación.

El coeficiente de utilización se obtiene de tablas en función del tipo de lámparas, de las características de reflexión de los cerramientos y de la geometría del local (viniendo esta determinada en función del factor de forma del local). El factor de forma del local viene dado por la expresión:

$$K = \frac{A \times L}{h \times (A + L)}$$

Donde A, L y h son el ancho, el largo y la altura al plano de trabajo respectivamente.

El valor de la potencia instalada en iluminación no debe superar los valores indicados en la tabla siguiente:

Uso del edificio	Potencia máxima instalada (W/m ²)
Administrativo	12
Aparcamiento	5
Comercial	15
Docente	15

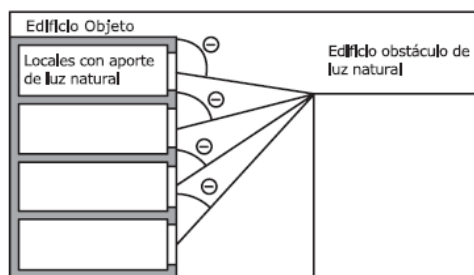
Hospitalario	15
Restauración	18
Auditorios, teatros, cines	15
Residencial Publico	12
Otros	10
Edificios con nivel de iluminación superior a 600 lux	25

Por lo tanto comenzaremos comprobando que la potencia instalada es inferior a la potencia límite sin más que dividir la potencia instalada entre la superficie del local. A continuación se obtiene la iluminancia media de acuerdo a la fórmula indicada. Introducimos este valor en la fórmula del cálculo de la eficiencia energética de la instalación y comprobamos que es menor que el valor requerido para la actividad.

2. Comprobación del sistema de control

El sistema de control debe ser tal que optimice el aprovechamiento de la luz natural para ello, las instalaciones de iluminación dispondrán, para cada zona, de un sistema de regulación y control con las siguientes condiciones:

- Toda zona dispondrá al menos de un sistema de encendido y apagado manual, cuando no disponga de otro sistema de control, no aceptándose los sistemas de encendido y apagado en cuadros eléctricos como único sistema de control. Las zonas de uso esporádico dispondrán de un control de encendido y apagado por sistema de detección de presencia o sistema de temporización;
- Se instalarán sistemas de aprovechamiento de la luz natural, que regulen el nivel de iluminación en función del aporte de luz natural, en todas las habitaciones de menos de 6 m. de profundidad y en las luminarias a menos de 5 metros de la ventana, y en todas las situadas bajo un lucernario, en los siguientes casos;



1. En las zonas con acristalamientos al exterior

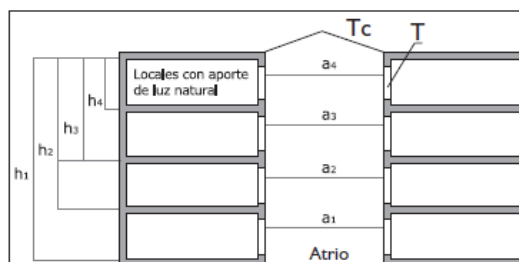
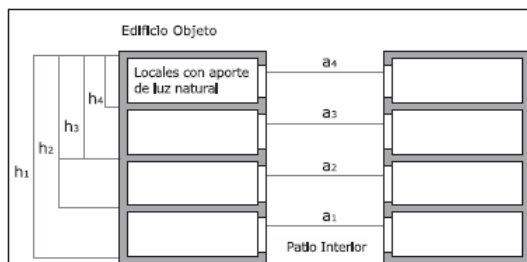
- Que el ángulo θ sea superior a 65° ($\theta > 65^\circ$), siendo θ el ángulo desde el punto medio del acristalamiento hasta la cota máxima del edificio obstáculo, medido en grados sexagesimales;
- Que se cumpla la expresión: $T(A_w/A) > 0,11$; siendo:

T = coeficiente de transmisión luminosa del vidrio
 A_w = área de acristalamiento de la ventana de la zona
 A = área total de las fachadas de la zona

2. En las zonas que cuenten con acristalamientos a patios o atrios cuando éstas cumplan simultáneamente las siguientes condiciones:

- En el caso de patios no cubiertos cuando estos tengan una anchura (a_i) superior a 2 veces la distancia (h_i), siendo h_i la distancia entre el suelo de la planta donde se encuentre la zona en estudio, y la cubierta del edificio; y la cubierta del edificio;

- En el caso de patios cubiertos por acristalamientos cuando su anchura (a_1) sea superior a $2/T_c$ veces la distancia (h_1), siendo h_1 la distancia entre la planta donde se encuentre el local en estudio y la cubierta del edificio, y siendo T_c el coeficiente de transmisión luminosa del vidrio de cerramiento del patio, expresado en tanto por uno.



- Que se cumpla la expresión $T(A_w/A) > 0,11$.

Quedan excluidas de cumplir las exigencias de los puntos 1 y 2 anteriores, las zonas comunes en edificios residenciales, habitaciones de hospital, habitaciones de hoteles, hostales, etc., tiendas y pequeño comercio.

2.1.3. ALUMBRADO DE EMERGENCIA Y SEÑALIZACIÓN

Es el destinado a asegurar la iluminación necesaria en caso de fallo del alumbrado normal. Deben contar con alumbrado de emergencia:

- Todos los lugares de trabajo
- Todo recinto cuya ocupación sea mayor de 100 personas
- Todo recinto de evacuación, de acuerdo al Anejo a del DB-SI
- Los aparcamientos cerrados o cubiertos cuya superficie construida exceda de 100 m^2 , incluidos los pasillos y las escaleras que conduzcan hasta el exterior o hasta las zonas generales del edificio;
- Los locales que alberguen equipos generales de las instalaciones de protección contra incendios y los de riesgo especial indicados en DB-SI
- Los aseos generales de planta en edificios de uso público
- Los lugares en los que se ubican cuadros de distribución o de accionamiento de la instalación de alumbrado de las zonas antes citadas
- Las señales de seguridad

Posición y características de las luminarias

1. Con el fin de proporcionar una iluminación adecuada las luminarias cumplirán las siguientes condiciones:

- se situarán al menos a 2 m por encima del nivel del suelo;
- se dispondrá una en cada puerta de salida y en posiciones en las que sea necesario destacar un peligro potencial o el emplazamiento de un equipo de seguridad. Como mínimo se dispondrán en los siguientes puntos:
 - en las puertas existentes en los recorridos de evacuación;
 - en las escaleras, de modo que cada tramo de escaleras reciba iluminación directa;
 - en cualquier otro cambio de nivel;
 - en los cambios de dirección y en las intersecciones de pasillos.

Características de la instalación

1. La instalación será fija, estará provista de fuente propia de energía y debe entrar automáticamente en funcionamiento al producirse un fallo de alimentación en la instalación de alumbrado normal en las zonas cubiertas por el alumbrado de emergencia. Se considera como fallo de alimentación el descenso de la tensión de alimentación por debajo del 70% de su valor nominal.

2. El alumbrado de emergencia de las vías de evacuación debe alcanzar al menos el 50% del nivel de iluminación requerido al cabo de los 5 segundos y el 100% a los 60 segundos.

3. La instalación cumplirá las condiciones de servicio que se indican a continuación durante una hora, como mínimo, a partir del instante en que tenga lugar el fallo:

- a) en las vías de evacuación cuya anchura no exceda de 2 m, la iluminancia horizontal en el suelo debe ser, como mínimo, 1 lux a lo largo del eje central y 0,5 lux en la banda central que comprende al menos la mitad de la anchura de la vía. Las vías de evacuación con anchura superior a 2 m pueden ser tratadas como varias bandas de 2 m de anchura, como máximo;
- b) en los puntos en los que estén situados los equipos de seguridad, las instalaciones de protección contra incendios de utilización manual y los cuadros de distribución del alumbrado, la iluminancia horizontal será de 5 lux, como mínimo;
- c) a lo largo de la línea central de una vía de evacuación, la relación entre la iluminancia máxima y la mínima no debe ser mayor que 40:1;
- d) los niveles de iluminación establecidos deben obtenerse considerando nulo el factor de reflexión sobre paredes y techos y contemplando un factor de mantenimiento que englobe la reducción del rendimiento luminoso debido a la suciedad de las luminarias y al envejecimiento de las lámparas;
- e) con el fin de identificar los colores de seguridad de las señales, el valor mínimo del índice de rendimiento cromático Ra de las lámparas será 40.

Iluminación de las señales de seguridad

La iluminación de las señales de evacuación indicativas de las salidas y de las señales indicativas de los medios manuales de protección contra incendios y de los de primeros auxilios, deben cumplir los siguientes requisitos:

- a) la luminancia de cualquier área de color de seguridad de la señal debe ser al menos de 2 cd/m² en todas las direcciones de visión importantes;
- b) la relación de la luminancia máxima a la mínima dentro del color blanco o de seguridad no debe ser mayor de 10:1, debiéndose evitar variaciones importantes entre puntos adyacentes;
- c) la relación entre la luminancia blanca, y la luminancia color >10, no será menor que 5:1 ni mayor que 15:1.
- d) las señales de seguridad deben estar iluminadas al menos al 50% de la iluminancia requerida, al cabo de 5 s, y al 100% al cabo de 60 s.

Proceso de cálculo:

El proceso de cálculo es similar al ya indicado para la iluminación interior. En este caso el plano de trabajo está a nivel del suelo.

Para las dependencias grandes el cálculo del número de luminarias y la iluminación resultante se hace con el programa DIALux. En caso de desconocerse las características de las paredes, suelo y techo se tomarán como valores de reflexión por defecto 0,5 para las paredes, 0,3 para el suelo y 0,7 para el techo.

Inicialmente para saber el número mínimo de luminarias hacemos un cálculo aproximado empleando la fórmula:

$$N = \frac{E \times S \times P}{\Phi \times n \times f}$$

Siendo: N = Número de luminarias.

E = Iluminación nominal deseada (1- 2 lux.)

S = Superficie del local.

P = factor de Planificación (1,10-1,25)

Φ = Flujo luminoso total en lúmenes de las lámparas de la luminaria.

f = Factor de mantenimiento

n = Coeficiente de utilización.

Una vez obtenido el número mínimo empezamos a ir las colocando en los lugares que tienen obligación de disponerlas (aseos, salidas, cuadros eléctricos, equipos contra incendios, etc.). Completaremos el sistema con las necesarias para iluminar adecuadamente las vías de evacuación.

2.1.4. SOLUCIÓN ADOPTADA

Para conseguir la iluminación adecuada a este edificio se emplean:

- **Alumbrado interior**

Considerando los valores de iluminación recomendada para la actividad docente por la norma UNE 12464.1, se han dispuesto luminarias del tipo led o similar a fin de conseguir la máxima eficiencia energética. Las luminarias utilizadas se indican en el cuadro siguiente:

CARACTERÍSTICAS LUMINARIAS				
DESCRIPCION LUMINARIA	Pot. Ud (w)	Pot. Absorb. (w)	Lúmenes	REFERENCIA
PHILIPS PACIFIC LED CERRADA	-	50.2	4.918	WT 460C L1600 LED
OSRAM NEPTUNE T-5 POLY 1x49 W	49	53	4.310	NEPTUNE T5 POLY 1x49
PHILIPS SMARTFORM TBS 461 4xTL5	52	59	4.600	TBS 461 4xTL5-13W

Para los talleres se emplean luminarias con formato alargado en carcasa cerrada, modelo Philips Pacific, situadas a 4.5 m. de altura para favorecer la uniformidad luminosa. Estos recintos llevarán un sistema de medición y control en función de la luz exterior.

Para los almacenes, al ser recintos de muy baja utilización, se proyectan luminarias tipo fluorescente con balasto electrónico tipo T5. Si bien su rendimiento y duración es inferior a las de tipo led la poca utilización de los almacenes no justifica la inversión en lámparas led.

Para los aseos, vestíbulo y zona de entrada se emplean luminarias cuadradas de 0.6 x 0,6 m. que se integran perfectamente en el falso techo de estos locales. Son de tipo led con cuatro tubos TL5. Las luminarias de los aseos disponen de detector de presencia y de luminosidad de modo que su encendido y apagado son automáticos.

Los resultados de la iluminación proyectada se indican en el anejo de cálculos. Un resumen se indica en la tabla siguiente:

Local	Actividad	Iluminación recomendada	Iluminación obtenida		
			media	máxima	mínima
Almacén Taller 1	Docente	150	205	246	147
Almacén Taller 2	Docente	150	205	246	147
Aseos Masculinos	Docente	250	261	586	70
Aseos Femeninos	Docente	250	261	586	70
Vestíbulo	Docente	200	360	442	221
Acceso	Docente	200	319	405	208
Almacén General	Docente	150	228	286	154
Taller 1	Docente	400	404	506	229
Taller 2	Docente	400	425	525	216

- **Alumbrado de emergencia**

De acuerdo con las características, el número de unidades será de 13, situadas junto a los cuadros eléctricos, sobre los extintores y para la señalización de la salida en dependencias tales como aseos, almacenes, talleres, vestíbulos y accesos, en las paredes o techos según se indica en los planos. En los talleres se colocaran repartidas entre las tres fases de alimentación. Se emplearán los modelos B55 de Legrand con fluorescente lineal C3 en dos formatos 6 w y 11 w. Todas tienen grado de protección IP-55, IK 07, Clase II 0, alimentación a 230 V, testigo de carga y baterías Ni Cd.

CARACTERÍSTICAS LUMINARIAS EMERGENCIA				
DESCRIPCION LUMINARIA	Pot. Ud (w)	Pot. Absorb. (w)	Lúmenes	REFERENCIA
LEGRAND C3 NiCd 11 w	11	11	450	661404
LEGRAND C3 NiCd 6 w	6	6	170	661402

2.2. CÁLCULOS

2.2.1. INTRODUCCIÓN

El cálculo de la iluminación se realiza aplicando el programa DIALux, del Instituto Alemán de Luminotecnia Aplicada (Deutsches Institut für angewandte Lichttechnik) DIAL. Su formato de ULD para luminarias comprende la geometría 3D de la luminaria, la distribución de intensidad luminosa y la descripción del artículo. Los paquetes Plugin de los fabricantes de luminarias comprenden datos de planificación adicionales, como el factor de mantenimiento o los valores UGR. Además nos permite trabajar con las luminarias de la mayor parte de los fabricantes.

Por otra parte, todas las consideraciones referentes a la iluminación requerida en cada dependencia, la altura del plano de trabajo, el tipo de luminaria, el tipo de lámpara, así como los diversos coeficientes utilizados en el cálculo los obtenemos de las recomendaciones de las normativas existentes en "Luminotecnia".

2.2.2. OBJETO

El objeto del presente anexo es el estudio para su ejecución y puesta en servicio de la instalación de luminotecnia en todas las dependencias de las Aulas-Taller para mecánica objeto de este proyecto.

2.2.3. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

La instalación de alumbrado de las dependencias de este taller de mecánica será en base a alumbrado tipo led en todas las estancias a excepción de los almacenes donde se emplean tubos cerrados con balasto electrónico tipo T5. Si bien en estos la luminaria admite su sencilla transformación a tipo led. En los baños las luminarias incorporan un detector de presencia por infrarrojos permitiendo el encendido y apagado automáticos.

En la zona de taller y en los almacenes como la altura del local es de 4,5 m. se emplean luminarias suspendidas colocadas a 4,0 m. del suelo. En las demás estancias las luminarias van empotradas en el falso techo.

La descripción completa del sistema se encuentra en la Memoria. Los datos fundamentales se reflejan en el cuadro siguiente:

ALUMBRADO	Superficie (m²)	Potencia (w)	Lúmenes	Iluminación (lux)
Interior	616,10	3.471	321.170	290
Exterior	-	121	9.900	-
Emergencia	616,10	114	3.890	-

Los cálculos de los niveles de iluminación obtenida, los índices de deslumbramiento UGR, la eficiencia energética de la instalación, el sistema de control del alumbrado principal, así como el alumbrado de emergencia se calculan a continuación. La disposición de las luminarias figura en los planos.

2.2.4. SUPERFICIES Y DEPENDENCIAS

Las dimensiones de las dependencias a iluminar, se indican en el cuadro adjunto. En el caso de una zona irregular se considera una longitud y anchura medias. Lo mismo si esto ocurre con la altura, se considera la altura media.

A partir de las dimensiones y considerando una altura del punto de trabajo de 0,75 m calculamos el factor de forma para cada estancia.

SUPERFICIES Y DEPENDENCIAS					
ZONA	Longitud m)	Anchura (m)	Altura (m)	Superficie	Factor forma
Almacén Taller 1	3,51	3,28	4,5	11,51	0,5
Almacén Taller 2	3,51	3,28	4,5	11,51	0,5
Aseos Masculinos	3,51	5,5	3	19,31	1,0
Aseos Femeninos	3,51	5,5	3	19,31	1,0
Vestíbulo	7,18	2,7	3	19,39	0,9
Acceso	2,81	4,64	3	13,04	0,8
Almacén General	4,21	4,64	4,5	19,53	0,6
Taller 1	12,1	16,6	4,5	200,86	1,9
Taller 2	18,1	16,6	4,5	300,46	2,3
Todo local	38,45	17,2	4	661,34	3,7

2.2.5. ALUMBRADO INTERIOR

Como se ha comentado en la memoria los parámetros fundamentales que debe cumplir la instalación de iluminación los obtenemos de la norma UNE 12464.1, en función de la actividad realizada.

Para nuestro caso consideramos la actividad docente de aulas para taller de mecánica. Con lo que la iluminación recomendada para cada área queda como sigue:

Local	Actividad	Iluminación recomendada	UGR
Almacén Taller 1	Docente	150	25
Almacén Taller 2	Docente	150	25
Aseos Masculinos	Docente	250	22
Aseos Femeninos	Docente	250	22
Vestíbulo	Docente	200	22
Acceso	Docente	200	22
Almacén General	Docente	150	25
Taller 1	Docente	400	19
Taller 2	Docente	400	19

2.2.6. PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO

El diseño y cálculo de la iluminación interior se realiza por separado para aquellas dependencias que constituyen el local.

Como ya se ha mencionado anteriormente el cálculo de la iluminación se lleva a cabo mediante el programa DIALux. El programa, en su aspecto básico, calcula iluminancias en una serie de puntos distribuidos en una superficie. Se toman unos puntos a escoger por el proyectista, situados en nudos de retícula, y se procede a situar la zona a estudiar con respecto a unos ejes cartesianos, que sirven de referencia para los distintos puntos de luz. La orientación azimutal de los mismos se indicará a partir del eje de las X, y en sentido contrario a las agujas del reloj. Los datos que tenemos que suministrarle para que realice el cálculo son;

- Dimensiones del local a iluminar; longitud, anchura y altura

- Altura del plano de trabajo; tomaremos un valor constante de 0,85 m., excepto para la iluminación de emergencia que será a nivel de suelo.
- Factores de reflexión de la pared, suelo y techo.
- Nivel de iluminación requerido
- Tipo de luminaria escogida de entre las que hay en el mercado y existen datos para el programa de cálculo
- Factor de mantenimiento de la luminaria.

Las dimensiones del local las tomaremos del cuadro anterior de superficies. Los valores de reflexión de la pared, suelo y techo varían según su color y el material en que esté fabricado. En nuestro caso tomamos para el taller; 30% para el suelo, 70 % para el techo y 60 % para las paredes, para los baños; 50% para el suelo, 70 % para el techo y 70 % para las paredes y para el vestíbulo y el acceso; 50% para el suelo, 70 % para el techo y 60 % para las paredes.

El nivel de iluminación elegido será el indicado en el cuadro anterior.

Como la altura del local está entre 3 y 4,5 m. elegiremos luminarias extensivas. El factor de forma, para cada zona o área, se ha indicado en la tabla anterior. En función de este valor y el tipo de luminaria definiremos el coeficiente de utilización. Este coeficiente sólo lo necesitaremos para el cálculo aproximado ya que el programa Dialux ya lo calcula en función de los datos de la superficie y altura del local y la luminaria que hayamos elegido.

El factor de mantenimiento para un local limpio donde empleamos luminarias cerradas con reflector con una frecuencia de limpieza anual es, aplicando la tabla sugerida por la Comisión internacional de iluminación indicada en la Memoria, es de 0,88.

2.2.7. LUMINARIAS UTILIZADAS

En nuestro caso las luminarias empleadas son todas del fabricante Philips. Sus características principales son las siguientes:

CARACTERISTICAS LUMINARIAS				
DESCRIPCION LUMINARIA	Pot. Ud (w)	Pot. Absorb. (w)	Lúmenes	REFERENCIA
PHILIPS PACIFIC LED CERRADA	-	50.2	4.918	WT 460C L1600 LED
OSRAM NEPTUNE T-5 POLY 1x49 W	49	53	4.310	NEPTUNE T5 POLY 1x49
PHILIPS SMARTFORM TBS 461 4xTL5	52	59	4.600	TBS 461 4xTL5-13W

2.2.8. CÁLCULO PREVIO

Antes de realizar el cálculo definitivo con el programa DIALux, hacemos un cálculo aproximado para tener una idea del número de luminarias necesarias para cada dependencia. Este cálculo se hace a partir de las fórmulas indicadas en la memoria, a las que se les ha añadido un factor de planificación para compensar las posibles variaciones en los índices de reflexión de las paredes techo y suelo por modificaciones o cambios. Este coeficiente se toma en 1,15

$$N = \frac{E \times S \times P}{\Phi \times n \times f}$$

Siendo: N = Número de luminarias.

E = Iluminación nominal deseada.

A = Superficie del local.

P = Factor de planificación

Φ = Flujo luminoso total en lúmenes de las lámparas de la luminaria.

f = Factor de mantenimiento

n = Coeficiente de utilización.

Después de calcular N, elegiremos el número de luminarias a emplear de acuerdo a su disposición en el local. Con este número calcularemos el flujo luminoso obtenido en cada dependencia.

Flujo luminoso en la dependencia:

$$\Phi = \frac{E \times S \times P}{N \times n \times f}$$

Siendo: N = Número de luminancias.

E = Iluminación nominal.

A = Superficie útil del local.

P = Factor de planificación.

Φ = Flujo luminoso total en lúmenes de las lámparas.

f = Factor de mantenimiento

n = Coeficiente de utilización.

Como se ha comentado el Coeficiente de utilización es un valor que depende del tipo de luminaria, del grado de reflexión de las paredes, techo y suelo, y del factor de forma del local K. Viene indicado en tablas o gráficos por los fabricantes para sus modelos de luminarias. No obstante como nosotros haremos, a continuación, un cálculo más exacto con el programa DIALux, tomaremos un valor medio.

Los resultados obtenidos en una primera aproximación se indican en la tabla siguiente:

Zona	Elemento	Nº	Flujo lum. (lum)	Superf. (m ²)	Coef. Utiliz	Fact. Mto	Factor Planif.	Ilumin. lux
Almacén Taller 1	Tubo cerrado T5 49 w	2	4.310	11,51	0,5	0,8	1,15	260
Almacén Taller 2	Tubo cerrado T5 49 w	2	4.310	11,51	0,5	0,8	1,15	260
Aseos Masculinos	Plafón cuadrado TBS 4xTL5	2	4.600	19,31	0,7	0,9	1,15	261
Aseos Femeninos	Plafón cuadrado TBS 4xTL5	2	4.600	19,31	0,7	0,9	1,15	261
Vestíbulo	Plafón cuadrado TBS 4xTL5	3	4.600	19,39	0,75	0,9	1,15	418
Acceso	Plafón cuadrado TBS 4xTL5	3	4.600	13,04	0,75	0,9	1,15	414
Almacén General	Tubo cerrado T5 49 w	3	4.310	19,53	0,5	0,8	1,15	230
Taller 1	Tubo led WT 460 CL 1600	20	4.900	200,86	1	0,9	1,15	382
Taller 2	Tubo led WT 460 CL 1600	30	4.900	300,46	1	0,9	1,15	383

2.2.9. RESULTADOS OBTENIDOS

Las disposiciones y tipos de equipos de alumbrado interior se reflejan en los planos y en el anexo; “Cálculos de la iluminación”.

2.2.10. EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LAS INSTALACIONES DE ILUMINACIÓN

Justificamos el cumplimiento del DB-HE 3 “Eficiencia energética en las instalaciones de iluminación”. En nuestro caso analizaremos la zona docente en su conjunto.

Al tratarse de un uso docente, de acuerdo con las tablas indicadas en la memoria, el límite de potencia será de 15 W/m² y el VEEI límite será de 3,5 para la zona de taller y de 4 para las zonas comunes (aseos, distribuidor, vestíbulo).

Por lo tanto la potencia total máxima que se puede instalar será de: $P = 15 \times 661 = 9.915 \text{ w}$

Las luminarias instaladas, los lúmenes y las potencias son las siguientes;

CUADRO POTENCIAS ALUMBRADO						
ZONA	DESCRIPCIÓN LUMINARIA	Nº	Pot absor.	Lúm ud.	Pot. Total	Lúmenes
Almacén Taller 1	Tubo cerrado T5 49 w	2	53	4.310	106	8.620
Almacén Taller 2	Tubo cerrado T5 49 w	2	53	4.310	106	8.620
Aseos Masculinos	Plafón cuadrado TBS 4xTL5	2	59	4.600	118	9.200
Aseos Femeninos	Plafón cuadrado TBS 4xTL5	2	59	4.600	118	9.200
Vestíbulo	Plafón cuadrado TBS 4xTL5	3	59	4.600	177	13.800
Acceso	Plafón cuadrado TBS 4xTL5	3	59	4.600	177	13.800
Almacén General	Tubo cerrado T5 49 w	3	53	4.310	159	12.930
Taller 1	Tubo led WT 460 CL 1600	20	50,2	4.900	1.004	98.000
Taller 2	Tubo led WT 460 CL 1600	30	50,2	4.900	1.506	147.000
POTENCIA TOTAL (w)				41.130	3.471	321.170

Por lo tanto la potencia máxima instalada 3.472 w es inferior a la admisible 9.915 w.

En estas condiciones:

- Plano de trabajo a 0,75 m del suelo, A = 17,2 m, L = 38.45m: Factor de forma; 4,3
- Coeficiente de utilización para una reflexión de paredes del 60 % y del techo del 70%; 0,75
- Rendimiento estimado: 0,95
- Flujo luminoso de las lámparas: 321.170 lum.

Aplicando la fórmula;

$$E_m = \frac{F \times U \times R}{1.25 \times S}$$

Obtenemos una Iluminancia media; 293 lux

Como el VEEI de la instalación viene dado por: $VEEI = \frac{P \times 100}{S \times E_m}$

Sustituyendo valores tenemos; VEEI = 1,74 menor que 3,5 valor exigido para locales docentes

Comprobación del sistema de control

No hay obstáculos o edificios en las proximidades de las fachadas del edificio a construir por lo que deberá disponerse de un sistema de control y regulación de la iluminación. Para ello:

- Toda zona dispondrá de un sistema de encendido y apagado manual
- En los servicios el sistema de encendido y apagado será automático mediante detectores de presencia.
- En los talleres se dispondrán sistemas de encendido y apagado automáticos en función de la luminosidad procedente del exterior.

2.2.11. ALUMBRADO DE SEÑALIZACIÓN Y EMERGENCIA

Colocaremos señalización en todas las salidas de planta, de recinto, de edificio, así como en los recorridos de evacuación. Todos los locales que alberguen equipos generales de las instalaciones de protección contra incendios y los cuadros eléctricos, también estarán dotados de alumbrado de emergencia. Para cumplir la ordenanza de trabajo garantiremos que estas luminarias de emergencia son capaces de suministrar 5 lux durante una hora como mínimo.

Los dispositivos de alumbrado de emergencia se alimentan por sus propias fuentes de energía y son de encendido automático, entrando en funcionamiento automáticamente cuando la tensión baje a menos del 70% de su valor nominal.

Se ha considerado una iluminación mínima en las zonas de evacuación de 1 lux.

2.2.12. PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO

El proceso de cálculo es similar al ya indicado para la iluminación interior. En este caso el plano de trabajo está a nivel del suelo.

Para las dependencias grandes el cálculo del número de luminarias y la iluminación resultante se hace con el programa DIALux. En caso de desconocerse las características de las paredes, suelo y techo se tomarán como valores de reflexión por defecto 0,6 para las paredes, 0,3 para el suelo y 0,7 para el techo.

2.2.13. LUMINARIAS UTILIZADAS

En nuestro caso las luminarias empleadas son todas del fabricante Legrand. Sus características principales son las siguientes:

CARACTERISTICAS LUMINARIAS EMERGENCIA				
DESCRIPCIÓN LUMINARIA	Pot. Ud	Pot. absorbida	Lúmenes	REFERENCIA
LEGRAND C3 NiCd 11 w	11	11	450	661404
LEGRAND C3 NiCd 6 w	6	6	170	661402

CÁLCULO PREVIO

El cálculo aproximado del número necesario de luminarias de emergencia para los dos talleres se realiza con la formula explicada en la memoria:

$$N = \frac{E \times S \times P}{\Phi \times n \times f}$$

Siendo: N = Número de luminarias.

E = Iluminación media nominal deseada= 2 lux.

S = Superficie del local.

P = Factor de planificación = 1,15

Φ = Flujo luminoso total en lúmenes de las lámparas de la luminaria.

f = Factor de mantenimiento

n = Coeficiente de utilización

Siendo los datos:

Iluminación media (lux)	Superficie (m ²)	Factor de planificación	Flujo luminoso Lámparas (lum)	Coeficiente de utilización	Factor de mantenimiento
2	200,8 + 300,5	1,15	635	0,6	0,89

Obtenemos:

$$N = \frac{2 \times 501 \times 1,15}{635 \times 0,6 \times 0,89}$$

Obtenemos; 3,4 Valor mínimo, que seguro superaremos.

Una vez obtenido el número mínimo empezaremos colocando las luces de emergencia en los lugares que tienen obligación legal de disponerlas (salidas, cuadros eléctricos, equipos contraincendios, etc.). Completaremos el sistema con las necesarias para iluminar adecuadamente las vías de evacuación.

2.2.14. RESULTADOS OBTENIDOS

Considerando todos los aspectos explicados anteriormente, las luminarias empleadas son las que figuran en la tabla siguiente:

LOCAL	Cant	Lúmenes	Superf. (m ²)	Autonom.	Batería	Pot. (w)	Pot Tot. (w)	Fabric.	Modelo
Almacén Taller 1	1	170	11,51	1 hora	NiCd	6	6	Legrand	661402
Almacén Taller 2	1	170	11,51	1 hora	NiCd	6	6	Legrand	661402
Aseos Masculinos	1	170	19,31	1 hora	NiCd	6	6	Legrand	661402
Aseos Femeninos	1	170	19,31	1 hora	NiCd	6	6	Legrand	661402
Vestíbulo	2	170	19,39	1 hora	NiCd	6	6	Legrand	661402
Acceso	1	170	13,04	1 hora	NiCd	6	6	Legrand	661402
Almacén General	1	170	19,53	1 hora	NiCd	6	6	Legrand	661402
Taller 1	3	450	200,86	1 hora	NiCd	11	33	Legrand	661404
Taller 2	3	450	300,46	1 hora	NiCd	11	33	Legrand	661404
POTENCIA TOTAL (w)						114			

Estas mismas luminarias se aprovechan para colocar en las columnas donde van los extintores y los cuadros eléctricos.

PUNTO DE SEGURIDAD	Cant	Lúmenes	Superf.	Autonom.	Batería	Pot. (w)	Pot. Tot (w)	Fabric.	Modelo
Extintores Taller	6	450	-	1 hora	NiCd	11	0	Legrand	661404
Extintor vestíbulo	1	170	-	1 hora	NiCd	6	0	Legrand	661402
POTENCIA TOTAL							Incluida en el pto. anterior		

Para la zona taller se considera la colaboración de las luces de emergencia del cuadro y de los extintores.

Las disposiciones y tipos de equipos de alumbrado de emergencia se reflejan en los planos y en el anexo; "Cálculos de la iluminación".