

## **Capítulo 12**

# **El Aprovechamiento Energético del Alumbrado Natural en Edificios**

Leonardo Assaf

### **1. Glosario**

### **2. Introducción**

### **3. Aprovechamiento de la luz natural**

### **4. Estrategias para incentivar el uso de la luz natural**

- 4.1. Diseño de sistemas alumbrado natural – efectivos
- 4.2. El papel del usuario u ocupante. Campañas de estímulo.
- 4.3. Evaluación del aprovechamiento
- 4.4. Selección del sistema de control de la iluminación

### **Bibliografía**

### **Anexo**

## 1. Glosario

**Eficiencia** (de un sistema de iluminación) El logro pleno de las necesidades de iluminación de los ambientes, con el mínimo requerimiento de energía.

**Bóveda Celeste:** Hemisferio visible del cielo que contiene el conjunto de iluminantes naturales, constituidos por el cielo, las nubes y el sol.

**Abertura** Parte no opaca de la envolvente de un edificio, concebida –entre otros fines– para permitir el ingreso de la luz natural.

**Obstrucción** (de la bóveda celeste respecto de un punto) Cualquier elemento interpuesto entre el punto y la bóveda celeste, de manera tal que modifique la cantidad de luz natural que éste recibe, sea bloqueando o reflejando flujo radiante proveniente del cielo. Se aplica para describir la influencia de volúmenes próximos, tales como edificios, árboles o accidentes del terreno en la luz que recibe una abertura.

**Dispositivos intermedios** Elemento fijo o movable que se agrega interna o externamente a una abertura con fines funcionales, de sombreado, estético o de seguridad y que puede modificar la cantidad de luz admitida.

## 2. Introducción

El concepto eficiencia del alumbrado, tal como es corrientemente entendido, está circunscripto a la eficiencia individual de los componentes de la instalación propiamente dicha: lámparas, equipos auxiliares, artefactos, etc., sin tomar en cuenta ningún otro factor. De acuerdo a este enfoque, ampliamente aceptado, el alumbrado natural no forma parte de la eficiencia. Esto contrasta con el hecho indiscutido de que luz natural es uno de los recursos más convenientes para la iluminación de interiores y que su aprovechamiento puede ser importante para la remisión de la energía usada en la iluminación y –por ende– de la eficiencia.

La razón de tal omisión puede explicarse, más que por la desvalorización de la luz natural como recurso, por la falta de métodos adecuados de análisis que permitan evaluar de una manera simple **cómo y cuánto** de ella puede ser aprovechada en un local o situación particular. El desarrollo de tales herramientas y de estrategias en pro de un mayor aprovechamiento de la luz natural son los objetivos de la presente sección.

## 3. Aprovechamiento de la luz natural

El alumbrado natural es un recurso para la eficiencia energética en la iluminación de interiores en la medida en que permite reducir de uso de la luz artificial. Es necesario reconocer sin embargo que la luz natural representa un caudal potencial, que será aprovechado siempre y cuando el edificio cuente con los recursos necesarios y la sustitución de luz eléctrica por luz natural sea realizada, de allí la conveniencia de diferenciar entre **aprovechamiento potencial** y **aprovechamiento real**.

Los factores que son determinantes para el aprovechamiento de la luz natural, se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Factores determinantes del **potencial** de aprovechamiento de la luz natural:
  - (1) La cantidad de luz natural disponible en el sitio de emplazamiento del edificio, dependiente de factores geográficos, climáticos, estacionales y atmosféricos.
  - (2) La cantidad de luz natural que es admitida en el interior, propiedad intrínseca del edificio, dependiente de su orientación y entorno, la geometría del local, formas, dimensiones y permeabilidad luminosa de las aberturas.
  
- Factores determinantes del aprovechamiento **real** de la luz natural:
  - (1) Los dispositivos de control del sistema de iluminación eléctrico para permitir la remisión parcial o total de la luz eléctrica.
  - (2) En el control manual, la voluntad de los usuarios respecto al ahorro de energía.

Los factores geográficos y climáticos no son modificables y las propiedades del edificio en la admisión de luz desde el exterior, lo son sólo en la etapa de diseño. Resulta así que, en un edificio construido, el único elemento disponible para las estrategias de aprovechamiento de la luz natural es un adecuado método de control de la iluminación y el compromiso de los usuarios con las metas energéticas.

#### **4. Estrategias para incentivar el uso de la luz natural**

El aprovechamiento energético del alumbrado natural puede mejorarse mediante la aplicación de estrategias adecuadas. Éstas deben ser de carácter integral, iniciándose con el mismo diseño del edificio (1) y continuándose –una vez construido– con el incentivo a los usuarios para que hagan uso de la luz natural. Esto –que es válido para todo tipo de edificio– cobra preponderancia en el edificio no residencial debido a que es allí donde se presentan los más pobres resultados en lo que respecta al alumbrado natural, tal como se tratará más adelante.

Las estrategias abarcan las siguientes etapas:

- 1- Diseño luz natural - efectivo del edificio
- 2- Campaña para incentivar el aprovechamiento de la luz natural
- 3- Evaluación del aprovechamiento resultante
- 4- Selección del sistema de control de la iluminación

##### **4.1. Diseño de sistemas alumbrado natural – efectivos**

La orientación y el tipo de abertura son las principales herramientas de diseño para lograr un alumbrado natural - efectivo de un edificio. Diversas normas y recomendaciones sobre esta materia tales como la norma IRAM AADL J2002/4 (2) o el código CIBSE para alumbrado de interiores (3) dan una aceptable metodología sobre la predicción y el diseño del alumbrado natural.

El parámetro más significativo de las propiedades de admisión de luz natural en un edificio – establecido por ambos códigos– es el denominado *coeficiente de luz diurna* (Cld) que se define como:

$$Cld = E_i/E_o \quad [1]$$

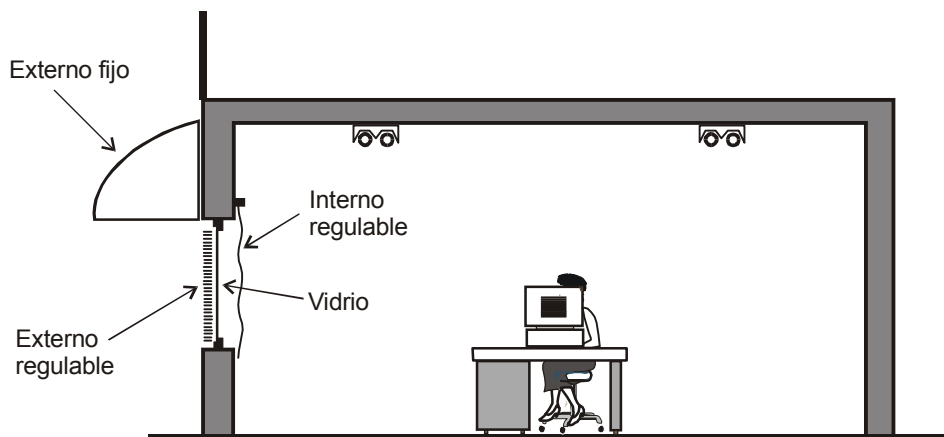
siendo:

$E_o$  = Iluminancia horizontal en el exterior, en un cielo uniformemente nublado, sin obstrucciones

$E_i$  = Iluminancia horizontal en el local, provocada por una iluminancia exterior  $E_o$

Respecto de la abertura mas corriente en edificios, la ventana, debe considerarse dos aspectos: el primero, los requerimientos de ventilación y comunicación con el exterior condicionan la cantidad de luz admitida; en segundo lugar, estos requerimientos no son constantes sino variables con el clima, las horas del día, según el gusto y necesidad de los ocupantes. La ventana deberá disponer los dispositivos apropiados (dispositivos intermedios) (figura 1), sea para controlar la entrada de luz directa, la ventilación, el sombreado, etc. (4) Estos elementos modifican la permeabilidad luminosa, por ende la cantidad de luz que ingresa, empero, no significa que ello resulte necesariamente en un menor uso de la luz natural, ni tampoco que una ventana de grandes dimensiones o elevados valores de Cld necesariamente conduzcan a un gran aprovechamiento de la luz natural.

### Dispositivos intermedios



**Figura 1** – Los dispositivos intermedios son determinantes en la cantidad de luz admitida en los interiores y, por ende, en el aprovechamiento energético.

### *Ventana y dispositivos intermedios*

Para satisfacer las necesidades de los ocupantes, las ventanas deben contar con dispositivos apropiados. Los requerimientos son variados, siendo los más importantes los relacionados al confort visual, aunque deben considerarse los estéticos, de seguridad y funcionales:

1. **Control solar:** El ingreso de luz solar directa debe evitarse cuando ésta provoca pérdida de confort o es distractiva. Los dispositivos deben bloquear la luz solar directa para cualquiera de los posibles ángulos de incidencia, sin limitar el eventual ingreso de otras componentes de la luz natural.

2. **Control del deslumbramiento:** Altas luminancias provenientes del cielo o superficies muy claras vistas desde el interior pueden causar molestias. Son apropiadas a este fin dispositivos de control solar o cortinas.
3. **Control de iluminación:** En determinados locales, puede presentarse la necesidad de atenuar la iluminación o producir un oscurecimiento, para lo cual las ventanas deben disponer elementos de control de la admisión de luz, tales como cerramientos opacos.
4. **Confort térmico:** La ventana facilita el intercambio térmico con el ambiente exterior. En climas cálidos y de mucha radiación solar puede que sea más confortable la limitación del ingreso de luz desde la ventana. En climas fríos debe limitarse el intercambio térmico mediante una aislación adecuada, especialmente entre los puntos de contactos de partes fijas y móviles.
5. **Aislación acústica:** Si los ruidos provenientes del exterior son molestos, los ocupantes tratarán de limitar su ingreso por la ventana, cerrándola. El vidrio tiene buena aislación acústica, empero, cuando esto es insuficiente, el usuario no dudará en interponer todos los cerramientos disponibles en la ventana.
6. **Privacidad:** Si la ventana afecta su privacidad, el ocupante interpondrá cerramientos a fin de bloquear la visión desde el exterior. Son preferibles en este caso cerramientos translúcidos a los opacos debido a que no limitan el ingreso de luz desde el exterior.
7. **Seguridad:** La ventana puede ser un elemento vulnerable. Muchas de las medidas adoptadas para aumentar la seguridad –tales como la instalación rejas o dispositivos similares– disminuyen la permeabilidad luminosa.

Un diseño luz natural - efectivo tiene que reunir las siguientes condiciones:

- Los cerramientos deberán contar los dispositivos intermedios para cada una de las necesidades que se presenten.
- Los dispositivos intermedios poseerán la flexibilidad suficiente para adaptarse a las condiciones cambiantes *y serán fáciles de maniobrar por parte de los usuarios*, caso contrario, si su regulación se asocia a control de deslumbramiento, los usuarios preferirán dejarlos fijos en una posición de baja permeabilidad luminosa.

#### **4.2. El papel del usuario u ocupante. Campañas de estímulo.**

Cuando el usuario posee el control de la iluminación –lo cual es usual en la mayoría de las instalaciones– su conducta conservacionista e interés por el ahorro de energía serán los determinantes del aprovechamiento de la luz natural. Dos aspectos pueden considerarse en relación al uso eficiente de la iluminación. Por un lado el desperdicio de energía por factor ocupacional, que se verifica en locales sin ocupantes y con las luces encendidas y por otro el grado en que la luz natural es aprovechada. En razón de que ambos aspectos son concomitantes y determinantes de lo que se podría definir como *eficiencia de uso* de las instalaciones de alumbrado de interiores, deben considerarse y tratarse en forma conjunta.

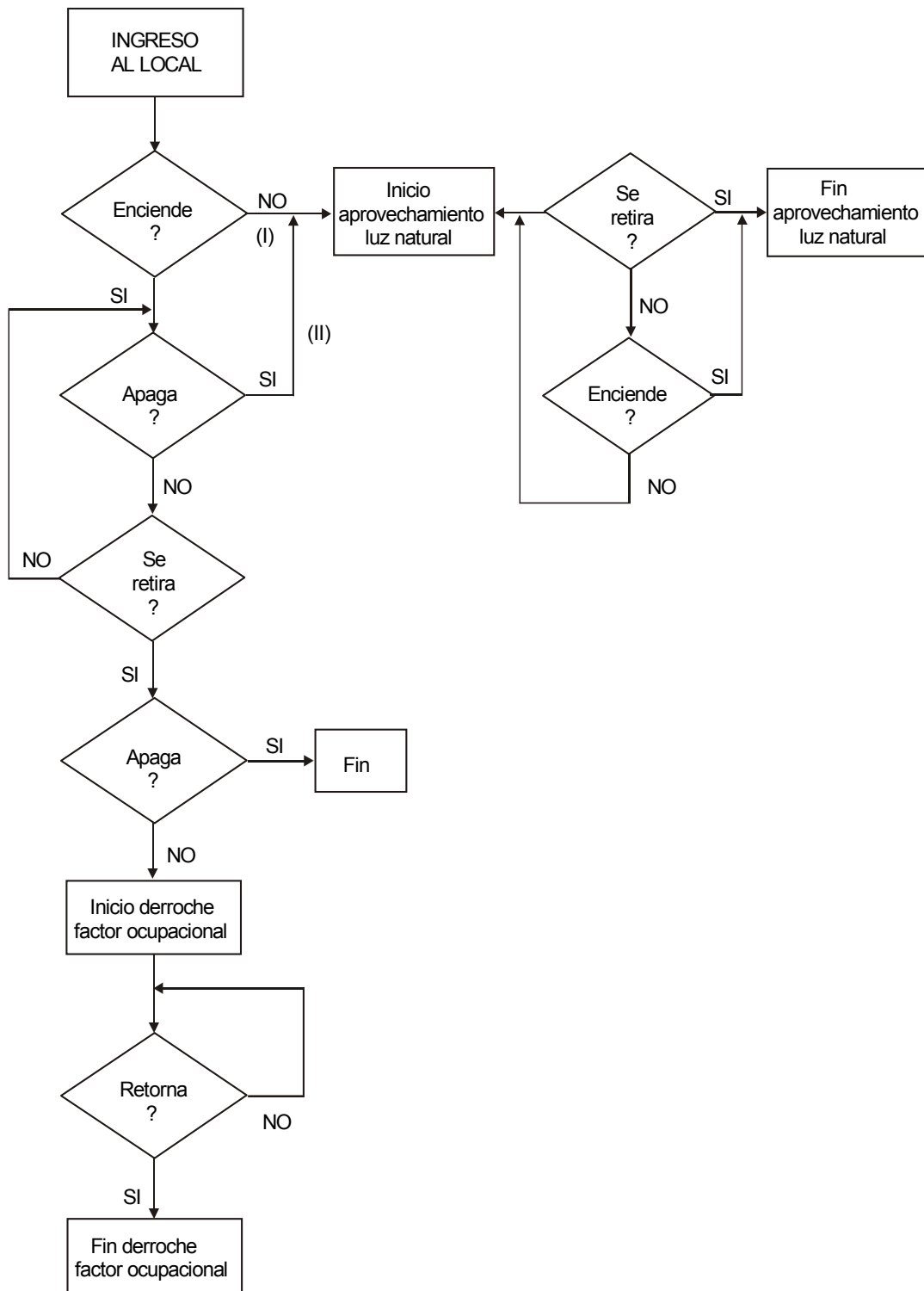
La eficiencia de uso en residencias o edificios comerciales o públicos, etc. refleja la distinta apreciación que cada una de esas instalaciones le merece a los ocupantes que ejercen el control de la iluminación. En un edificio no residencial, tal como oficinas, los usuarios se consideran libres de las preocupaciones del ahorro de energía, en razón de que no perciben beneficios en el ahorro ni perjuicios en el derroche. En consecuencia, las estrategias deberían orientarse en mostrar que el ahorro de energía también aporta beneficios para ellos. Esto puede lograrse mediante campañas apropiadas, utilizando los canales de comunicación corrientes. Para ello debe tenerse en consideración los siguientes puntos:

- Las campañas basadas en el combate al desperdicio de energía tienen resultado inmediato. Puede ocurrir sin embargo, que los usuarios tiendan a retornar a sus anteriores prácticas luego de que la comunicación sobre el tema haya cesado. Evitar esto implicaría realizar campañas en forma permanente, lo cual es impracticable.
- En instalaciones importantes, con varios sectores o edificios más o menos independientes, el conocimiento de los consumos individuales, mediante la instalación de medidores de energía en cada sector puede estimular la eficiencia en el uso.
- La preservación del medio ambiente y la polución asociada a la generación de energía eléctrica, pareciera ser la respuesta más apropiada a la falta de motivación del usuario para esforzarse en un ahorro de energía que —excluida esta consideración— le reportaría beneficios muy indirectos. La creciente preocupación por el medio ambiente tiene un alto poder de motivación ya que involucra beneficios para todos, por esa razón son ampliamente utilizadas por diversos programas tales como el Green Lights Program de la Agencia de Protección al Medioambiente (EPA) en los EEUU (5).
- Hay que notar que campañas tales como las mencionadas no son gratuitas. Deben planificarse muy bien, evaluándose previamente los posibles beneficios.
- En ningún caso los ahorros de energía pueden compensar eventuales molestias al usuario. Hay que evitar cualquier carga distractiva. Medidas restrictivas en el uso de la iluminación perjudican el medio ambiente laboral y por lo tanto son desaconsejables.

### 4.3. Evaluación del aprovechamiento

El administrador de la instalación debe tener percepción del aprovechamiento del alumbrado natural logrado en el edificio a fin de adoptar la medidas más convenientes del caso.

Con el objeto de estimular su valoración como recurso, conviene expresar al aprovechamiento de la luz natural como *la cantidad de energía eléctrica que es ahorrada* en la instalación en un determinado período de tiempo (kWh). Ésta energía, en un período anual —preferentemente—, está conformada por *fracciones* de aprovechamiento que se producen en cada uno de los locales del edificio durante todo el año. Cada fracción de energía —a su vez— está definida por la potencia de remisión de la instalación de alumbrado a causa de la luz natural, por el período de tiempo que media entre el *inicio* hasta el *fin* del aprovechamiento (figura 2).



**Figura 2** – Flujograma de actividades de un usuario que determinan los dos componentes de la eficiencia en el uso de la iluminación; el aprovechamiento de la luz natural y el desperdicio por factor ocupacional. La rama señalada con (I) muestra el aprovechamiento de abstención, mientras que la señalada con (II) el de acción

### Inicio del aprovechamiento:

(I) **Abstención de encender (total o parcialmente) la iluminación eléctrica.** Es el caso del ocupante que ingresa a un local en momentos en que la luz admitida por la ventana es suficiente –a su juicio– para cubrir sus necesidades visuales. En estas circunstancias se abstendrá de encender parcial o totalmente la iluminación, según corresponda. De acuerdo a estudios realizados en Inglaterra por D. Hunt (1980), (6) (7) la decisión de encender las luces es *probabilística* y está razonablemente correlacionada con el valor de la iluminancia horizontal mínima sobre el plano de trabajo,  $E_{hmin1}$ . A cada nivel de iluminancia  $E_{hmin}$  le corresponde una cierta probabilidad de encendido.

Es de esperar entonces que para un mismo local, la probabilidad de que haya aprovechamiento, irá incrementándose a medida de que la opción de encendido se presente más próximo al medio día solar y a partir de allí vaya menguando con la declinación de la luz natural. Conviene señalar que la *opción de encendido* se le presentará nuevamente al usuario *toda vez que abandone momentáneamente el local* con la única condición de que al abandonarlo *no deje las luces encendidas*. Es así como el combate al desperdicio por factor ocupacional redundará en un incremento del aprovechamiento de la luz natural (figura 2).

(II) **Acción de apagar (total o parcialmente) la iluminación.** Es el caso de quien ha estado en un local alumbrado con luz eléctrica en horas del amanecer, o de un usuario que ingresa a un local que tiene las luces encendidas. En el primer caso, la luz que ingresa desde la ventana irá incrementándose gradualmente hasta el momento en que es suficiente a juicio del usuario para cubrir las necesidades de iluminación. En estas circunstancias el usuario se dirigirá hacia el control y conmutará parcial o totalmente la iluminación, según corresponda. Tal decisión también se vinculará con la apariencia visual del local, en especial con la iluminancia mínima sobre el plano de trabajo,  $E_{hmin2}$  (figura 2)

La acción de apagar (II) requiere no sólo distinguir las circunstancias en que la luz natural que está ingresando es suficiente para reemplazar parcial o totalmente la luz eléctrica sino también compromiso del usuario con las metas de ahorro de energía. Una vez reconocida esta situación, el usuario debe accionar los interruptores, lo cual le implica una tarea adicional. Esto supone también una dificultad perceptual: mientras que percibir situaciones en las que la iluminación es insuficiente es una respuesta derivada de la fisiología de la visión, reconocer cuándo la iluminación eléctrica está de más es un acto voluntario resultado del compromiso con la economía de energía. Consecuentemente es de esperar que el aprovechamiento que se realiza por acción sea mucho menos frecuente que aquel que se realiza por abstención, encontrándose prácticamente ausente en ambientes que no sean residencias, situación que ha sido comprobada experimentalmente (8).

### fin del aprovechamiento:

(III) El aprovechamiento energético iniciado por acción o abstención cesa cuando el usuario o *abandona el local* o bien *enciende nuevamente las luces*, esto último debido a la disminución de la luz natural que está ingresando, que puede evidenciar por las dificultades de percepción de las tareas que esté realizando (figura 2).



Para expresar lo anterior en términos de la instalación, el fin del aprovechamiento ocurrirá cuando el nivel de iluminancia sobre a tarea disminuya por debajo de un cierto nivel,  $E_{h\text{mín}3}$ . En razón de que el sistema visual del usuario se encuentra *adaptado*, por los lentos cambios en la iluminancia, es razonable suponer que  $E_{h\text{mín}3}$  deba ser menor que  $E_{h\text{mín}1}$ .

#### *Determinación de la eficiencia energética en el uso de instalaciones, mediante indicadores*

Las dificultades que presenta la determinación del aprovechamiento de la luz natural y el derroche por factor ocupacional pueden ser obviadas mediante procedimientos sencillos, tal como el de los indicadores denominados **Contribución Energética de la Luz Natural (CELN)** y **Derroche por factor ocupacional, (Dfo)**. Estos coeficientes, apropiadamente obtenidos, pueden representar el aprovechamiento y derroche que se produce en un edificio en unidades de energía.

La Contribución Energética de la luz Natural se define como *la relación de la potencia de luz desconectada por causa del ingreso de luz natural, respecto de la potencia total de la instalación de iluminación*. Hay CELN cuando en un local se presenta la siguiente situación:

- 1) El local está ocupado
- 2) Hay suficiente aporte de luz natural
- 3) La instalación de alumbrado se halla desconectada total o parcialmente a causa de la presencia del alumbrado natural

Conviene expresar esta relación como el cociente entre unidades de consumo, es decir potencia de lámparas apagadas y encendidas.

$$CELN_i := \frac{Psi(t)}{Pe(t) + Psi(t)} \quad [2]$$

donde:

CELN<sub>i</sub> = CELN en el momento del relevamiento.

Psi = Potencia de las luminarias sustituidas por la luz natural (W)

Pe = Potencia de las luminarias encendidas (W)

Lo más usual en instalaciones es que las lámparas sean del mismo tipo y potencia, en cuyo caso se puede simplificar la expresión anterior:

$$CELN_i = \frac{N_{si}}{(N_e + N_{si})} \quad [3]$$

donde

N<sub>si</sub>= Cantidad de lámparas sustituidas por la luz natural

N<sub>e</sub>= Cantidad de lámparas encendidas

De manera análoga el derroche por factor ocupacional se define por la siguiente relación de potencias:

$$\mathbf{Dfo= Pld/Pt} \quad \mathbf{[4]}$$

o, lo que es lo mismo,

$$\mathbf{Dfo= Nld/Nt} \quad \mathbf{[5]}$$

donde:

Dfo = Derroche de energía por factor ocupacional (%)

Pld = Potencia de luces encendidas en locales no ocupados (W)

Pt = Potencia total de la instalación (W)

Nld = Número de lámparas desconectadas

Nt = Número total de lámparas de ese local

La potencia ha reemplazado a la energía y el número de lámparas a la potencia. Es decir que solo es necesario contar cantidad y tipo de lámparas, lo que simplifica el relevamiento (figura 3).

FLUJOGRAMA DE ACTIVIDADES PARA LA OBTENCION DE LOS INDICADORES CELN Y Dfo

Relevamiento de un local

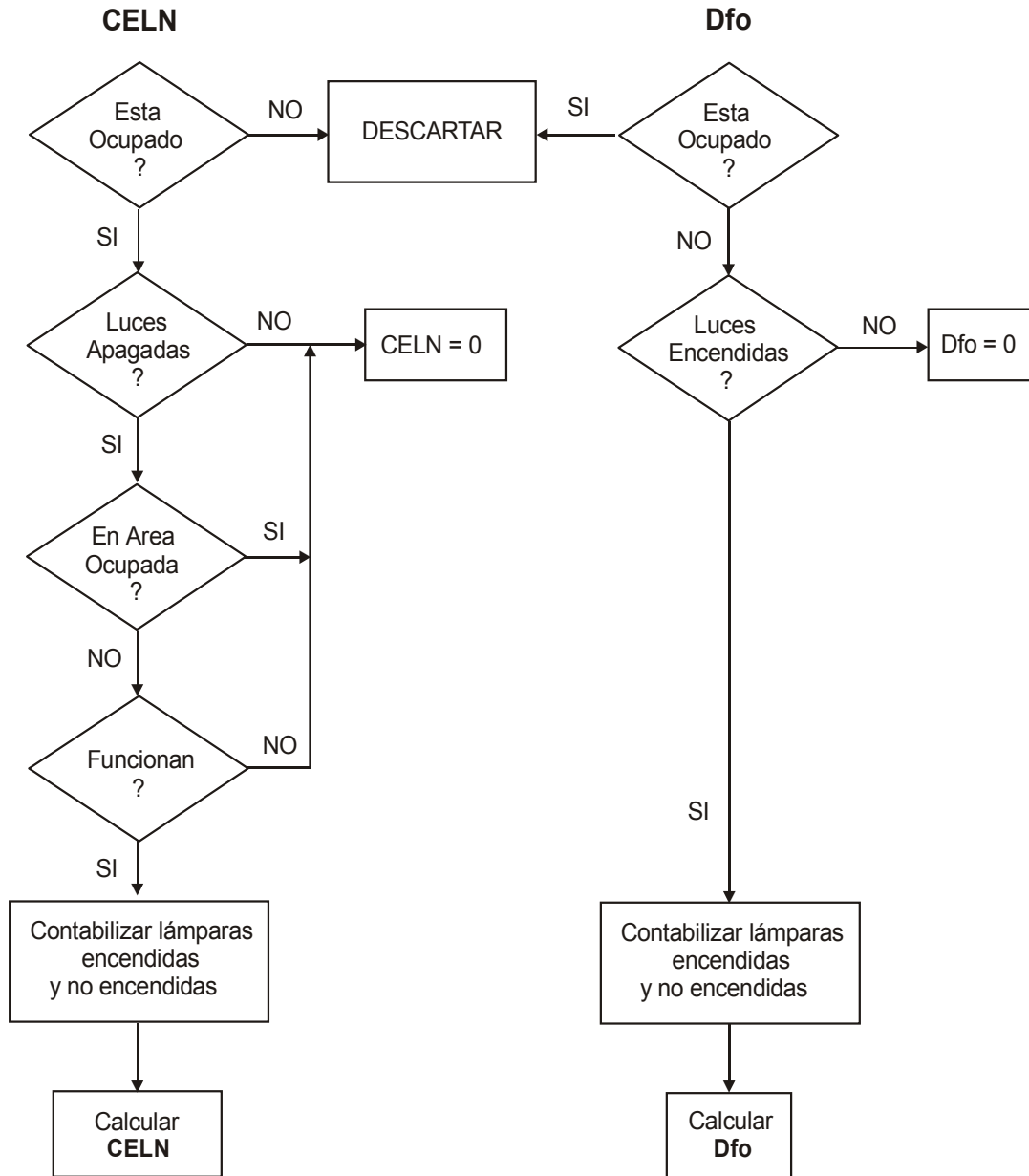


Figura 3 – Flujograma del relevamiento para identificación y determinación de los coeficientes CELN y Dfo

El CELN representa así el porcentaje de luz natural aprovechada como energía en un local, mientras que el Dfo es la proporción de energía disipada en locales desocupados, respecto a la energía total disipada en iluminación. Ambos coeficientes deben sustentarse estadísticamente, es decir, representar razonablemente las diferentes situaciones que se presenten en los locales. La variabilidad del CELN se origina –principalmente– en las variaciones que se producen en la luz natural admitida, según las características de cada local,

a lo largo de las horas del día, el clima, las estaciones, etc., mientras que el Dfo es altamente aleatorio. Una indicación más detallada de los procedimientos a seguirse para la obtención de los indicadores se indica en el ANEXO al presente capítulo.

#### 4.4. Selección del sistema de control de la iluminación

Una vez evaluada en términos energéticos el aprovechamiento de la luz natural en el edificio, el administrador se encontrará en posición de adoptar las medidas más apropiadas para lograr las metas de eficiencia. Si resultara que el aprovechamiento es inferior al que puede potencialmente lograrse, debería considerar las diferentes alternativas para realizar ese potencial, en primer lugar estimulando el compromiso de los usuarios con las metas de ahorro, por ejemplo, mediante una campaña de combate al desperdicio, tal como ha sido descrita en párrafos anteriores. Luego, si esto resultara insuficiente, puede considerar medidas más profundas como el cambio del sistema de control manual por la instalación de sistemas de control automáticos.

Los sistemas automáticos son equipos que reemplazan a los ocupantes en el control de la iluminación, realizando la mayor parte del potencial energético del alumbrado natural. La tabla precedente muestra los resultados obtenidos para el indicador CELN en relevamientos de edificios realizados por el Departamento de Luminotecnia de la Universidad Nacional de Tucumán (9) y la estrategia sugerida para cada tipo de edificio.

Como puede observarse los sistemas de control automáticos son apropiados para el aprovechamiento de la luz natural en edificios no residenciales, sean públicos o privados. Ello en razón de los resultados que pueden obtenerse. La adopción de estos dispositivos debe hacerse en base a un cuidadoso análisis que tome en consideración no sólo metas energéticas sino posibles conflictos con el medio ambiente laboral. Una descripción más detallada sobre este tema puede ser consultada en el capítulo *Sistemas Innovativos de Iluminación*.

| Tipo de edificio       | CELN | Potencial de ahorro | Estrategia recomendada |                      |
|------------------------|------|---------------------|------------------------|----------------------|
|                        |      |                     | Control automático     | Campañas a ocupantes |
| Residencial            | 20%  | 10%                 | No                     | Si                   |
| No residencial público | 4%   | 26%                 | Si                     | Si                   |
| No residencial privado | 7%   | 20%                 | Si                     | Si                   |

Fuente: (Assaf et al., 1993)

## Bibliografía

1. Mascaró, L. *Incidencia das variáveis projectivas e de constructivo no consumo energético dos edificios*. Ministerio de Industria y Comercio, Comisión Nacional de Industria de la Construcción Civil y Programa de Pesquisa e Pós Graduado da Universidad Federal de Río Grande do Sul. Sagra-DC Luzzatto Editores, Porto Alegre 1992.
2. IRAM Instituto Argentino de Normalización, Norma IRAM AADL J 2002, IRAM AADL J2003 Iluminación Natural en edificios, Cond. Generales y Requisitos.
3. Chartered Institution of Building Services Engineers. CIBSE Code for Interior Lighting- Londres 1992.
4. Gonzalo et al. *Habitabilidad en edificios*. Centro de Estudio y Medio Ambiente, Instituto de Acondicionamiento Ambiental, FAU, Univ. Nacional de Tucumán, 2000.
5. Environmental Protection Agency, Department of Energy. Green Lights Program.
6. Hunt, D.G.R. “The use of artificial lighting in relation to daylight levels and occupancy”. *Building Environment*, 1979, 14, pp. 21-33.
7. Hunt, D.G.R. “Predicting daylight use – a behavioural approach”. *Lighting Research and Technology*, 1980, 12
8. Littlefair, P. Predicting lighting energy use under daylight linked lighting controls, (Personal Communication), 1997.
9. Assaf L, V. Arreyes, C. Cisint, “Sistema de alumbrado de localizaciones universitarias: su evaluación desde el punto de vista de la eficiencia energética”. Informe del Instituto de Luminotecnia de la Universidad Nacional de Tucumán.
10. Crisp, V. and Henderson, G. “The energy management of artificial lighting” *Lighting Research and Technology*, 14 (4) pp 193-206, 1982.

## Anexo

### Tipificación de procedimientos para la obtención de indicadores de eficiencia en uso de las instalaciones

La evaluación de edificio o locales mediante relevamiento debe ser precedida por una conveniente una planificación a fin de lograr resultados aceptables sin desperdiciar esfuerzos, minimizando las interferencias con el funcionamiento de los locales.

Una tipificación adecuada de los locales que es posible encontrar permitirá definir el procedimiento más adecuado en cada caso. Al respecto se ha considerado que el universo puede ser reducido a los siguientes tres casos:

- 1- Locales con un solo puesto de trabajo, con uno o más circuitos de iluminación o locales con varios puestos de trabajo y un solo circuito de iluminación, que se denominará *Simple*.
- 2- Locales con más de un puesto de trabajo y más de un circuito de iluminación o *Complejo*.
- 3- Conjunto de locales (Edificio) o *Múltiple*.

Los siguientes ejemplos darán una idea más acabada sobre los distintos procedimientos aplicables, según la precedente tipificación:

#### CASO 1- Simple

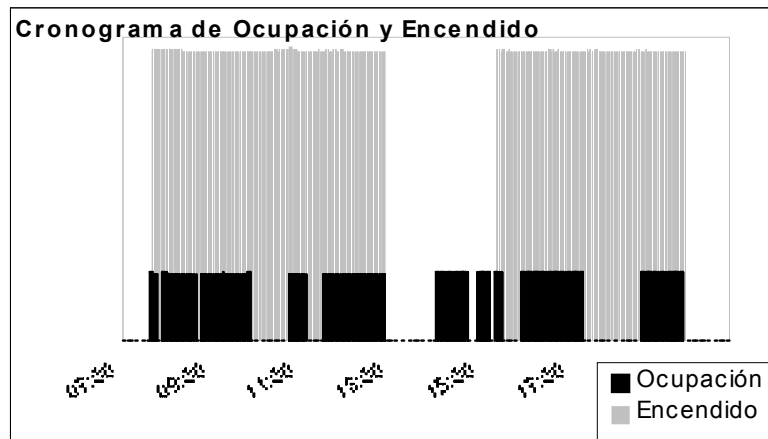
Locales con un solo puesto de trabajo, con uno o más circuitos de iluminación o locales con varios puestos de trabajo y un solo circuito de iluminación.

Consideremos el caso sencillo de una oficina con un solo ocupante, equipada con 2 artefactos con 3 lámparas fluorescentes de 36W cada uno (potencia total, incluido equipos auxiliares: 246W) , la instalación de luz se controla con un solo circuito (un solo efecto), significa que puede conmutarse el 100% de la potencia de una sola vez. Régimen de ocupación: 8:00 a 19:00 hs, con pausa al medio día. El relevamiento puede realizarse:

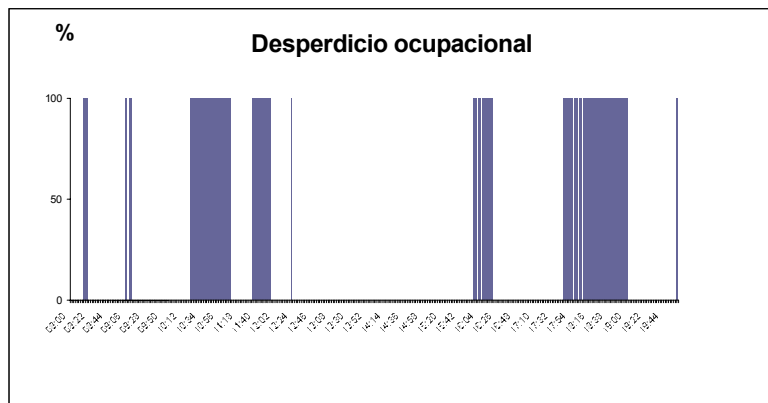
- (a) de forma continua (relevamiento permanente)
- (b) de forma discreta (unos pocos relevamientos).

#### 1.a – Monitoreo continuo

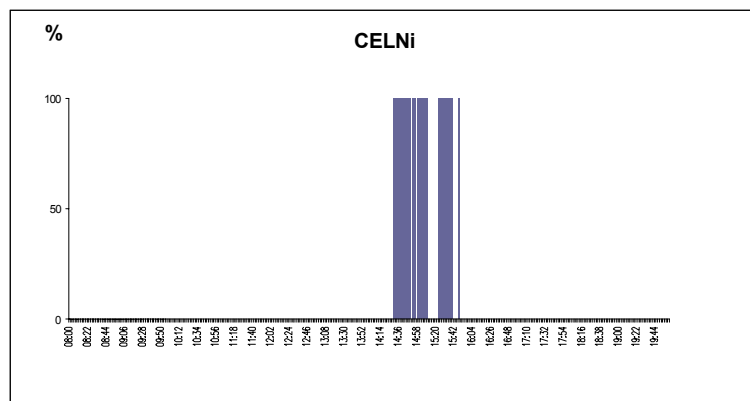
La fig. 4 muestra el diagrama obtenido por un monitoreo continuo de la ocupación del espacio y el empleo del sistema de iluminación eléctrico (ocupación y encendido) del local.



**Fig. 4**



**Fig. 5 – Cronograma de variación del Dfo para el local considerado**



**Fig. 6 - Cronograma de variación del CELN para el local considerado**

Los diagramas de figuras 4, 5 y 6 muestran los siguientes parámetros para cada estado:

Jornada laboral (T) = 600 minutos  
 Período Encendido = 568 minutos  
 Ocurrencia CELN = 62 minutos

De acuerdo a la potencia de la instalación, el consumo energético resulta:

Energía total consumida = 2.394 Wh  
 Energía por CELN = 254 Wh (11%)

## 1.b - Monitoreo discreto. Hipótesis simplificadoras

El monitoreo continuo, puede llevarse a cabo con colectores automáticos de datos (data loggers) o bien manualmente: En este caso es necesario realizar una recopilación de datos frecuentes. Esto último, además de requerir una cantidad de personal importante, puede perturbar el medio ambiente laboral. Puede demostrarse que un monitoreo discreto con pocas mediciones, en un número grande de locales puede lograr resultados aceptables con mucho menos demanda de recursos debido a que:

1. en las proximidades del amanecer o del crepúsculo, el  $CELN=0$
2. la probabilidad  $CELN$  en el mediodía solar es máxima ( $CELN=máx$ )
3. puede verificarse dos máximos, uno durante la mañana, ( $CELNm$ ), otro a la tarde, ( $CELNv$ ) según la ocupación del edificio haya sido antes o después del medio día solar (fig.7)
4. la variación de la iluminancia por la luz natural dentro del local sigue aproximadamente la variación de la iluminancia exterior, (10)
5. la distribución probabilística de  $CELN$ , a lo largo del día es la siguiente: si no hay  $CELN$  hasta el medio día, es muy improbable que lo haya después. Si lo hay, la tendencia es que se mantenga hasta tanto la iluminancia mínima sobre el plano de trabajo  $E_{hmin}$  haya descendido por debajo de 320lux ( $E_{hmin3}$ )

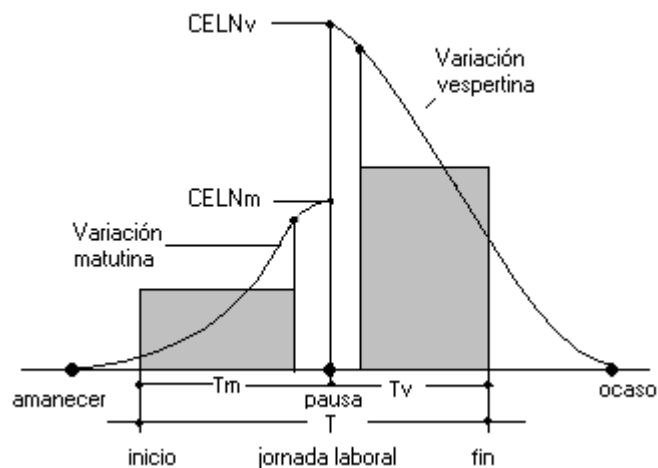


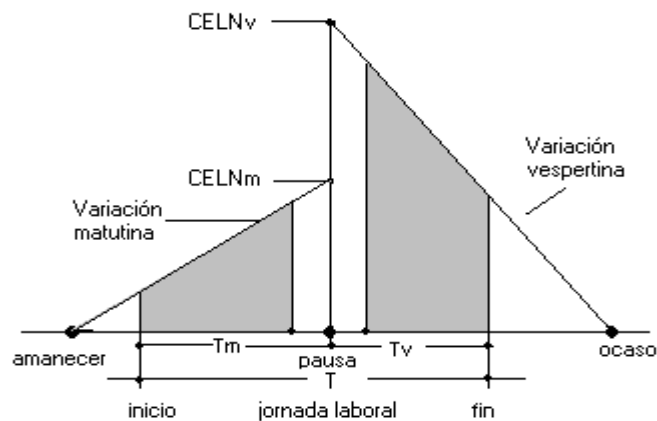
Fig. 7 (diagrama idealizado)

Variación del aprovechamiento de la luz natural a lo largo de la jornada laboral en locales con pausa al medio día. Se observa su aumento con el incremento de la iluminación natural, siendo máximo hacia el medio día. El escalón entre el aprovechamiento matutino y el vespertino ( $CELNm$  y  $CELNv$ ), luego de la pausa del medio día, está evidenciando el cambio de situación entre el aprovechamiento de acción (por la mañana) al de abstención (tarde) y pone de relieve las consecuencias de la desigualdad entre las iluminancias [1] que determinan las acciones de los ocupantes para iniciar y finalizar el aprovechamiento del alumbrado natural ( $E_{hmin3} < E_{hmin1} < E_{hmin2}$ ). Se presentan las siguientes situaciones: en el inicio de la jornada por la mañanas, el aprovechamiento por abstención es bajo, en razón de que la iluminancia es baja. El aprovechamiento de luz natural para lo que sigue de la mañana sería mayormente de acción, lo cuál es poco frecuente. En la tarde, al retornar a los locales luego de la pausa del medio día, la abstención de encendido es alta, en razón de que la iluminancia  $E_{hmin1}$  es alta. El aprovechamiento de la luz natural es prolongado, en razón de que para



ponerle fin debe producirse iluminancias bajas sobre el plano de trabajo (Eh<sub>m</sub>3). Se supone que el diagrama representa un número importante de locales y que éstos reciben igual cantidad de iluminación a la mañana y a la tarde. Los rectángulos representan el CELN del local para la mañana y para la tarde, proporcional a la energía aprovechada del alumbrado natural, mientras que las curvas muestran valores instantáneos.

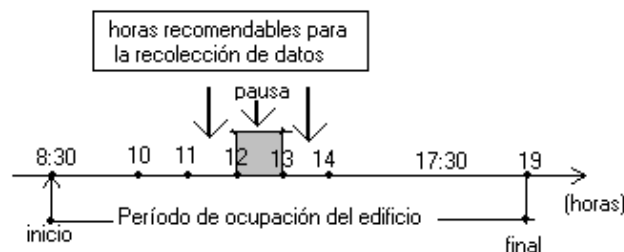
En vista a las consideraciones 1-5 precedentes, resulta que no es necesario realizar un monitoreo continuo. Un análisis cuidadoso del régimen de ocupación y uso del local (o edificio) determinará el momento en que se presuma que el aprovechamiento de la luz natural es máxima, esto es, lo más próximo al mediodía, así su distribución a lo largo de la jornada laboral puede asimilarse –simplificadamente– a un triángulo, cuya superficie representa el ahorro de energía aprovechada (fig. 8).



**Figura 8** – Resultado de un relevamiento discreto, mostrando. La superficie trapezoidal define la proporción de energía ahorrado por la luz natural

Para nuestro ejemplo, con un régimen de ocupación con pausa al medio día, es necesario realizar dos relevamientos, uno para determinar el CELNm y otro dentro del momento en que se presuma que el CELNv es máximo. Si el relevamiento se realiza entre una hora antes de la pausa y una hora después de finalizada la pausa del mediodía, el coeficiente de correlación, comparado con el método predictivo propuesto por Hunt es del 70%, ello significa que error máximo es menor al 30%. En las figuras 9 y 10 se muestran dos patrones de ocupación de edificio y los momentos convenientes de relevamiento.

TIPO DE OCUPACION: HORARIO CORRIDO, EXTENDIDO  
CON PAUSA AL MEDIODIA



**Figura 9**

TIPO DE OCUPACION: HORARIO CORRIDO,  
TEMPRANO, SIN PAUSA

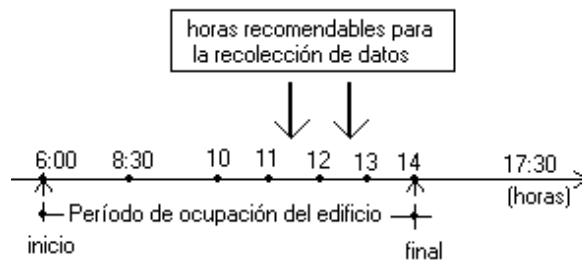


Figura 10

### CASO 2 – Complejo

Locales con más de un puesto de trabajo y más de un circuito de iluminación. En este caso la única precaución que hay que tomar es la de discernir si las luces que están apagadas no corresponden a áreas no ocupadas del local, en cuyo caso no puede computarse como CELN.

### CASO 3 – Múltiple (Edificio)

Un edificio puede tratarse como un conjunto de locales. En este caso se realiza el relevamiento local por local, tomando los datos requeridos en la Planilla N°1, según el esquema anterior. Como resultado se obtiene **n monitoreos de N locales** (n x N). Luego, con la planilla N° 2 se obtiene el promedio de todo el edificio.

$$CELNi = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{Psi}{Pe + Psi}$$

$$CELN = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N CELNi$$

Planilla N° 1 – Para la determinación del CELN y Dfo por relevamiento de locales

| Block:                  |      | Local N°:          |              | Tipo:                   |             | Orientac.Ventanas:  |           |                                 |             |          |                |        |
|-------------------------|------|--------------------|--------------|-------------------------|-------------|---------------------|-----------|---------------------------------|-------------|----------|----------------|--------|
| DLF:                    |      |                    |              |                         |             | Puestos de trabajo: |           |                                 |             |          |                |        |
| Cantidad de Artefactos: |      | Tipo de artefacto: |              | Lámparas por artefacto: |             |                     |           |                                 |             |          |                |        |
| Circuitos:              |      |                    |              |                         |             |                     |           |                                 |             |          |                |        |
| Estado momentáneo       |      |                    |              |                         |             |                     |           | Todos los circuitos energizados |             |          |                |        |
|                         |      |                    |              |                         |             |                     |           | (9)                             | (10)        | (11)     |                |        |
|                         |      |                    |              |                         |             |                     |           | (12)                            | (14)        |          |                |        |
| Fecha                   | Hora | Art. Energiz       | Lámp. Encend | N° de Ocupant           | Día Nubl ad | Semi Nubl ad        | Día Claro | Lámp . Encend.                  | No Encie nd | Parpa d. | Encend. Extrem | faltan |
|                         |      |                    |              |                         |             |                     |           |                                 |             |          |                |        |
|                         |      |                    |              |                         |             |                     |           |                                 |             |          |                |        |
|                         |      |                    |              |                         |             |                     |           |                                 |             |          |                |        |
|                         |      |                    |              |                         |             |                     |           |                                 |             |          |                |        |
|                         |      |                    |              |                         |             |                     |           |                                 |             |          |                |        |
|                         |      |                    |              |                         |             |                     |           |                                 |             |          |                |        |
| Croquis                 |      |                    |              |                         |             |                     |           |                                 |             |          |                |        |

Planilla N° 2 de recopilación de datos (para edificios)

| Local N° | Encendido Pe | Apagado Psi | Fuera de servicio Po | Dfo | CELNi |       |
|----------|--------------|-------------|----------------------|-----|-------|-------|
|          |              |             |                      |     | CELNv | CELNm |
| 1        |              |             |                      |     |       |       |
| 2        |              |             |                      |     |       |       |
| ...      |              |             |                      |     |       |       |
| N        |              |             |                      |     |       |       |
| Total    |              |             |                      |     |       |       |