

*Informe de
Práctica Profesional Supervisada
en IEDS/CNEA*

TEMA

Eficiencia Energética

TITULO

**CONSUMO Y USO ENERGÉTICO
PARA ILUMINACIÓN**

AUTOR

Humberto Arena

ALUMNO DE LA CARRERA

**Ingeniería en Energía
Universidad Nacional de San Martín (UNSAM)**

SUPERVISORES EN EL IEDS

**Nair Bamba Telechea
Carlos González Ferrari**

Año 2021

I E D S

**INSTITUTO DE ENERGÍA Y
DESARROLLO SUSTENTABLE**

C N E A

**Comisión Nacional de
Energía Atómica**



UNIVERSIDAD
NACIONAL DE
SAN MARTÍN

Práctica Profesional Ingeniería en Energía

Consumo y uso energético para iluminación

1. RESUMEN EJECUTIVO

El objetivo del trabajo es obtener indicadores y marcadores energéticos que puedan ser utilizados, luego de un análisis, para detectar posibles medidas de mejora para la optimización del consumo energético en iluminación del edificio de la Sede Central de la Comisión Nacional de Energía Atómica.

Se analizaron los datos de 393 oficinas que corresponden en total a 7300 metros cuadrados de superficie, se calculó la energía consumida mes a mes y la iluminancia promedio en cada una de estas, para finalmente realizar un análisis del servicio actual teniendo en cuenta tanto el consumo como la calidad del mismo y se propusieron las medidas correspondientes para mejorarlo.

Alumno	Supervisor	Aprobó
Nombre del Alumno: Humberto Arena Mail: humbertoarena@hotmail.es	Carlos González Ferrari Instituto de Energía y Desarrollo Sustentable	
Horas de trabajo dedicadas a la PPS: 250 Firma del Supervisor: Aclaración:	Fecha de realización de la práctica Fecha de Iniciación: Cantidad de horas de dedicadas a esta actividad:	

Índice

1. RESUMEN EJECUTIVO	1
2. Glosario.	3
3. Introducción.	4
4. Método.	4
5. Resultados y análisis.	5
i. Tecnologías de iluminación presentes.	5
ii. Consumo mes a mes.	6
iii. Medidas de mejora propuestas.	12
6. Conclusiones.	15
7. Anexos.	16
i. Determinación de factores de uso.	16
ii. Medición de áreas de los locales.	18
iii. Cálculo de iluminancia	18
iv. Cálculo del consumo de energía mensual.	21
v. Cálculo de ahorro de consumo.	22
vi. Cálculo de reducción de emisiones.	24
vii. Cálculo de inversión requerida.	24
viii. Cálculo de ahorro anual (USD).	24

2. Glosario.

Flujo luminoso: potencia luminosa emitida por una fuente de luz, su unidad de medida es Lumen.

Iluminancia: cantidad de flujo luminoso que incide sobre una superficie, su unidad de medida es Lux (Lumen/m²).

Incidencia solar: cantidad de energía solar recibida en una superficie en un determinado período de tiempo.

Factor de uso (FU): cociente de dividir la energía que ha producido o consumido una instalación en un período de tiempo, entre la que habría producido o consumido si hubiera funcionado a la potencia nominal.

Efecto invernadero: es un proceso en el que la radiación térmica emitida por la superficie planetaria es absorbida por los gases de efecto invernadero atmosféricos y es irradiada en todas las direcciones, lo que contribuye al fenómeno del calentamiento global.

3. Introducción.

Se analizaron datos relevados de consumo energético asociado a la iluminación del edificio de la Sede Central de la Comisión Nacional de Energía Atómica, el cual tiene aproximadamente una superficie total de catorce mil metros cuadrados, y está ubicado en Capital Federal en el barrio de Nuñez. El edificio ocupa toda una manzana, su entrada principal está sobre Av. Libertador siendo sus entrecalles Ramallo y Correa, y 11 de septiembre la calle posterior, además cuenta con un block central cómo se muestra en las Figura 1, que corresponde a un modelo del edificio por la mañana, mediodía y tarde de izquierda a derecha respectivamente. En estas imágenes se puede apreciar también cómo es el recorrido del sol a lo largo del día.

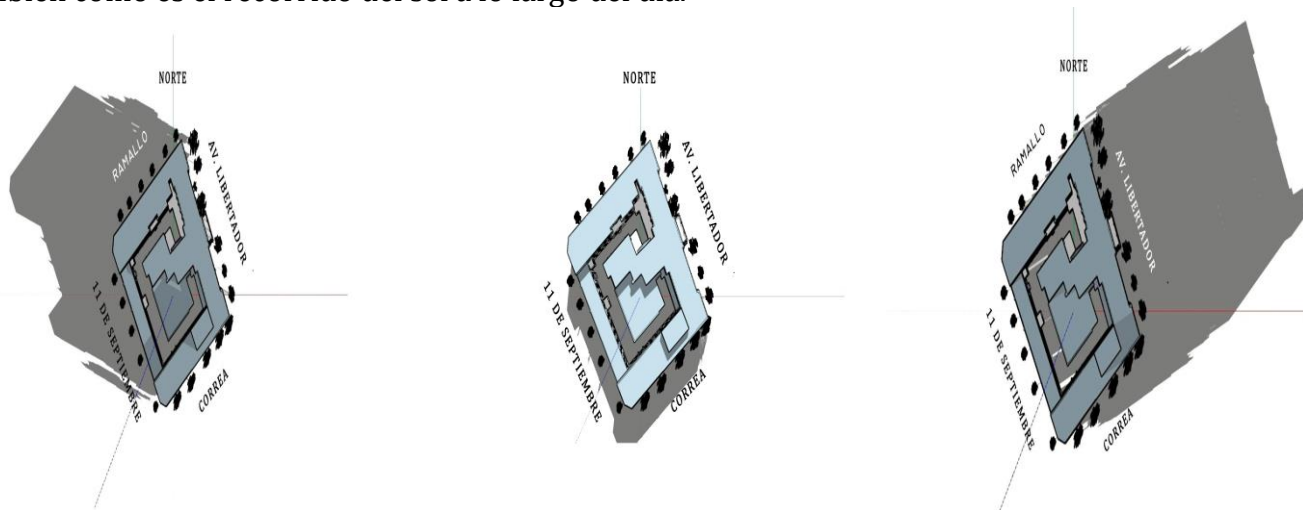


Figura 1: Modelo de la Sede Central de CNEA por la mañana, mediodía y tarde (izquierda a derecha)

La cantidad de oficinas analizadas fueron 393, que corresponden en total a 7300 metros cuadrados, un 48% de la superficie total del edificio, la superficie restante corresponde a pasillos o locales utilizados como depósitos, baños, vestuarios, salas de reuniones y otros sectores de uso común que no fueron tenidos en cuenta en el informe. El objetivo del trabajo es obtener indicadores y marcadores energéticos que puedan ser utilizados, luego de un análisis, para detectar posibles medidas de mejora para la optimización del consumo energético en iluminación.

4. Método.

En primer lugar se determinó cuál es el factor de uso para iluminación en cada local según la incidencia solar observada y luego se midieron las áreas de cada local. Luego con los valores mencionados anteriormente en conjunto con los datos recibidos de tipo y cantidad de artefactos de iluminación, potencia y horas de uso diarias de estos en cada local, se realizó el cálculo de energía consumida mensual y anualmente por metro cuadrado. Por otro lado se calculó la iluminancia promedio en el plano útil de locales representativos de cada ala del edificio para realizar el análisis correspondiente teniendo en cuenta tanto el consumo energético como la calidad del servicio obtenido y finalmente plantear las medidas propuestas de ahorro y eficiencia energética. En la Figura 2 se muestra un flujograma del proceso de análisis llevado a cabo.

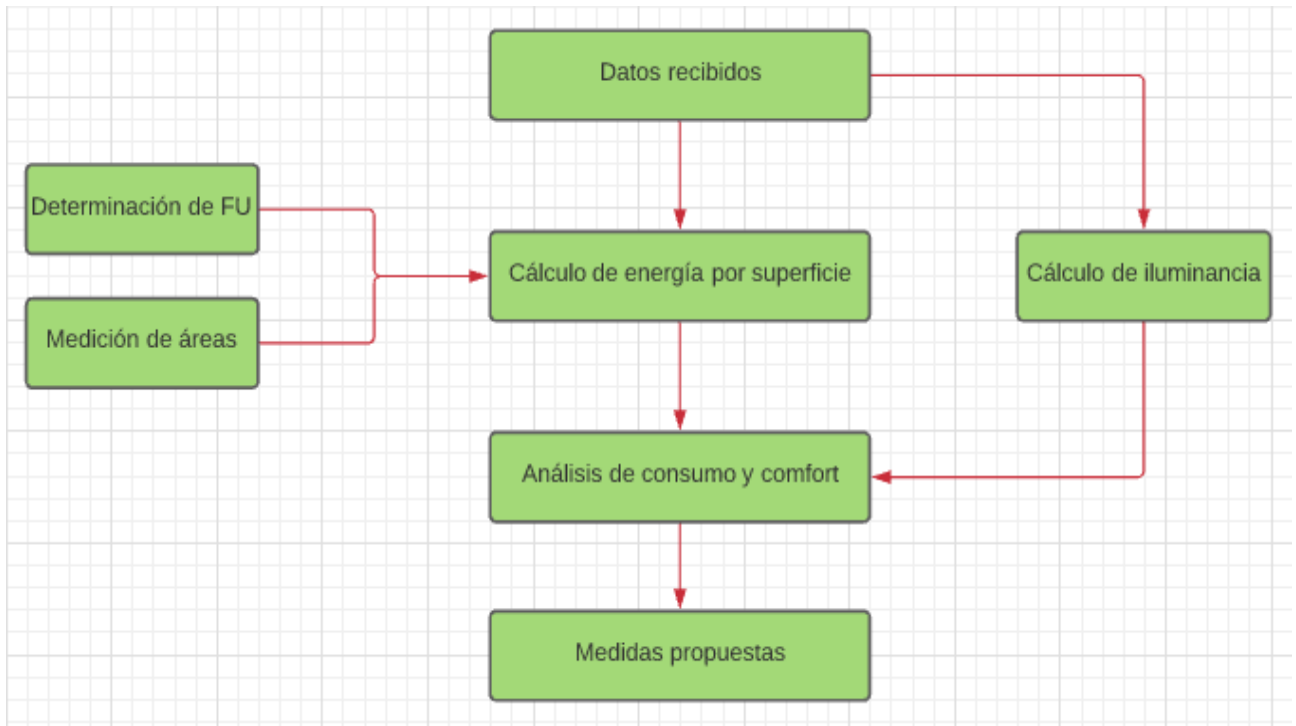


Figura 2: Diagrama esquemático del método utilizado

5. Resultados y análisis.

i. Tecnologías de iluminación presentes.

En esta sección se describe cómo es la distribución de las diferentes tecnologías de iluminación presentes en el edificio, clasificados tanto por ubicación (ala) como por piso. El efecto de esta distribución en el consumo será discutido en secciones posteriores. En las Figuras 3 y 4 se muestran los porcentajes de artefactos de cada tecnología correspondientes según ala y piso del edificio respectivamente. Se observa un mayor porcentaje de tubos fluorescentes en la gran mayoría de los casos, mientras que el porcentaje de lámparas de bajo consumo y LED varían significativamente de un caso a otro.

Porcentajes de lámparas por ala

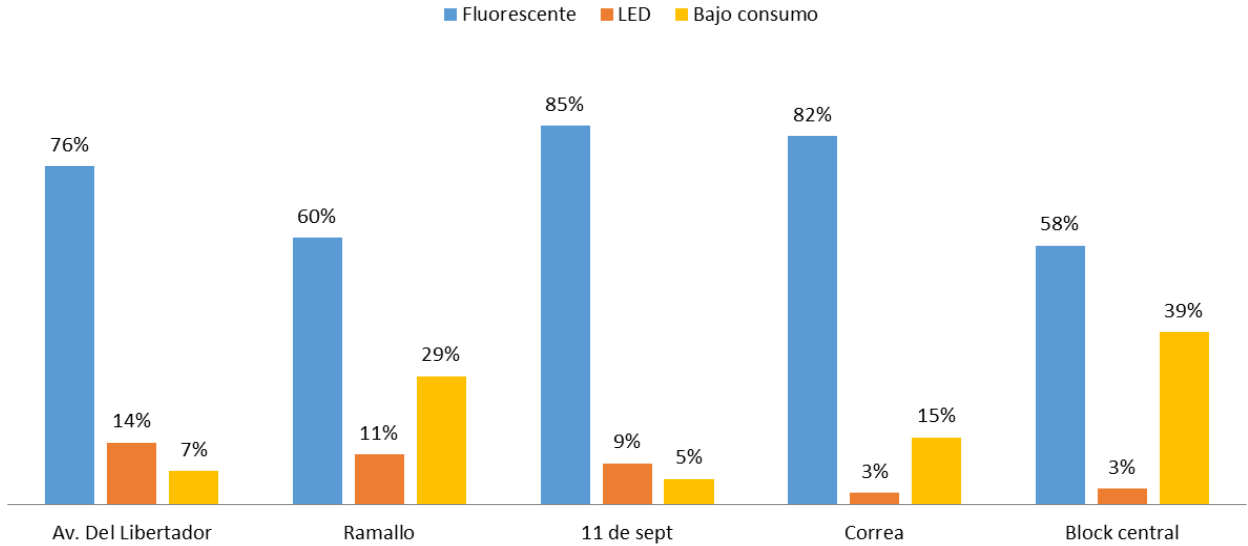


Figura 3: Distribución de lámparas según tecnología por ala

Porcentajes de lámparas por piso

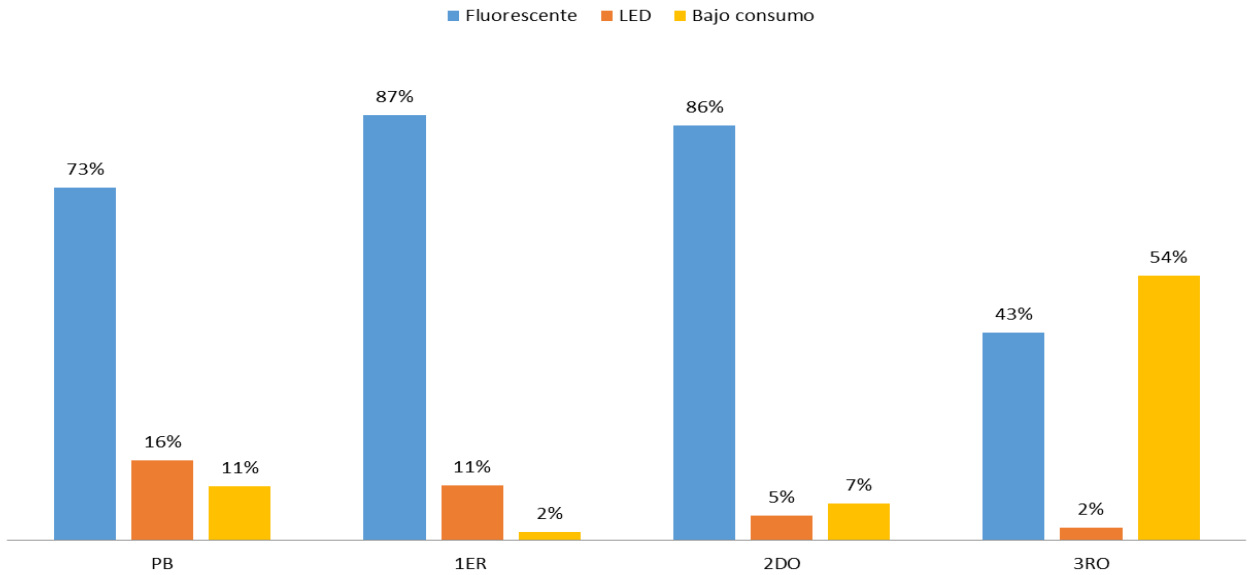


Figura 4: Distribución de lámparas según tecnología por piso

ii. Consumo mes a mes.

El primer análisis que se desarrolla es el del factor de uso mes a mes de luz artificial de las oficinas por orientación. En las figuras 5 y 6 se muestran los valores correspondientes a la parte exterior e interior de cada ala del edificio en el segundo piso, siendo la parte exterior la cara que da hacia la calle y la parte interior la que da hacia dentro del edificio se utilizó el segundo piso ya que era el más indicado para mostrar el efecto de la incidencia solar en cada una de las alas. Cabe destacar que

los valores siempre son mayores para la misma orientación en pisos inferiores debido al efecto de las sombras generadas ya sea por árboles o estructuras del mismo edificio o edificios vecinos.

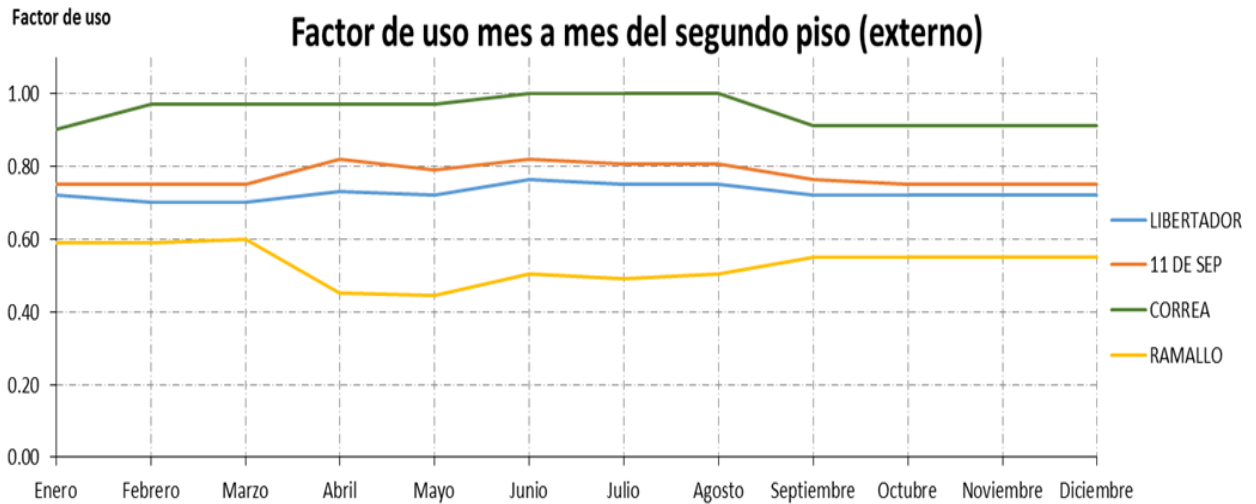


Figura 5: Factores de uso correspondientes a la parte externa del segundo piso

En primer lugar se puede notar que los factores de uso más bajos en la parte externa se encuentran en el ala de Ramallo y esto es debido a que la orientación de las ventanas (Noroeste), lo que favorece en gran medida a la incidencia solar. En contraposición, en el ala de Correa (Sureste) se encuentran los valores más altos y esto se debe, además de a la orientación, a las sombras generadas por los edificios vecinos. En Libertador (Noreste) y 11 de septiembre (Suroeste) los valores son más similares entre sí, en Libertador son más bajos debido a que esta ala del edificio da hacia un espacio abierto y no tiene nada que obstruya la luz solar directa en ningún momento del día, aunque esto a veces genera un efecto no deseado de encandilamiento, lo cual induce que los ocupantes decidan bloquear el ingreso de luz natural y utilizar luz artificial en su lugar. Bajo esta condición resultan valores de consumo más elevados que lo esperado.

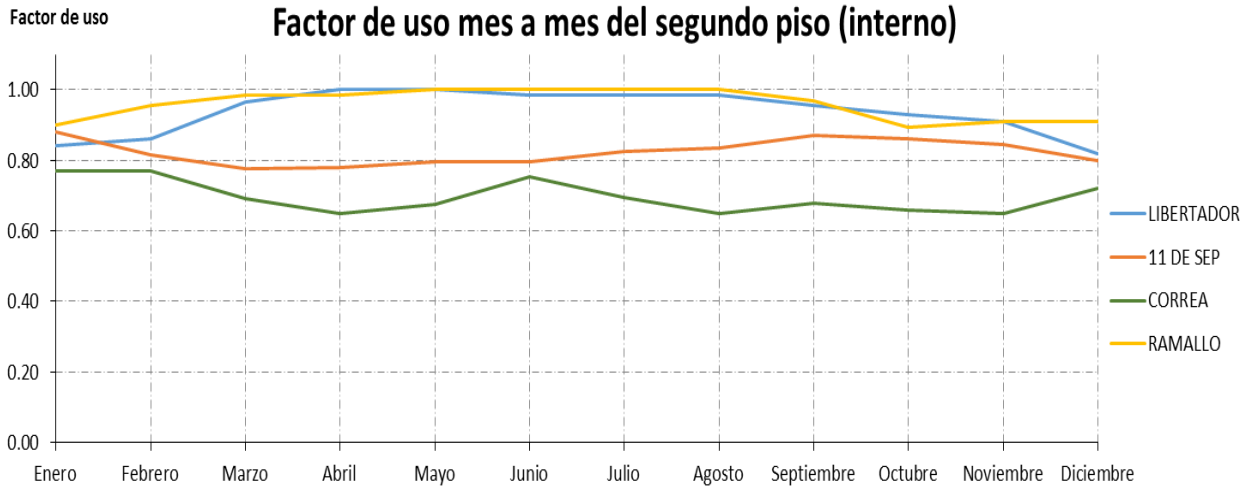


Figura 6: Factores de uso correspondientes a la parte interna del segundo piso

Lo primero que se observa claramente en la Figura 6 es que los factores de uso son superiores en Libertador y Ramallo, cuyas partes interiores tienen orientación Suroeste y Sureste respectivamente. Sumado a esto, el block central también genera sombras que influyen mucho en los factores de utilización, aunque principalmente en planta baja y primer piso. El ala interior de Correa tiene orientación Noroeste y esto se ve reflejado en los bajos valores en comparación con su ala exterior.

Los consumos fueron clasificados por piso y orientación, y luego los valores fueron normalizados con respecto a las correspondientes superficies a fin de obtener indicadores de consumo por unidad de superficie. A continuación se analizan los valores obtenidos para el indicador de consumo por metro cuadrado a partir de los gráficos mostrados en las figuras 7, 8, 9 y 10. En todos los casos se consideró como hipótesis que no hay uso de iluminación artificial en las oficinas fuera del horario laboral.

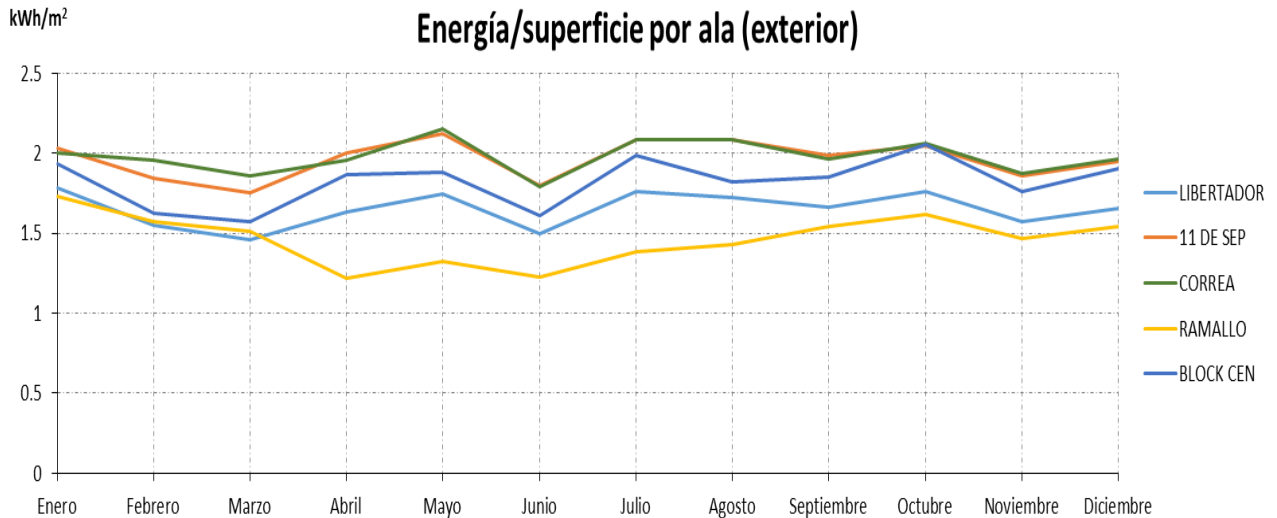


Figura 7: Consumo de energía mensual por m² correspondiente a la parte exterior de cada ala del edificio

Como se vió en la Figura 5, las partes exteriores de Libertador y Ramallo son las más beneficiadas por la incidencia solar debido a su orientación, lo cual se ve reflejado en un menor consumo por metro cuadrado comparativamente al resto, además son estas las alas del edificio que presentan los mayores porcentajes de tecnología LED (14% y 11% respectivamente). El block central se ve bastante afectado por las sombras generadas por las otras partes del edificio, resultando en un alto consumo por metro cuadrado en comparación a las dos alas anteriores. Finalmente es posible notar que los valores más altos de consumo de la parte exterior, se encuentran en Correa y 11 de septiembre, lo cual era esperable de acuerdo a los gráficos de factores de uso, sin embargo no se esperaba que fueran tan similares entre sí. Esta similitud en los valores de consumo de estas dos alas se debe por un lado a la disposición de las oficinas en 11 de septiembre, se puede observar en la Figura 14, marcado en rojo, que los locales están divididos y separados de manera tal que resultan ser más pequeños que en otras alas, por lo que hay una mayor cantidad, lo que genera que la potencia requerida por metro cuadrado para iluminación sea mayor. Por otro lado también es posible advertir en la Figura 3 que 11 de septiembre es el ala con mayor porcentaje de tubos fluorescentes en el edificio. Las potencias por metro cuadrado de cada ala se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1: Potencia destinada a iluminación por m² según ala del edificio

Ala	W/ m ²
11 de septiembre	15.42
Libertador	14.53
Block central	13.92
Correa	14.25
Ramallo	15.03

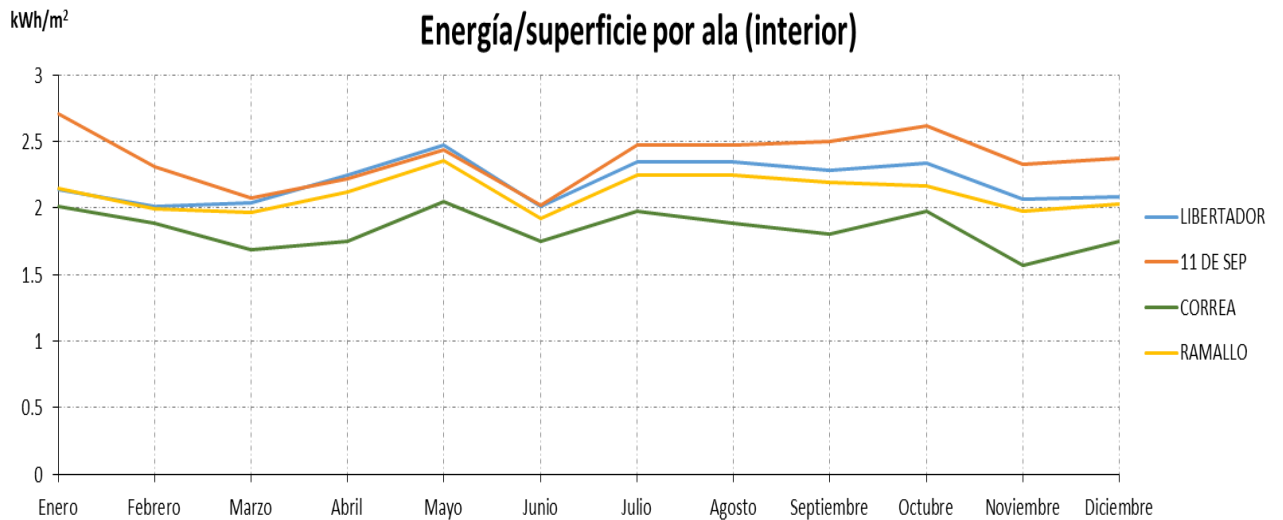


Figura 8: Consumo de energía mensual por m² correspondiente a la parte interior de cada ala del edificio

De la parte interior del edificio es posible observar que los valores de consumo por metro cuadrado son mayores en todas las alas con respecto a la parte exterior, con la excepción de Correa, que tiene orientación Noroeste. Mientras que los valores de las otras tres alas son similares entre sí, lo cual es esperado de Libertador y Ramallo al analizar los factores de uso. Nuevamente 11 de septiembre está por encima de lo esperado por las razones explicadas anteriormente.

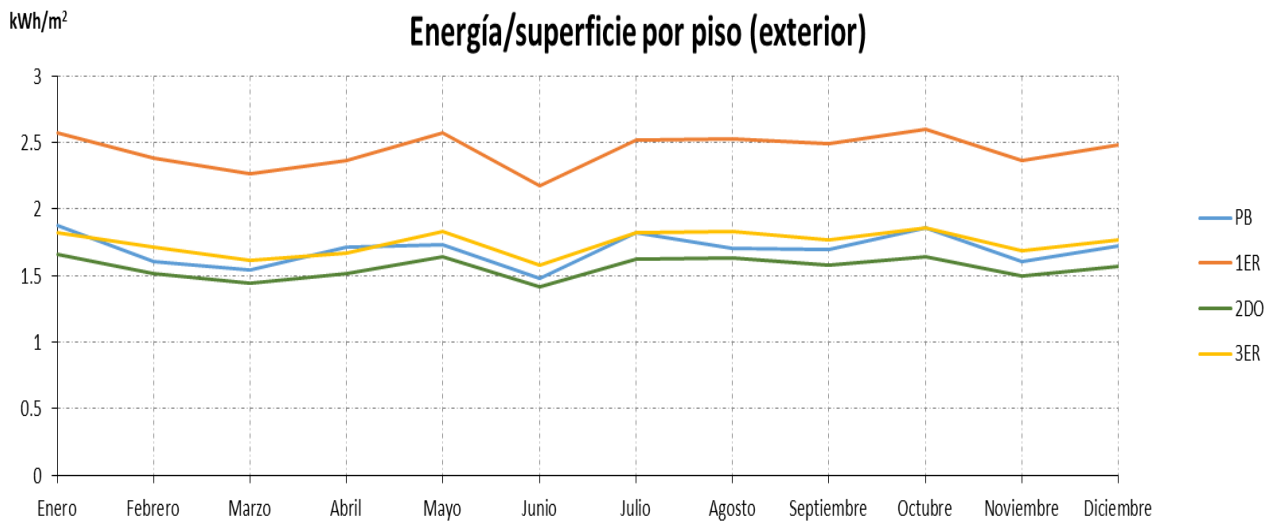


Figura 9: Consumo de energía mensual por m² correspondiente a la parte exterior de cada piso del edificio

Previamente se mencionó que los factores de uso en los pisos más bajos del edificio son siempre mayores que en los pisos más altos, por lo que se esperaba un menor consumo por metro cuadrado

en los pisos superiores y viceversa, sin embargo en el gráfico de la Figura 9, correspondiente a la parte exterior, se puede notar que el primer piso tiene los valores más altos de consumo por metro cuadrado, mientras que la planta baja está por debajo de lo esperado y el tercer piso por encima de lo esperado. En el gráfico de la Figura 4 se puede ver que el porcentaje de lámparas LED es mayor en la planta baja en comparación con otros pisos, mientras que en el primer piso se tiene el mayor porcentaje de tubos fluorescentes comparativamente. Con respecto al tercer piso se destaca que hay una mayoría de lámparas de bajo consumo, que también utilizan tecnología fluorescente, estas no son necesariamente mejores desde el punto de vista del consumo que los tubos fluorescentes, especialmente en locales de superficies grandes, y justamente este es el caso para la mayoría de las oficinas del tercer piso. Se pudo comprobar utilizando el software Dialux, que utilizando lámparas de bajo consumo en un local de 61 m^2 , la potencia requerida es mayor a si se utilizaran tubos fluorescentes, para un mismo nivel de iluminación (ver Anexo: Cálculo de iluminancia). Esto se debe principalmente a la diferencia del ángulo de apertura de haz de luz de las lámparas. Si se utilizara tecnología LED en lugar de fluorescente, la reducción de potencia requerida sería aún mayor pero esto será analizado posteriormente en el informe.

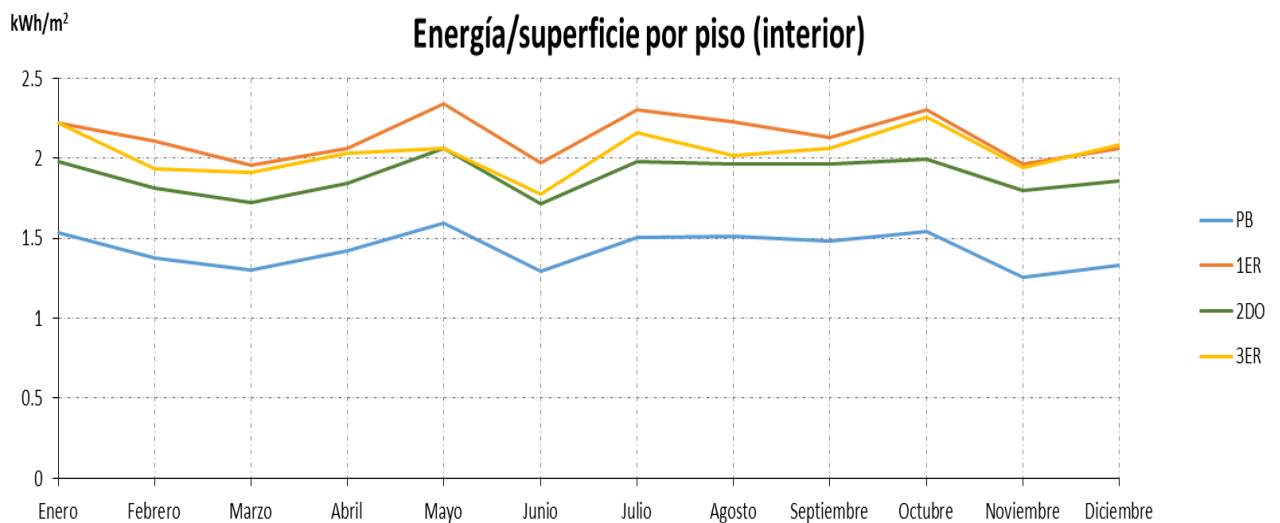


Figura 10: Consumo de energía mensual por m² correspondiente a la parte interior de cada piso del edificio

Para la parte interior el análisis es prácticamente el mismo, los valores obtenidos para la planta baja se encuentran por debajo de lo esperado por tener un mayor porcentaje de tecnología LED que otros pisos, mientras que el tercer piso está por encima de lo esperado por lo explicado anteriormente.

iii. Medidas de mejora propuestas.

Tabla 2: Resumen de medidas propuestas

Medida propuesta	Ahorro consumo anual (kWh)	Ahorro de consumo en iluminación	Ahorro de consumo total del edificio	Reducción emisiones anuales (KgCO ₂ eq)	Inversión requerida (USD)	Ahorro anual (USD)	Periodo de repago
Recambio por tecnología LED	100.000	49%	8%	56.000	34.800	6.852	6 años
Aprovechamiento de luz natural	20.000	11%	1,6%	11.200	-	1.252	-
Utilización de módulos solares	-	-	-	123.200	91.500	15.000	9 años
Cambio de localización de depósitos	1.000	0,5%	0,08%	560	-	63	-

Gracias al análisis del factor de uso de cada local, es posible identificar en qué zonas y en qué horarios la luz natural debería ser suficiente para garantizar una correcta iluminación, por lo que la primera medida sería aprovechar esta luz natural y no usar luz artificial en estos casos. A continuación se muestra el detalle de cuáles son estas zonas y horarios, en la Figura 11.

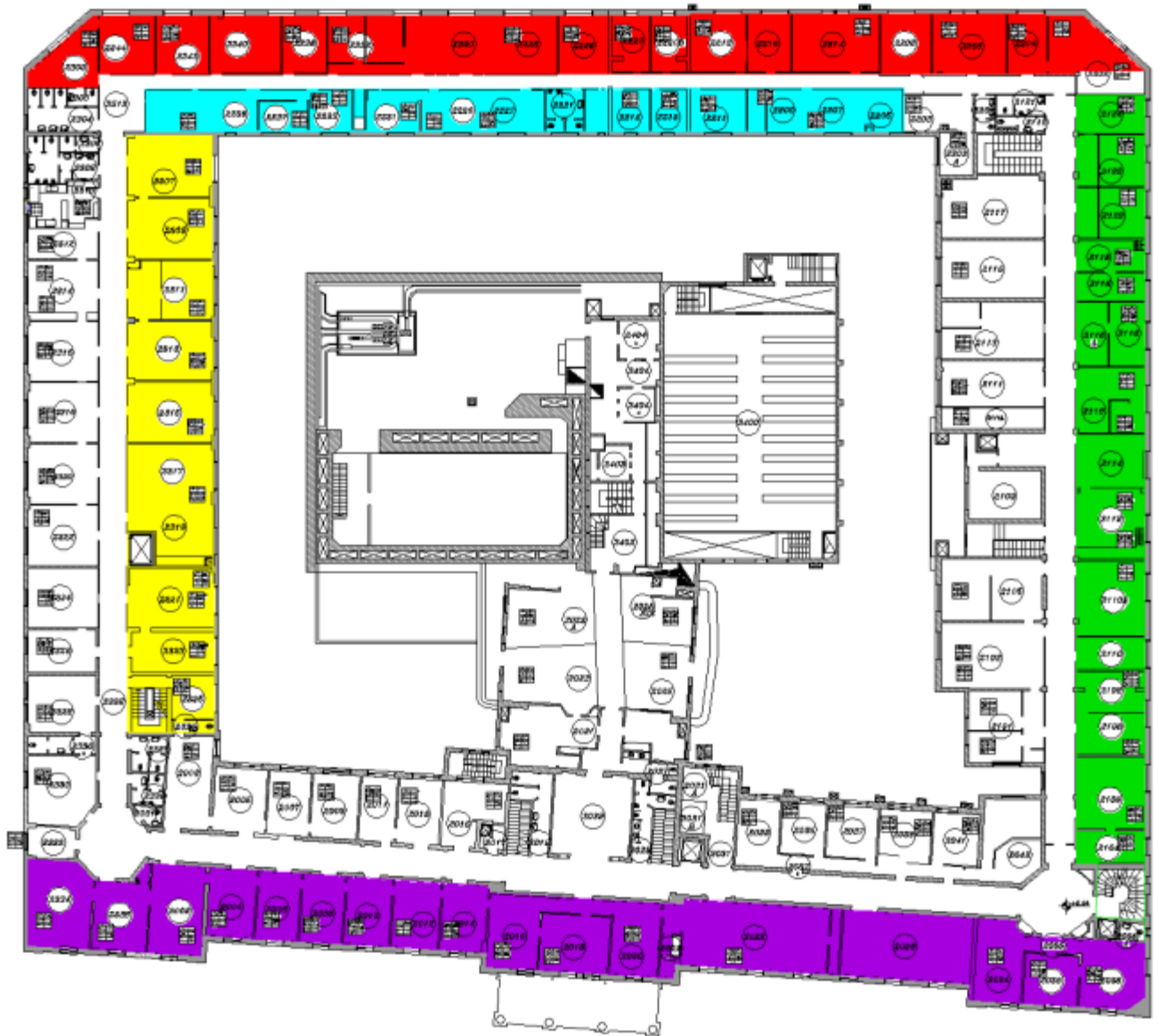


Figura 11: Vista en plano del edificio con delimitación de las zonas donde se puede aplicar la medida

Desde el amanecer hasta un horario de entre las 13 y 15 horas (dependiendo del mes del año), la zona exterior de Libertador (violeta) recibe luz solar de manera directa casi en su totalidad, como se mencionó anteriormente, esto a veces produce un efecto de encandilamiento, pero puede ser solucionado simplemente colocando toldos de altura regulable para reducir la cantidad de luz entrante. A la misma hora que deja de dar el sol directamente sobre Libertador, comienza a dar en 11 de septiembre (rojo) y continúa así hasta el anochecer. En Ramallo (verde) deja de ser necesaria la luz artificial desde entre las 9 y 11 horas, y continúa de esta manera el resto del día, aunque debido a la presencia de algunos edificios vecinos, algunas partes de esta zona pueden requerirla. En Correa el bloqueo de la luz solar directa por parte de los edificios vecinos es mucho más significativa, tanto es así que en los primeros dos pisos casi no hay momentos en los que no se debe utilizar la luz artificial, y en el tercer y cuarto piso apenas hay ventanas de tiempo de no más de dos horas a lo largo del día en las que puede utilizarse únicamente la luz solar directa.

En la parte interior del edificio es mucho más complejo encontrar patrones del comportamiento de las sombras, ya que el efecto del block central y los edificios aledaños hacen que las zonas sombreadas sean aleatorias a lo largo del año. Se puede mencionar la zona interior de Correa (amarillo), en la cual el sol comienza a dar de forma directa a partir de entre las 10 y 13 horas hasta el anochecer, aunque en planta baja y primer piso la luz se ve bloqueada por el block central a entre las 13 y 15 horas. También en 11 de septiembre (celeste) hay un periodo diario de aproximadamente 4 horas en el que puede aprovecharse la luz natural desde las 9 - 11 horas hasta las 13 - 15 horas.

Si se tienen en cuenta estas consideraciones, es decir, si no se utiliza la luz artificial en las zonas y horarios que mencionamos, el ahorro de energía podría ser de 20 MWh por año y no requeriría de una inversión inicial, sin embargo sí sería necesaria una concientización a los usuarios para generar un cambio de hábito en la utilización de la luz artificial. También sería posible implementar esta medida utilizando elementos de control como sensores de presencia y fotocélulas que midan el nivel de iluminación constantemente, pero se precisaría una inversión inicial.

Otra medida que se puede considerar, proviene del análisis de consumo por metro cuadrado, gracias al cual es posible identificar las zonas del edificio en las cuáles el consumo promedio es mayor. Considerando que varios locales son utilizados como depósitos o almacenes, la idea sería mudar estos depósitos a locales en zonas en las que el consumo por metro cuadrado es mayor, ya que las horas de uso diaria son mucho menos en un depósito que en una oficina. De igual manera sería ideal aprovechar al máximo los locales de las zonas con menor consumo por metro cuadrado como oficinas, si bien no es posible hacer cambios inmediatos, esto podría ser considerado como criterio de eficiencia energética a la hora de asignar nuevos locales. La medida sin embargo proporciona actualmente un ahorro que puede considerarse como despreciable, ya que es de tan sólo 1000 kWh anuales, lo cual corresponde a penas a un 0,5% del consumo en iluminación anual.

Por otro lado se evaluó la medida de cambiar tanto las lámparas fluorescentes como las de bajo consumo por tecnología LED, se pudo comprobar que con esta tecnología es posible recortar a la mitad la cantidad de artefactos de la misma potencia, manteniendo o incluso mejorando la calidad de iluminación, en otras palabras se podría reducir la potencia requerida de un local a la mitad sin modificar negativamente la iluminancia promedio del mismo.

Se realizó un análisis económico realizando una única inversión para realizar el recambio de todas las lámparas en un mismo año y se obtuvo que el ahorro anual de energía sería de 100 MWh, lo que representa aproximadamente 6852 USD por año, pero más significativamente representaría una reducción de emisiones a nivel generación de 56 toneladas de CO₂ equivalentes (gases de efecto invernadero) por año. Por otro lado el período de repago de la inversión realizada, sería de 6 años. Sin embargo, si a diferencia de realizar una inversión inicial, se cambian los artefactos existentes a medida que dejan de funcionar, el periodo de repago sería mucho menor, pero el incremento del ahorro de energía sería más paulatino.

Finalmente se decidió evaluar la utilización de módulos solares para cubrir el consumo de iluminación del edificio. Esta medida no es para reducir el consumo eléctrico en iluminación como las anteriores, sino para obtener esa energía de una fuente más limpia, reduciendo el impacto

negativo de este consumo sobre el medio ambiente. Lo que se obtuvo es que con el sistema de iluminación actual, una inversión de 91500 USD permitiría cubrir el consumo eléctrico anual en iluminación en su totalidad con energía fotovoltaica (esto representa una reducción de emisiones de 123 toneladas de CO2 equivalentes anuales), mientras que si primero se realiza el recambio de los artefactos actuales por tecnología LED, la inversión inicial requerida se reduce a 50450 USD. Cabe destacar que el techo del edificio provee la superficie suficiente para la colocación de los módulos fotovoltaicos necesarios.

6. Conclusiones.

En primer lugar se concluye que tanto la incidencia solar como la diversificación de tecnologías son factores significativos a la hora de analizar el consumo de iluminación en edificios. Se pudo ver qué efectos tiene sobre la energía anual consumida por metro cuadrado la orientación de cada ala del edificio, siendo las alas con orientación al norte las más favorecidas por la incidencia solar.

Con respecto a las diferentes tecnologías se ve claramente la reducción en el consumo en las zonas con mayor porcentaje de tecnología LED, mientras que el consumo con lámparas fluorescentes y de bajo consumo es similar. Se concluyó que con tecnología LED es posible reducir a la mitad la potencia requerida de iluminación, sin afectar negativamente la iluminancia del local.

De las medidas propuestas se concluye que es posible lograr un ahorro considerable siendo consciente de cuándo la luz natural es suficiente para cubrir la iluminación requerida, y no utilizando luz artificial en estos casos, mientras que el ahorro por la relocalización de los depósitos del edificio es mucho menor. La medida con mayor nivel de ahorro es la de recambio de lámparas fluorescentes y de bajo consumo por tecnología LED, aunque implica una inversión inicial y el periodo de repago es alto. Por su parte la utilización de módulos fotovoltaicos para cubrir el consumo en iluminación sería la medida que más reduciría las emisiones de gases de efecto invernadero, ya que se obtiene la energía de una fuente más limpia.

7. Anexos.

i. Determinación de factores de uso.

Para determinar los factores de uso de cada oficina se modeló el edificio y algunas representaciones de edificios vecinos usando SketchUp, y se observó la incidencia solar en las diferentes partes del edificio el día 15 de cada mes, luego se asignaron los correspondientes factores de uso para tres franjas horarias de cada uno de los días (7hs a 11hs, 11hs a 15hs y 15hs a 18hs) considerando que los artefactos de iluminación artificial se encienden siempre que no haya iluminación natural de manera directa sobre las ventanas de cada local. La razón para la elección de estas tres franjas horarias es la diferencia notable en la incidencia solar en las diferentes partes del edificio en estos horarios. Finalmente se realizó un promedio ponderado dándole mayor importancia a la franja horaria central (11hs a 15hs), ya que es en la cual se encuentran presentes la mayor parte de los usuarios. A continuación se presentan los resultados tanto para la parte exterior (Figura 12) cómo para la interior (Figura 13).

		Factores de utilización externos											
		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
LIBERTADOR	PB	0.72	0.70	0.70	0.73	0.72	0.77	0.75	0.75	0.72	0.72	0.72	0.72
	1ER	0.72	0.70	0.70	0.73	0.72	0.77	0.75	0.75	0.72	0.72	0.72	0.72
	2DO	0.72	0.70	0.70	0.73	0.72	0.77	0.75	0.75	0.72	0.72	0.72	0.72
	3ER	0.72	0.70	0.70	0.73	0.72	0.77	0.75	0.75	0.72	0.72	0.72	0.72
11 DE SEP	PB	0.77	0.77	0.77	0.82	0.79	0.82	0.82	0.82	0.78	0.77	0.77	0.77
	1ER	0.75	0.75	0.75	0.82	0.79	0.82	0.82	0.82	0.78	0.77	0.77	0.77
	2DO	0.75	0.75	0.75	0.82	0.79	0.82	0.81	0.81	0.77	0.75	0.75	0.75
	3ER	0.75	0.75	0.75	0.82	0.79	0.82	0.81	0.81	0.77	0.75	0.75	0.75
CORREA	PB	0.93	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97	0.97	0.97	0.97
	1ER	0.93	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97	0.97	0.97	0.97
	2DO	0.90	0.97	0.97	0.97	0.97	1.00	1.00	1.00	0.91	0.91	0.91	0.91
	3ER	0.90	0.97	0.97	0.97	0.97	1.00	1.00	1.00	0.91	0.91	0.91	0.91
RAMALLO	PB	0.59	0.59	0.60	0.45	0.45	0.51	0.49	0.51	0.55	0.55	0.55	0.55
	1ER	0.59	0.59	0.60	0.45	0.45	0.51	0.49	0.51	0.55	0.55	0.55	0.55
	2DO	0.59	0.59	0.60	0.45	0.45	0.51	0.49	0.51	0.55	0.55	0.55	0.55
	3ER	0.59	0.59	0.60	0.45	0.45	0.51	0.49	0.51	0.55	0.55	0.55	0.55
BLOCK CEN	PB	0.82	0.82	0.82	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89
	1ER	0.79	0.79	0.79	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89
	2DO	0.76	0.79	0.76	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89
	3ER	0.76	0.79	0.76	0.86	0.86	0.89	0.89	0.89	0.86	0.86	0.86	0.86

Figura 12: Factores de uso resultantes de la parte externa

		Factores de utilización internos											
		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
LIBERTADOR	PB	0.93	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97	0.93	0.93	0.91
	1ER	0.84	0.91	0.97	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97	0.93	0.91	0.88
	2DO	0.84	0.86	0.97	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	0.96	0.93	0.91	0.82
	3ER	0.84	0.86	0.97	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.94	0.90	0.82	0.82
11 DE SEP	PB	0.94	0.91	0.82	0.84	0.92	0.98	0.98	0.98	0.90	0.89	0.89	0.89
	1ER	0.94	0.88	0.81	0.83	0.81	0.84	0.90	0.89	0.89	0.89	0.86	0.85
	2DO	0.88	0.82	0.78	0.78	0.80	0.80	0.83	0.84	0.87	0.86	0.85	0.80
	3ER	0.88	0.82	0.78	0.78	0.80	0.80	0.83	0.84	0.87	0.86	0.85	0.80
CORREA	PB	0.92	0.89	0.90	0.97	1.00	0.98	0.97	0.97	0.92	0.92	0.71	0.75
	1ER	0.77	0.89	0.83	0.79	0.90	0.97	0.93	0.84	0.73	0.85	0.68	0.74
	2DO	0.77	0.77	0.69	0.65	0.68	0.76	0.70	0.65	0.68	0.66	0.65	0.72
	3ER	0.77	0.77	0.69	0.64	0.65	0.61	0.62	0.65	0.64	0.66	0.65	0.72
RAMALLO	PB	0.93	0.97	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.97	0.97	0.97
	1ER	0.93	0.97	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.97	0.97	0.94
	2DO	0.90	0.96	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97	0.90	0.91	0.91
	3ER	0.90	0.88	0.94	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97	0.88	0.88	0.85
BLOCK CEN	PB	0.91	0.94	0.91	0.91	0.91	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.71	0.71
	1ER	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.68	0.68
	2DO	0.66	0.66	0.66	0.62	0.62	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.65	0.65
	3ER	0.66	0.66	0.66	0.62	0.62	0.87	0.87	0.87	0.84	0.84	0.65	0.65

Figura 13: Factores de uso resultantes de la parte interior

ii. Medición de áreas de los locales.

Las superficies de las oficinas analizadas fueron medidas utilizando la herramienta de medición de áreas de Autocad, a partir de los planos del edificio, a continuación en la Figura 14 un ejemplo del plano utilizado.

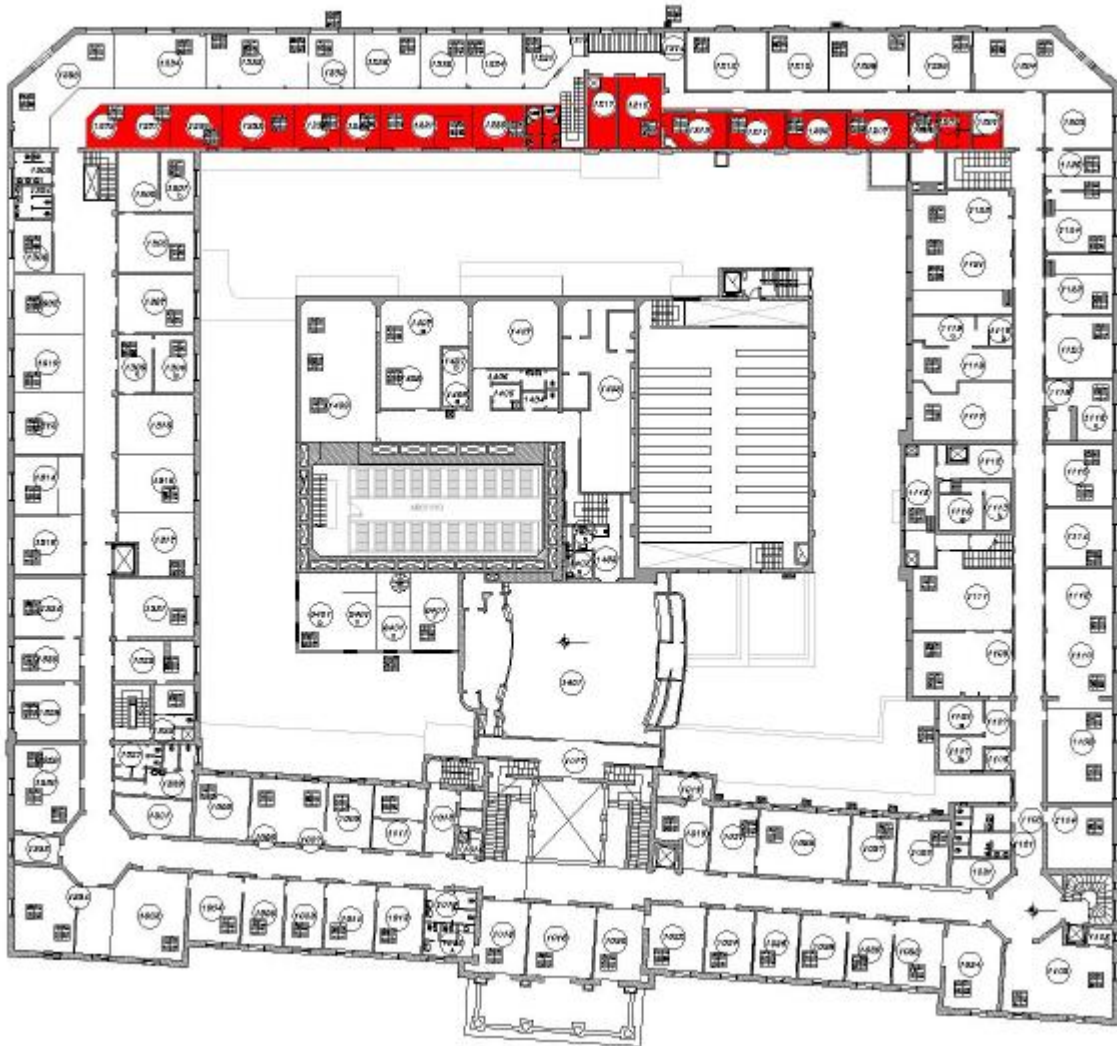


Figura 14: Vista en planta del primer piso del edificio

iii. Cálculo de iluminancia

Para calcular la iluminancia de los locales se utilizó el software Dialux, en el cual se modelaron oficinas representativas con sus correspondientes artefactos de iluminación y, luego de un cálculo, el programa devuelve una hoja como la que se muestra en la Figura 15, con datos relevantes entre los cuales se encuentra la iluminancia promedio del local.

Altura del local: 4.000 m, Altura de montaje: 4.000 m, Factor mantenimiento: 0.80

Valores en Lux, Escala 1:66

Superficie	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano útil	/	347	59	430	0.170
Suelo	20	226	29	328	0.128
Techo	70	110	94	146	0.856
Paredes (4)	50	235	16	484	/

Plano útil:

Altura: 0.850 m
 Trama: 128 x 128 Puntos
 Zona marginal: 0.000 m

Lista de piezas - Luminarias

Nº	Pieza	Designación (Factor de corrección)	Φ (Luminaria) [lm]	Φ (Lámparas) [lm]	P [W]
1	4	PHILIPS TMS022 2xTL-D36W +GMS022 R (1.000)	4757	6700	85.0
Total:			19028	Total: 26800	340.0

Valor de eficiencia energética: $16.47 \text{ W/m}^2 = 4.74 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Base: 20.65 m^2)

Figura 15: Output de Dialux para oficina de 20 m2 con tubos fluorescentes

La Figura 15 mostrada anteriormente corresponde a un local que utiliza tubos fluorescentes para su iluminación, con 8 artefactos de 36W la iluminancia promedio en el plano útil resulta ser de 347 lux (recuadro amarillo), si estos se cambiaran por 4 artefactos de 32W (la potencia total se reduce a menos de la mitad) que utilicen tecnología LED, la iluminancia promedio en el plano útil resultaría ser de 409 lux, como se muestra en la Figura 16 recuadrado en amarillo.

Altura del local: 4.000 m, Altura de montaje: 4.000 m, Factor mantenimiento: 0.80

Valores en Lux, Escala 1:66

Superficie	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano útil	/	447	46	598	0.102
Suelo	20	309	20	467	0.066
Techo	70	78	59	89	0.761
Paredes (4)	50	168	12	354	/

Plano útil:

Altura: 0.850 m
 Trama: 128 x 128 Puntos
 Zona marginal: 0.000 m

Lista de piezas - Luminarias

N°	Pieza	Designación (Factor de corrección)	Φ (Luminaria) [lm]	Φ (Lámparas) [lm]	P [W]
1	4	PHILIPS LL121X 1xLED45S/840 NB (1.000)	4500	4500	32.0
			Total: 18000	Total: 18000	128.0

Valor de eficiencia energética: $6.20 \text{ W/m}^2 = 1.39 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Base: 20.65 m^2)

Figura 16: Output de Dialux para oficina de 20 m2 con tubos LED

Por otro lado, en una oficina diferente, en la cual se utilizan 26 lámparas de bajo consumo de 36W cada una para su iluminación, se pudo comprobar que la potencia requerida sería menor si se utilizaran tubos fluorescentes, como se muestra en la Figura 17 (recuadro amarillo), se puede ver que con 20 artefactos de 36W la iluminancia promedio en el plano útil sería de 374 lux, concluyendo así que no necesariamente las lámparas de bajo consumo son una mejor elección que los tubos fluorescentes, desde el punto de vista del consumo.

Altura del local: 4.000 m, Altura de montaje: 4.000 m, Factor mantenimiento: 0.80

Valores en Lux, Escala 1:136

Superficie	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano útil	/	374	60	486	0.160
Suelo	20	296	45	418	0.152
Techo	70	97	66	232	0.676
Paredes (6)	50	236	37	1230	/

Plano útil:

Altura: 0.850 m
 Trama: 128 x 128 Puntos
 Zona marginal: 0.000 m

Lista de piezas - Luminarias

N°	Pieza	Designación (Factor de corrección)	Φ (Luminaria) [lm]	Φ (Lámparas) [lm]	P [W]
1	10	PHILIPS TMS022 2xTL-D36W +GMS022 R (1.000)	4757	6700	85.0
Total:			47570	67000	850.0

Valor de eficiencia energética: 13.72 W/m² = 3.67 W/m²/100 lx (Base: 61.94 m²)

Figura 17: Output de Dialux para oficina de 61 m2 con tubos fluorescentes

iv. Cálculo del consumo de energía mensual.

El consumo de energía mensual de cada local se calculó utilizando la siguiente expresión:

$$Energía\ mensual = P_a \times C_a \times HU \times FU \times DH$$

Siendo:

P_a : Potencia de artefacto.

C_a : Cantidad de artefactos en el local.

HU : Horas de uso diarias del artefacto.

FU : Factor de uso del local en el mes correspondiente.

DH : Días hábiles del mes correspondiente.

v. Cálculo de ahorro de consumo.

Para calcular el ahorro de consumo resultante de la medida de aprovechamiento de luz natural se redujeron los factores de uso a cero en las zonas del edificio y horarios mencionados en el informe y luego se realizó un nuevo cálculo de energía consumida con los nuevos factores de uso. En las Figuras 18 y 19 se muestran cómo serían los nuevos factores de uso una vez adoptada la medida para la zona exterior e interior del edificio respectivamente.

		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
LIBERTADOR	PB	0.46	0.46	0.46	0.49	0.48	0.53	0.51	0.51	0.46	0.46	0.46	0.46
	1ER	0.46	0.46	0.46	0.49	0.48	0.53	0.51	0.51	0.46	0.46	0.46	0.46
	2DO	0.46	0.46	0.46	0.49	0.48	0.53	0.51	0.51	0.46	0.46	0.46	0.46
	3ER	0.46	0.46	0.46	0.49	0.48	0.53	0.51	0.51	0.46	0.46	0.46	0.46
11 DE SEP	PB	0.65	0.65	0.65	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.70	0.67	0.67
	1ER	0.65	0.65	0.65	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.70	0.67	0.67
	2DO	0.65	0.65	0.65	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.70	0.67	0.67
	3ER	0.65	0.65	0.65	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.70	0.67	0.67
CORREA	PB	0.90	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97	0.97	0.97
	1ER	0.90	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97	0.97	0.97
	2DO	0.87	0.93	0.96	0.94	0.97	1.00	1.00	1.00	0.88	0.88	0.88	0.88
	3ER	0.87	0.93	0.96	0.94	0.97	1.00	1.00	1.00	0.88	0.88	0.88	0.88
RAMALLO	PB	0.37	0.40	0.37	0.30	0.30	0.33	0.31	0.34	0.40	0.37	0.37	0.37
	1ER	0.37	0.40	0.37	0.30	0.30	0.33	0.31	0.34	0.40	0.37	0.37	0.37
	2DO	0.37	0.37	0.37	0.30	0.30	0.33	0.31	0.34	0.40	0.37	0.37	0.37
	3ER	0.37	0.37	0.37	0.30	0.30	0.33	0.31	0.34	0.40	0.37	0.37	0.37
BLOCK CEN	PB	0.75	0.75	0.71	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87
	1ER	0.72	0.72	0.68	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87
	2DO	0.69	0.69	0.65	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87
	3ER	0.69	0.69	0.65	0.84	0.84	0.87	0.87	0.87	0.84	0.84	0.84	0.84

Figura 18: Factores de uso resultantes luego de adoptar la medida (parte externa)

		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
IBERTADOR	PB	0.90	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97	0.93	0.87	0.85
	1ER	0.79	0.86	0.97	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97	0.93	0.84	0.81
	2DO	0.79	0.81	0.95	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	0.93	0.86	0.84	0.75
	3ER	0.79	0.81	0.95	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.91	0.83	0.75	0.75
11 DE SEP	PB	0.90	0.87	0.78	0.80	0.92	0.98	0.98	0.98	0.86	0.85	0.84	0.84
	1ER	0.90	0.81	0.74	0.77	0.74	0.80	0.86	0.85	0.82	0.82	0.79	0.79
	2DO	0.83	0.75	0.71	0.71	0.73	0.73	0.76	0.77	0.80	0.79	0.78	0.73
	3ER	0.81	0.75	0.71	0.71	0.73	0.73	0.76	0.77	0.80	0.79	0.78	0.73
CORREA	PB	0.88	0.85	0.86	0.95	1.00	0.98	0.97	0.97	0.92	0.88	0.64	0.56
	1ER	0.64	0.76	0.70	0.65	0.81	0.95	0.93	0.80	0.69	0.78	0.61	0.55
	2DO	0.53	0.61	0.45	0.37	0.42	0.48	0.42	0.39	0.40	0.37	0.40	0.44
	3ER	0.53	0.61	0.45	0.36	0.39	0.31	0.33	0.36	0.39	0.37	0.40	0.44
RAMALLO	PB	0.90	0.96	0.97	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.97	0.97	0.94
	1ER	0.88	0.94	0.97	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.94	0.97	0.91
	2DO	0.87	0.93	0.97	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97	0.87	0.88	0.88
	3ER	0.85	0.85	0.91	0.97	1.00	1.00	1.00	1.00	0.96	0.85	0.85	0.82
BLOCK CEN	PB	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.71	0.71
	1ER	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.68	0.68
	2DO	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.65	0.65
	3ER	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.87	0.87	0.87	0.84	0.84	0.65	0.65

Figura 19: Factores de uso resultantes luego de adoptar la medida (parte externa)

Para la medida de cambio de localización de depósitos se redujeron las horas de uso de los nuevos locales designados como depósitos a una hora diaria y se realizó nuevamente el cálculo de consumo de energía con esta variable.

Para la medida de recambio de tecnología fluorescente por tecnología LED se redujo a la mitad la potencia de los artefactos de cada local con tecnología fluorescente y luego se calculó la energía consumida nuevamente.

vi. Cálculo de reducción de emisiones.

La reducción de emisiones resultante de cada medida se calculó multiplicando el ahorro de consumo anual por un factor de emisión de CO₂ por kWh generado. El combustible utilizado para el cálculo fue el gasoil y el factor de emisión correspondiente es de 0,7 kg de CO₂ por kWh generado. Este dato proviene del estudio: Cálculo del Factor de Emisión de CO₂ de la Red Argentina de Energía Eléctrica realizado por la Secretaría de energía¹.

vii. Cálculo de inversión requerida.

Para el cálculo de la inversión requerida de la medida de recambio de tecnología fluorescente por tecnología LED se utilizaron los precios y el número de artefactos indicados en la Tabla 3.

Tabla 1: Precios de artefactos para recambio utilizados

Artefacto	Precio (USD)	Cantidad
Tubo LED 36W	30.6	1068
Tubo LED 18W	20.4	35
Tubo LED 10W	10.2	13
Tubo LED 8W	6.1	5
Foco LED 36W	6.1	171
Foco LED 28W	4.0	30
Foco LED 16W	2.0	8
Foco LED 10W	1.5	31

Para el cálculo de la inversión requerida para la medida de instalación de módulos fotovoltaicos se utilizaron los precios y el número de artefactos indicados en la Tabla 4. No fue tenido en cuenta el costo por cableado y protecciones del mismo.

Tabla 2: Precios de módulos e inversor utilizados

Artefacto	Precio (USD)	Cantidad
Módulo TaleSun Tp672p 380W	170	382
Inversor SolarLake TL-PM 150000W	2944	9

viii. Cálculo de ahorro anual (USD).

El ahorro anual en dólares fue calculado usando la expresión:

$$\text{Ahorro anual} = AC \times PE_r + AP \times PP_a \times 12$$

¹ Fuente del dato: <http://datos.minem.gob.ar/dataset/calculo-del-factor-de-emision-de-co2-de-la-red-argentina-de-energia-electrica>

Donde:

AC : Ahorro de consumo de energía anual.

PE_r : Precio de la energía en hora resto.

AP : Ahorro de potencia.

PP_a : Precio de potencia adquirida por mes.

El precio de la energía en hora resto utilizado fue de 0,06 USD por kWh y el precio de potencia adquirida por mes utilizado fue de 0,89 USD por kW.