

ANEXO 17

CALCULO ILUMINACIÓN EN LUGARES DE TRABAJO

**PROYECTO GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS
ZONA METROPOLITANA DE LA PROVINCIA DE MENDOZA**

2017

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	2
2. MARCO NORMATIVO APLICADO	2
3. CALCULO DE ILUMINACIÓN	3
3.1 MÉTODO DE CÁLCULO	3
3.2 PLANTA DE SEPARACIÓN	4
3.2.1 Análisis del Proyecto	4
3.2.2 Parámetros del local.....	5
3.2.3 Selección de Iluminancia media	7
3.2.4 Selección de Sistema de iluminación	7
3.2.5 Determinación de la altura de suspensión de las luminarias.....	8
3.2.6 Determinación de índice de cavidad del local (k)	8
3.2.7 Determinación Coeficiente de Utilización (Cu)	9
3.2.8 Determinación del Factor de Mantenimiento (FM).....	10
3.2.9 Cálculo del flujo luminoso necesario.....	11
3.2.10 Cálculo de luminarias requeridas.....	12
3.2.11 Emplazamiento de luminarias.....	13
3.2.12 Cálculo del Flujo Luminoso real (ϕ real) e iluminancia promedio real (Eprom)	16
3.2.13 Cálculo de Eficiencia Energética.....	17
3.3 GALPÓN DE MANTENIMIENTO.....	18
3.3.1 Análisis del Proyecto	18
3.3.2 Parámetros del local.....	19
3.3.3 Selección de Iluminancia media	19
3.3.4 Selección de Sistema de iluminación	19
3.3.5 Determinación de la altura de suspensión de las luminarias.....	20
3.3.6 Determinación de índice de cavidad del local (k)	20
3.3.7 Determinación Coeficiente de Utilización (Cu)	20
3.3.8 Determinación del Factor de Mantenimiento (FM).....	21
3.3.9 Cálculo del flujo luminoso necesario.....	21
3.3.10 Cálculo de luminarias requeridas.....	22
3.3.11 Emplazamiento de luminarias.....	22
3.3.12 Cálculo del Flujo Luminoso real (ϕ real) e iluminancia promedio real (Eprom)	24
3.3.13 Cálculo de Eficiencia Energética.....	25
4. CONCLUSIÓN GENERAL.....	25

ANEXO 17

Cálculo Iluminación en lugares de trabajo

1. INTRODUCCIÓN

En el presente documento se desarrolla la *Memoria de Cálculo de Iluminación* para la Planta de Separación de Residuos y Galpón de Mantenimiento del Centro Ambiental El Borbollón, a los efectos de verificar que en los sitios de trabajo, se cumple con los estándares de iluminación establecidos en la normativa vigente.

2. MARCO NORMATIVO APLICADO

Se ha tomado como base para el desarrollo de la presente memoria las recomendaciones para la correcta iluminación en los lugares de trabajo en recintos industriales, señaladas en la Ley Nº 19.587 y sus Decretos Reglamentarios y el Código de Edificación de la Municipalidad de Las Heras.

En el Decreto Nº 911/96, reglamentario de la Ley Nº 19.587 se establecen los siguientes parámetros:

TABLA 1: Valores de Iluminancias

Tabla 1 – Valores de Iluminancias		
	Tareas	Iluminancia (lux)
ARTÍCULO 135: Valores de iluminancias. Intensidad mínima de iluminación sobre el plano de trabajo	a) Tareas que exigen máximo esfuerzo visual	1.500
	Trabajos de precisión máxima que requieren: <ul style="list-style-type: none"> Finísima distinción de detalles. Condiciones de contraste malas. Largos espacios de tiempo, y tales como montajes extrafinos, inspección de colores y otros. 	
	b) Tareas que exigen gran esfuerzo visual	700
	Trabajos de precisión que requieren: <ul style="list-style-type: none"> Fina distinción de detalles. Grado mediano de contraste. Largos espacios de tiempo, tales como trabajo a gran velocidad, acabado fino, pintura extrafina, lectura e interpretación de planos. 	
	c) Tareas que exigen bastante esfuerzo visual	400

Tabla 1 – Valores de Iluminancias

	Trabajos prolongados que requieren: <ul style="list-style-type: none"> • Fina distinción de detalles. • Grado moderado de contraste. • Largos espacios de tiempo, tales como trabajo corrido en banco de taller y montaje, trabajo en maquinarias, inspección y montaje. 	
	d) Tareas que exigen esfuerzo visual corriente	200
	Trabajos que requieren: <ul style="list-style-type: none"> • Distinción moderada de detalle. • Grado normal de contraste. • Espacio de tiempo intermitentes, tales como trabajo en máquinas automáticas, mecánica automotriz, doblado de hierros. 	
	e) Tareas que exigen poco esfuerzo visual	100
	Tales como sala de calderas, depósito de materiales, cuartos de aseo, escaleras.	
	f) Tareas que no exigen esfuerzo visual	50
	Tales como tránsito por vestíbulos y pasillos, carga y descarga de elementos no peligrosos.	

FUENTE: Ley de Higiene y Seguridad Nº 19.587 y Decreto Nº 911/96

En el Código de Edificación de la Municipalidad de Las Heras, se establece lo siguiente:

- Punto II.2.6: LOCALES INDUSTRIALES, indica que los locales industriales deberán cumplir con las disposiciones específicas de este tipo de construcción, las que tendrán relación con los materiales que se manipulen, procesos de fabricación o industrialización y/o por el depósito y acopio de las materias primas o productos ya elaborados.
- Punto II.2.6.11. PRECAUCIONES CONTRA ACCIDENTES, en el inciso a) Iluminación, establece que la iluminación de los locales (natural u/o artificial), deberá ajustarse a lo establecido en la ley de seguridad industrial para cada actividad, a los efectos de permitir a los operarios distinguir con nitidez las máquinas y los órganos de transmisión con los que pudieran hallarse en contacto.

3. CALCULO DE ILUMINACIÓN

3.1 MÉTODO DE CÁLCULO

Se realizará el cálculo del sistema de iluminación para la Planta de Separación y para el Galpón de Mantenimiento, teniendo en cuenta los siguientes pasos:

- Análisis del Proyecto
- Definición de parámetros del local
- Selección de Iluminancia media
- Selección del Sistema de Iluminación
- Determinación de la altura de suspensión
- Determinación del índice de cavidad de local (K)
- Determinación del coeficiente de utilización (CU)
- Determinación del factor de mantenimiento (FM)
- Calculo del flujo luminoso necesario (ϕ_{tot})
- Calculo del número de luminarias requeridas
- Emplazamiento de las luminarias
- Distancia de separación de las luminarias
- Cálculo del flujo luminoso real
- Cálculo de Eficiencia Energética

3.2 PLANTA DE SEPARACIÓN

3.2.1 Análisis del Proyecto

A los efectos de los cálculos de iluminación en la Planta de Separación de Residuos del Centro Ambiental El Borbollón, se divide el espacio interior en tres sectores: 1) Sector de Descarga de Residuos, 2) Sector de Separación de Residuos (cinta de separación), 3) Sector de Procesamiento de material separado. La división del sector de descarga de residuos, está materializada por un muro divisorio, en tanto la división entre el sector de separación y sector de procesamiento, no tiene límite físico, pero presenta diferencias en la altura del plano de trabajo, ya que la cinta de separación se encuentra sobre una plataforma elevada 2,50 metros por encima del nivel de suelo terminado. Se agrega croquis ilustrativo, **Figura 1**, de los sectores mencionados con sus dimensiones.

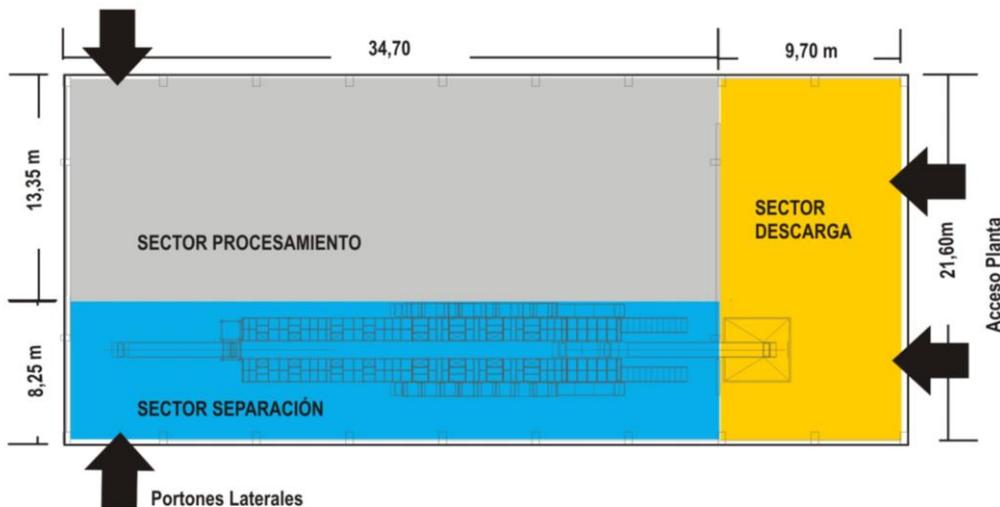


Figura 1: Esquema Planta de Separación

La instalación a iluminar es de planta rectangular, con techo parabólico, en donde se realizarán tareas de separación de residuos sólidos urbanos. Estas tareas presentan distintas características según los sectores mencionados:

- 1) *Sector de Descarga*: es el sector de ingreso de los residuos a la Planta, donde se produce la descarga de los camiones recolectores en el suelo; y luego un operario con una pala cargadora va volcando los residuos en la tolva de alimentación en forma gradual, para alimentar la cinta transportadora.
- 2) *Sector de Separación*: es el sector donde se ubica la cinta transportadora, en cuyos laterales se ubican los operarios que realizan la identificación y separación de materiales reutilizables, y los descargan por las distintas tolvas ubicadas a sus costados.
- 3) *Sector de Procesamiento*: en esta área se desarrollan tareas de compactación, enfardado y acopio de los materiales separados en la cinta.

Todas estas tareas se catalogaron como de “*gran esfuerzo visual*” (Artículo 135, punto b), Ley Nº19.587), para lo que la legislación requiere una luminancia de 700 lux y de tipo general; es decir, se debe asegurar una luminancia promedio en todo el local y no en lugares específicos.

3.2.2 Parámetros del local

En el punto anterior se explicó la división de la Planta de Separación en sectores, y aquí se presenta un cuadro de resumen de las dimensiones por sectores, como así también las características de los materiales de terminación, como color o textura de paredes, techo y piso.

TABLA 2: Parámetros del Local – Planta de Separación

Tabla 2 – Parámetros del Local – Planta de Separación						
LOCAL	Dimensiones			Color de paredes y techo	Color del piso	Altura del plano de trabajo (h)
	ancho (a)	largo (b)	altura* (h')			
<i>Sector Descarga</i>	9,70 m	21,60 m	7,40 m	Gris claro	Gris oscuro	0,00 m
<i>Sector Separación</i>	8,25 m	34,70 m	7,40 m	Gris claro	Gris oscuro	3,35 m**
<i>Sector Procesamiento</i>	13,35 m	34,70 m	7,40 m	Gris claro	Gris oscuro	0,85 m

FUENTE: Elaboración propia

* La cubierta de la Nave de Separación parabólica, con una altura libre hasta nivel de cabreada de 8,86 metros en la cumbre y 5,96 metros en los laterales. Se adoptará para el cálculo una altura promedio de 7,40 metros.

** La plataforma de separación se encuentra elevada 2,50 m y la cinta de separación que constituye el plano de trabajo se encuentra a 0,85 m sobre la plataforma.

Teniendo en cuenta los colores de paredes, piso y techo, se procede a asignar el valor de reflectancia para cada una de estas superficies, considerando los datos de la siguiente tabla de “*Reflectancias efectivas para ciertos colores y texturas (valores en %)*”:

TABLA 3: Reflectancias Efectivas

Tabla 3 – Reflectancias Efectivas						
TONO	COLOR		SUPERFICIES		ACABADOS DE CONSTRUCCIÓN	
Muy Claro	Blanco nuevo	88	Maple	43	Cantera clara	18
	Blanco viejo	76	Nogal	16	Cemento	27
	Azul crema	76	Caoba	12	Concreto	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 de roca	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		

Tabla 3 – Reflectancias Efectivas				
TONO	COLOR		SUPERFICIES	ACABADOS DE CONSTRUCCIÓN
Oscuro	Azul	8		
	Amarillo	50		
	Café	10		
	Gris	25		
	Verde	7		
	Negro	3		

FUENTE: “Guía para el Diseño de Instalaciones de Iluminación Interior”,
Universidad Tecnológica de Pereira-Facultad de Tecnología -Colombia, 2012

De la aplicación de los valores de la **TABLA 3** precedente surge:

- Reflectancias de paredes y techo: 73% = 0,73
- Reflectancia de piso: 25% = 0,25

3.2.3 Selección de Iluminancia media

En función de lo establecido en la Ley Nº19.587 y su Decreto Reglamentario 911/96, la actividad a desarrollar se encuadra en el punto b) del Artículo 135 del mencionado decreto, “*Tareas que exigen gran esfuerzo visual*”, con un requerimiento de **Iluminancia Media (E media) de 700 lux**, que se convierte en el Objetivo de Diseño.

3.2.4 Selección de Sistema de iluminación

En primer lugar se seleccionará el tipo de lámparas a utilizar y el sistema de alumbrado, en función de las actividades que se desarrollarán en el local.

TABLA 4: Tipos de lámparas

Tabla 4 – Tipos de Lámparas	
Ámbito de uso	Tipos de lámparas más utilizados
Doméstico	Incandescentes Fluorescentes Halógenas de baja potencia Fluorescentes compactas
Oficinas	Alumbrado general: Incandescentes Alumbrado localizado: incandescentes y halógenas de baja tensión.
Comercial	Incandescentes Halógenas Fluorescentes Grandes superficies con techos altos: mercurio de alta tensión y halogenuros metálicos.

Tabla 4 – Tipos de Lámparas

Ámbito de uso	Tipos de lámparas más utilizados
Industrial	<p>Todos los tipos</p> <p>Luminarias situadas a baja altura (menos de 6 m): fluorescentes</p> <p>Luminarias situadas a gran altura (= ó mayor a 6 m): lámparas de descarga a alta presión montadas en proyectores.</p> <p>Alumbrado localizado: incandescentes</p> <p>Lámparas de vapor de sodio a alta presión de 400 W de potencia con flujo luminoso de 50.000 lm.</p>
Deportivo	<p>Luminarias situadas a baja altura: fluorescentes</p> <p>Luminarias situadas a gran altura: lámparas de vapor de mercurio a alta presión, halogenuros metálicos y vapor de sodio a alta presión</p>

FUENTE: “Guía para el Diseño de Instalaciones de Iluminación Interior”,
Universidad Tecnológica de Pereira-Facultad de Tecnología -Colombia, 2012

Teniendo en cuenta los tipos de luminarias indicados en la **TABLA 4**, se adopta la utilización de lámparas de vapor de sodio a alta presión de 400 W de potencia con un flujo luminoso de 50.000 lm.

3.2.5 Determinación de la altura de suspensión de las luminarias

Por tratarse de una instalación industrial se debe adoptar una altura de suspensión de las luminarias de 5,50m del suelo como mínimo, pues en la estructura superior de la Nave, hasta 5 metros del suelo, existen equipos de transporte, como grúas destinadas al traslado de objetos pesado a distintos puntos de la nave, que necesitan que esta área quede libre de interferencias.

En función de esto, se adopta como altura de suspensión de las luminarias 7,10 metros (nivel de la base de las cabreadas de la cubierta, en el sector de trabajo), unificado para todos los sectores.

3.2.6 Determinación de índice de cavidad del local (k)

Por haberse seleccionado iluminación directa la fórmula para encontrar el valor de “k” es la siguiente:

$$k = \frac{a \times b}{h(a + b)}$$

Donde:

a = ancho del sector a iluminar

b = largo del sector a iluminar

h = altura desde el plano de trabajo hasta el nivel de suspensión de las luminarias.

Como se mencionó anteriormente, la Nave de Separación se dividió en tres sectores, con características físicas diferentes, por lo cual el cálculo se realizará por sectores, a los efectos de cumplir con todos los requerimientos de la legislación vigente.

TABLA 5: Cálculo Índice de Cavidad (k). Planta de Separación

Tabla 5 – Cálculo Índice de Cavidad (k) Planta de Separación				
Nave de Separación	a (m)	b (m)	h (m)	k
<i>Sector Descarga</i>	9,70	21,60	7,10	0,94
<i>Sector Separación</i>	8,25	34,70	3,75	1,78
<i>Sector Procesamiento</i>	13,35	34,70	6,25	1,54

FUENTE: Elaboración propia

3.2.7 Determinación Coeficiente de Utilización (C_u)

El coeficiente de utilización es la relación entre el flujo luminoso que cae en el plano de trabajo y el flujo luminoso suministrado por la luminaria. Este coeficiente representa la cantidad de flujo luminoso efectivamente aprovechado en el plano de trabajo después de interactuar con las luminarias y las superficies dentro del local. El C_u se determina por una interpolación de datos de la tabla entregada por el fabricante. Los datos a tener en cuenta para la interpolación son las reflectancias efectivas de las superficies y el índice K . Estas tablas normalmente se construyen sin tener en cuenta la reflectancia del piso porque es la menos influyente en la iluminancias promedio, así que la mayoría de estas se construyen para un valor fijo de reflectancia de piso.

En función de lo calculado en el punto 3.1.2 *Parámetros del Local*, se adoptará, para todos los sectores, un coeficiente de reflexión para paredes y techo de 0,73 y un coeficiente de reflexión para piso de 0,25 (valor que no se computa debido a que no aparece en la tabla).

A continuación se agrega la tabla para el cálculo del coeficiente de utilización, en función de las luminarias seleccionadas.

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (η)																					
		Factor de reflexión del techo																					
		0.8			0.7			0.5			0.3			0									
		Factor de reflexión de las paredes																					
												0.5			0.3			0.1			0		
	0.6	.39	.35	.32	.38	.34	.32	.38	.34	.31	.33	.31	.30										
	0.8	.48	.43	.40	.47	.42	.40	.46	.42	.39	.41	.38	.37										
	1.0	.53	.49	.46	.52	.48	.45	.51	.47	.45	.46	.44	.41										
	1.25	.58	.54	.51	.57	.53	.50	.55	.51	.49	.50	.48	.45										
	1.5	.62	.58	.54	.61	.57	.54	.58	.55	.52	.53	.51	.48										
	2.0	.66	.62	.59	.64	.61	.58	.61	.59	.57	.56	.55	.52										
	2.5	.68	.65	.63	.67	.64	.62	.64	.61	.60	.59	.57	.54										
	3.0	.70	.67	.65	.69	.66	.64	.65	.63	.61	.60	.59	.56										
	4.0	.72	.70	.68	.70	.69	.67	.67	.66	.64	.63	.61	.58										
	5.0	.73	.71	.70	.71	.70	.68	.68	.67	.66	.64	.63	.59										

H_m : altura luminaria-plano de trabajo

Figura 2: Factor de utilización de Luminarias (Cu).

Fuente: Instalaciones e Iluminación Universidad de las Islas Baleares

De la aplicación de los valores de la tabla de la **Figura 2**, surgen los siguientes coeficientes de utilización para cada uno de los sectores:

TABLA 6: Cálculo Factor de Utilización (Cu) – Planta de Separación

Tabla 6 – Cálculo Factor de Utilización (Cu) Planta de Separación						
Nave de Separación	Índice de cavidad (k)	Factor reflexión techo (en tabla)	Factor reflexión paredes (en tabla)	Valores de tabla (Cu)		Valor interpolado (Cu)
Sector Descarga	0,94	0,7	0,5	0,47	0,52	0,51
Sector Separación	1,78	0,7	0,5	0,61	0,64	0,63
Sector Procesamiento	1,54	0,7	0,5	0,61	0,64	0,63

FUENTE: Elaboración propia

3.2.8 Determinación del Factor de Mantenimiento (FM)

El Factor de Mantenimiento es la relación de la iluminancia promedio en el plano de trabajo después de un período determinado de uso de una instalación. Todo diseño de un sistema de iluminación debe considerar el factor de mantenimiento con el fin de asegurar los niveles de iluminancia promedio requeridos. El FM se puede obtener de las tablas otorgadas por la CIE (Comisión Internacional de Iluminación), en la cual se indican las condiciones medioambientales a las que será sometido el sistema de iluminación.

TABLA 7: Valores para Factor de Mantenimiento (CIE)

Tabla 7 – Valores para Factor de Mantenimiento (CIE) Planta de Separación								
Frecuencia de limpieza	1				2			
Condiciones ambientales	P	C	N	D	P	C	N	D
<i>Luminarias abiertas</i>	0,96	0,93	0,89	0,83	0,93	0,89	0,84	0,78
<i>Reflector parte superior abierta</i>	0,96	0,90	0,86	0,83	0,89	0,84	0,80	0,75
<i>Reflector parte superior cerrada</i>	0,94	0,89	0,81	0,72	0,88	0,80	0,69	0,59
<i>Reflectores cerrados</i>	0,94	0,88	0,82	0,77	0,89	0,83	0,77	0,71
<i>Luminarias a prueba de polvo</i>	0,98	0,94	0,90	0,86	0,95	0,77	0,66	0,57

FUENTE: Elaboración propia

En donde:

P: Pure – Puro o muy limpio

C: Clean – Limpio

N: Normal

D: Dirty - Sucio

Para calcular el FM se utilizarán los valores sugeridos por la CIE en la Tabla precedente. En función de esto, y teniendo en cuenta el tipo de actividad a realizar, se asumirá que se trata de un ambiente sucio, y que contará con un ciclo anual de mantenimiento. Siendo las luminarias a utilizar, de parte superior abierta, el factor de mantenimiento resulta FM = 0,83.

3.2.9 Cálculo del flujo luminoso necesario

El flujo luminoso necesario se calcula con la siguiente fórmula:

$$\varphi_{tot} = \frac{E \times S}{Cu \times FM}$$

Donde:

φ_{tot} = Flujo luminoso total

E = Iluminancia media deseada

S = Superficie del Plano de trabajo

Cu = Factor de utilización

FM = Factor de mantenimiento

TABLA 8: Cálculo de Flujo Luminoso. Planta de Separación

Tabla 8 – Cálculo de Flujo Luminoso Planta de Separación			
Nave de Separación	S	Cu	φ_{tot} (lm)
<i>Sector Descarga</i>	209,52	0,51	349.422,59
<i>Sector Separación</i>	286,28	0,63	385.284,77
<i>Sector Procesamiento</i>	464,58	0,63	618.589,29

FUENTE: Elaboración propia

E = 700 lux

FM = 0,83

3.2.10 Cálculo de luminarias requeridas

Teniendo el cálculo del flujo luminoso total requerido y conociendo el flujo luminoso emitido por el tipo de lámparas seleccionadas, se procede a calcular el número de luminarias requeridas para proveer este flujo, utilizando la siguiente ecuación:

$$N = \frac{\varphi_{tot}}{n \times \varphi_L}$$

Donde:

N = cantidad de luminarias necesarias.

φ_{tot} = flujo luminoso total

n = número de lámparas por luminaria

φ_L = flujo luminoso de cada lámpara

TABLA 9: Cálculo Luminarias requeridas – Planta de Separación

Tabla 9 – Cálculo Luminarias requeridas Planta de Separación				
Nave de Separación	φ_{tot} (lm)	n	N cálculo	N final
<i>Sector Descarga</i>	349.422,59	1	6,99	7
<i>Sector Separación</i>	385.284,77	1	7,71	8
<i>Sector Procesamiento</i>	618.589,29	1	12,37	13

FUENTE: Elaboración propia

Aplicando la fórmula se obtiene la cantidad de luminarias necesarias para cada sector, los cuales son valores de referencia mínimos, que luego se adecuarán (siempre por exceso), al diseño general del local y teniendo en cuenta que se debe lograr una iluminación uniforme.

3.2.11 Emplazamiento de luminarias

Tomando como referencia los valores obtenidos de la cantidad de luminarias necesarias (mínimas), para cumplir con la obtención de flujo luminoso total requerido y en función de la geometría de la Nave de Separación, se calculó la cantidad de líneas necesarias en el sentido del ancho y del largo de la edificación. Para ello se aplicaron las siguientes fórmulas:

$$N_{\text{ancho}} = \sqrt{\frac{N_{\text{total}}}{\text{largo}}} \times \text{ancho}$$

$$N_{\text{largo}} = N_{\text{ancho}} \times \left(\frac{\text{largo}}{\text{ancho}} \right)$$

Tabla 10: Cálculo de emplazamiento de luminarias. Planta de Separación

Tabla 10 – Cálculo de emplazamiento de luminarias Planta de Separación					
Nave de Separación	N _{ancho} (m)	N _{largo} adoptado (m)	N _{largo} (m)	N _{largo} adoptado (m)	N total
<i>Sector Descarga</i>	1,77	2	3,98	4	8
<i>Sector Separación</i>	1,38	2	6,49	7	14
<i>Sector Procesamiento</i>	2,23	3	5,32	6	18
Total Luminarias					40

FUENTE: Elaboración propia

Una vez determinadas las cantidades de líneas en ambos sentidos y la cantidad de luminarias por línea que surgen del cálculo anterior, resulta necesario el cálculo de la separación entre luminarias para posteriormente verificar si cumple con las especificaciones técnicas de las mismas, provistas en la tabla para el cálculo del Cu.

En función de las características de los espacios a iluminar, se calculó una Separación Inicial (SI), correspondiente a la longitud total por sentido (ancho o largo) según la cantidad de luminarias a colocar por línea; luego se calculó la separación de la luminaria a los muros que limitan el sector, a la que se denominó Separación Muros (SM), calculada como la mitad de la distancia establecida para la (SI); y finalmente

surge la Separación Final (SF), como la distancia efectiva entre luminarias, restando a la longitud total la SM.

Los datos obtenidos en estos cálculos se volcaron en la **TABLA 11**:

TABLA 11: Cálculo distancia de separación entre luminarias. Planta de Separación

Tabla 11 – Cálculo distancia de separación entre luminarias Planta de Separación					
Nave de Separación	N	Separación inicial (SI)	Separación muros (SM)	Separación final (SF)	Separación máxima (Dmax)
LARGO					
<i>Sector Descarga</i>	4	4,32	2,16	5,76	7,10
<i>Sector Separación (sobre cinta)</i>	9	3,47	1,74	3,90	3,75
<i>Sector Separación (lateral)</i>	6	4,97	2,49	5,95	6,25
<i>Sector Procesamiento</i>	6	4,97	2,49	5,97	6,25
ANCHO					
<i>Sector Descarga</i>	2	3,27	1,63	4,08	7,10
<i>Sector Separación</i>	2	2,75	1,38	3,45	3,75
<i>Sector Procesamiento</i>	3	4,45	2,23	5,56	6,25

FUENTE: Elaboración propia

$D_{max} = 1,0 \times H_m$ (datos de TABLA 5)

H_m = Altura entre la luminaria y el plano de trabajo

La separación final obtenida, se comparó con los valores máximos previstos por el fabricante de las luminarias (D_{max}), que en este caso equivale a H_m (distancia entre la altura de suspensión de la luminaria y la altura del plano de trabajo). Los valores obtenidos resultaron dentro de los límites establecidos, excepto en el caso de la separación sobre la cinta de clasificación, por lo cual esta distancia se ajustó luego en el proyecto.

Teniendo en cuenta los valores de separación obtenidos del cálculo, y la geometría de la planta, se realizó la distribución de luminarias que puede observarse en el croquis de la **Figura 3** adjunta.

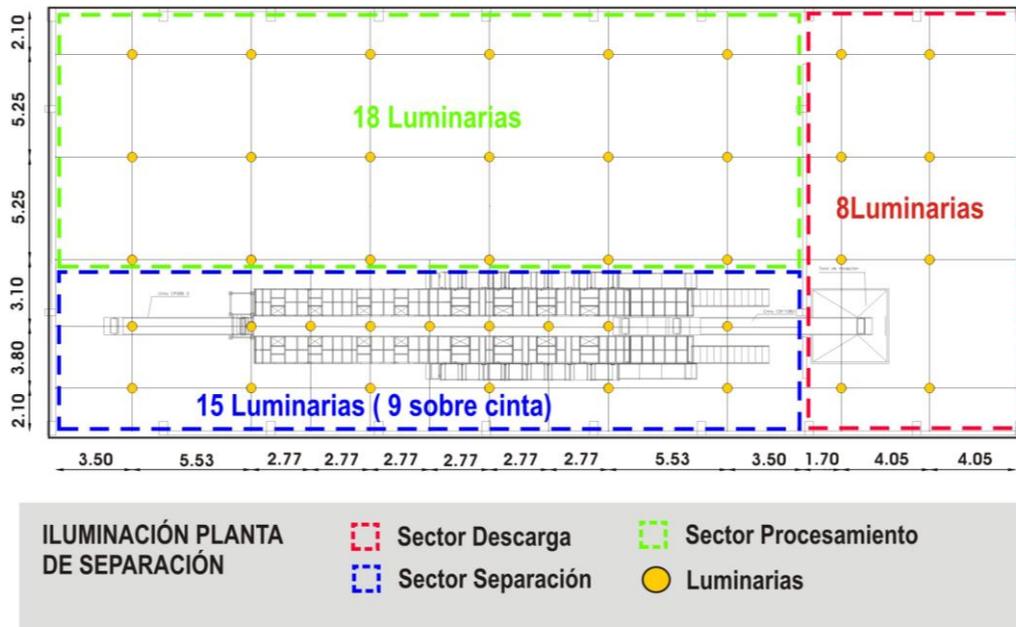


Figura 3: Croquis distribución de luminarias en planta

Al adecuar las luminarias al proyecto, surge como resultado final un total de 41 luminarias, distribuidas en los tres sectores, cuyo resumen se agrega en la siguiente tabla. Los valores de separación finales adoptados resultaron menores a los valores requeridos en el cálculo, o menores a la distancia máxima establecida por el fabricante.

Tabla 12: Distancias de separación finales. Planta de Separación

Tabla 12 – Distancias de separación finales Planta de Separación			
Nave de Separación	N	Separación requerida	Separación adoptada
LARGO			
<i>Sector Descarga</i>	4	5,76	5,53/6,90
<i>Sector Separación (sobre cinta)</i>	9	3,75	2,77
<i>Sector Separación (lateral)</i>	6	5,95	5,53
<i>Sector Procesamiento</i>	6	5,97	5,53
ANCHO			
<i>Sector Descarga</i>	2	4,08	4,05
<i>Sector Separación</i>	2	3,45	3,45
<i>Sector Procesamiento</i>	3	5,56	5,25

FUENTE: Elaboración propia

3.2.12 Cálculo del Flujo Luminoso real (φ real) e iluminancia promedio real (E_{prom})

Después de determinar el número de luminarias y su ubicación, se calculó el flujo luminoso real emitido por éstas, cuya fórmula es la siguiente:

$$\varphi_{real} = N \times n \times \varphi_L \text{ [lm]}$$

Donde:

φ_{real} = Flujo luminoso real emitido (lm)

N = Número de luminarias requeridas

n = Número de lámparas por luminaria

φ_L = Flujo luminoso de la lámpara.

Teniendo calculado el φ real se calculó la iluminancia promedio, con la siguiente ecuación:

$$E_{prom} = \frac{\varphi_{real} \times Cu \times FM}{S} \text{ [lux]}$$

Donde:

φ real = Flujo luminoso real emitido por el número de luminarias adoptado (lm)

Cu = Coeficiente o factor de utilización

FM = Factor de mantenimiento

S = Superficie de la edificación (m²).

En la **TABLA 13**, se agregan los valores de **flujo real** e **iluminancia promedio** de cada sector, las cuales superan los *700 lux* requeridos por la legislación vigente, siendo el valor total para la **Planta de Separación de 1.070 lux**.

TABLA 13: Cálculo de Iluminancias. Planta de Separación

Tabla 13 – Cálculo de Iluminancias Planta de Separación		
Nave de Separación	φ real	E prom
<i>Sector Descarga</i>	400.000	801
<i>Sector Separación</i>	750.000	1.363
<i>Sector Procesamiento</i>	900.000	1.018
TOTAL PLANTA	2.050.000	1.070

FUENTE: Elaboración propia

3.2.13 Cálculo de Eficiencia Energética

La eficiencia energética de una instalación de iluminación, se evalúa mediante el indicador denominado Valor de Eficiencia Energética de la Instalación (VEEI) expresado en (W/m²) por cada 100 luxes, mediante la siguiente expresión:

$$VEEI = \frac{P \times 100 \text{ lux}}{S \times E_{prom}}$$

Donde:

P = Potencia activa requerida por el número de luminarias a utilizar (W).

S = Superficie o área del plano útil (m²).

E = Iluminancia promedio horizontal calculada o real en el plano útil (lux)

En la **TABLA 14** se indican los valores límite de VEEI que deben cumplir los recintos interiores de las edificaciones. Los valores de VEEI se establecen en dos grupos de zonas en función de la importancia que tiene la iluminación.

TABLA 14: Valores límite para Eficiencia Energética

Tabla 14 – Valores límite para Eficiencia Energética		
Grupo	Actividad de la zona	VEEI máximo
1. Zona de no representación (predomina el confort)	Administrativa en general	3,5
	Andenes de estaciones de transporte	3,5
	Salas de diagnóstico	3,5
	Pabellones de exposición o ferias	3,5
	Aulas y laboratorios	4
	Habitaciones de hospital	4,5
	Zonas comunes	4,5
	Almacenes, archivos, salas técnicas y cocinas	5
	Estacionamientos	5
Zonas deportivas	5	
2. Zonas de representación (predomina el diseño)	Administrativa en general	6
	Estaciones de transporte	6
	Supermercados, hipermercados y almacenes	6
	Bibliotecas, museos y galerías de arte	6
	Zonas comunes de edificios residenciales	7,5
	Centros comerciales	8
	Hoteles y restaurantes	10
	Centros de culto religioso en general	10
	Salones de reuniones, auditorios, centros de convenciones	10
	Tiendas y pequeños comercios	10
	Zonas comunes	10
	Habitaciones de hoteles	12

FUENTE: Instalaciones de Iluminación – Universidad de las Islas Baleares

La Potencia Total, la calculamos realizando el producto de la cantidad de luminarias por la potencia individual de cada lámpara. De este cálculo surge que $P = 41 \times 400W = 16,4 \text{ kW}$. Y siendo la $E_{prom} = 1.070 \text{ lux}$, según lo expuesto en el *punto 3.1.12*, y la superficie total a iluminar de $981,20 \text{ m}^2$, se tiene:

$$VEEI = \frac{16.400 \text{ W} \times 100 \text{ lux}}{981,20 \text{ m}^2 \times 1.070 \text{ lux}} = 1,56 \text{ W} / \text{m}^2$$

La Planta de Separación estaría localizada en el grupo 1 de la tabla precedente como “Almacenes, archivos, salas técnicas y cocinas”, en el cual el VEEI máximo es 5. En este caso el VEEI obtenido es menor que el valor máximo permitido, por lo tanto el diseño es eficiente desde el punto de vista energético.

3.3 GALPÓN DE MANTENIMIENTO

3.3.1 Análisis del Proyecto

El Galpón de Mantenimiento del Centro Ambiental El Borbollón, es una construcción de planta rectangular, con una división en un sector destinada a oficinas. Sobre éstas se ubica un entrepiso que se utilizará como Depósito de insumos. Por lo tanto, a los efectos del cálculo de iluminación, se considerará el espacio total, ya que las oficinas están separadas y el depósito no es un sitio de trabajo permanente. Se agrega croquis de Planta, en la **Figura 4**.

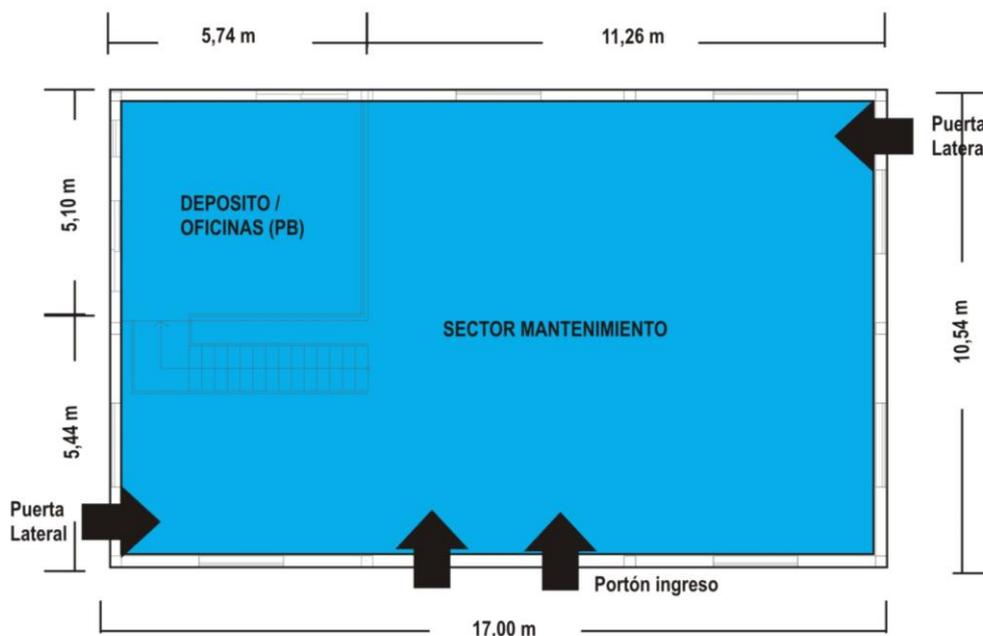


Figura 4: Esquema Galpón de Mantenimiento

El galpón a iluminar tiene cubierta metálica con pendiente a un agua hacia el acceso, en donde el trabajo consistirá en la reparación y mantenimiento de los equipos de la planta y del relleno.

Las tareas a realizar en estas instalaciones, se consideran de *gran esfuerzo visual*, por lo cual la legislación requiere una luminancia de 700 lux, de tipo general; es decir, se debe asegurar una luminancia promedio en todo el local y no en lugares específicos.

3.3.2 Parámetros del local

Las dimensiones del Galpón de Mantenimiento se resumen en la **TABLA 15**, como así también las características de terminación de techos, paredes y pisos.

TABLA 15: Parámetros del Local. Galpón de Mantenimiento

Tabla 15 – Parámetros del Local Galpón de Mantenimiento						
LOCAL	Dimensiones			Color de paredes y techo	Color del piso	Altura del plano de trabajo (h)
	ancho (a)	largo (b)	altura* (h')			
<i>Sector Mantenimiento</i>	10,14 m	16,60 m	6,00 m	Gris claro	Gris oscuro	0,85 m

FUENTE: Elaboración propia

* La cubierta del Galpón de Mantenimiento, tiene pendiente hacia el acceso, con una altura hasta nivel de cubierta de 6,50 en su parte más alta y 5,61 metros en la más baja. Se adoptará para el cálculo una altura promedio de 6,00 metros.

Teniendo en cuenta los colores de paredes, piso y techo, se procede a asignar el valor de reflectancia para cada una de estas superficies, considerando los datos de la **TABLA 3 “Reflectancias efectivas”**, de donde surge:

- Reflectancias de paredes y techo: 73% = 0,73
- Reflectancia de piso: 25% = 0,25

3.3.3 Selección de Iluminancia media

En función de lo establecido en la Ley Nº19.587 y su Decreto Reglamentario 911/96, la actividad a desarrollar se encuadra en el punto b) del Artículo 135 del mencionado decreto, “*Tareas que exigen gran esfuerzo visual*”, con un requerimiento de **Iluminancia Media (E media) de 700 lux**, que se convierte en el Objetivo de Diseño.

3.3.4 Selección de Sistema de iluminación

En el caso del Galpón de Mantenimiento, como en el caso anterior de la Nave de Separación, y teniendo en cuenta las actividades a realizar se encuadran dentro del mismo tipo previsto en la TABLA 3 “*Tipos de lámparas*”, se adoptan las lámparas de vapor de sodio a alta presión de 400 W de potencia y flujo luminoso de 50.000 lm.

3.3.5 Determinación de la altura de suspensión de las luminarias

Se adopta para el Galpón de Mantenimiento, una altura de suspensión de las luminarias de 5,50 m, a los efectos de permitir la maniobrabilidad de equipos a reparar. Este el nivel corresponde a la base de las cabreadas de cubierta.

3.3.6 Determinación de índice de cavidad del local (k)

Aplicando la fórmula ya expuesta en el *punto 3.1.6*, se obtuvo el siguiente valor para “k”:

Tabla 16: Cálculo Índice de cavidad (k). Galpón de Mantenimiento

Tabla 16 – Cálculo Índice de cavidad (k) Galpón de Mantenimiento				
Local	a (m)	b (m)	h (m)	k
<i>Sector Mantenimiento</i>	10,54	17,00	6,00	1,05

FUENTE: Elaboración propia

3.3.7 Determinación Coeficiente de Utilización (Cu)

En función de lo calculado en el *punto 3.1.2 Parámetros del Local*, se adoptará, para todos los sectores, un coeficiente de reflexión para paredes y techo de 0,73 y un coeficiente de reflexión para piso de 0,25 (valor que no se computa debido a que no aparece en la tabla).

A continuación se agrega la tabla para el cálculo del coeficiente de utilización, en función de las luminarias seleccionadas.

TABLA 18: Cálculo de Flujo Luminoso. Galpón de Mantenimiento

Tabla 18 – Cálculo de Flujo Luminoso Galpón de Mantenimiento			
Galpón de Mantenimiento	S	Cu	ϕ_{tot} (lm)
<i>Sector Mantenimiento</i>	168,32	0,53	258.505,48

FUENTE: Elaboración propia

E = 700 lux

FM = 0,86

3.3.10 Cálculo de luminarias requeridas

Aplicando la fórmula indicada en el *punto 3.1.10*, se obtuvo la cantidad de luminarias requeridas para el local en análisis.

TABLA 19: Cálculo Luminarias requeridas. Galpón de Mantenimiento

Tabla 19 – Cálculo Luminarias requeridas Galpón de Mantenimiento				
LOCAL	ϕ_{tot} (lm)	n	N cálculo	N final
<i>Sector Mantenimiento</i>	258.505,48	1	5,17	6

FUENTE: Elaboración propia

El valor obtenido de cantidad de luminarias necesarias, se considera como una referencia mínima, que se redondeará por exceso. Por otra parte, se buscará lograr una iluminación uniforme, y conforme al diseño general.

3.3.11 Emplazamiento de luminarias

Tomando como referencia el valor obtenido de la cantidad de luminarias necesarias (mínimas) para cumplir con la obtención de flujo luminoso total, y en función de la geometría del Galpón de Mantenimiento, se calculó la cantidad de líneas necesarias en el sentido del ancho y del largo de la edificación, aplicando las fórmulas expuestas en el *punto 3.1.11*.

TABLA 20: Cálculo de emplazamiento de luminarias. Galpón de Mantenimiento

Tabla 22 – Cálculo de emplazamiento de luminarias Galpón de Mantenimiento					
LOCAL	N_{ancho} (m)	N_{largo} adoptado (m)	N_{largo} (m)	N_{largo} adoptado (m)	N total
<i>Sector Mantenimiento</i>	1,93	3	3,13	4	12

FUENTE: Elaboración propia

Una vez determinadas las cantidades de líneas mínimas en ambos sentidos y la cantidad de luminarias por línea que surge del cálculo anterior, resulta necesario el cálculo de la separación entre luminarias para posteriormente verificar si cumple con las especificaciones técnicas de las mismas provistas en la **TABLA 6** para el cálculo del Cu.

En función de las características de los espacios a iluminar, se calculó una Separación Inicial (SI), correspondiente a la longitud total por sentido (ancho o largo) según la cantidad de luminarias a colocar por línea, luego se calculó la separación de la luminaria a los muros que limitan el sector, a la que se denominó Separación Muros (SM) calculada como la mitad de la distancia establecida para la (SI); y finalmente surge la Separación Final (SF), como la distancia efectiva entre luminarias, restando a la longitud total la SM.

Los datos obtenidos en estos cálculos se volcaron en la **TABLA 21**:

TABLA 21: Cálculo distancia de separación entre luminarias. Galpón de Mantenimiento

Tabla 21 – Cálculo distancia de separación entre luminarias Galpón de Mantenimiento					
LOCAL	N	Separación inicial (SI)	Separación muros (SM)	Separación final (SF)	Separación máxima (Dmax)
LARGO					
<i>Sector Mantenimiento</i>	4	3,32	1,66	4,43	4,65
ANCHO					
<i>Sector Mantenimiento</i>	3	2,54	1,27	3,80	4,65

FUENTE: Elaboración propia

$D_{max} = 1,0 \times H_m$ (datos de TABLA 5)

H_m = Altura entre la luminaria y el plano de trabajo

La separación final obtenida, se comparó con los valores máximos previstos por el fabricante de las luminarias (D_{max}), que en este caso equivale a H_m (distancia entre la altura de suspensión de la luminaria y la altura del plano de trabajo). Los valores obtenidos resultaron dentro de los límites establecidos.

Teniendo en cuenta los valores de separación obtenidos del cálculo, y la geometría del galpón, se realizó la distribución de luminarias que puede observarse en el croquis adjunto de la **Figura 6**.

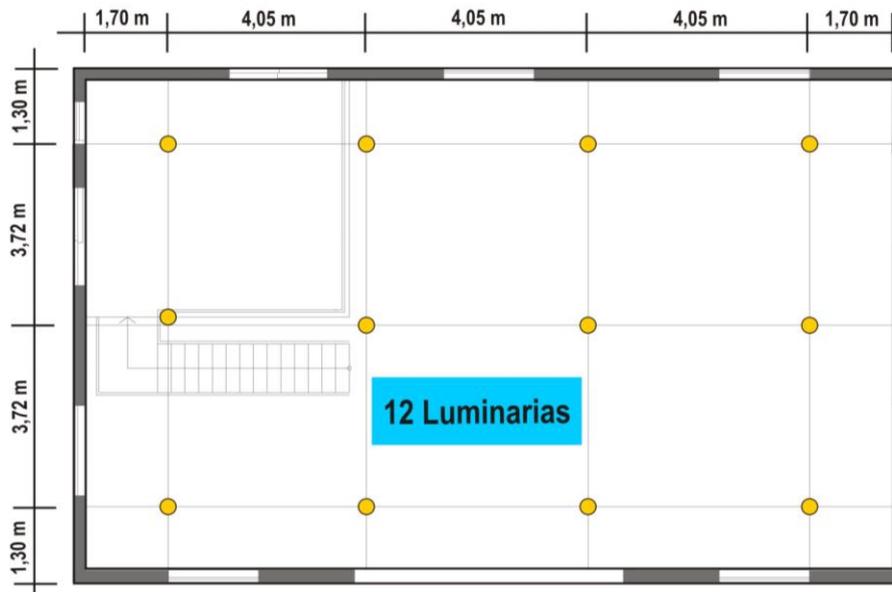


Figura 6: Croquis distribución de luminarias en planta

Al adecuar las luminarias a la planta, surge como resultado final un total de 12 luminarias. Los valores de separación finales resultaron menores a los valores requeridos en el cálculo.

TABLA 22: Distancias de separación final. Galpón de Mantenimiento

Tabla 22 – Distancias de separación finales Galpón de Mantenimiento			
LOCAL	N	Separación requerida	Separación adoptada
LARGO			
<i>Sector Mantenimiento</i>	4	4,53	4,65
ANCHO			
<i>Sector Mantenimiento</i>	3	3,72	4,65

FUENTE: Elaboración propia

3.3.12 Cálculo del Flujo Luminoso real (ϕ real) e iluminancia promedio real (E_{prom})

Después de determinar el número de luminarias y su ubicación, se calculó el flujo luminoso real emitido por éstas, con la fórmula indicada en el punto 3.1.12. Con el cálculo del ϕ real se encontró el valor de la E_{prom} .

En la siguiente **TABLA 23**, se agrega el valor de **flujo real e Iluminancia promedio**, el cual supera los 700 lux requeridos por la legislación vigente, siendo el valor total para el **Galpón de Mantenimiento de 1.613 lux**.

TABLA 23: Cálculo de Iluminancias. Galpón de Mantenimiento

Tabla 23 – Cálculo de Iluminancias Galpón de Mantenimiento		
LOCAL	ϕ real	E prom
<i>Sector Mantenimiento</i>	600.000	1.625

FUENTE: Elaboración propia

3.3.13 Cálculo de Eficiencia Energética

Se calculó la VEEI, según fórmula expresada en el *punto 3.1.13*, y de acuerdo a los valores de la TABLA 14.

La Potencia Total, la calculamos realizando el producto de la cantidad de luminarias por la potencia individual de cada lámpara, de lo que surge que $P = 12 \times 400W = 4,8$ kW. Y siendo la $E_{prom} = 1.625$ lux, según lo expuesto en el *punto 3.2.12*, y la superficie total a iluminar de 168,32 m², se tiene:

$$VEEI = \frac{4.800 W \times 100 lux}{168,32 m^2 \times 1.625 lux} = 1,75 W / m^2$$

El Galpón de Mantenimiento, al igual que la Planta de separación estaría localizado en el grupo 1 de la TABLA 14 como “*Almacenes, archivos, salas técnicas y cocinas*”, en el cual el VEEI máximo es 5. En este caso el VEEI obtenido es menor que el valor máximo permitido, por lo tanto el diseño es eficiente desde el punto de vista energético.

4. CONCLUSIÓN GENERAL

En función de la legislación vigente y de los requerimientos de las tareas a realizar en la Planta de Separación y el Galpón de Mantenimiento, se dimensionó el Sistema de Iluminación para estas dependencias del Centro Ambiental El Borbollón, cuyos valores finales se resumen en la **TABLA 24**.

TABLA 24: Resumen Cálculo de Iluminación

Tabla 24 – Resumen Cálculo de Iluminación				
Centro Ambiental El Borbollón	Cantidad de luminarias	Potencia requerida (kW)	Iluminancia obtenida (lux)	Eficiencia Energética (W/m ²)
<i>Planta de Separación</i>	41	16,4 kW	1.070 > 700	1,56 < 5,00
<i>Galpón de Mantenimiento</i>	12	4,8 kW	1.625 > 700	1,75 < 5,00
TOTALES	53	21,2 kW		

FUENTE: Elaboración propia