

1
2ej.
01178



DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO
Facultad de Ingeniería

**SISTEMA EXPERTO APLICADO AL USO EFICIENTE DE ENERGIA
EN ILUMINACION INDUSTRIAL**

T E S I S

Presentada a la División de Estudios de
Posgrado de la
Facultad de Ingeniería
de la

Universidad Nacional Autónoma de México
como requisito para obtener el grado de
MAESTRO EN INGENIERIA
(E N E R G E T I C A)

presentada por
NICOLAS CEFERINO KEMPER VALVERDE

Ciudad Universitaria
1991

TEJIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE GENERAL

INTRODUCCION	Pág.
CAPITULO 1: CARACTERISTICAS DE LA ILUMINACION INDUSTRIAL	
1. Iluminación industrial	11
2. Sistemas de iluminación industrial	12
2.1 Iluminación general	12
2.2 Iluminación local	13
2.3 Iluminación general más iluminación suplementaria	13
3. Categorías de locales industriales	14
3.1 Naves de una sola planta con claraboyas	14
3.2 Naves con varias plantas	15
3.3 Naves con una sola planta y con claraboyas o techos en dientes en sierra	15
3.4 Naves de gran altura	15
4. Factores de una buena iluminación	16
4.1 Cantidad de iluminación	16
4.2 Calidad de la iluminación	16
CAPITULO 2: FUNCION DE CONSUMO DE ENERGIA EN ILUMINACION INDUSTRIAL	
1. Componentes de la función de consumo de energía en iluminación	22
2. Nivel de iluminación	24
2.1 Factores de adecuación de los niveles de iluminación	25
2.2 Niveles de iluminación para tareas industriales	26
3. Horas de operación	27
4. Rendimiento luminoso	28
5. Coeficiente de utilización	29
6. Factor de mantenimiento	33
7. Área de trabajo	35
8. Control de la iluminación	35
8.1 Programación	35
8.2 Depreciación del flujo luminoso	36
8.3 Sincronización de tareas	37
8.4 Luz natural	37
8.5 Impactos del control de la iluminación	38
9. Diseño de la instalación de iluminación	38
CAPITULO 3: GESTION ENERGETICA EN ILUMINACION INDUSTRIAL	
1. Gestión del ahorro de energía en iluminación	41
1.1 Necesidades de iluminación	43
1.2 Luminarias	44
1.3 Fuentes de luz artificial: lámparas y balastos	45

1.4 Luz natural	46
1.5 Superficie del local de trabajo	47
1.6 Procedimientos de mantenimiento	48
1.7 Utilización de la iluminación	48
1.8 Utilización del espacio	49
2. Criterios generales para el ahorro de energía en iluminación	50
3. Diagnósticos energéticos en iluminación	55
3.1 Alternativas para realizar un diagnóstico energético en iluminación industrial	57
4. Medidas de ahorro y uso eficiente de energía en iluminación industrial	57
4.1 Medidas de racionalización energética	58
4.2 Medidas de conservación y mantenimiento	59
4.3 Medidas que requieren análisis de rentabilidad	60

CAPITULO 4: METODOLOGIA PARA EL DIAGNOSTICO ENERGETICO EN ILUMINACION INDUSTRIAL

1. Procedimiento general	63
2. Evaluación del servicio de iluminación actual	65
2.1 Análisis de las exigencias visuales de iluminación	66
2.1.1 Paso 1: Establecer nivel de iluminación recomendado	66
2.1.2 Paso 2: Determinación del nivel de iluminación actual	70
2.1.3 Paso 3: Comparación entre niveles de iluminación	81
2.2 Análisis de las exigencias luminosas ambientales	82
2.3 Evaluación energética de medidas de potencia y energía	82
3. Evaluación del equipo e instalaciones	85
3.1 Evaluación de lámparas	86
3.2 Evaluación de balastos	91
3.3. Evaluación de luminarias	95
3.4 Medidas de ahorro de energía	98
3.4.1 Evaluación energética de medidas	99
4. Evaluación de la utilización del alumbrado	100
4.1 Utilización del alumbrado en el tiempo	100
4.2 Utilización del alumbrado en el espacio	101
4.3 Utilización de la luz natural	102
4.3.1 Control del uso de luz natural	103
4.4 Medidas de ahorro de energía	104
4.4.1 Evaluación energética de medidas	105
5. Evaluación de la conservación del alumbrado	105
5.1 Programa de limpieza de luminarias	106
5.2 Programa de reemplazo de lámparas	107
5.3 Medidas de ahorro de energía	108
5.3.1 Evaluación energética de medidas	109
6. Evaluación económica y selección de medidas de ahorro	109
6.1 Cálculo de los costos anuales operación y mantenimiento	110
6.2 Cálculo de inversiones	112
6.3 Cálculo de ahorros económicos producidos	114
6.4 Selección de medidas de ahorro	114

CAPITULO 5: DESARROLLO DEL SISTEMA EXPERTO "SEILUM"

1. Sistemas expertos	117
1.1 Características de un sistema experto	119
1.2 Arquitectura de un sistema experto	122

1.3 Ventajas de la aplicación de sistemas expertos	124
1.4 Tipología de problemas aplicación de sistemas expertos	125
2. Metodología para el desarrollo de sistemas expertos	127
2.1 Análisis y formulación del problema	128
2.1.1 Evaluación de la posible aplicación	128
2.2 Adquisición del conocimiento y conceptualización	136
2.3 Representación e implementación	137
2.5 Verificación y validación	138
3. Desarrollo del sistema experto "SEILUM"	139
3.1 Análisis y formulación del problema	139
3.1.1 Objetivos de Seilum	139
3.1.2 Formulación y alcance del problema	139
3.1.3 Evaluación de la aplicación potencial de un S.E.	142
3.2 Adquisición del conocimiento	142
3.2.1 Sitio de observación	142
3.2.2 Fuentes y niveles de conocimiento	143
3.3 Representación e implementación	145
3.3.1 Selección del shell	145
3.3.2 Arquitectura de SEILUM y funciones operativas	145
3.3.3 Base de conocimientos	148
3.3.4 Interfaces con el usuario	150
3.4 Verificación y validación	151
CONCLUSIONES	152
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	156
ANEXO I: Clasificación del sector industrial por sectores y ramas	
ANEXO II: Categorías de actividad y niveles de iluminación para diferentes ramas industriales	
ANEXO III: Reglas de producción de SEILUM	

INTRODUCCION

La administración correcta de la energía eléctrica que se emplea para iluminación en la industria está íntimamente ligada con los objetivos elementales de productividad, seguridad, confort y economía; en cuyas relaciones la calidad de la iluminación juega un papel muy importante. Es decir, cuando la iluminación es aplicada apropiadamente, puede ser un factor significativo en el logro de metas básicas como: alta productividad de los trabajadores, aumento de la economía y mayor uso eficiente de la energía eléctrica.

Sin embargo, muchas instalaciones de iluminación industrial existentes están muy lejos de ser eficientes en cuanto a energía y costo. Existen, con frecuencia oportunidades para convertir tales instalaciones empleando equipos más eficientes que proporcionan la misma o mejor iluminación, con un consumo y costo de energía menores, ya que actualmente existen en el mercado modernas fuentes de luz y sistemas de alumbrado que hacen posible lograr este objetivo.

El examen de la iluminación existente en una zona de trabajo puede poner de manifiesto que:

(a) El diseño del sistema de alumbrado sea total o parcialmente ineficiente.

(b) La iluminación esté muy por debajo, o muy por encima de los niveles recomendados para la zona de trabajo respectiva.

(c) La iluminación sea suministrada por lámparas de bajo rendimiento y luminarias con un mal control óptico.

(d) Teniendo acceso a luz natural, no se emplee ésta adecuadamente.

(e) La limpieza de lámparas y luminarias, paredes y techos y el reemplazamiento de equipos, se lleven a cabo sin considerar programas apropiados.

(f) No se cuente con programas para la utilización racional de la iluminación.

(g) No se cumplen con las condiciones mínimas de reflectancias de paredes, techos, pisos, y alrededores.

Para llevar a cabo un análisis exhaustivo de una instalación de iluminación industrial a fin de identificar esta problemática y recomendar las acciones correctivas más apropiadas energética y económicamente se requiere principalmente de:

(a) Una metodología secuencial de evaluación y diagnóstico de sistemas de iluminación.

(b) Un inventario de todas las medidas relevantes de ahorro y uso eficiente de energía que puedan ser llevadas a cabo en sistemas de iluminación

(c) Recursos humanos especializados en el área energética o con conocimientos de sistemas de iluminación.

(d) Disponibilidad de tecnologías de iluminación eficientes en el mercado.

Para llenar el vacío actual respecto a los requerimientos que posibilitan el uso racional de energía en iluminación, en la pequeña y mediana empresa industrial, en el presente trabajo se plantean tres aspectos principales:

1. Una metodología para efectuar un diagnóstico energético en sistemas de iluminación industrial

2. La captura de las diferentes medidas potenciales de ahorro y uso eficiente de energía en iluminación.

3. La aplicación de un sistema experto para que asesore y apoye el uso eficiente de energía en iluminación y que llene el vacío de la falta de especialistas en el área.

La conclusión general de este trabajo respecto a la administración y uso eficiente de energía en iluminación industrial revela:

(a) La necesidad de una mezcla de nuevas tecnologías de iluminación: lámparas, luminarias, balastos y equipos de control.

(b) Prudente y cuidadosa atención al diseño o rediseño de los sistemas de alumbrado

(c) Promocionar el uso racional de la utilización del alumbrado.

(d) Regular el mantenimiento y conservación de los niveles de iluminación.

Es muy importante hacer algunas consideraciones de fondo tomadas

en este trabajo. Una de ellas es que la información de especificaciones técnicas de equipos de iluminación que maneja el sistema experto desarrollado se refieren a aquellos existentes en el mercado mexicano. Así también se anota que la metodología desarrollada y las medidas que propone el sistema experto, se plantearon desde el punto de vista del consumidor, sin llegar a evaluar los efectos tecnológicos y económicos que repercutirían en el productor de electricidad en este caso la C.F.E, lo cual será tema de otro trabajo.

CAPITULO I

CARACTERISTICAS DE LA ILUMINACION INDUSTRIAL

1. ILUMINACION INDUSTRIAL

El propósito de la iluminación industrial es proporcionar energía luminosa en cantidad y calidad suficiente para permitir una adecuada visibilidad, mejorar la productividad y la seguridad, dentro de un ambiente de trabajo agradable.

La industria abarca diversos sectores y ramas de actividad (Ver Anexo I), y en cada rama se dan tareas visuales, condiciones de operación y consideraciones económicas en un amplio rango de posibilidades. Así las tareas visuales pueden ser extremadamente cortas o muy grandes; oscuras o claras; opacas, transparentes o translúcidas; con superficies especulares o difusas; y pueden involucrar formas planas o contorneadas. Con cada una de las diferentes condiciones de las tareas, la iluminación debe ser conveniente para lograr una adecuada visibilidad y productividad en la conversión de materias primas en productos finales. Riesgos físicos existen en muchos procesos de manufactura y, por lo tanto, la iluminación debe contribuir al máximo como un factor de seguridad en la prevención de accidentes. La velocidad de

operación puede ser tal que lo permita solamente el tiempo mínimo para la percepción visual y por lo tanto, la iluminación debe ser un factor de compensación para incrementar la velocidad de la visión.

La iluminación industrial deber servir no solo como un factor de producción y como un factor de seguridad, sino también debe contribuir al total de condiciones ambientales del espacio de trabajo, de tal modo que éste sea agradable a los trabajadores. En general el diseño de un sistema de iluminación y selección del equipo debe estar influenciado por factores luminicos económicos y factores relacionados con el manejo eficiente de la energía.

En esta sección se incluye los aspectos luminicos y ambientales básicos, que se deben considerar en el análisis energético de una instalación de iluminación industrial cualquiera.

2. SISTEMAS DE ALUMBRADO INDUSTRIAL

Un análisis del local a iluminar y de las tareas visuales que se van a realizar en el mismo, determinará la selección del sistema de alumbrado, así como la distribución y disposición de las luminarias.

Los sistemas más comunes de alumbrado usados en la industria son los que porporcionan:

- .Iluminación general
- .Iluminación local
- .Iluminación general más iluminación localizada o suplementaria.

2.1 Iluminación general

Un sistema de alumbrado general proporciona la iluminanci3n que se requiere sobre el plano horizontal con un determinado grado de

uniformidad. La iluminación media deberá ser igual a la iluminación que requiera la tarea específica visual. La iluminación general se obtiene mediante la colocación regular de las luminarias bajo el área total del techo o en filas continuas de luminarias que mantienen la misma separación.

2.2 Iluminación local

Este sistema de alumbrado proporciona una iluminación no uniforme del local. En los puestos de trabajo de más interés, la iluminación debe ser lo suficientemente alta, mientras que en los alrededores y zonas de paso, la iluminancia queda limitada normalmente al 50% de la que correspondería al motivo de la tarea visual.

2.3 Iluminación general más iluminación suplementaria

El alumbrado localizado se produce colocando luminarias cerca de la tarea visual, de manera que iluminen una pequeña área. Considerando las relaciones adecuadas entre la iluminación de la tarea y la de las áreas circundantes, el alumbrado localizado deberá ser suplementario a un sistema de alumbrado general.

Este tipo de sistema se recomienda cuando:

- .El trabajo implica exigencias visuales muy críticas, con iluminancias de 1000 lux o más,

- .La visión de formas y texturas requiera que la luz provenga de una dirección determinada,

- .La iluminación general no alcance a ciertas zonas debido a los obstáculos existentes,

- .Se necesite mayor nivel de iluminación en beneficio de trabajadores de avanzada edad, o trabajadores con comportamiento visual deficiente.

- .El área sólo esté ocupada parcialmente durante largos periodos.

3. CATEGORIAS DE LOCALES INDUSTRIALES

El sistema de alumbrado que se emplea en una industria está determinado en gran medida por la naturaleza del trabajo, la forma del espacio a iluminar y el tipo de estructura del techo. Por ello es conveniente dividir los locales industriales en cuatro categorías básicas:

- .Naves de una sola planta sin claraboyas,
- .Naves de varias plantas,
- .Naves de una sola planta con claraboyas o techos en dientes de sierra,
- .Naves de gran altura.

3.1 Naves de una sola planta con claraboyas

La mayor parte de naves industriales de este tipo tienen una altura desde el suelo al techo de 3.5 a 7 metros. Para alturas de montaje de hasta 5 m se prefiere el alumbrado que emplea luminarias con lámparas fluorescentes tubulares dispuestas en filas continuas o discontinuas montadas directamente en el mismo techo o suspendidas del mismo.

Para alturas de montaje por encima de los 5 m, las lámparas de descarga de elevada intensidad, ofrecen una solución más económica, aunque para lograr una iluminación uniforme en el plano de trabajo debe considerarse cuidadosamente la distribución específica de la luz de las luminarias.

Se logra una uniformidad aceptable de iluminación empleando luminarias con reflector y lámparas fluorescentes tubulares si la separación entre las filas de luminarias no sobrepasa 1.5 veces su altura de montaje sobre el plano de trabajo.

La líneas de luminarias se instalan habitualmente formando ángulo recto con las filas de bancos de trabajo o máquinas. Ello evita la

formación de sombras en la tarea visual y al mismo tiempo reduce la posibilidad de luz reflejada en los ojos de los trabajadores.

3.2 Naves con varias plantas

Los edificios con varias plantas tienen generalmente techos blancos y rasos a una altura entre 2.8 y 3.5 m, que pueden servir como reflectores extensos para obtener una mejor difusión de la luz y un esquema de luminancias mejorado.

Se prefiere el alumbrado que usa lámparas fluorescentes tubulares en luminarias con reflector dispuestas en hileras continuas o discontinuas, con una separación lateral igual a los $\frac{2}{3}$ de la altura de montaje sobre el plano de trabajo. A causa de que la altura disponible de montaje está limitada, se recomienda el uso de luminarias con dispositivos de apantallamiento. Si el local está dotado de aire acondicionado, es preferible que el sistema se combine con el de alumbrado para formar un techo integrado.

3.3 Naves con un sola planta y con claraboyas o techos en diente de sierra.

Estas naves si son muy grandes tienen muchas veces un techo en forma de lucernario o en diente de sierra con el fin de admitir en su interior más luz procedente del exterior. Cualquiera que sea el tipo de trabajo, es necesario añadir luz artificial a la natural ya existente. Esto se hace normalmente mediante luminarias con reflector dispuestas en filas paralelas o perpendicularmente a las claraboyas.

3.4 Naves de gran altura

En este caso (naves de más de 7 m de altura), las fuentes de luz deben colocarse también a gran altura. Esto se hace así con el fin de mantener las fuentes de luz fuera del campo de acción de las grúas y maquinaria similar. Esto significa que se deben emplear

reflectores dispersivos o de haz estrecho, según las exigencias, y provistos de lámparas de halogenuros, sodio de alta presión o vapor de mercurio alta presión con color corregido, normales o con reflector interior. Desde el punto de vista técnico, económico y de mantenimiento, se pueden utilizar en este tipo de instalación cualquiera de estos tipos de lámparas de alta intensidad de descarga.

4. FACTORES DE UNA BUENA ILUMINACION

4.1 Cantidad de iluminación

La cantidad deseable de luz para una instalación depende principalmente de la tarea visual, edad del trabajador y la importancia de la velocidad y exactitud en la ejecución de la tarea.

Las recomendaciones de iluminación para tareas y áreas industriales se discuten más adelante, tanto en forma general como para varias ramas industriales específicas, (Ver capítulo 2 sección 2.2 y capítulo 5 sección 5.1). Para asegurar que un nivel de iluminación será mantenido, es necesario diseñar el sistema inicialmente con mayor luz que el valor requerido, considerando la depreciación. En lugares donde la suciedad se deposita muy rápidamente en las luminarias y superficies, y donde un adecuado mantenimiento no es proporcionado, el valor inicial deber ser aún más alto (Ver capítulo 2, sección 6).

4.2 Calidad de la iluminación

La calidad de la iluminación concierne a la distribución de luminancias en el ambiente visual y debe considerarse como un complemento de los valores estipulados para los niveles de iluminación. El término es usado en un sentido positivo e implica que toda luminancia contribuye favorablemente a la ejecución y confort visual, facilidad de visión, seguridad y estética para una

tarea visual determinada.

Factores como el deslumbramiento, difusión, dirección, uniformidad, color, luminancia y razón de luminancias; todos tienen un significativo efecto en la visibilidad y la capacidad para ver fácil, exacta y rápidamente. Ciertas tareas visuales, tales como percepción de finos detalles requiere un análisis mucho más cuidadoso y una más alta calidad de iluminación que otras. Areas donde las tareas visuales son intensas y su ejecución es en largos periodos de tiempo, requiere mucha más alta calidad que donde las tareas visuales son causales o de relativa corta duración. Instalaciones industriales de muy pobre calidad son fácilmente reconocidas como inconfortables y son posiblemente peligrosas.

4.2.1 Deslumbramiento directo

Cuando el deslumbramiento es causado por la fuente de luz ya sea natural o eléctrica, dentro del campo de la visión, se llama deslumbramiento directo. Para reducir el deslumbramiento directo en áreas industriales, los siguientes pasos pueden ser tomados:

- (i) Disminuir la luminancia de la fuente o equipo de iluminación.
- (ii) Reducir el área de alta luminancia que causa el deslumbramiento.
- (iii) Incrementar el ángulo entre la fuente de deslumbramiento y la línea de visión.
- (iv) Incrementar la luminancia del área circundante a la fuente de deslumbramiento y en contra de lo que se está viendo.

Las ventanas no encortinadas (en oficinas), son frecuentemente causa de deslumbramiento directo. Ellas pueden permitir una visión directa del sol, de porciones brillantes del cielo o de superficies brillantes de edificios adyacentes.

La luminarias brillantes producen deslumbramiento. Este puede ocasionar molestias visuales sin interferir necesariamente con la

actuación o la visibilidad, o también puede reducir la visibilidad y el desempeño visual acompañado frecuentemente de molestias visuales. Para reducir el deslumbramiento directo, las luminarias deben ser montadas en lo posible sobre la línea normal de la visión.

4.2.2 Luminancia y razón de luminancias

La capacidad para ver detalles depende del contraste entre el detalle y su fondo. A mayor contraste o diferencia en luminancia, la tarea visual es ejecutada con más facilidad. No obstante, los ojos funcionan más confortablemente y más eficientemente cuando las luminancias dentro del resto del ambiente son relativamente uniformes. Por lo tanto, todas las luminancias en el campo de la visión deben ser cuidadosamente controladas. En manufacturas hay muchas áreas donde no es práctico lograr la misma relación de luminancia como son fácilmente logradas en áreas tales como oficinas. Pero entre el extremo de la industria pesada y las oficinas hay un gran cantidad de áreas industriales diferentes.

Para lograr la relación de luminancia recomendada, es necesario seleccionar las reflectancias de todas las superficies terminadas y de la maquinaria y equipo de trabajo, así como el control de la distribución de luminancias del equipo de iluminación. La tabla 1.1 incluye valores de reflectancias recomendadas para interiores y equipos industriales

TABLA 1.1: VALORES DE REFLECTANCIAS RECOMENDADAS

Tipo de superficie	Reflectancia (%)
Cielo raso, techos	80 a 90
Paredes	40 a 60
Escritorios y asientos, maquinaria y equipo	25 a 45

Fuente: IES LIGHTING HANDBOOK, 1987

Superficies de alta reflectancia son generalmente deseables para proporcionar las relaciones de luminancia recomendadas y una utilización alta de la luz. Ello también mejora la apariencia estética del espacio de trabajo.

4.2.3 Deslumbramiento reflejado

El deslumbramiento reflejado es causado por fuentes de luz de alta luminancia y de superficie brillante. En procesos industriales, esto puede ser un problema particular serio donde una tarea visual crítica está involucrada con superficies altamente pulidas, tal como láminas metálicas pulidas, escalas de vernier y mecanizado crítico de superficies metálicas.

El deslumbramiento reflejado puede ser minimizado o eliminado usando fuentes de luz de baja luminancia u orientando el trabajo de tal manera que las reflexiones no sean dirigidas en la línea normal de la visión.

4.2.4 Distribución, difusión y sombras

La iluminación horizontal uniforme (donde el máximo nivel de iluminación no es más que $1/6$ sobre el nivel promedio, y el mínimo es $1/6$ menos), es frecuentemente apropiado para interiores industriales específicos donde las tareas están estrechamente espaciadas y donde hay tareas similares que requieren la misma cantidad de luz. En tales situaciones, la uniformidad permite flexibilidad de funciones, equipamiento y asegura más luminancias uniformes. Áreas alternativas de extrema diferencia de luminancias son indeseables porque ello cansa los ojos en su adaptación.

Mantener uniformidad entre áreas contiguas que tienen diferentes requerimientos de visibilidad e iluminación, puede ser causa de despilfarro de energía, como por ejemplo, en un área de almacenamiento adyacente a una tienda de máquinas. En tales casos, es prudente diseñar y aplicar iluminación no uniforme entre esas

áreas, usando luminarias de diferente potencia y/o ajustando el número de ellas por unidad de área. De igual modo, iluminación localizada restringida a un área pequeña de trabajo es insatisfactorio, a menos que haya suficiente iluminación general.

Sombras severas deben ser evitadas, pero algunos efectos de las sombras pueden ser deseables para acentuar la profundidad y forma de los objetos. En la industria hay pocas tareas específicas donde claramente esté definido que las sombras mejora la visibilidad. La eliminación de sombras se logra a través de equipos de iluminación suplementaria arreglados para una particular tarea.

4.2.5 Color

Por lo general, las tareas visuales en áreas industriales no son afectadas por variaciones en el color de la luz. No obstante, donde el reconocimiento de los colores de seguridad es importante, la fuente de luz debe ser convenientemente seleccionada. También, donde la diferenciación de color es parte del proceso de trabajo, la composición espectral de la luz deber ser adecuadamente elegida, por ejemplo en la industria de la pintura y textil. El color, por supuesto tiene un efecto sobre la apariencia del espacio de trabajo y sobre los aspectos del personal. Por lo tanto la selección del sistema de iluminación y la decoración deben ser convenientemente coordinados.

CAPITULO II

FUNCION DE CONSUMO DE ENERGIA EN ILUMINACION INDUSTRIAL

1. COMPONENTES DE LA FUNCION DE CONSUMO DE ENERGIA EN ILUMINACION

En términos generales, el uso eficiente de la energía en un sistema de iluminación industrial existente está determinado por su diseño. Sin embargo el usuario mantiene una considerable influencia sobre dicho uso, ya sea por estar condicionado por el diseño inicial o por su propio criterio de utilización del alumbrado. Según ello se puede expresar que el consumo de energía es función del diseño de la instalación:

$$CE = f (\text{Diseño de la instalación de iluminación}) \quad (2.1)$$

Como el diseño puede condicionar al usuario en sus hábitos de consumo, en la conservación y mantenimiento de la instalación y desde luego en la tecnología empleada, o por otra parte, el usuario puede adoptar sus propios comportamientos respecto a estas variables, la ecuación 2.1 se expresa como:

$$CE = f (HC , CM , TE) \quad (2.2)$$

donde,

CE = consumo de energía en kWh

HC = hábitos de consumo del usuario, generalmente en horas de uso.

CM = conservación y mantenimiento de las instalaciones y del alumbrado.

TE = tecnología empleada.

Los hábitos de consumo se refieren a las características del uso actual del alumbrado en el espacio y en el tiempo y su integración con la luz natural. La componente de conservación y mantenimiento es en relación a mantener en buen estado las instalaciones de iluminación, reduciendo la depreciación cuantitativa y cualitativa del alumbrado. La tecnología empleada se refiere a los tipos de lámparas, balastos y luminarias empleadas, cada uno de los cuales tienen diferentes parámetros de eficiencia y aprovechamiento energéticos.

Este razonamiento nos permite ampliar la expresión (2.2), básicamente en función de:

$$CE = f (NI, HU, RL, CU, FM, ST) \quad (2.3)$$

donde,

CE = energía eléctrica consumida por la instalación de iluminación en (kWh), para un periodo de tiempo definido (día, mes, año).

NI = nivel de iluminación en la superficie del espacio considerado (lux)

HU = horas de utilización del alumbrado en un periodo de tiempo definido (día, mes, año).

RL = rendimiento o eficacia de la fuente luminosa (Lúmen/watt)

CU = coeficiente de utilización de la fuente luminosa (%)

FM = factor de mantenimiento, o factor de pérdida de luz (%)

ST = superficie de trabajo en el espacio considerado (m^2)

Se puede notar que de estos factores, HU, NI y ST, corresponden a los hábitos de consumo, FM a la conservación y mantenimiento, y RL y CU a la tecnología empleada. El análisis de esta estructura de consumo, no solamente ilustra la relación entre iluminación y el uso de energía y potencia eléctrica, sino que también nos permite destacar áreas donde los esfuerzos de conservación de energía pueden ser concentrados.

2. NIVEL DE ILUMINACION

Es la cantidad de luz artificial y/o natural medido en luxes, requerida para iluminar la superficie donde se efectúa un trabajo determinado. El propósito de la instalación de iluminación en plantas industriales, es proporcionar suficiente luz para permitir la ejecución rápida y exacta de los trabajos visuales dentro de un ambiente de trabajo agradable. Una suficiente y adecuada iluminación es un factor de productividad y de rendimiento en el trabajo, además de que aumenta la seguridad del personal.

El ojo humano está constituido de manera que la visión es óptima con los niveles de iluminación proporcionados por la luz del día, que van desde unos miles a 100 000 luxes. Técnica y económicamente resulta imposible, o muy difícil obtener valores de alumbrado de 10 000 a 20 000 luxes que nos permitan ver en las condiciones más favorables y con un mínimo esfuerzo. Por tal razón, se tienen que determinar y aceptar niveles de iluminación adecuados técnica y económicamente mucho más bajos que los mencionados, aprovechando la gran capacidad de acomodación y adaptación de la vista humana.

Dado que la visibilidad y por tanto la actuación visual mejora evidentemente al incrementarse los niveles cuantitativos de alumbrado, es lógico que en otros tiempos cuando la energía era

barata, las normas y recomendaciones tendieron a fijar niveles de iluminación cada vez más elevados, considerando la relación de la dificultad de la tarea con el nivel luminoso, en función de la tipología del local y no del trabajo visual. Sin embargo ahora, sin duda como consecuencia del cambio estructural del mercado de la energía, los actuales niveles de iluminación se ponderan con más realismo de acuerdo a los conocimientos ergonómicos existentes.

2.1 Factores de adecuación de los niveles de iluminación

Tomando en cuenta lo manifestado anteriormente, actualmente se ha establecido que la cantidad de luz necesitada para una tarea dada depende de numerosos factores de adecuación que incluyen:

- . El despliegue visual que depende de los detalles del tipo de objeto que está siendo visto.

- . La edad de los observadores, por lo general, las personas que ejecutan una tarea.

- . La importancia de la velocidad y/o exactitud de la tarea visual.

- . La reflectancia de los alrededores de la tarea y de la tarea misma.

Se ha establecido que existe un nivel mínimo de iluminación para cada tarea visual específica, de ahí que se comprende que más iluminación es necesaria para una sala de dibujo que para iluminación nocturna de seguridad. El nivel de iluminación determina la calidad de la visión, así, cuanto mayor es el nivel de iluminación se puede ver más fácil y claramente.

De esta manera, un adecuado o buen nivel de iluminación ha de cumplir cuatro condiciones esenciales:

- . Suministrar una cantidad de luz necesaria y suficiente,

- . Eliminar todas las causas de deslumbramiento,

.Preveer aparatos de alumbrado apropiados para cada caso particular

.Utilizar fuentes luminosas que aseguren, para cada caso, una satisfactoria distribución de los colores.

2.2 Niveles de iluminación para tareas industriales

El trabajo realizado en la industria cubre una gama de actividades muy variada. Las tareas pueden ser extremadamente pequeñas o muy grandes, oscuras o claras y abarcar formas planas o contorneadas.

Desde el punto de vista de la percepción visual, tales tareas se clasifican según su grado de finura. Cuanto menos crítica sea la tarea, menores serán las exigencias de nivel y calidad de iluminación. A la inversa, cuanto más fino sea el trabajo, mayor debe ser el nivel de iluminación y ausencia de deslumbramiento. Cuando el alumbrado general no sea suficiente para cumplir los requisitos especiales de una determinada tarea visual, se ha de complementar de alguna forma con un alumbrado localizado.

Se consideran dos criterios para seleccionar niveles de iluminación en la industria:

a) Niveles de iluminación mínimos, generalmente son los niveles obligatorios exigidos por ley. En el caso de México, esto está establecido por el Reglamento de Construcciones. El criterio de estos niveles de iluminación mínimos es la percepción visual del rostro humano.

b) Niveles de iluminación recomendables, que pueden considerarse como los niveles promedios adecuados técnica y económicamente, ya que en estos tiene mayor importancia la iluminación de la tarea visual.

Para el análisis de conservación de energía, los niveles de iluminación que se establecen y que serán manejados por el sistema

experto, se basan en las categorías de actividad propuestas por el IES (Illuminating Engineering Society, USA) para diferentes grupos de tareas y que se incluyen en la tabla 2.1.

Este tratamiento permite flexibilidad en el análisis, ya que los niveles de iluminación se refieren a una gran gama de tareas industriales similares dentro de cada categoría establecida, (Ver capítulo 5 sección 1.1 y anexo II).

Para cada categoría de actividad se establecen rangos de iluminación, por lo que para seleccionar el valor idóneo de nivel de iluminación que corresponda a una tarea específica, se consideran los factores de adecuación mencionados anteriormente. En la sección 1.1 del capítulo 5, se presenta el procedimiento respectivo para este propósito.

TABLA 2.1: NIVELES DE ILUMINACION POR CATEGORIAS DE ACTIVIDAD

Categoría actividad	Descripción de la categoría	Rangos de iluminación (lx)
A	Zonas públicas con alrededores oscuros	20-30-50
B	Simple orientación para visitas de corta duración	50-75-100
C	Zonas de trabajo donde las tareas se ejecutan ocasionalmente	100-150-200
D	Tareas con alto contraste y tamaño grande	200-300-500
E	Tareas con necesidad visual normal	500-750-1000
F	Tareas con necesidad visual especial	1000-1500-2000
G	Tareas prolongadas que requieren precisión	2000-3000-5000
H	Tareas visuales excepcionalmente exactas	5000-7500-10000
I	Tareas visuales muy especiales	10000-15000-30000

Fuente: Illuminating Engineering Society, USA, (1987)

3. HORAS DE OPERACION

Para determinar el consumo de energía en iluminación y estimar los ahorros potenciales de ciertas medidas, se debe conocer o estimar

las horas de operación y en lo posible el horario de operación de la instalación de iluminación. Por ejemplo, se debe responder a preguntas sobre hábitos de consumo tales como:

.¿Están las lámparas usualmente apagadas durante las horas de comida?

.¿Qué horarios son comunmente usados para trabajos de limpieza y que tiempo involucran?

.¿Hay áreas donde la ocupación es intermitente, con las lámparas encendidas todo el día?, etc.

Estas y otras preguntas que tienen que ver con la utilización temporal y espacial de la iluminación, posibilitan estimar los consumos de energía, así como identificar medidas que reduzcan el tiempo de uso de la potencia instalada en iluminación, y por lo tanto el consumo de energía.

4. RENDIMIENTO LUMINOSO

Supongamos que disponemos de una fuente luminosa que demanda W watts de energía eléctrica. Si su espectro luminoso ideal fuera monocromático de longitud de onda de 555 nm (máxima sensibilidad visual), cuyo factor de rendimiento luminoso es 1, entonces su flujo luminoso resultaría ser (por definición de lúmen, 1 watt = 685 lúmenes):

$$\text{Flujo luminoso} = 685 * W \text{ , lúmenes} \quad (2.4)$$

Sin embargo, el espectro de radiación de una lámpara no se compone solamente de esta longitud de onda, sino que emite en otras longitudes del espectro visual en el rango de 380 a 760 nm aproximadamente, con factores de rendimiento diferentes para cada valor de longitud de onda; incluso emite radiación en longitudes de onda del espectro no visible con factores de rendimiento igual a cero.

Para una fuente luminosa destinada a la iluminación, es decir, a la percepción visual, su rendimiento luminoso (RL) es la relación entre la cantidad de flujo luminoso producido y la cantidad de energía eléctrica demandada para producir este flujo, y se expresa en lúmen/Watt (lm/W).

$$RL = \frac{\text{Flujo luminoso emitido (lm)}}{\text{Energía eléctrica demandada (W)}} \quad (2.5)$$

Este parámetro es una característica de las lámparas empleadas en la instalación de iluminación (tecnología). Así, una lámpara estándar de incandescencia de 100 W con flujo luminoso de 1400 lúmenes, posee un rendimiento luminoso de 14 lúmen/W. Por lo que, para reducir la potencia eléctrica demandada (ahorro de energía), es desable obtener los niveles de iluminación recomendados, haciendo uso de las lámparas de más alto rendimiento luminoso y de menor potencia.

Hay un amplio rango de tecnologías actualmente, ya sea disponibles en el mercado, aún bajo desarrollo, o que están siendo evaluadas en el laboratorio y que prometen incrementar el rendimiento luminoso significativamente.

5. COEFICIENTE DE UTILIZACION

Por lo general, toda lámpara está dentro de un dispositivo apropiado llamado luminaria, lo que origina que parte del flujo luminoso emitido por la lámpara sea absorbido por la luminaria en la cual está instalada y no contribuya al alumbrado del local. El resto del flujo de la lámpara es radiado una parte hacia el techo y otra hacia abajo, es decir, por encima y por debajo del plano horizontal que pasa por el centro de la lámpara.

La parte de flujo radiada directamente sobre el plano de trabajo es la que contribuye en mayor cuantía a la iluminación. Solamente

una parte del flujo dirigido hacia el techo y las paredes alcanza el plano de trabajo, algunas veces después de varias reflexiones.

El coeficiente de utilización (CU) en el plano de trabajo, es la relación entre la cantidad de luz emitida por la lámpara y la luz que incide o llega al plano de trabajo.

$$CU = \frac{\text{Energía luminosa incidente en el plano de trabajo}}{\text{Energía luminosa emitida por la lámpara}} \quad (2.6)$$

El coeficiente de utilización prácticamente es un indicador de eficiencia de la instalación de iluminación ya que depende de los siguientes factores:

.El sistema de iluminación y la distribución luminosa de la luminaria.

.El rendimiento de la luminaria, es decir de las características reflectivas de la parte fija de la luminaria.

.Las reflectancias del techo, paredes y plano de trabajo.

.La forma y dimensiones del local.

.La disposición de la luminaria en el local, es decir de la distancia vertical entre la luminaria y el plano de trabajo.

El coeficiente de utilización es determinado aplicando el método de cavidad zonal, que permite un cálculo más preciso del C.U., con un procedimiento muy similar al método del índice de cuarto. Este procedimiento que será utilizado por el sistema experto, comprende los siguientes pasos:

1. Considerar al local de trabajo dividido en tres zonas o cavidades: cavidad del techo, cavidad del local y cavidad del piso, tal como se muestra en la figura 2.1.

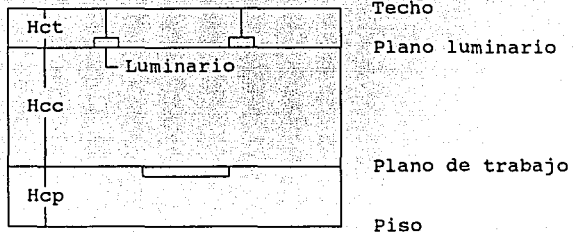


Figura 2.1: Cavidades de local

2. Mediante las siguiente expresiones, o por medio de tablas, calcular los índices de cavidad del techo, del local y del piso.

$$ICT = \frac{5 * Hct * (Largo + Ancho)}{Largo * Ancho} \quad (2.7)$$

$$ICC = \frac{5 * Hcc * (Largo + Ancho)}{Largo * Ancho} \quad (2.8)$$

$$ICP = \frac{5 * Hcp * (Largo + Ancho)}{Largo * Ancho} \quad (2.9)$$

Donde:

ICT = Índice de cayidad de techo

ICC = Índice de cavidad de cuarto

ICP = Índice de cavidad de piso

Hct = Altura de cavidad de techo (distancia desde la parte inferior de la luminaria al techo)

Hcc = Altura de cavidad de cuarto (distancia desde la luminaria al plano de trabajo)

Hcp = Al tura de cavidad de piso (distancia desde el piso al

plano de trabajo)

Largo = longitud del local de trabajo

Ancho = anchura del local de trabajo

3. Mediante el análisis de los colores de paredes, techo y piso; se determinan los valores de las reflectancias para cada uno de estos elementos. La reflectancia de una superficie se define como la razón entre el flujo luminoso reflejado por la superficie y el flujo que incide sobre ella.

Los factores de reflexión de techos y paredes deben ser los valores mínimos esperados antes de la limpieza o repintado de las superficies. La tabla 2.2 proporciona factores aproximados para varias superficies, según el color de los acabados.

... TABLA 2.2: FACTORES DE REFLEXION DE SUPERFICIES

Color de la superficie	Factor de reflexión
Blanco, azul-verde, crema, azul, ante o gris muy claros, y similares.	75 %
Azul-verde, amarillo, ante o gris medianos y similares.	50 %
Gris oscuro, azul medio y similares	30 %
Azul oscuro, café, verde oscuro, acabados de madera tonos roble o caoba y similares.	10 %

Fuente: Catálogo de productos de iluminación de la CROUSE HINDS (1989)

4. Con los valores de reflectancia del techo, reflectancia de las paredes, el valor del índice de cavidad de cuarto, y considerando una reflectancia efectiva de piso del 20%, de las tablas de C.U. que se encuentran en los catálogos del fabricante para la luminaria seleccionada, obtenemos el valor del coeficiente de utilización.

6. FACTOR DE MANTENIMIENTO

Los niveles de iluminación resultantes en la instalación de alumbrado disminuyen progresivamente en el curso de su funcionamiento por acumulación de polvo en las luminarias y otras superficies del espacio iluminado o por la disminución del flujo proporcionado por las lámparas a medida que estas envejecen.

El factor de mantenimiento o factor de pérdida de luz es la razón entre el nivel de iluminación medio en el plano de trabajo después de un periodo determinado de uso de una instalación y el nivel de iluminación medio obtenido al empezar a funcionar la misma recién instalada.

El factor de mantenimiento toma en cuenta la pérdida de luz por:

- . Suciedad acumulada en las superficies del local.
- . Envejecimiento de la lámpara (depreciación del flujo luminoso).
- . Suciedad acumulada en la luminaria.

El efecto individual de cada factor varía con el tipo de trabajo realizado y las condiciones atmosféricas en el edificio. Por ejemplo, el aire es más sucio en una fundición que en una oficina con aire acondicionado, la cantidad y tipo de suciedad encontrado en el aire de una oficina es diferente que en una área industrial.

Lúmenes que emite una lámpara decrecen con el uso, pero hay amplias diferencias en el ritmo, según el tipo de tecnología. Esta depreciación se debe al desgaste y envejecimiento de los filamentos, así como al desgaste de la capa de fósforo que cubre las paredes internas de los bulbos en el caso de las lámparas fluorescentes y mercuriales.

La mayor pérdida de luz puede ser atribuida generalmente al polvo acumulado en la superficie de la luminaria que controla el flujo luminoso (por reflexión, refracción o difusión). Esta acumulación depende del ángulo de inclinación y acabado de la superficie,

temperatura de operación, grado de ventilación, y de la polución existente en la atmósfera circundante.

El polvo que se acumula en el techo y las paredes reduce su poder de reflexión y por consiguiente, la cantidad de luz reflejada. La influencia que esto tiene en los cálculos del nivel de iluminación dependerá, obviamente del tamaño del local y de la distribución fotométrica de las luminarias. Las lámparas acabadas contribuyen a la pérdida de luz. Si estas no son reemplazadas inmediatamente, la iluminación disminuye proporcionalmente.

En la práctica, el factor de mantenimiento está dado por:

$$FM = FD * FS \quad (2.10)$$

donde:

FM = factor de mantenimiento

FD = factor de depreciación del flujo luminoso de una lámpara

FS = factor de ensuciamiento de la luminaria, paredes y techos.

El valor de FD generalmente lo da el fabricante para cada tipo de lámpara, mientras que para obtener el valor de FS se recomienda emplear los valores dados en la tabla 2.3, que considera el tipo de ambiente atmosférico donde se realiza un trabajo y el tiempo entre cada limpieza.

TABLA 2.3 : FACTORES DE DEPRECIACION POR ENSUCIAMIENTO

Tipo de ambiente	Periodo entre limpiezas (en meses)			
	3	6	12	24 o más
Limpio (Oficinas)	0.98-0.95	0.97-0.84	0.96-0.82	0.90-0.76
Fábrica limpia	0.97-0.90	0.90-0.82	0.88-0.74	0.82-0.57
Fábrica sucia	0.90-0.87	0.82-0.73	0.79-0.65	0.71-0.48
Fábrica muy sucia	0.89-0.84	0.78-0.67	0.73-0.59	0.64-0.42

Fuente: Manual de Eficiencia Energética Térmica en la Industria, CADEM, España, 1984.

7. AREA DE TRABAJO

El consumo de energía también depende de que tan pequeña o grande es el área iluminada donde se realiza una tarea específica. En una oficina por ejemplo, es frecuente, aunque innecesario e indeseable, iluminar uniformemente toda el área del piso. Esto nos indica que el uso de iluminación debe ser más intensa en la superficie neta de trabajo (iluminación localizada en el área efectiva y propia de la tarea) y menos intensa en los alrededores (iluminación general). Al reducir el área de trabajo, se requiere una mayor intensidad de iluminación, con lo cual se racionaliza la carga de iluminación instalada.

8. CONTROL DE LA ILUMINACION

El control de la iluminación se relaciona directamente con la conducción o comportamiento integral de todos los factores que se incluyen en la función de consumo. Las estrategias más importantes para el control de la iluminación que tienen que ver directamente con el consumo de energía y con el comportamiento de los factores de la función de consumo son:

8.1 Programación

Cuando las actividades ocurren habitualmente durante el día, los niveles de iluminación pueden ser programadas, distribuidos y operados automáticamente. Por ejemplo, tiempos de entrada y salida del personal, periodos de comida y periodos de limpieza, son previsible para los días laborables, fines de semana y días feriados en muchas plantas industriales. Todo esto sirve para tener un horario bien definido, por ejemplo si las actividades ocurren al mismo tiempo cada día dentro de un intervalo de tiempo dado.

Una estrategia de programación automática es particularmente efectiva cuando los horarios de trabajo son cortos, eliminando la

energía desperdiciada por iluminación de espacios no ocupados. Esto proporciona la conveniencia de reemplazar personal de control de la operación manual del alumbrado, además de establecer tiempos definidos para actividades particulares, tal como el tiempo para abrir y cerrar un almacén.

Muchos eventos son impredecibles y no programables, tal como estaciones de trabajo vacíos debido a ausencia de empleados por enfermedad, vacaciones, reuniones de personal y viajes de negocios. Áreas tales como, centros de copiado, sala de archivos, salas de conferencias, camerinos, etc, que son usados esporádicamente, no son programables con facilidad.

Debido a que estas áreas no están dispuestas para una operación del alumbrado bien programada, los sensores automáticos son más efectivos que la usual confianza en el manual de operación de la luz. Por ello, es importante determinar el porcentaje del tiempo que un particular espacio está vacío antes de la implementación de sistemas automáticos, y para considerar que luces apagar y encender sin que se afecte a los ocupantes de espacios adyacentes.

8.2 Depreciación del flujo luminoso

Los sistemas de iluminación son usualmente diseñados para mantener un nivel mínimo de iluminación. Esto requiere que el nivel de un nuevo sistema exceda el nivel mínimo de diseño, por ejemplo, del 20 al 50% para tener en cuenta la depreciación del flujo luminoso en el tiempo. Por lo cual se plantea una estrategia de control de la depreciación de los lúmenes iniciales hasta el valor mínimo de diseño.

Según esta estrategia, mientras la depreciación de los lúmenes ocurre, más potencia es aplicada a las lámparas, manteniendo su rendimiento para compensar la luz perdida tanto en lámparas como en luminarias, siendo la máxima potencia aplicada solo próximo al final del período de depreciación, lo cual reduce significativamente el uso de energía.

El uso de esta estrategia también puede servir como un incentivo económico para el mantenimiento del sistema de iluminación, por la programación de la limpieza y reemplazamientos, puesto que un buen mantenimiento del sistema permitirá el uso de potencia y reducirá los costos de operación.

8.3 Sincronización de tareas

Niveles uniformes de iluminación son frecuentemente proporcionados en todo un espacio. No obstante, si se cambia de lugar a algunas tareas, una vez que el espacio está ocupado, el sistema de iluminación puede ser ajustado o sincronizado, para proporcionar iluminación localizada tal como se necesite. La iluminación puede ser reducida en áreas tales como pasillos y salas de recepción, o aumentados en áreas donde tareas de mayor dificultad visual ocurren.

8.4 Luz natural

En algunas áreas, parte de la iluminación deseada puede ser alimentada por la luz del día. En estas áreas, ajustar la iluminación artificial en proporción con la cantidad de luz natural disponible, puede reducir la energía consumida por la instalación de iluminación eléctrica, particularmente durante horas de demanda pico. Para este tipo de control ya existen en el mercado diferentes sensores fotoeléctricos según el tipo de control que se desea realizar.

La energía ahorrada como resultado del uso de luz natural, depende de muchos factores como: condiciones climáticas, forma del edificio, orientación y diseño, así como de las actividades que se realizan dentro del edificio. Es esencial que el control de la iluminación artificial esté apropiadamente integrada con el patrón de iluminación natural para mantener una adecuada cantidad y calidad de iluminación.

8.5 Impactos del control de la iluminación

El control de la iluminación puede afectar la demanda máxima de potencia de la planta, el consumo de energía, el sistema de distribución eléctrica, el equipo de iluminación y el ambiente de trabajo. En lo que se refiere a los requerimientos de potencia y uso de energía, el manejo racional depende de la configuración del edificio, el equipo de control específico, la estrategia de control seleccionada y el grado en que cada estrategia de control esta disponible para ser usada dentro de la planta.

La sincronización de tareas puede reducir la demanda de potencia y el consumo de energía hasta el 50 % en áreas seleccionadas, tal como pasillos y otros espacios donde no se ejecutan tareas visuales críticas.

Una programación previsible, realizada en forma estricta, puede reducir el uso de energía hasta en 40 %. Programaciones holgadas pueden reducir el uso de energía algo más del 30%. Una programación no previsible usando sensores de ocupación, produce ahorros superiores a 40% en áreas seleccionadas (IES, 1987).

La estrategia de control de la depreciación del flujo luminoso y convenientes políticas de mantenimiento, pueden reducir el consumo energía entre el 10 y 15% .El uso de luz natural puede reducir la demanda de electricidad y uso de energía en el 50%. No obstante, solamente una parte del espacio en muchas naves industriales pueden ser iluminadas con luz natural (IES, 1987).

9. Diseño de la instalación de iluminación

La influencia del diseño en la operación y funcionamiento del sistema de iluminación es muy importante, especialmente en el comportamiento de cada uno de los elementos de la función de consumo de energía en iluminación. Esta influencia se presenta en cada una de las etapas del diseño de alumbrado, que son principalmente:

.a Determinación de las necesidades de iluminación de la nave industrial y los factores operacionales respectivos.

.b Selección del tipo de lámpara y tipo de luminaria.

.c Cálculo del número de luminarios requerido.

.d Determinación de la distribución de luminarios en la nave industrial.

CAPITULO III

GESTION ENERGETICA EN ILUMINACION INDUSTRIAL

1. GESTION DEL AHORRO DE ENERGIA EN ILUMINACION

La gestión del ahorro energético en iluminación industrial, comprende esbozar ideas y ejecutar acciones orientadas al uso racional y eficiente de la electricidad satisfaciendo condiciones de iluminación específicas.

La disminución del consumo de energía puede ser lograda reduciendo la cantidad de potencia instalada o de operación. Como se verá más adelante, entre las opciones para reducir el consumo de energía están, la modificación o reemplazo de los sistemas de iluminación con otros más eficientes, usando componentes que usen menor potencia, o modificando las características de operación para reducir las horas de uso. Si la potencia y la energía son reducidas, el potencial de energía ahorrada se incrementa.

Este capítulo incluye los criterios que se deben tener en cuenta para administrar la energía en sistemas de iluminación existentes, con la tendencia a reducir el consumo de energía.

Si se logra un diseño energéticamente eficaz, se pueden obtener ahorros significativos en consumo de energía sin reducir la calidad y cantidad del servicio. Muchas de las instalaciones de iluminación existentes están muy lejos de conseguirlo.

Esta claro que el objetivo total de la gestión de la energía en iluminación es proveer alumbrado, dentro de unas normas de calidad y cantidad, con el mínimo consumo de energía. Para ello es imprescindible evaluar los equipos, la tecnología, los servicios de conservación disponibles y los hábitos de consumo, igual para instalaciones existentes que para instalaciones en vías de ejecución.

Podemos establecer reglas básicas para lograr que el alumbrado sea energéticamente eficaz (Philips, 1987):

1. Controlar el uso y conexión de la instalación
2. Considerar el efecto de la decoración circundante y utilizar alumbrado decorativo donde sea apropiado.
3. Mantener el equipo de alumbrado en buen estado.
4. Utilizar la fuente de luz idónea más eficaz.
5. Utilizar el flujo luminoso de la lámpara eficazmente.
6. Utilizar diseños de alumbrado eficaces en ahorro energético.

No hay respuesta simple ni universal para todas las situaciones, pero si la instalación existente o propuesta es examinada razonadamente, en la mayoría de los casos habrá oportunidad para obtener ahorros tanto energéticos como económicos.

Considerando la función de consumo de energía en iluminación industrial y las reglas mencionadas, se establecen ocho variables que deben ser analizadas para lograr una buena gestión energética en iluminación, tanto en instalaciones existentes, como en el diseño de nuevas naves. Estos aspectos se discuten a continuación, indicándose lo más importante que se debe tener en cuenta.

1.1 Necesidades de iluminación

Es la iluminación requerida para mantener o mejorar la productividad, la seguridad, la comodidad y la estética.

Los factores que influyen en la determinación de estas variables son:

- a. Tipo de tarea
- b. Localización de la tarea
- c. Areas donde no se ejecutan tareas
- d. Recomendaciones de iluminación
- e. Iluminación uniforme
- f. Iluminación no uniforme

1.1.1 Consideraciones para evaluar instalaciones nuevas:

El tipo de tarea y su localización deben ser identificados, de tal forma que la iluminación recomendada que puedan proporcionar para estas tareas, sea con menos iluminación en las áreas circundantes a la tarea. Donde no hay realización de tareas, no hay necesidad visual por niveles de tareas, tal como se muestra en la tabla 2.1 del capítulo anterior. Entonces la seguridad y estética son las principales consideraciones.

Cuando las tareas y sus localizaciones son identificadas, es posible utilizar sistemas de iluminación no uniforme, tal como un módulo de luminarias arregladas solo para satisfacer la estación de trabajo, o integrar iluminación suplementaria a la estación de trabajo conjuntamente con un sistema de iluminación general.

Cuando las tareas y sus localizaciones no pueden ser identificadas, un nivel de iluminación puede ser seleccionado para la tarea esperada y un modelo uniforme de luminarias instaladas con controles para disminuir el nivel a puntos específicos cuando la tarea no esté siendo ejecutada (Para tareas no continuas e intermitentes)

1.1.2 Consideraciones para instalaciones existentes

El tipo de tarea y su localización deben ser identificados para que así se le pueda asignar el valor de la iluminación recomendada que debe ser proporcionada para esta tarea con un menor nivel en las áreas circundantes no críticas. Cuando no hay la realización de tareas continuas (o de proceso), no hay necesidad visual, entonces la seguridad y estética es lo que se consideran en primer lugar.

Puesto que las tareas y sus localizaciones pueden ser identificadas, una medición de la iluminación debe efectuarse donde posiblemente las iluminancias están en exceso de los valores recomendados. La iluminación entonces puede ser ajustada para satisfacer las recomendaciones.

1.2 Luminarias

La evaluación de este componente de la variable tecnología empleada comprende los siguientes aspectos:

- a. Eficacia para alumbrado de tareas
- b. Eficacia para alumbrado de espacios libres, donde no se efectúan tareas visuales.
- c. Capacidad de transferencia de calor
- d. Capacidad de limpieza

1.2.1 Consideraciones para instalaciones nuevas

En la selección de una luminaria las consideraciones relacionadas con la eficacia son en función al alto contraste de la tarea y a un suficientemente alto confort visual. La distribución de la luz de una luminaria y la apariencia son también importantes, particularmente por estética, pero también debe considerarse la eficiencia.

Luminarias con alta capacidad de transferencia de calor deben ser

consideradas de tal modo que el calor de iluminación pueda ser utilizado o removido e integrado al diseño térmico del edificio y el uso total de energía del edificio.

Luminarias que pueden ser limpiadas fácilmente y esas con bajo acumulación de polvo, reduzcan las necesidades de mantenimiento y los costos de limpieza.

1.2.2 Consideraciones para instalaciones existentes

Examinar la eficacia y la eficiencia de la luminaria para alumbrar una tarea, y si es ineficiente o ineficaz, considere el reemplazo de la luminaria o de algún componente. Revise para ver si todos los componentes están en buenas condiciones de trabajo. La transmisión y difusión promedios deben ser examinados y los componentes muy descoloridos y que ha alcanzado su depreciación media, deben ser reemplazados para mejorar la eficiencia (sin producir excesiva brillantez y molestias visuales no deseadas)

1.3 Fuentes de luz artificial :lámparas y balastos

En este caso los aspectos que se deben tener en cuenta son:

- a. Eficacia (lúmenes/watt)
- b. Color (cromaticidad de la luz emitida)
- c. Rendimiento en color
- d. Mantenimiento de los lúmenes

1.3.1 Consideraciones para nuevas instalaciones

Lámparas de alta eficacia y la combinación apropiada lámpara-balastro deben ser usadas cuidando que sean compatibles con el color deseado de la fuente de luz, capacidades de rendimiento de color, tamaño de la fuente, vida y depreciación producida. Compare fuentes que estén siendo considerados en base al ciclo de vida, costos y uso de energía.

Considere el uso de balastos multinivel para brindar flexibilidad en lograr iluminación no uniforme según como se necesite. Considerar el uso de balastos reductores de voltaje donde tamaños de módulos y/o espaciamiento de luminarias permiten el logro de las necesidades de iluminación.

1.3.2 Consideraciones para instalaciones existentes

Donde fuentes de luz ineficientes son usadas, considere la reiluminación con lámparas más eficientes, compatibles con el color y rendimiento en color deseados de la fuente de luz, basados en el costo del ciclo de vida.

Considerar fluorescentes de potencia reducida en luminarias existentes donde 10 a 20% de la reducción de la iluminación puede ser permitido. Esto debe estar acompañado de limpiezas periódicas, y reemplazamiento en grupo.

Considerar el uso de balastos multinivel para brindar flexibilidad en la variación de la iluminación durante periodos ocupados y periodos de limpieza, y balastos reductores de voltaje, donde una reducción en la iluminación puede ser tolerada.

1.4 Luz natural

El análisis de esta variable comprende los siguientes factores:

- a. Disponibilidad de luz natural
- b. Tipo de ventanaje: ventanas verticales, claraboyas, techos en dientes en sierra, etc.
- c. Tipo de control.

1.4.1 Consideraciones para instalaciones nuevas

Evaluar el potencial de luz natural (nivel y horas de disponibilidad), teniendo en cuenta que el deslumbramiento por ventanas debe ser controlado al mismo grado que de las luminarias

y que el calor ganado o perdido a través de la ventana (u otra forma de penetración de luz natural), requiere ser integrado al sistema térmico del edificio. Integrar el diseño de iluminación eléctrica con el empleo de luz natural, de tal manera que el deslumbramiento, calor e iluminación sean controlados.

1.4.2 Consideraciones para instalaciones existentes

Si la luz natural puede ser usada para reemplazar algo de la iluminación eléctrica durante periodos substanciales del día, la iluminación en estas áreas debe ser rebajada o apagada. Si ningun control esta siendo proporcionado, considerar la adición de controles basados en el costo del ciclo de vida. Evaluar la eficacia del control existente de persianas del ventanaje en oficinas, por posibles reemplazos o adiciones.

1.5 Superficies del local de trabajo

En este caso, el aspecto principal es el color del acabado de las superficies.

Ambientes de trabajo cuyos interiores fueron diseñados con especificaciones de reflectancias de las superficies del local y equipos que resultan ser al final más altos que las reflectancias recomendadas, no consideraron la importancia de la propiedad del color. Hay que considerar que el empleo de reflectancias más altas que las recomendadas pueden producir excesiva luminancia y deslumbramiento.

Así tambien, donde las reflectancias de las superficies del local son menores que, o al final menores que el rango de reflectancias recomendada, considerar el repintado usando colores mate con reflectancias próximas al valor superior del rango. Cuando un equipo es reemplazado, seleccione acabados de color claros, ya que como se ha manifestado, reflectancias mayores que las recomendadas, pueden producir excesivas luminancias y deslumbramiento.

De manera general podemos afirmar que el empleo de acabados con altas reflectancias ahorran energía, lo cual se debe tener en cuenta para una acertada gestión energética.

1.6 Procedimientos de mantenimiento

En diseños nuevos, considerar prudentemente un programa planificado de mantenimiento, el cual debe ser considerado en el diseño, para permitir la conservación de los niveles de iluminación deseados, usando menos equipamiento y menos potencia instalada para iluminación. También considerar programas para el mantenimiento de las fuentes de luz natural (ventanajes y dispositivos de control).

El empresario debe ser encomendado a mantener el programa de mantenimiento usado en el diseño del sistema de iluminación, ya que de otra manera, la iluminación será menor que la planificada y se ocasionará desperdicio de energía eléctrica.

En instalaciones existentes, se debe reevaluar el programa de mantenimiento actual y revisar si aquel es necesario para proporcionar el mantenimiento deseado de la iluminación. Esto puede permitir algunas reducciones en la energía para iluminación.

1.7 Utilización de la iluminación

En espacios con tareas, considerar arreglos de interruptores así que solamente iluminación general pueda ser usada cuando la tarea no es ejecutada. No obstante, es importante que una adecuada iluminación sea mantenida para la limpieza del edificio.

En instalaciones existentes, analizar el uso de la iluminación durante los periodos de trabajo y de limpieza del edificio. Donde los pisos son grandes o el área del local es controlada por un interruptor simple, considerar adicionar más interruptores flexibilizando el encendido y apagado de la luz en áreas donde no

es necesitada.

1.8 Utilización del espacio

Donde se encuentre que los trabajadores están dispersamente distribuidos se debe considerar el movimiento de trabajadores muy juntos, cerrando espacios no usados. También un análisis de la iluminación existente puede mostrar donde algunas tareas pueden ser relocalizadas para lograr ventajas de la iluminación existente proporcionada y donde las reflexiones intensas son menores.

2. CRITERIOS GENERALES PARA EL AHORRO DE ENERGIA EN ILUMINACION

Los diferentes criterios relacionados con el uso eficiente de la energía eléctrica en iluminación industrial que se plantean a continuación, prácticamente toman la connotación de acciones que se deben llevar a cabo en programas de conservación de energía.

2.1 Criterios relacionados con el nivel de iluminación

a. Identificación y localización de tareas, para que se pueda asignar niveles de iluminación recomendados por tipo de tarea, con niveles menores en los alrededores a la tarea (iluminación por tipo de tarea y no necesariamente iluminación general).

b. Identificar tareas donde la iluminación mantenida es mayor que la recomendada y disminuirla hasta cumplir las recomendaciones.

c. Considerar reemplazamientos de tipos de tareas con esas de alto contraste para bajar requerimientos de iluminancia.

d. Donde no se realizan tareas visuales, la iluminación para una tarea no es requerida. Examine entonces los requerimientos de iluminación para satisfacer la seguridad y la estética.

e. Agrupar tareas que tienen el mismo requerimiento de iluminación

o estaciones de trabajo ampliamente separadas, y clausurar espacios no usados.

f. Coordinar la disposición de luminarias y tareas de alta presentación de contraste en vez de espacios geométricos uniformes. Analice la iluminación existente para mostrar donde las tareas pueden ser relocalizadas para proporcionar mejor presentación de contraste. Ser cuidadoso y muy cauto cuando relocalice tareas para minimizar deslumbramiento directo y reflejado y ensombreamientos en la tarea.

g. Relocalizar el alumbrado de las partes superiores de materiales apilados.

h. Considerar la reducción de la altura de montaje de luminarias si con ello se mejora la iluminación o se reduce la potencia instalada requerida para mantener una adecuada iluminación de la tarea.

i. Considerar la iluminación de tareas con luminarias apropiadamente localizadas en o sobre muebles con menor luz en pasillos.

j. Considerar luminarias para iluminar paredes y para iluminar plantas, pinturas y murales, para mantener tasas de luminancia apropiadas en lugar de iluminación general elevada.

k. Considerar fuentes de luz de alta eficiencia, para proyección y despliegue de iluminación.

l. Considerar espacios abiertos o despejados versus espacios divididos. Donde la división es difícil (o alta) o el equipo apilado puede ser eliminado, la iluminación general puede aumentarse, y la potencia conectada al sistema de iluminación podrá ser reducida.

m. Considerar el uso de colores claros en paredes, techos, pisos y muebles, para incrementar la utilización de la luz, y reducir la potencia conectada requerida para lograr la luz necesitada. Evitar acabados brillantes de superficies de trabajo y del local.

2.2 Criterios relacionados con la tecnología empleada

a. Establecer programas de limpieza de lámparas y luminarias

b. Seleccionar un intervalo de tiempo de reemplazamiento en grupo de lámparas para todas las fuentes de luz.

c. Instalar lámparas de alta eficacia, compatible con el color y rendimiento en color deseados de la fuente de luz.

d. En instalaciones donde muchas lámparas incandescentes de baja potencia son usadas en luminarias, investigar la posibilidad de usar pocas lámparas pero de alto rendimiento, o usar lámparas fluorescentes compactas.

e. Evaluar el uso de lámparas de potencia reducida cuando la iluminación es sobre requerimientos de la tarea y cuando la localización de la luminaria debe ser mantenida.

f. Considerar lámparas fluorescentes de baja potencia en luminarias existentes junto con el mejoramiento de procedimientos de mantenimiento. Esto no es recomendable en ambientes donde la temperatura puede caer abajo de 16°C.

g. Verificar la eficacia de la luminaria por tarea iluminada y la eficiencia, y si es ineficaz o ineficiente, considere el reemplazamiento de la luminaria o de algún componente de ella, o la relocalización para una mayor eficacia.

h. Considerar balastros reducidos de voltaje, donde una reducción en la iluminación puede ser tolerada.

i. Considerar el uso de balastos apropiados que pueden acoplarse a lámparas de sodio de alta presión o lámparas de halogenuros metálicos, intercambiables con otras lámparas.

j. Considerar balastos multinivel donde una reducción en la iluminación puede ser permitida.

k. Considerar la sustitución de lámparas de halogenuros metálicos tipo intercambiables con balastos compatibles en lámparas de vapor de mercurio existentes. Dos opciones: Mejorar la calidad de una subiluminación en sistemas de vapor de mercurio sin incrementar la potencia, o reducir la potencia de iluminación removiendo luminarias que pueden incrementar los niveles de iluminación sobre los requerimientos de iluminación de la tarea, sin la creación de una distribución inapropiada de luz.

l. Considerar la sustitución de lámparas de vapor de sodio de alta presión intercambiables con balastos reductores de voltaje en sistemas de lámparas de vapor de mercurio existentes, cuando el cambio en el rendimiento de color es apropiado. Resultados: se reduce la potencia por iluminación instalada con la sustitución de lámparas y se obtiene más luz.

m. Considerar uso de luminarias que no colectan polvo rápidamente y que puedan ser limpiadas fácilmente.

2.3 Criterios relacionados con el uso de luz natural

a. Si la luz natural puede ser usada para reemplazar algo de la iluminación artificial, cerca de las ventanas durante periodos sustanciales del día, la iluminación en esas áreas debe ser disminuída o apagada.

b. Usar luz natural efectivamente localizando las estaciones de trabajo que requieren de más iluminación cerca de las ventanas.

c. La Luz natural, siempre y cuando pueda ser efectivamente usada, debe ser considerada en áreas cuando una ganancia neta de ahorro de energia es posible, considerando energia total para iluminaci3n, calentamiento y enfriamiento.

2.4 Criterios referidos a los sistemas de distribuci3n y control

a. Instalar interruptores para un control selectivo de la iluminaci3n.

b. Evaluar el uso de sistemas de interruptores de baja potencia (24 volts o menos) para obtener una m3xima capacidad de encendido-apagado.

c. Instalar interruptores o controladores de iluminaci3n, para brindar flexibilidad, cuando los espacios son utilizados para m3ltiples prop3sitos y requieren diferentes cantidades de iluminaci3n para varias actividades.

d. Considerar sistemas de control de estado s3lido o balastos electr3nicos como una medida funcional para requerimientos de iluminaci3n variables de fluorescentes o lamparas de alta densidad de descarga.

e. Considerar fotoceldas y/o temporizadores para encender y apagar luces exteriores.

f. Instalar interruptores selectivos en luminarias de acuerdo al agrupamiento de tareas que se ejecutan a diferentes horas de trabajo y cuando no es necesitada.

g. Considerar la codificaci3n de los paneles de control de la luz e interruptores seg3n un determinado horario de cuando las luces deben ser encendidas o apagadas.

h. Considerar un sistema maestro de control programable para el edificio completo a fin de apagar o encender las luces

automáticamente según las necesidades y considerando estaciones de trabajo individuales.

2.5 Criterios relacionados con los procedimientos de mantenimiento

a. Evaluar el programa actual de mantenimiento de la iluminación y revisar si este es el necesario para proporcionar el más eficiente uso del sistema de iluminación.

b. Limpiar luminarias y reemplazar lámparas siguiendo un programa de mantenimiento.

c. Verificar si todos los componentes están en buenas condiciones de trabajo. La transmisión y difusión media debe ser examinada, y las que están muy descoloridas o ya alcanzaron su deterioro medio deben ser reemplazados para mejorar la eficiencia luminica de las luminarias.

d. Reemplazar luminarias obsoletas o dañadas con luminarias modernas, las cuales tengan buenas capacidades de limpieza, y las que usen lámparas con altas eficacias y buenas características de mantenimiento de los lúmenes.

2.6 Criterios relacionados al horario de operación del sistema

a. Analizar la iluminación usada durante los periodos de trabajo y de limpieza del edificio e instituir programas de educación para tener trabajadores que apaguen las luces cuando ellas no sean necesitadas. Informar y fomentar en el personal para apagar las luces que encuentren encendidas sin uso alguno.

b. Iluminar edificios solo durante periodos ocupados, y cuando requieren propósitos de seguridad.

c. Restringuir los estacionamientos a porciones especificos así que la iluminación pueda ser reducida a los mínimos requerimientos

por seguridad en estacionamientos no usados.

e. Probar la ejecución del programa de limpieza del edificio durante las horas ocupadas.

f. Reducir niveles de iluminación durante los periodos de limpieza del edificio.

g. Ajustar los programas de limpieza para minimizar el uso de iluminación tales como por la concentración de actividades de limpieza en pocos espacios al mismo tiempo, apagando luces en áreas no ocupadas.

Estos criterios son considerados en el desarrollo de la metodología de diagnóstico que se expone en el capítulo 4.

3. DIAGNOSTICOS ENERGETICOS EN ILUMINACION

La herramienta fundamental para hacer posible una adecuada gestión energética es el diagnóstico energético, el cual cuando es aplicado al análisis de sistemas de iluminación de plantas industriales, requiere responder a preguntas medulares como:

¿Cuánta energía eléctrica consume la instalación de iluminación?

¿Cuánta potencia eléctrica ha sido instalada para iluminación?

¿Qué tan eficiente es la instalación de iluminación?

¿Se puede mejorar la eficiencia en el consumo de energía eléctrica de la instalación de iluminación?

¿Cómo implementar mejoras de ahorro energético en la instalación de iluminación?

¿Cuánto costarían y qué ahorros de energía eléctrica se obtendrían?

¿En que tiempo se recuperarían las inversiones?

Por lo tanto, un diagnóstico energético, es un estudio que permite determinar donde y como se utiliza la energía. Identifica los módulos de mayor uso de energía, haciendo resaltar aquellos donde

ésta se desperdicia y aquellos donde es posible generar algún ahorro. Prácticamente, en el ahorro de energía está inherente el ahorro económico, parámetro que en realidad es el prioritario en la toma de decisiones. Un diagnóstico energético es conocido también como auditoría energética.

El diagnóstico energético es importante efectuarlo al inicio de todo programa de conservación de energía, con objeto de asignar a cada partida de uso de la energía su respectiva proporción. Las acciones en la conservación de la energía deberán tender hacia un mejor uso de ella. Las investigaciones esenciales para realizar un diagnóstico energético, deberán por ellas mismas, tomar medidas de conservación energética, esclareciendo y eliminando los usos de la energía no evaluados hasta el momento, o bien innecesarios.

Aunque un diagnóstico energético previo puede indicar el camino en las etapas de conservación, es conveniente emplear diagnósticos energéticos permanentes como parte de un programa de conservación, para señalar cambios en la conducción de la energía, o para compararla con los objetivos de la empresa.

En iluminación industrial, un diagnóstico energético, en primer lugar evalúa los consumos de energía, la calidad de la iluminación, la eficacia de los equipos, la sistemática de funcionamiento o uso, la metodología de la conservación, los factores exógenos al propio alumbrado, pero que inciden en su demanda energética, como son: acabado de superficies de los locales, situación de los puestos de trabajo, etc.

Con toda esta información es posible analizar cómo puede suprimirse (en el caso de que se produzca) el despilfarro de energía y el uso ineficaz, planteándose las modificaciones que deben realizarse para lograr una aceptable economía energética, evaluando las inversiones, los ahorros energéticos y los costos de conducción que implicarían ejecutar cada medida de ahorro. Finalmente, conocidos los ahorros, inversiones necesarias y costos

de conducción, se selecciona de una forma racional y válida, las medidas iniciales que son más aconsejables realizar, así como el momento en que deben efectuarse otras, de acuerdo a las posibilidades empresariales existentes (Ver capítulo 4).

3.1 Alternativas para realizar un diagnóstico energético en iluminación industrial

La realización de un diagnóstico energético implica contar con una serie de recursos materiales, económicos y humanos. En lo que se refiere a estos últimos, la ejecución de los estudios se puede hacer según las siguientes alternativas:

i) Utilizando personal de la planta, que puede ser del área de mantenimiento generalmente, o de otra área relacionada con la iluminación.

(ii) Haciendo uso de personal contratado externo: consultores, o similares.

(iii) Aplicación de software de computación, en este caso, haciendo uso de sistemas expertos.

4. MEDIDAS DE AHORRO Y USO EFICIENTE DE ENERGIA EN ILUMINACION INDUSTRIAL

Para la captura de las medidas potenciales de ahorro de energía eléctrica en iluminación, nos basamos en los criterios y consideraciones expuestas anteriormente, así como en la función de consumo de energía y las agrupamos en tres áreas:

(a) Medidas de racionalización energética, que abarcan todas las medidas tendientes a lograr el uso racional de la iluminación y por lo tanto de la energía consumida utilizándola al máximo. Constituyen estas medidas los cambios en los hábitos actuales de consumo y son medidas a corto plazo que no implican inversiones

significativas.

(b) Medidas de conservación y mantenimiento, comprenden todas las medidas relacionadas a mantener en buen estado las instalaciones de iluminación y los respectivos parámetros de eficacia. Son medidas a corto plazo que no requieren de inversiones adicionales.

(c) Medidas que requieren análisis de rentabilidad, las que están constituidas por todos los cambios que se deben hacer en las instalaciones de alumbrado y complementarias, implicando por ello el requerimiento de inversiones de diferentes magnitudes con el respectivo análisis de rentabilidad. Generalmente son medidas a corto y mediano plazo y se dan como resultado del análisis global y sectorial del sistema de alumbrado.

Conviene anotar que muchas de las medidas que pueden implantarse inciden sobre un mismo aspecto. Así, por ejemplo, un reemplazo de luminarias puede estar aconsejado para mejorar la eficacia de la instalación de alumbrado, para reducir el número o costo de la limpieza de los sistemas ópticos, para conseguir una mayor durabilidad de los equipos instalados en ellas, etc.

4.1 Medidas de racionalización energética

- a) Medir cada 3 ó 6 meses los niveles de iluminación se acuerdo a las características ambientales de la industria.
- b) Contrastar los valores medidos con los que se requiere en cada área, según su actividad.
- c) Comparar la evolución de las intensidades luminosas en periodos sucesivos.
- d) Recopilar datos mensuales sobre consumo de energía en iluminación.
- e) Analizar la evolución de consumos activos y reactivos.
- f) Alimentar las lámparas a la tensión mínima señalada para ella.
- g) Establecer programas de sustitución de lámparas y accesorios por otros más eficientes.
- h) Establecer programas de limpieza de lámparas y luminarias.

- i) Establecer programas de pintura de paredes y techos.
- j) Programar los periodos de limpieza de cristales en las ventanas.
- k) Poner fuera de servicio la iluminación no utilizada.
- l) Estimular al personal mediante carteles y otros medios a apagar el alumbrado no utilizado.
- m) Apagar las luces cuando no estén en uso.
- n) Cubrir las superficies acristaladas amplias con persianas o cortinas de colores claros.
- o) Eliminar o reducir la iluminación en anuncios y luces exteriores.
- p) Eliminar la iluminación en la parte alta de materiales apilados.
- q) Utilizar al máximo la energía solar para iluminación.
- r) Apagar o desconectar la iluminación innecesaria en determinadas áreas (pasillos, lugares de paso, zonas desocupadas).
- s) Reducir la iluminación al mínimo eficaz (ajuste del nivel de iluminación).
- t) Eliminar la iluminación artificial cuando la natural es suficiente.
- u) Estimular al personal para que comunique al servicio de mantenimiento las anomalías observadas en el alumbrado tales como: lámparas agotadas, dificultades en el cebado o parpadeo, luminosidad baja o inferior a la normal, falta de limpieza en lámparas, etc.
- v) Mantener un nivel adecuado de repuestos de lámparas, arrancadores, condensadores, etc.
- w) Eliminar de los almacenes las lámparas de bajo rendimiento.
- x) Reducir la iluminación exterior hasta el mínimo nivel de seguridad.

4.2 Medidas de conservación y mantenimiento

- a) Reemplazar las lámparas que han cumplido su vida media probable, para mantener los niveles de iluminación.
- b) Cumplir los programas de limpieza de cristales de las ventanas.

- c) Limpiar lámparas y luminarias.
- d) Restablecer periódicamente la calidad reflectante de paredes y techos mediante limpieza.
- e) Controlar sensores y células fotoeléctricas.
- f) Sustituir arrancadores y balastos defectuosos.
- g) Retirar condensadores deteriorados.

4.3 Medidas que requieren análisis de rentabilidad

- a) Sustituir lámparas por otras más eficaces, atendiendo a criterios energéticos y económicos.
- b) Adecuar la potencia de alumbrado a los niveles de iluminación requeridos, en función del uso de los locales.
- c) Concentrar la potencia de iluminación en los lugares que por la actividad desarrollada, así lo requieran dentro de un local y mantener el resto del local con iluminación más reducida.
- d) Aumentar la reflectividad luminosa de paredes y techos.
- e) Adecuar la iluminación al factor de forma del local.
- f) Adoptar montaje en "duo" en lámparas fluorescentes.
- g) Establecer escalones de potencia de alumbrado, conectables progresivamente siguiendo las necesidades de iluminación.
- h) Instalar equipos de control de arranque de la iluminación con celdas fotoeléctricas.
- i) Colocar interruptores adecuados en número y situación a las superficies de las zonas a iluminar.
- j) Adecuar la iluminación al factor de utilización del local.
- k) Instalar temporizadores de alumbrado en zonas de paso , escaleras, garages, y otros lugares de tránsito discontinuo.
- l) Sustituir superficies transparentes que ha envejecido por otras nuevas.
- m) Instalar fotoceldas de control en luces exteriores.
- n) Instalar controles fotoeléctricos en luces que han de ser encendidas de noche.
- o) Reducir la superficie de ventanas en los nuevos proyectos.
- p) Reducir superficies de vidrio en fachadas no soleadas.
- q) Utilizar interruptores en la zona periférica del edificio para

que a medida que va llegando la luz natural puedan irse apagando luces artificiales.

r) Fraccionar los circuitos de alumbrado para que se pueda apagar o desconectar alumbrado innecesario.

s) Sustituir balastos inductivos por balastos magnéticos, electrónicos o electrónicos controlables, según la lámpara sea fluorescente o de alta densidad de descarga.

t) Reemplazar lámparas de vapor de mercurio con lámparas de sodio de alta presión sin cambiar el balastro.

s) Usar reflectores de aluminio.

CAPITULO IV

METODOLOGIA PARA EL DIAGNOSTICO ENERGETICO EN ILUMINACION INDUSTRIAL

1. PROCEDIMIENTO GENERAL

El primer paso del diagnóstico energético que se propone, es analizar si la iluminación que proporciona la instalación de alumbrado actual, satisface las exigencias visuales de las tareas que se desarrollan en el centro laboral, con la creación de un ambiente luminoso que contribuya a la satisfacción y bienestar de los usuarios. Lógicamente, si los objetivos buscados no se satisfacen, la instalación de alumbrado es inadecuada e, incluso, los gastos que conlleva su utilización pueden considerarse, con frecuencia, un despilfarro energético.

Por ello, en caso de que la iluminación actual no se adecúe a los fines deseados, tanto si sobrepasa las exigencias como si no las satisface, se harán estudios para establecer las correcciones necesarias que deberán efectuarse en la instalación o en su operación. La instalación actual, con estas correcciones o modificaciones, una vez analizadas y diagnosticadas, es la base para el análisis completo de la conveniencia o no de efectuar diversas reformas posibles, que permitan reducir el consumo

energético o disminuir el costo del alumbrado.

Partiendo de esta situación actual mejorada, se hará un análisis sectorial de los distintos factores que influyen en la eficacia energética de la instalación, es decir aquellos que se relacionan con la utilización y conservación del alumbrado, así como con las características del equipo existente, la instalación eléctrica y otros, como son las reflectancias de paredes, techos y pisos del local, la disposición de los puestos de trabajo, etcétera. Este análisis permitirá definir posibles medidas puntuales, que pueden tomarse y evaluar la inversión que exige cada una de ellas y los costos de operación respectivos. Comparando estos últimos con los de la instalación actual, modificados en su caso de acuerdo con las correcciones exigidas para adecuar la iluminación a los objetivos, se determinarán los ahorros económicos y energéticos que cada medida proporciona.

Teniendo en cuenta la inversión que exige cada medida y los beneficios económicos y energéticos que conlleva, se podrá realizar el cálculo de economicidad de cada uno de ellos, utilizando el método del valor capital o del rendimiento interno. De acuerdo con los resultados obtenidos, se tendrán los datos suficientes para la toma de decisiones racionales sobre las mejoras. En la figura 4.1 se indica, en síntesis la secuencia del diagnóstico energético, que no es más que la metodología para identificar y seleccionar medidas de ahorro y uso eficiente en iluminación.

Según la figura 4.1, el diagnóstico energético en iluminación abarca cinco etapas interrelacionadas entre sí:

- (1) Evaluación del servicio de alumbrado actual
- (2) Evaluación del equipo e instalaciones de alumbrado
- (3) Evaluación de la conservación del alumbrado
- (4) Evaluación de la utilización del alumbrado
- (5) Evaluación económica y selección de medidas de ahorro.

Las primeras cuatro etapas prácticamente constituye la evaluación de las condiciones de iluminación actual y la identificación de medidas de ahorro energético.

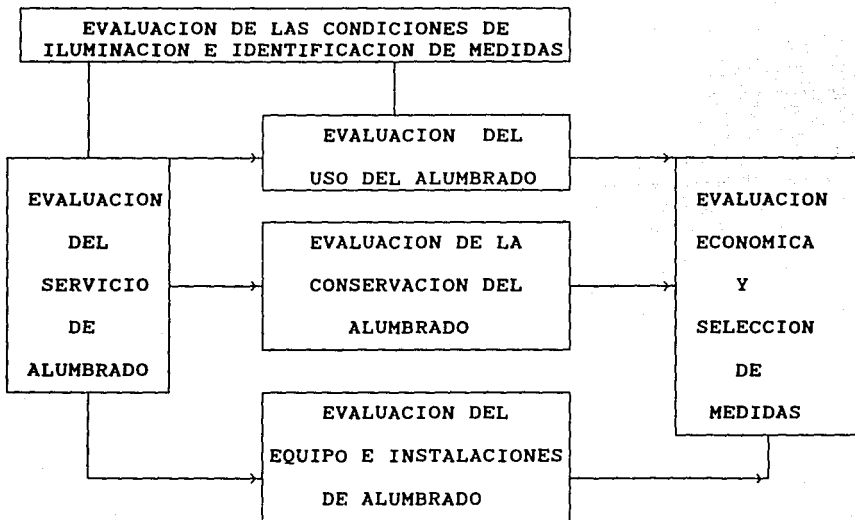


Figura 4.1: Metodología para identificar y seleccionar medidas de ahorro y uso eficiente de energía en iluminación.

2. EVALUACION DEL SERVICIO DE ILUMINACION ACTUAL

Comprende la evaluación de la situación actual real del servicio de alumbrado, analizando:

- (i) Exigencias visuales de iluminación
- (ii) Exigencias luminosas ambientales
- (iii) Medidas de ahorro de energía

2.1 Análisis de las exigencias visuales de iluminación

Abarca el análisis de los parámetros de la iluminación que condicionan la actuación visual del personal, y, por lo tanto inciden en la seguridad y productividad con que se realizan las tareas laborales, determinándose el valor de cada parámetro para establecer si satisfacen los objetivos deseados.

Los parámetros que nos permiten evaluar las exigencias luminicas del alumbrado son: nivel de iluminación, uniformidad del alumbrado, deslumbramiento y color de la luz. De ellos, el que realmente interesa por su relación directa con el consumo de energía, es el nivel de iluminación. Sin embargo, también se evaluará las condiciones reflectivas de superficies, que si influyen en la eficiencia de utilización de la energía y por ende en su consumo.

2.1.1 Paso 1: Establecer el nivel de iluminación recomendado

El procedimiento se sustenta en la metodología de la IES (1987), que sirve para determinar niveles básicos "objetivo" de iluminación para una tarea visual definida. El método selecciona el nivel de iluminación basado en una categoría de actividad que se desarrolla en la zona de trabajo (ver tabla 2.1, capítulo 2) Cada categoría prescribe un rango de iluminación que permite establecer niveles objetivo que responda a varias tareas visuales similares y características del observador, incluyendo la importancia de la velocidad y precisión en el desarrollo de la tarea, así como la edad del sujeto. La secuencia a desarrollar es:

(a) Identificar la zona de trabajo

Implica definir donde se efectúa una tarea o grupo de tareas similares y puede ser una oficina, nave industrial, sección de una nave industrial o simplemente una estación de trabajo. Cuando en el local industrial se ejecutan tareas no muy similares, entonces

conviene zonificarlo en función a tareas similares, tratando en lo posible de reagruparlas. A partir de este momento, el procedimiento de evaluación se repetirá para cada zona de trabajo definida.

(b) Definir la tarea visual

Establecer el tipo de tarea para la cual el nivel de iluminación será seleccionado.

(c) Seleccionar la categoría de actividad

En la tabla 4.1 se plantean las categorías de actividad para tareas industriales, cuyos valores son el resultado de una selección de las recomendaciones dadas por la IES, SMII, Philips, CIE, y considerando el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal.

De igual modo, en la tabla 4.2 se presentan los rangos de niveles de iluminación recomendados para áreas administrativas y generales de una industria.

Para seleccionar la categoría de actividad, emplear la tabla 4.2 para las tareas administrativas y áreas generales, y las tablas II.1, II.2, II.3, II.4, II.5, II.6, II.7, II.8 y II.9 del anexo II para las tareas de planta; según el tipo de tarea que se defina para cada caso. Cuando la tarea definida no sea una de las que se incluyen en las tablas, seleccione la categoría que es más similar con la tarea definida.

(d) Determinar los rangos de iluminación

A partir de la categoría de actividad, seleccionar el rango de iluminación que corresponde, usando las tablas del anexo II.

**TABLA 4.1: NIVELES DE ILUMINACION PARA TAREAS INDUSTRIALES
POR CATEGORIAS DE ACTIVIDAD**
(Iluminación en luxes)

Categoría actividad	Descripción de la categoría y ejemplos	Rangos de iluminación	Tipo de alumbrado
C	Lugares no destinados para un trabajo continuo: almacenes, depósitos, etc.	100-150-200	General
D	Trabajos visuales que no requieren esfuerzo visual y que son ejecutados ocasionalmente como zona de calderas, maquinaria pesada, tanques, etc.	200-250-300	General
E	Trabajos con necesidad visual normales: procesos continuos, industria química, acabados burdos y gruesos, maquinaria media, embalajes, etc.	300-500-750	General
F	Trabajos visuales difíciles y críticos, detalles semifinos y necesidad visual especial: montajes de maquinaria industrial, ensamble de banco, maquinado de taller, etc.	750-1000-1200	General
G	Trabajos visuales muy críticos o difíciles, detalles finos, trabajo de precisión: Ensamble fino, inspección, etc.	1200-1500-2000	General
H	Trabajos visuales difícilísimos y minuciosos de fina precisión, detalle extrafino: microelectrónica, relojería, etc	2000-3000-5000	General + Localizado.

Fuente: Manuales del IES (1987), SHII y Phillips (1988)

(e) Establecer el valor del nivel de iluminación objetivo recomendado

Se selecciona del rango establecido en (c), y está en función de diversos factores de adecuación (Ver sección 2.1, capítulo 2) que dependen de la tarea visual y categoría de actividad. Esos factores se incluyen en las tablas 4.3 y 4.4.

TABLA 4.2: NIVELES DE ILUMINACION RECOMENDADOS PARA AREAS GENERALES DE UNA INDUSTRIA

Categoría	Sección y tareas	Nivel de iluminación (Luxes)
A	Pasillos, escaleras, estacionamientos y similares	20-30-50
B	Baños y cuartos de aseo	50-75-100
C	Salas de espera	100-150-200
D	Gerencia, administración, contabilidad, personal, salas de conferencias y similares	200-250-300
A		

Fuente: Manuales del IES (1987), SHII y Phillips (1988)

TABLA 4.3: FACTORES DE SELECCION DE NIVELES DE ILUMINACION ACTIVIDADES TIPO A-B-C

Edad de los ocupantes	Reflectancias de las superficies del local	Factores de ponderación
Bajo los 40 años	Mayor que 70 %	-1
Entre 40 y 55 años	Entre 70 y 30 %	0
Sobre los 55 años	Menor que 30 %	+1

Fuente: Illuminating Engineering Society, USA, (1987)

TABLA 4.4: FACTORES DE SELECCION DE NIVELES DE ILUMINACION ACTIVIDADES D-E-F-G-H

Edad de los trabajadores	Velocidad y/o exactitud de la tarea	Reflectancia alrededores de la tarea	Factores de ponderación
Bajo los 40 años	No importante	Mayor que 70 %	-1
Entre 40 y 55 años	importante	Entre 70 y 30 %	0
Sobre los 55 años	crítica	Menor que 30 %	+1

Fuente: Illuminating Engineering Society, USA, (1987)

Para las categorías A, B, y C; los factores de influencia son la edad de los ocupantes y la reflectancia del local. Se determina los factores de ponderación (+1, 0, ó -1) para cada factor empleando la tabla 4.3. Luego sumar algebraicamente estos valores

y según el resultado se elige el nivel de iluminación correspondiente. Si la suma es +2, el nivel de iluminación está dado por el valor más bajo del rango seleccionado. Si la suma es +1, 0, ó -1, el nivel de iluminación es el valor medio del rango. Si la suma es -2, el nivel de iluminación es el valor más alto del rango.

Para las categorías D, E, F, G y H; los factores de influencia son la edad, la velocidad y precisión de la tarea y la reflectancia de los alrededores de la tarea. Empleando la tabla 4.4 y procediendo como el caso anterior, los niveles de iluminación estarán dados según: si la suma es +3 ó +2, se toma al valor más bajo. Si la suma es +1, 0, ó -1 se toma el valor medio. Si la suma es -2 ó -3, se toma el valor más alto.

2.1.2 Paso 2: Determinación del nivel de iluminación actual

Se refiere al cálculo del nivel de iluminación máximo instalado, con la posibilidad de que este valor sea logrado tanto con alumbrado artificial como natural. El nivel de iluminación actual se determina para una categoría de actividad que se desarrolla en una zona de trabajo, la cual puede agrupar a una o varias tareas similares. Una nave industrial puede constituir la zona de trabajo al contener tareas de una misma categoría de actividad. En caso de contener tareas de categorías diferentes, estas serán agrupadas por zonas de trabajo, según su similaridad. Estas condiciones de agrupación corresponden exactamente a las condiciones definidas para el establecimiento de los niveles de iluminación recomendados.

(a) Definir las dimensiones de la zona de trabajo

Implica establecer el largo, ancho y altura de la zona donde se ejecuta una tarea o grupo de tareas. La altura corresponde a la altura de cavidad de cuarto (Hcc), es decir a la distancia desde

la altura de montaje de la luminaria al plano de trabajo (Sección 5, capítulo 2).

Cuando en la misma zona de trabajo se ejecutan tareas de diferente categoría de actividad, el largo y ancho se definen estableciendo zonas adyacentes para cada tarea, de tal forma que cada zona incluya las fuentes de alumbrado (lámparas, ventanas, claraboyas, etc) más cercanas a cada tarea o que estén dentro de cada zona, sin que la distribución de fuentes se duplique. Como de muestra en la figura 4.2, las zonas A, B, C, D, E y F, pueden involucrar tareas de diferente categoría de actividad, por lo que se requiere de esta distribución zonal, donde cada zona agrupe a una o más tareas de la misma categoría, así como a un número determinado de fuentes de alumbrado.

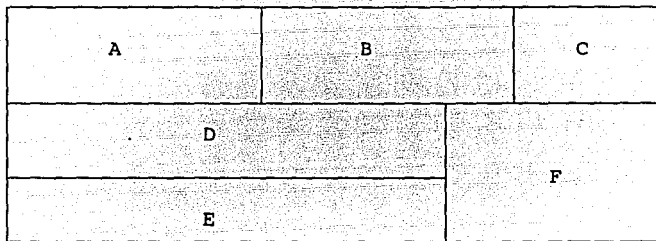


Figura 4.2 : Distribución zonal de tareas de diferente categoría de actividad

(b) Cálculo del nivel de iluminación artificial

El procedimiento es una adaptación de las diversas metodologías de diseño de sistemas de iluminación que se encuentran en la literatura especializada (IES, Philips, Westinghouse, Holophone y Crouse Hinds). La secuencia es la que sigue:

(b.1) Cálculo del índice de cavidad de cuarto

Con los valores de la longitud, ancho y altura definidos para la zona de trabajo; calcular el índice de cavidad de cuarto empleando la ecuación 2.8.

(b.2) Cálculo del flujo luminoso instalado

Para ello se identifica el tipo y cantidad de equipo de alumbrado utilizado. Es decir, se establece: tipo de lámpara empleada, tipo y número de luminarias (NL), número de lámparas por luminaria, potencia de cada lámpara (PL), rendimiento luminoso de cada lámpara (RL), y el factor de depreciación de la lámpara (FD).

Con ello calculamos:

$$LT_1 = NL_1 * \text{Lámparas/luminaria} \quad (4.1)$$

$$FL_1 = LT_1 * PL_1 * RL_1 \quad (4.2)$$

donde:

LT_1 = lámparas totales instaladas

FL_1 = flujo luminoso instalado en lúmenes.

i = zona de trabajo: 1, 2, 3, ..., n

(b.3) Cálculo del coeficiente de utilización

Primero se identifica el color de paredes y techos, estableciendo las reflectancias respectivas según la tabla 2.2. Con estos valores y el índice de cavidad de cuarto, se selecciona el coeficiente de utilización del catálogo del fabricante para el luminario utilizado (ver sección 5, capítulo 2)

(b.4) Cálculo del factor de mantenimiento

Según el tipo de atmósfera del ambiente de trabajo y el periodo entre cada limpieza de lámparas, luminarias y paredes, se determina el factor de ensuciamiento (FS) empleando los valores de la tabla 2.3. Con este y el valor del factor de depreciación de la lámpara (FD) obtenido del catálogo de fabricante, se calcula el factor de mantenimiento (véase ecuación 2.10).

(b.5) Cálculo del nivel de iluminación artificial instalado

El nivel de iluminación artificial instalado en la zona de trabajo se calcula a través de:

$$NIAA_i = \frac{LT_i * PL_i * RL_i * CU_i * FM_i}{L_i * A_i} \quad (4.3)$$

donde:

NIAA_i = nivel de iluminación artificial actual, en luxes (lúmenes/m²)

LT_i = lámparas totales

PL_i = potencia de cada lámpara en Watts

RL_i = Rendimiento luminoso de una lámpara, en Lúmen/W

CU_i = Coeficiente de utilización de la luminaria

FM_i = Factor de mantenimiento

L_i = Longitud de la zona de trabajo, en metros

A_i = anchura de la zona de trabajo, en metros

i = zona de trabajo: 1, 2, 3, ..., n

(c) Cálculo del nivel de iluminación natural

La iluminación natural permite ahorrar una cantidad considerable de energía eléctrica. Para estimar su aportación al nivel de iluminación total de una tarea o zona de trabajo, se puede proceder como sigue:

(c.1) Identificar la fuente de iluminación natural, entre los siguientes tipos:

- .Ventanas verticales en las paredes
- .Tragaluces y domos en techos de concreto
- .Ventanas o claraboyas en techos dientes en sierra.

(c.2) Determinar los factores luz del día por fuente

La iluminancia teórica en un punto de un plano dado del interior de un edificio o nave industrial, debida a la iluminación procedente indirectamente del cielo, está dado por:

$$NINP = FLD * NINE \quad (4.4)$$

donde:

NINP = Iluminación natural que llega a un punto dado del plano de trabajo interior de un edificio o nave industrial, a través de una fuente dada.

NINE = Iluminación natural total que llega a un plano horizontal exterior de un edificio o nave industrial.

FLD = Factor de luz del día, que es la relación entre NINP y NINE.

El factor luz del día consta de tres componentes: la del cielo, la reflejada externamente y la reflejada interiormente. Cálculos precisos exigen una evaluación a cada instante de ellos. En la práctica bastará con las estimaciones que se presentan a continuación, en las cuales se supone que todos los componentes están inherentes en cada valor estimado.

(c.2.1) Factor luz del día para ventanas verticales

Suponiendo condiciones normalizadas respecto a la transmitancia de los acristalamientos (85%) y reflectancias de techos (70%), paredes (50%) y pisos (15%), se evalúa el factor luz del día en un punto de referencia del plano de trabajo.

En efecto, para locales con ventanas en una sola pared (unilaterales), el punto de referencia se supone a 60 cm de la pared contraria y el plano de trabajo a 90 cm del piso. La estimación del valor del factor luz del día, que representa la parte de la iluminación exterior a obtenerse en el punto de referencia, se hace en función de las dimensiones del local y de la ventana, usando las tablas 4.5 y 4.6, donde:

$$R_1 = \frac{\text{Ancho de la ventana}}{\text{Longitud del local}} \quad (4.5)$$

$$R_2 = \frac{\text{Ancho del local}}{\text{Altura de la ventana}} \quad (4.6)$$

TABLA 4.5: FACTORES LUZ DEL DIA PARA VENTANAS UNILATERALES
LONGITUD DEL LOCAL: HASTA 10 METROS

Valores de R ₂	Valores de R ₁		
	Menor que 0.50	Entre 0.50-0.70	Entre 0.71-0.90
1	0.120	0.125	0.140
2	0.025	0.032	0.042
3	0.010	0.020	0.032
4	0.008	0.010	0.018
5	0.005	0.008	0.010
6	0.003	0.006	0.008

Fuente: Manuales Técnicos de Instrucción para la Conservación de Energía: Alumbrado Industrial. IDAE (1983)

TABLA 4.6: FACTORES LUZ DEL DIA PARA VENTANAS UNILATERALES
LONGITUD DEL LOCAL > 10 METROS

Valores de R ₂	Valores de R ₁		
	Menor que 0.50	Entre 0.50-0.70	Entre 0.71-0.90
1	0.122	0.128	0.145
2	0.028	0.035	0.045
3	0.015	0.025	0.028
4	0.009	0.012	0.018
5	0.007	0.009	0.012
6	0.004	0.007	0.009

Fuente: Manuales Técnicos de Instrucción para la Conservación de Energía: Alumbrado Industrial. IDAE (1983)

Para locales con ventanas en paredes opuestas (bilaterales) la referencia será el punto medio del plano de trabajo, es decir el centro del local. En las tablas 4.7 y 4.8, se dan los factores de luz del día para estos casos.

Conviene anotar que los valores presentados, son tomados de curvas empíricas desarrolladas para casos europeos, por lo que su uso debe ser con cierta reserva o ajuste, según la orientación de las ventanas y la localización geográfica del edificio.

TABLA 4.7: FACTORES LUZ DEL DIA PARA VENTANAS BILATERALES
LONGITUD DE LOCAL : HASTA 10 METROS

Valores de R ₂	Valores de R ₁	
	Hasta 0.60	Entre 0.60 y 0.9
1	0.140	0.160
2	0.080	0.090
3	0.060	0.075
4	0.040	0.060
5	0.025	0.040
6	0.020	0.030
7	0.017	0.025
8	0.015	0.022
9	0.013	0.019
10	0.011	0.017

Fuente: Manuales Técnicos de Instrucción para la Conservación de Energía: Alumbrado Industrial. IDAE (1983)

TABLA 4.8: FACTORES LUZ DEL DIA PARA VENTANAS BILATERALES
LONGITUD DE LOCAL > 10 METROS

Valores de R ₂	Valores de R ₁	
	Hasta 0.60	Entre 0.60 y 0.9
1	0.150	0.175
2	0.090	0.095
3	0.080	0.085
4	0.060	0.065
5	0.045	0.055
6	0.035	0.045
7	0.027	0.037
8	0.022	0.032
9	0.019	0.027
10	0.017	0.023

Fuente: Manuales Técnicos de Instrucción para la Conservación de Energía: Alumbrado Industrial. IDAE (1983)

(c.2.2) Factores luz del día para domos y tragaluces

Cuando las cubiertas de locales industriales están provistas de domos y tragaluces, el factor luz del día en el plano de referencia, está en función del área acristalada y área de planta. Es decir que el factor luz del día que se espera conseguir mediante la iluminación cenital de domos y tragaluces, puede relacionarse con la proporción del área en planta que representa el área de los acristalamientos. En la tablas 4.9 y 4.10, se presentan diferentes valores de factores luz del día para varias condiciones, donde:

$$R_1 = \frac{\text{Área acristalada del domo o tragaluz}}{\text{Área de la zona de trabajo}} \quad (4.7)$$

$$R_2 = \frac{\text{Longitud del local o zona de trabajo}}{\text{Altura del techo al plano de trabajo}} \quad (4.8)$$

TABLA 4.9: FACTORES LUZ DEL DÍA PARA DOMOS Y TRAGALUCES
CASO: CUBIERTAS HORIZONTALES

Valor de R1	Valores de R2				
	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
0.0	0.020	0.030	0.035	0.038	0.040
0.1	0.040	0.050	0.060	0.070	0.070
0.2	0.090	0.100	0.120	0.130	0.140
0.3	0.130	0.150	0.170	0.190	0.200
0.4	0.170	0.200	0.230	0.250	0.270
0.5	0.220	0.250	0.290	0.310	0.350
0.6	0.260	0.300	0.350	0.380	0.420

Fuente: Manuales Técnicos de Instrucción para la Conservación de Energía: Alumbrado Industrial. IDAE (1983)

TABLA 4.10: FACTORES LUZ DEL DIA PARA DOMOS Y TRAGALUCES
CASO: CUBIERTAS INCLINADAS 15, 20 ó 25°

Valor de R1	Valores de R2				
	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
0.0	0.010	0.010	0.015	0.020	0.025
0.1	0.035	0.038	0.042	0.050	0.055
0.2	0.070	0.080	0.090	0.100	0.110
0.3	0.100	0.110	0.130	0.150	0.160
0.4	0.130	0.150	0.170	0.200	0.220
0.5	0.170	0.200	0.220	0.250	0.270
0.6	0.200	0.240	0.260	0.290	0.330

Fuente: Manuales Técnicos de Instrucción para la Conservación de Energía: Alumbrado Industrial. IDAE (1983)

(c.2.3) Factores luz del día para techos dientes en sierra

En este caso, las tablas 4.11 y 4.12 presentan factores luz del día que pueden ser empleados en cálculos prácticos, usando las siguientes relaciones:

$$R_1 = \frac{\text{Altura de la cristalera}}{\text{Separación entre cristaleras}} \quad (4.9)$$

$$R_2 = \frac{\text{Longitud acristalada}}{\text{Altura de la cristalera al plano de trabajo}} \quad (4.10)$$

TABLA 4.11: FACTORES LUZ DEL DIA PARA TECHOS DIENTES EN SIERRA
CASO : CRISTALERAS VERTICALES

Valor de R1	Valores de R2				
	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
0.0	0.006	0.009	0.011	0.012	0.013
0.1	0.013	0.018	0.021	0.024	0.025
0.2	0.027	0.038	0.042	0.048	0.051
0.3	0.040	0.056	0.064	0.072	0.076
0.4	0.051	0.072	0.082	0.092	0.098
0.5	0.063	0.085	0.097	0.108	0.118
0.6	0.073	0.098	0.112	0.125	0.136

Fuente: Manuales Técnicos de Instrucción para la Conservación de Energía: Alumbrado Industrial. IDAE (1983)

TABLA 4.12: FACTORES LUZ DEL DIA PARA TECHOS DIENTES EN SIERRA
 CASO : CRISTALERAS INCLINADAS (60...70°)

Valor de R1	Valores de R2				
	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
0.0	0.012	0.015	0.018	0.021	0.022
0.1	0.023	0.032	0.038	0.042	0.044
0.2	0.046	0.064	0.076	0.084	0.090
0.3	0.070	0.096	0.112	0.122	0.128
0.4	0.090	0.121	0.144	0.150	0.165
0.5	0.108	0.146	0.172	0.188	0.202
0.6	0.125	0.170	0.201	0.214	0.235

Fuente: Manuales Técnicos de Instrucción para la Conservación de Energía: Alumbrado Industrial. IDAE (1983)

(c.3) Cálculo de la iluminación natural por fuente

Los cálculos con luz natural se basan en la distribución estadística de las iluminancias probables del cielo para una determinada localidad en relación a la época del año, la hora del día y las condiciones de orientación. La estimación de las iluminancias sobre un plano horizontal producidas por la luz que emana del hemisferio celeste, con luminancias uniformes, para un día representativo, se dan en la tabla 4.13. Estos valores excluyen la luz directa del sol.

La iluminación natural que llega al plano de trabajo a través de cualquier fuente, se calcula según la ecuación 4.4. Puesto que el uso eficiente de energía eléctrica depende en una proporción importante de la cantidad de iluminación natural disponible, para este cálculo se debe considerar el valor más alto del NINE, que según la tabla 4.13 corresponde a 10000 luxes.

Por lo tanto, si un local o zona de trabajo determinado aprovecha luz natural a través de todas las fuentes descritas, el nivel de iluminación recibido por cada fuente está dado por:

TABLA 4.13: NIVELES DE ILUMINACION NATURAL ESTIMADOS PARA UN DIA REPRESENTATIVO

Hora del día	Nivel de iluminación (en Luxes)
08.00	500
09.00	1 500
10.00	4 000
11.00	7 500
12.00	9 000
13.00	10 000
14.00	10 000
15.00	9 000
16.00	7 500
17.00	4 000
18.00	1 500
19.00	500

Fuente: Adaptado de Chapa Calderón, Jorge (1990)

$$NINA_v = 10\ 000 * FLD_v \quad (4.11)$$

$$NINA_t = 10\ 000 * FLD_t \quad (4.12)$$

$$NINA_{ds} = 10\ 000 * FLD_{ds} \quad (4.13)$$

donde;

$NINA_v$ = nivel de iluminación recibido a través de ventanas

$NINA_t$ = nivel de iluminación recibido a través de tragaluces

$NINA_{ds}$ = nivel de iluminación recibido a través de techos dientes en sierra.

$FLD_{v,t,ds}$ = factores luz del día para cada fuente

(c.4) Cálculo de la iluminación natural total instalada

Se ha visto que la iluminación natural en el interior de un local industrial, es determinada para cada una de la diversas condiciones y fuentes. Para obtener el nivel de iluminación natural realmente instalado, se suman ariméticamente los niveles recibidos por cada fuente. es decir:

$$NINA = NINAv + NINAi + NINAds \quad (4.14)$$

(d) Cálculo del nivel de iluminación actual total instalado

El nivel de iluminación actual total instalado para un local o zona de trabajo donde se realiza una tarea o grupo de tareas similares estará dado por :

$$NIAi = NIAAi + NINAi \quad (4.15)$$

donde,

- NIAi = nivel de iluminación actual instalado, en luxes
- NIAAi = nivel de iluminación artificial actual, en luxes
- NINAi = nivel de iluminación natural actual, en luxes
- i = zona de trabajo: 1, 2, 3, ..., n

2.1.3 Paso 3 : Comparación entre niveles de iluminación existentes y recomendados

La contrastación de las iluminancias actuales respecto a las recomendadas permite arribar a dos situaciones:

- (a) Casos en que se cumple o excede la iluminancia recomendada, es decir cuando al estimar el nivel de iluminación actual, éste resulta ser igual o mayor que el necesario o recomendado.
- (b) Casos en que el nivel de iluminación actual es menor que el recomendado.

Si el nivel de iluminación actual resulta igual al nivel recomendado, aparentemente el sistema instalado está dentro de los criterios de uso eficiente de energía. Sin embargo, en todos los casos existe la posibilidad de encontrar potenciales de ahorro de energía eléctrica. Para ello se tiene que hacer una evaluación de los siguientes puntos:

- (i) Exigencias ambientales de iluminación, es decir la evaluación de las reflectancias de superficies (sección 2.2)
- (ii) Tecnología empleada, en cuanto a tipos de lámparas y luminarias (sección 3)
- (iii) Conservación y mantenimiento (sección 4)
- (iv) Utilización temporal y espacial (sección 5)

Cada una de estas evaluaciones nos permitirán ir ajustando en forma escalonada el nivel de iluminación instalado al nivel recomendado, obteniéndose los ahorros de energía respectivos.

2.2 Análisis de las exigencias luminosas ambientales

La evaluación consiste en comparar si las reflectancias existentes de paredes y techos, cumplen con los valores fijados como aceptables. Para ello bastará determinar la reflectancia de la superficie de interés de acuerdo con su tonalidad de color empleando la tabla 2.2, y compararlo con el valor recomendado dado en la tabla 1.1.

(a) Si las reflectancias están dentro del rango aceptable, entonces las posibilidades de ambientes desagradables son mínimas y los colores de paredes y techos contribuyen adecuadamente al coeficiente de utilización de las luminarias.

(b) Si las reflectancias no están dentro del rango aceptable, entonces las posibilidades de sensaciones poco agradables son altas y los colores de paredes y techos no están contribuyendo adecuadamente al coeficiente de utilización de las luminarias, con el correspondiente uso ineficaz de la energía eléctrica.

2.3 Evaluación energética de medidas de ahorro de potencia y energía

De acuerdo a lo descrito hasta ahora, la única posibilidad de ahorro de energía en este primer análisis, es cambiando los

colores de paredes y techos, cuando las condiciones de operación así lo requieran. En ese sentido tendremos:

2.3.1 Mantener los colores de paredes y techos

Si no hay modificaciones en los colores de paredes y techos, y el nivel de iluminación actual es menor o igual al nivel de iluminación recomendado; entonces no habrá, por el momento, ninguna modificación en la potencia eléctrica instalada, ni en el consumo de energía; por lo cual se debe pasar a la etapa siguiente de análisis.

2.3.2 Mantener colores de paredes y/o techos, pero sacar de servicio algunas lámparas

Si no se hace modificaciones en los colores de paredes de paredes y/o techos y el nivel de iluminación actual (NIA_1) es mayor que el nivel de iluminación recomendado (NIR_1), se deben eliminar algunas lámparas, ajustando la iluminación al valor recomendado. En este caso, para calcular los ahorros de potencia y energía se procede a:

a) Calcular el exceso de nivel de iluminación (ENI):.

$$ENI_1 = NIA_1 - NIR_1 \quad (4.16)$$

b) Calcular la potencia instalada ahorrada (PIA):

$$PIA_1 = \frac{ENI_1 * AREA_1}{RL_1} \quad (4.17)$$

c) Calcular el ahorro de energía (CEA):

$$CEA_1 = HU_1 * PIA_1 \quad (4.18)$$

d) Calcular el número de lámparas que salen fuera de servicio

$$NLE_1 = PIA_1 / PL_1 \quad (4.19)$$

e) Calcular el número de lámparas mantenidas en servicio (NLF):

$$NLF_1 = NL_1 - NLE_1 \quad (4.20)$$

2.3.3 Modificar los colores de paredes y techos

En este caso, primeramente calculamos el nivel de iluminación mejorado (NIM). Esto se debe a que un cambio en los colores de paredes y techos, modifica el valor del coeficiente de utilización de las luminarias (para ello, repetir la parte b del paso 2, sección 2.1 de este capítulo). Al nuevo valor del nivel de iluminación artificial, agregar el valor del nivel de iluminación natural ya calculado (en (c) del paso 2 de la sección 2.1). Luego:

a) Calcular el exceso de nivel de iluminación

$$ENI_1 = \mp (NIM_1 - NIR_1) \quad (4.21)$$

En este caso:

(+), indica que hay exceso de iluminación respecto al valor recomendado, cuya eliminación significa un ahorro de energía. Este caso se dará cuando el nivel de iluminación actual (NIA₁) es igual o mayor que el nivel recomendado, o también cuando el NIA₁ es menor que el NIR₁, pero luego de las modificaciones, el NIM₁ resulta mayor que el NIR₁.

(-), indica que hay defecto de iluminación que debe ser suministrado haciendo uso de equipo más eficiente, o incrementando más unidades de luz. Este es el caso cuando el NIA₁ es menor que el NIR₁ y cuando a pesar de las modificaciones, el NIM₁ no alcanza en NIR₁.

Para el caso en que haya exceso de iluminación ($ENI > 0$), usar las ecuaciones (4.17) a (4.20) para:

- b) Calcular el ahorro de potencia instalada
- c) Calcular la energía ahorrada
- d) Calcular el número de lámparas que salen de servicio
- e) Calcular el número de lámparas que se mantienen en servicio

3. EVALUACION DEL EQUIPO E INSTALACIONES

Esta etapa del diagnóstico energético en iluminación industrial, se lleva a cabo tomando como punto de partida las instalaciones de alumbrado con las modificaciones propuestas en la etapa anterior (sección 2).

Los objetivos de este análisis son:

- (i) Identificar equipo e instalaciones con ineficiencia en el consumo de energía.
- (ii) Evaluar la conveniencia o necesidad de los reemplazamientos y modificaciones del sistema de alumbrado, mateniendo los niveles de iluminación recomendados.

Los aspectos que se consideran en esta fase del diagnóstico son:

- (i) Evaluación de lámparas
- (ii) Evaluación de balastros
- (iii) Evaluación de luminarias
- (iv) Evaluación de medidas ahorro de energía

Dentro del análisis de los tres primeros aspectos, se debe evaluar las alternativas de reemplazos por equipos más eficientes y adecuados a las características y necesidades del alumbrado.

3.1 Evaluación de lámparas

Consiste en evaluar los criterios que se toman en cuenta para seleccionar el tipo de lámpara apropiada para un determinado uso, de entre la amplia gama que existe en el mercado.

Podemos decir que las lámparas son el factor más importante para proporcionar una iluminación adecuada y permitir a la vez el uso racional de energía eléctrica. Estas se diferencian por su rendimiento luminoso, potencia, rendimiento de color, temperatura de color, vida útil, costo y otros factores. Para seleccionar la alternativa más apropiada, se tendrán que calcular los ahorros energéticos, mismos que expresados en términos económicos, será el criterio prioritario para la decisión final.

En la tabla 4.14 se indican los factores que deben ser considerados al efectuar el análisis de las lámparas actualmente en uso, para diagnosticar si deben ser reemplazadas, o simplemente mantenidas.

Tomando en cuenta estos aspectos, el procedimiento propuesto para analizar el empleo actual de lámparas en una instalación de alumbrado es la que sigue:

3.1.1 Comprobar el índice de rendimiento de color

De acuerdo al tipo de industria o aplicación, se debe comprobar si las lámparas usadas se ajustan a las recomendaciones dadas de rendimiento de color, para lo cual se puede emplear los valores de la tabla 4.15.

TABLA 4.14: FACTORES PARA EL ANALISIS DE LAMPARAS

Factores	Influye en			Observaciones
	Economía	Energía	Servicio	
Potencia (W)	PI	MI	MI	Disponibilidad de una amplia gama.
Rendimiento (lm/W)	MI	MI	PI	Factor económico y energético básico.
Depreciación (%)	MI	MI	PI	Depreciación del flujo emitido.
Temperatura de color	PI	PI	MI	Afecta a la creación ambiental.
Rendimiento de color	I	I	MI	Afecta el aspecto de personas y cosas.
Encendido	PI	PI	I	Es determinante en algunos casos.
Vida útil (horas)	MI	PI	PI	Si el mantenimiento es adecuado, no influye en el consumo de energía.
Condiciones ambientales	MI	MI	MI	Si el flujo emitido depende de estas condiciones, influye en el consumo energético.
Posición	MI	MI	MI	La posición afecta la eficacia y el flujo.
Voltaje	MI	MI	MI	Las variaciones de voltaje son importantes.
Balastos	MI	MI	MI	Determinan las características de lámparas.
Costo	MI	—	—	—

Fuente: IDAE, España, 1984.
 MI = Muy importante, I = importante PI = poco importante

TABLA 4.15: RENDIMIENTO DE COLOR REQUERIDO POR TIPO DE ACTIVIDAD

Grupo	Tipo de industria o aplicación	Indice rendimiento de color (Rc)
1	Industria textil, fábrica de pinturas, imprentas, tiendas y similares.	$R_c \geq 85$
2	Oficinas, grandes almacenes, industrias de precisión y similares	$70 \leq R_c < 85$
3	Todas las demás industrias donde la discriminación cromática no es de gran importancia.	$R_c < 70$

Fuente: PHILIPS, Manual de Alumbrado, (1975)

3.1.2 Comprobación de la temperatura de color

Esta comprobación es necesaria hacerla para establecer si las lámparas actuales armonizan con la luz del día, en los casos en que se tenga acceso a luz natural. Por otro lado, es importante para comprobar si el ambiente cromático es el deseado según los tipos de tareas que se realizan. Para esta comprobación, emplear los valores de la tabla 4.16.

TABLA 4.16: TEMPERATURAS DE COLOR

Temperatura de color	Tonalidad de color	Aplicaciones
$T_c \leq 3\ 300$	Cálido y no armoniza con la luz natural	Cuando no hay luz solar y se requiere brindar un ambiente cálido.
$3\ 300 \leq T_c \leq 5\ 000$	Fría y armoniza con la luz solar	Cuando hay luz solar y se requiere un ambiente fresco.
$T_c > 5\ 000$	Fría, y aproximadamente igual a la luz natural	Para sustituir a la luz solar y se desea crear una impresión de luz del día.

Fuente: Chapa Calderón Jorge (1990)

3.1.3 Comprobar altura de montaje

Para este caso emplear el siguiente criterio: Para alturas de montaje de hasta 5 metros, se recomienda emplear lámparas fluorescentes tubulares. Así también, para alturas mayores que 5 metros, las lámparas de alta intensidad de descarga ofrecen una solución más económica.

3.1.4 Comprobar el rendimiento luminoso mínimo

Debe comprobarse el rendimiento luminoso mínimo de las lámparas que deben utilizarse según la aplicación industrial, misma que está expresada por el rendimiento en color (véase tabla 4.15).

Para ello emplear la tabla 4.17 en la cual los valores del rendimiento luminoso incluyen las pérdidas en el balastro. Este criterio es una primera aproximación para la selección del tipo de lámpara, y expresa en términos medios, la relación existente entre el rendimiento de la lámpara y sus propiedades de rendimiento de color.

TABLA 4.17: RENDIMIENTOS LUMINOSOS MINIMOS

Aplicación según R_c	Rendimiento luminoso (lm/W)	Tipo de lámpara
$R_c < 70$	55	SAP, HM, VM, FL
$70 \leq R_c < 85$	40	HM, VM, FL
$R_c \geq 85$	25	HM, FL

Fuente: IDAE (1983)
 SAP = sodio alta presión HM = Halógenos metálicos
 VM = vapor de mercurio FL = Fluorescentes

Cabe aclarar que los valores de R_c , T_c y lm/W de las lámparas actualmente utilizadas o de las de reemplazo, deben ser proporcionados por el fabricante, u obtenidos de los catálogos respectivos.

3.1.5 Evaluar los tipos de lámparas

Se deben evaluar al menos todos los tipos de lámparas que satisfagan las exigencias debidas a los condicionantes anteriores y que tengan el mayor rendimiento luminoso posible, ajustando los valores nominales por los efectos debidos a la depreciación del flujo y la respuesta a las condiciones de empleo reales como: tensión real, posición, temperatura, etc.

La evaluación consiste generalmente en calcular los nuevos niveles de iluminación que se alcanzarían con el reemplazamiento, para cada tipo de lámpara. Este valor se emplea más adelante para calcular los ahorros de potencia y energía. Se emplean como datos base los obtenidos para la situación mejorada en la etapa anterior.

En la tablas 4.18 y 4.19 se presenta las características más importantes de los tipos de lámparas empleadas habitualemnte. Se puede notar los amplios rangos de variación de potencias, vida útil y rendimiento luminoso, lo que nos indica que para tomar la decisión sobre la elección más conveniente, se debe emplear en los cálculos, datos proporcionados por el fabricante.

TABLA 4.18: CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE LAMPARAS INCANDESCENTES Y FLUORESCENTES

Características	Incandescentes	Fluorescentes
Potencia (Watts)	15 a 1500	40 a 200
Vida (horas)	750 a 12000	900 a 30000
Rendimiento (lúmen/W)	15 a 25	55 a 90
Rendimiento de color	Muy bueno a excelente	Excelente
Tamaño fuente	Compacto	Extendido
Tiempo de encendido	Inmediato	Inmediato
Costes de instalación	Bajo	Moderado
Costes de operación	Alto	Bajos

TABLA 4.19: CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE LAMPARAS DE ALTA DENSIDAD DE DESCARGA

Característica	Vapor de Mercurio	Haluros Metálicos	Sodio de alta presión
Potencia (W)	40 a 1000	400 a 1500	75 a 1000
Vida (horas)	16000 a 24000	1500 a 15000	10000 a 20000
Lúmenes/Watts	20 a 60	80 a 100	100 a 130
Rc	Pobre a bueno	Bueno a muy bueno	Aceptable
Tamaño fuente	Compacto	Compacto	Compacto
Tiempo de encendido	3 a 5 min.	10 a 20 min.	Menos de 1 min
Costo Instalación	Mayor que incandescente y fluorescente.	Generalmente mayor que vapor de mercurio.	El más alto
Costo operación	Menor que incandescente.	Generalmente menor que vapor de mercurio.	Generalmente el más bajo.

No se incluye la descripción detallada de las tecnologías existentes en el mercado por considerar que este aspecto debe ser

propósito de otro trabajo, sin embargo en el diseño y aplicación del sistema experto, se toman en cuenta las características de estas tecnologías para posibilitar al usuario la evaluación técnica y económica de estas alternativas.

3.1.6 Identificar las posibles soluciones

Las desiciones posibles que se adoptan en esta fase del diagnóstico son:

.i) Si la lámpara actual no satisface cualesquiera de las condiciones cromáticas recomendadas (R_c y T_c), de altura de montaje o de rendimiento mínimo, evaluar el cambio por otra lámpara que cumpla estas exigencias y que además sea más eficiente que la actual.

.ii) Si la lámpara actual cumple todas las condiciones anteriores y existen lámparas más eficientes, evaluar estas alternativas.

.(iii) Si la lámpara actual cumple las condiciones de color, de montaje y de rendimiento mínimo, y además es la más eficiente de todas las que existen en el mercado, pasar a evaluar balastos.

3.2 Evaluación de balastos

Las lámparas incandescentes no requieren de equipo auxiliar, ya que operan directamente al voltaje de diseño. En cambio, el balastro es el equipo auxiliar imprescindible para el empleo de las lámparas de descarga, ya que proporciona el voltaje necesario para el arranque de la lámpara, limita la intensidad de arranque y estabiliza la tensión o la corriente en servicio.

Las características eléctricas de los balastos son determinantes de la potencia en la lámpara, que condiciona el flujo que emite y el color (excepto las fluorescentes), de la corriente de arranque,

que influye en su vida media; de las pérdidas, que condiciona el rendimiento lumínico del conjunto lámpara-balastro; y de la corriente suministrada a la lámpara, que influye en la vida de ésta. Además existen balastos que permiten regular la potencia, con más o menos precisión, cuando se produzcan variaciones en la tensión del suministro eléctrico.

Por estas razones se comprende que uno de los equipos que deben analizarse en la instalación de alumbrado actual, son los balastos que están en servicio, comprobando si sus características eléctricas y de fabricación están de acuerdo con las exigencias de la aplicación y de las condiciones de operación respectivas. De este modo se determina si es necesario o conveniente el reemplazamiento, por razones económicas o energéticas, para lograr la eficacia de las lámparas y de la instalación. Para esta comprobación es necesario recurrir a las normas establecidas o en todo caso a la información que brinde el fabricante sobre las características que deben reunir cada tipo de balastro de acuerdo al tipo de lámpara empleada.

Para seleccionar el balastro más conveniente, se recomienda tener en cuenta las características que se describen en los catálogos para cada tipo de lámpara, ya que existen en el mercado balastos para lámparas fluorescentes, y para lámparas de alta densidad de descarga.

3.2.1 Balastos para lámparas fluorescentes

Desarrollos recientes en la optimización del diseño de lámparas y balastos, han logrado muy buenos resultados, de ahí que la energía ahorrada recupera rápidamente el costo del reemplazo de los balastos normales por otros más eficientes.

Las ventajas más importantes de los balastos ahorradores de energía son (Philips, 1990):

- .No disminuyen sustancialmente el flujo luminoso

- .Son más versátiles
- .Consumen menos energía
- .Tienen una menor temperatura de operación
- .Tienen una mayor vida útil
- .Tienen menores costos de operación.

Dentro de las tecnologías que se ofrecen en el mercado mexicano se encuentran:

a) Balastos magnéticos, que permiten un ahorro de hasta 30% frente a balastos normales de dos lámparas de 40 Watts. Se recomienda cambiar las lámparas de arranque instantáneo por sistemas de arranque rápido.

b) Balastos electrónicos, de circuito integrado y aplicable a cualquier instalación actual con lámparas fluorescentes de arranque rápido de 1.2 metros de longitud. Tienen menor peso, menor ruido, mayor rango de alimentación de voltaje, menor temperatura y mejor arranque. El costo es de 6 o 7 veces mayor que los balastos normales. Se puede alcanzar ahorros de hasta 37% en combinación con lámparas fluorescentes eficientes.

c) Balastos electrónicos controlables, con un circuito integrado para el control de la iluminación, lo que permite graduar el flujo luminoso de acuerdo a las necesidades. Es aplicable a cualquier lámpara fluorescente de arranque rápido de 1.2 metros de longitud. Estos balastos pueden instalarse con un controlador que gradue la cantidad de luz emitida por las lámparas, ya sea mediante un "dimmer", un sensor fotoeléctrico, un sensor de temperatura (detector de presencia), un control remoto infrarrojo, o un programa de computadora. Se puede lograr ahorros de hasta 37% en combinación con lámparas eficientes, considerando que las lámparas están funcionando al 100%, sin embargo ahorros adicionales se obtienen si se emplea un controlador de flujo luminoso.

3.2.2 Balastos para lámparas de alta intensidad de descarga

Con estos balastos, la principal variable de operación a tomar en cuenta es el funcionamiento cuando el voltaje de la red varía. Con lámparas de sodio de alta presión, el balastro debe compensar los cambios en el voltaje de la lámpara debido a los cambios en la red de suministro.

Si un balastro inadecuado es instalado, puede ocasionar principalmente:

- .Pérdidas de energía y aumento de los costos operativos.
- .Acortar severamente la vida de la lámpara.
- .Adicionar al sistema costos significativos por mantenimiento.
- .Producir niveles de luz más bajos que los deseados.
- .Incrementar costos por la instalación de interruptores automáticos e instalaciones eléctricas.

Los factores que se deben considerar para seleccionar balastos para lámparas de alta intensidad de descarga se dan en la tabla 4.20.

TABLA 4.20: FACTORES PARA LA SELECCION DE BALASTROS PARA LAMPARAS DE ALTA INTENSIDAD DE DESCARGA

Factor de selección	Balastro normal	Balastro potencia constante	Balastro autoregulado
Variación del voltaje	± 5	± 10	± 10
Pérdidas	Bajas	De medias a altas	Altas
Factor de potencia	40 - 50 %	90 %	90 %
Tolerancia	20 - 10 %	50 - 10 %	60 - 30 %
Regulación de la potencia de la lámpara	2-2.5 % por cada 1% de voltaje de la red.	1 - 1.5% por cada 1 % de variación del voltaje de la red.	0.8% por cada 1% de variación del voltaje de la red.

Fuente: Lighting Application Bulletin, General Electric Company, 1990

Los valores de la tabla 4.20 nos indican que es conveniente, de acuerdo a las condiciones de suministro de energía, evaluar el

posible reemplazamiento de los balastos normales (inductivos) existentes por otros que aseguren un mejor comportamiento de la lámpara ante las variaciones de tensión en la red, debido a los beneficios que se obtendrían, tanto económicos y energéticos, como cualitativos en relación al propio alumbrado.

En efecto, como la potencia suministrada a la lámpara por un balastro inductivo varía significativamente ante cambios en la tensión de la red de suministro eléctrico, y el flujo luminoso emitido por las lámparas es prácticamente proporcional a la potencia que llega a ellas, la variación de voltaje afecta significativamente los niveles de iluminación.

Además, cuando las lámparas funcionan con voltaje mayor que el nominal, se incrementa su depreciación luminosa y se reduce su vida útil. De ahí que la utilización de balastos inductivos es crítica cuando se producen oscilaciones en la tensión de suministro de energía, por lo que debe estudiarse el empleo de otros, básicamente los de potencia constante o reguladores magnéticos, e incluso, el balastro inductivo regulado electrónicamente que permite una perfecta regulación de la potencia en la lámpara, a pesar de los elevados costos y mayores pérdidas.

En algunos casos, hay que considerar sustituciones de lámparas sin cambiar el balastro, como el caso de algunas lámparas de sodio de alta presión que admiten los balastos normales de lámparas de mercurio de alta presión, permitiendo por tanto, que se actualicen y mejoren instalaciones con lámparas de mercurio, sin gasto alguno en elementos auxiliares.

3.3 Evaluación de luminarias

La luminaria es el equipo que determina la distribución del flujo luminoso emitido, por lo que condiciona la calidad y la eficacia del alumbrado. Además, las condiciones de una luminaria influyen en aspectos tan variados como duración del equipo instalado

conjuntamente con ella, protección contra los agentes exteriores, economía de la conservación, etc.

Según esta perspectiva, los aspectos que deben evaluarse en una luminaria instalada y que están relacionados directamente con el consumo de energía eléctrica son: el coeficiente de utilización, las características de mantenimiento, y las condiciones de operación.

3.3.1 Coeficiente de utilización

Se evalúa el coeficiente de utilización que se consigue con la luminaria instalada. Este parámetro constituye, junto con el rendimiento luminoso de las lámparas, uno de los dos principales condicionantes de la eficacia de la instalación. Esta evaluación implica analizar la posibilidad de sustitución de la luminaria instalada por otra más eficiente, siempre que se adapte a las condiciones de operación, es decir que sea del material apropiado a la temperatura y ambiente de trabajo y que permita un fácil mantenimiento.

3.3.2 Características de mantenimiento

El diseño de la instalación puede influir en la colección de polvo. Muchas luminarias industriales son abiertos en su fondo, sin embargo, a pesar de estar ventiladas, cantidades significativas de polvo pueden depositarse en la lámpara y superficies reflectivas debido a las corrientes de aire. Si la luminaria tiene aberturas en su parte superior se produce un efecto de chimenea que reduce las acumulaciones de polvo en la lámpara y superficies de reflexión. Si entre 20% y 30% de la luz es emitida hacia arriba (iluminación semidirecta), el contraste entre luminaria y techo brillante es reducida, lo cual mejora el confort visual. Dentro de este aspecto se debe evaluar las facilidades para la limpieza manual y para el reemplazo de lámparas, actividades que inciden en el costo de mantenimiento.

3.3.3 Características de operación

Finalmente debe comprobarse si las temperaturas que se alcanzan en las luminarias son las adecuadas, tanto respecto a los materiales utilizados en su fabricación, como a los equipos (lámpara y balastro) que en ella se instalan, ya que la temperatura influye en el grado de amarillamiento y en consecuencia, en la reducción de la transmitancia de la luminaria. Se recomienda que la temperatura no sobrepase 80 ú 88°C. La temperatura también afecta el comportamiento de muchos equipos de alumbrado y su duración. Por ejemplo, la lámpara fluorescente debe funcionar normalmente a una temperatura de 38°C. De igual modo los embobinados de los balastros en servicio, no deben superar una temperatura de 90°C.

3.3.4 Tipos de luminarias industriales

A continuación se describen los tipos generales de luminarias industriales.

Luminarias para lámparas fluorescentes

Para alturas de montaje de hasta 5 metros. Es la luminaria con lámpara fluorescente equipada con reflector blanco mate.

Luminarias para naves altas

Las alturas de montaje superiores a los 6 m requieren luminarias especiales capaces de alojar lámparas de descarga de elevada intensidad, equipadas con reflectores de espejo.

Luminarias para lugares peligrosos

Existen dos tipos de luminarias para trabajar en lugares donde se presumen atmósferas explosivas, vapores o líquidos volátiles. Pueden ser con encapsulación a prueba de presión o de seguridad incrementada.

Luminarias para atmósferas cargadas de polvo y humedad

Los cuartos de duchas, lavanderías, carpinterías, molinos harineros, etc, constituyen zonas típicas donde se requieren luminarias herméticas.

3.3.5 Secuencia para la evaluación de luminarias

Según lo expuesto, la secuencia de evaluación de la luminaria actual para una posible sustitución, debe ser:

- .(1) Comprobar que la luminaria es apropiada a las características de operación: temperatura, atmósfera explosiva, emisión de polvos, humedad, etc.
- .(2) Comprobar que la luminaria permite facilidades para la limpieza y reemplazamiento de lámparas y balastos.
- .(3) Evaluar la selección de las luminarias más eficientes que cumplan las anteriores restricciones.

3.4 Medidas de ahorro de energía

Las posibles medidas a las que se arriban luego del análisis de las instalaciones, son:

- .Sustitución de lámparas ineficientes.
- .Sustitución de balastos ineficientes en lámparas fluorescentes.
- .Sustitución de lámparas fluorescentes normales por lámparas de arranque rápido en combinación con la sustitución de balastos inductivos.
- .Sustitución de balastos inductivos en lámparas de descarga.
- .Sustitución de lámparas de mercurio de alta densidad de descarga por lámparas de sodio de alta presión, sin sustituir el balastro, en otro caso se debe evaluar la sustitución del balastro.
- .Sustitución de luminarias inadecuadas e ineficientes.

3.4.1 Evaluación energética de medidas

Para evaluar las medidas de ahorro de energía, se tiene que considerar los siguientes casos similares:

a) Sustitución de lámparas y/o luminarias, sin sustitución de balastos.

En este caso, estas medidas incrementan el nivel de iluminación actual, valor que ajustado al recomendado, requiere el empleo de un menor número de lámparas. En este caso:

a.1) Calcular el nivel de iluminación mejorado según el procedimiento descrito en la sección 2.1, considerando los nuevos valores de rendimiento luminoso y potencia de la nueva lámpara. Para asignar el valor del C.U., el color de las paredes y techos será el establecido en la etapa anterior de análisis. Así también, el número de lámparas está dado por el número de lámparas que se mantienen en servicio luego de la evaluación efectuada en la fase anterior.

a.2) Calcular el exceso de iluminación (ecuación 4.21)

a.3) Calcular la potencia instalada ahorrada (ecuación 4.17)

a.4) Calcular la energía ahorrada (ecuación 4.18)

a.5) Calcular el número de lámparas que salen fuera de servicio (ecuación 4.19).

a.6) Calcular el número de lámparas que se mantienen en servicio, (ecuación 4.20).

b) Sustitución de balastos

Cuando se da el caso de una sustitución de balastos integrado a una lámpara y/o luminaria apropiada, ya instalada o sustituida,

los ahorros de energía adicionales se verán reflejados en la disminución de la energía consumida registrada en el medidor (factura), por lo que no se plantea en esta oportunidad ninguna relación para esta estimación.

4. EVALUACION DE LA UTILIZACION DEL ALUMBRADO

En este punto se analiza como se está empleando el alumbrado en el tiempo y en el espacio, así como si su uso armoniza con la disponibilidad de luz natural, la cual en muchos casos puede ser suficiente para satisfacer las exigencias visuales de los usuarios de los centros laborales, durante largos periodos del horario de trabajo.

4.1 Utilización del alumbrado en el tiempo

En un centro laboral se desarrollan tareas con muy distintas exigencias visuales, en la misma área, durante diversos momentos. Por ejemplo, tareas secundarias como la limpieza del local, los trabajos de puesta a punto de máquinas, la vigilancia, las horas de comida, etc, además de las tareas básicas para las que la iluminación fué instalada.

Es frecuente que no exista un programa de utilización de la instalación de alumbrado que establezca las características que, para cada tarea que se realiza, debe satisfacer la iluminación que se proporciona. En consecuencia, la instalación se usará de forma poco racional, con el correspondiente depilfarro de energía.

En este análisis se comprueba o evalúa principalmente:

.Si las luces están apagadas durante las horas de comida.

.Los horarios comunmente usados para el servicio de limpieza y si todas las luces están encendidas durante el tiempo que dura este trabajo.

.Si en las áreas donde la ocupación es intermitente (baños, almacenes inactivos, estacionamientos, pasillos etc), las luces permanecen encendidas todo el día.

.Si las tareas de preparación iniciales (puesta a punto de máquinas, preparación de proceso, etc), se efectúan con todas las luces encendidas.

Después se compara el consumo real actual con el teórico aceptable después de adecuar el servicio de alumbrado a las necesidades en el momento en que cada tarea se lleva a cabo. Este estudio permitirá establecer los posibles ahorros de energía.

4.2 Utilización del alumbrado en el espacio

Con frecuencia, el espacio del centro de trabajo no se utiliza en su totalidad constantemente. Por ejemplo, no siempre están en servicio todas las máquinas disponibles, la limpieza no se efectúa simultáneamente en todo el local, etc. Por tanto, un punto que se debe analizar con realismo y validez es como se utiliza el espacio a lo largo del tiempo y, de acuerdo con los resultados podrá definirse como utilizar el alumbrado para satisfacer las características de ocupación y función espacial.

Conociendo la ubicación de los puestos de trabajo, las zonas de circulación o de almacenamiento, etc, es posible hacer un análisis crítico de la utilización real del espacio, determinar muchas zonas en las que las exigencias visuales sean mínimas y, por tanto, sea factible reducir la iluminación existente, incluso en forma permanente.

Por tanto, se debe evaluar y comprobar:

(a) Si la flexibilidad de la instalación eléctrica permite adecuar el encendido de las lámparas a las exigencias de los distintos usos del alumbrado en el tiempo y en el espacio. En el caso de no

contar con ésta, se debe evaluar las posibles modificaciones que serían convenientes introducir.

(b) Si la ubicación de los interruptores para determinar es adecuada a las necesidades del servicio de alumbrado, y si facilita la conexión y desconexión de las lámparas de acuerdo con las necesidades reales del servicio.

4.3 Utilización de la luz natural

En muchas zonas de una planta, la luz natural permite satisfacer normalmente las exigencias visuales de las tareas que en ellas se realizan durante varias horas de la jornada laboral, o por lo menos, proporcionar parte de la iluminación necesaria, lo cual exige, por racionalidad energética y económica, adecuar los niveles de iluminación que proporciona la instalación de alumbrado a las exigencias de las tareas y a la disponibilidad de luz natural.

En primer lugar se debe analizar cómo se utiliza la instalación de alumbrado durante las horas en que existe luz natural, es decir, si se tiene acceso a luz natural, verificar si se aprovecha o no este recurso manteniendo apagadas o encendidas las luces artificiales. Ello nos indica si su uso es racional o no y, en su caso, facilitar el estudio de las posibles medidas correctoras que puedan ser tomadas. Por ejemplo, estudiar si la flexibilidad de encendido y apagado de las lámparas nos permite adecuar la iluminación a las necesidades visuales de las tareas, tomando en cuenta la luz natural diurna disponible en el interior.

Para evaluar los ahorros energéticos, se debe calcular la proporción de tiempo, dentro de la jornada laboral, en que la luz diurna aportaría la iluminación exigida por la tarea visual en determinada zona de trabajo, estableciendo la proporción del tiempo en que la instalación de alumbrado artificial podría permanecer total o parcialmente apagada, evaluando con ello el

ahorro energético esperado.

4.3.1 Control del uso de luz natural

Para evitar hacer uso del alumbrado artificial cuando la luz natural es capaz de proporcionar la iluminación requerida, se deben evaluar las siguientes alternativas:

(a) Commutación manual

Cuando la iluminación interior de un local producida por la luz natural (E_n) rebasa la iluminación artificial instalada (E_d), el usuario puede desconectar el alumbrado artificial. Sin embargo, la experiencia ha demostrado que en las zonas de trabajo los ocupantes encienden el alumbrado si E_n es aproximadamente 60% menor que E_d , y lo apagan cuando salen del trabajo, y no cuando E_n sobrepasa el valor de E_d .

(b) Commutación automática

Se pueden utilizar elementos fotoeléctricos para apagar el alumbrado artificial cuando E_n rebasa a E_d . Para evitar las quejas de los ocupantes de un local, se puede trabajar de manera que se apague el alumbrado artificial después que E_n sobrepase el valor de E_d en un 50 o un 100%.

(c) Commutación escalonada

Los cambios bruscos y molestos en el nivel de iluminación y los problemas consiguientes de adaptación que provocaría un sistema de commutación total, pueden hacerse menos críticas si no se apagan y encienden todas las lámparas a la vez, sino de una manera escalonada, commutando sucesivamente por ejemplo, el 33, 67 y 100%. Con este tipo de control se precisan luminarias especiales o sistemas de cableado adecuados, o luminarias que esten dotadas de balastos con varios niveles.

(d) Regulación automática

El mejor sistema de control será aquel que de manera continua mantenga un equilibrio entre la cantidad de iluminación natural y artificial, para que el nivel de iluminación de diseño se mantenga constante.

Tal sistema requerirá el uso de una unidad reguladora y una combinación lámpara-balastro que permita la regulación continua desde cero hasta cien. Las combinaciones clásicas pueden únicamente atenuarse al 60% de su valor nominal de flujo, lo que se llama atenuación límite (Philpis, 1987).

4.4 Medidas de ahorro de energía

Las medidas para usar racionalmente la energía en el tiempo y espacio, en combinación con el uso de luz natural, son complementarias unas de otras. Las posibles medidas en esta fase del análisis energético son:

.Instalar interruptores de zona y para alumbrado general, incrementando con ello la flexibilidad de la instalación, lo que permite la programación horaria de actividades y el empleo racional de luz natural.

.Instalar temporizadores para controlar el apagado del alumbrado en zonas de ocupación intermitente, o para permitir la programación horaria de actividades.

.Utilizar sensores de estancia para controlar el alumbrado en ambientes de ocupación intermitente.

.Usar sensores de luz natural, que permitan el uso racional de esta fuente de luz.

.Reprogramar los horarios de limpieza y establecer la iluminación mínima necesaria para ello.

.Apagar las luces en los horarios de comida.

.Determinar la iluminación mínima necesaria para las tareas iniciales de preparación de proceso.

Para el empleo de controladores automáticos del flujo luminoso, es necesario instalar el balastro adecuado.

4.4.1 Evaluación energética de medidas

Para estimar el ahorro de energía resultante de alguna medida de este tipo, se plantea proceder así:

a) Identificar el número de lámparas encendidas (NLI) que son innecesarias, ya sea porque el espacio está desocupado, hay luz natural suficiente, no se está alumbrando directamente la ejecución de una tarea, ó no existe flexibilidad para apagar y encender las luces. Luego estimar el número de horas diarias de uso innecesario (HUI).

b) Calcular el consumo de energía ahorrada al implantar cualquier medida correctiva de las anotadas líneas arriba, según:

$$CEA_i = HUI_i * NLI_i * PL_i \quad (4.22)$$

5. EVALUACION DE LA CONSERVACION DEL ALUMBRADO

Debido a que la iluminación que proporciona una instalación de alumbrado se deprecia cuantitativamente, y con frecuencia cualitativamente, es importante desde el punto de vista económico y energético, planificar la conservación a fin de alcanzar los siguientes objetivos:

.Mantener el nivel cuantitativo de la iluminación dentro de valores recomendados.

.Minimizar el costo del alumbrado, o mejor aún, el costo por lux.

.Reducir al máximo el costo de la conservación del alumbrado.

Lógicamente, estos objetivos no pueden lograrse simultáneamente, aunque desde el punto de vista energético, los objetivos prioritarios serán minimizar el consumo de energía por lux y

mantener los niveles de iluminación.

Se ha manifestado que al dimensionar una instalación de alumbrado deberá incorporarse en los cálculos un factor de mantenimiento, proyectando inicialmente un nivel de iluminación mayor que el recomendado. Según la ecuación 2.10, el factor de mantenimiento consta de dos componentes principales que son el factor de ensuciamiento de luminarias (FS) y el factor de depreciación del flujo luminoso de una lámpara (FD).

El factor de ensuciamiento depende del tiempo entre cada limpieza, mientras que el factor de depreciación del flujo luminoso, depende de las horas y condiciones de uso de la lámpara. Como hasta este punto del análisis se supone que las lámparas de la instalación son las más eficientes (recomendadas al evaluar la tecnología), es decir, las que tienen mayor rendimiento luminoso y menor depreciación, la modificación del factor de mantenimiento dependerá del factor de ensuciamiento FS, considerando a FD constante. FS variará con el tiempo entre limpiezas.

Podemos afirmar entonces que el mantenimiento de los niveles de iluminación recomendados depende del programa de limpieza de las luminarias y del programa de reposición de lámparas, y no puede ser fijado en forma subjetiva por el analista.

5.1 Programa de limpieza de luminarias

El intervalo más económico para efectuar la limpieza de una instalación de alumbrado dependerá del tipo de luminaria, del grado de acumulación de polvo y del costo de dicha limpieza.

Para establecer el programa de limpieza, se emplea los datos empíricos dados en la tabla 2.4. De acuerdo al tipo de atmósfera del ambiente de trabajo, se elige el tiempo entre limpieza más apropiado; la combinación de estos dos aspectos proporciona el valor del factor de mantenimiento. Para posibilitar un ahorro de

energía (usando menos lámparas), el tiempo entre limpiezas debe ser menor que al actual. El programa de limpieza de luminarias está dado por el tiempo entre limpiezas elegido, y puede cada 3, 6 12 o 24 ó más meses.

5.2 Programa de reemplazo de lámparas

Para establecer el programa de reposición de las lámparas, es necesario disponer de la curva de depreciación del flujo y la curva de mortalidad. Sin estos datos, que puede y debe proporcionar el fabricante, es imposible definir un programa racional de reposición de lámparas.

Sin embargo, podemos estimar el tiempo entre reposiciones con la siguiente relación:

$$TR = \frac{\text{Horas de utilización de la lámpara}}{\text{Vida media de la lámpara, en horas}} \quad (4.22)$$

La reposición de lámparas puede efectuarse sustituyendo todas las de la instalación simultáneamente, cuando sus horas de utilización llegan a un cierto límite; o bien reemplazarlas de forma casual, cuando queden fuera de servicio. El primer método tiene la ventaja de permitir el control de la iluminación que se proporciona y reducir el costo de la mano de obra necesaria para reemplazar las lámparas. La desventaja es que aumenta el costo específico de las lámparas, ya que se sustituyen antes de concluir su vida normal. Lo contrario ocurre, cuando la reposición es causal. Puede darse el caso combinado de ambos tipos de reemplazamientos.

Según el IES, los programas alternativos que pueden implantarse son:

a) Reemplazo del 100% de las lámparas, con o si reemplazo anticipado de las lámparas agotadas.

- b) Reemplazo del 50% de las lámparas, con o sin reemplazo anticipado de las lámparas agotadas.
- c) Reemplazo del 30% de las lámparas, con o sin reemplazo anticipado de las lámparas agotadas.
- d) Reemplazo casual o individual

Es recomendable que el tiempo de reemplazo TR, coincida con el tiempo entre limpiezas TL (3, 6, 12, 24 ó más meses), a fin de minimizar costos por mano de obra. Esto significa que:

- a) Si $TR = TL$, el tiempo para ambos programas es el mismo.
- b) Si $TL_1 < TR < TL_2$, se toma como tiempo de reposición el valor de TL_1 .

El valor de TR nos permite establecer el tiempo de utilización límite, que puede ser igual o menor a la vida media de la lámpara. De este modo, si el programa elegido fuera reemplazar 50 o 30% de las lámparas, es necesario llevar un control de las reposiciones para determinar cuales deben ser reemplazadas según el tiempo de utilización límite cumplido, ya que al momento de la reposición no necesariamente todas las lámparas estarán fuera de servicio.

Puesto que el programa de reposiciones es más que todo para mantener los niveles de iluminación recomendados, la selección del programa está en función al costo del reemplazo más que al energético, bajo el supuesto de que en esta etapa del análisis general, todas las mejoras tecnológicas y de utilización del alumbrado se han efectuado. Para la selección del programa de costo mínimo, emplear los modelos que se dan en la sección 6.1.b de este capítulo.

5.3 Medidas de ahorro de energía

El razonamiento anterior nos permite establecer dos tipos de medidas para conservar la iluminación en los niveles recomendados, que son los programas de limpieza de lumimarias y los programas de reposición de lámparas.

De estas, la que posibilita un ahorro de energía es el programa de limpieza que se implante, ya que al variar el factor de ensuciamiento de luminarias, varía el factor de mantenimiento, mientras que el factor de depreciación del flujo luminoso se considera constante, tal como se manifestó antes. Los programas alternativos que se deben evaluar son:

.Limpieza de luminarias cada 3, 6 12, 24 o más meses.

5.3.1 Evaluación energética de medidas

Para la evaluación de los ahorros de energía, se debe proceder como sigue:

- a) Evaluar el nivel de iluminación mejorado (MIN) según el procedimiento descrito en la sección 2.1. Para ello considerar los últimos valores determinados para cada parámetro requerido para el cálculo.
- b) Calcular el exceso de iluminación (ecuación 4.21).
- c) Calcular la potencia instalada ahorrada (ecuación 4.17)
- d) Calcular la energía ahorrada según (ecuación 4.18).
- e) Calcular el número de lámparas que serán sacadas de servicio, (ecuación 4.19).
- f) Calcular el número de lámparas que serán mantenidas en servicio (ecuación 4.20).

Hay que recalcar que las alternativas que realmente se evalúan son aquellas cuyo tiempo entre limpiezas es menor que el actual.

6. EVALUACION ECONOMICA Y SELECCION DE MEDIDAS DE AHORRO

Para evaluar las medidas de ahorro de energía se consideran tanto los costos que involucra la utilización y conservación del alumbrado al llevar a cabo una medida, como también las posibles inversiones que ella exige.

El procedimiento que se propone seguir es el siguiente:

6.1 Cálculo de los costos anuales por operación y mantenimiento

Esto se lleva a cabo tanto para la situación actual como para la mejorada. Para ello se procede de la siguiente manera:

a) Costo anual de la energía consumida por lámpara

$$CEC = \frac{PL * TU}{1000} * Te \quad (4.23)$$

donde:

CEC = costo anual de la energía consumida por lámpara

PL = potencia de la lámpara

TU = tiempo de utilización del sistema en horas/año

Te = tarifa eléctrica aplicada a la instalación, o el precio medio de la energía en pesos/kWh

b) Costo anual de reposición de lámparas

Para la situación mejorada lo constituye el costo mínimo de reposición según el programa de reemplazamiento elegido. Para la situación actual, este costo se evalúa según el tipo de reemplazo que normalmente se usa.

Para calcular el costo mínimo de reposición, se pueden emplear tres modelos alternativos, según el tipo de reemplazamiento:

b.1) Reemplazamiento individual casual:

$$CAR = \frac{TU}{VM} * (C + MOC) \quad (4.24)$$

b.2) Reemplazamiento en grupo sin reemplazar lámparas agotadas anticipadamente:

$$CAR = \frac{TU}{TS} * (C + MOG) \quad (4.25)$$

b.3) Reemplazamiento en grupo reemplazando anticipadamente lámparas agotadas:

$$CAR = \frac{TU}{TS} * (C + MOG + K*C + K*MOC) \quad (4.26)$$

donde:

CAR = Costo anual de reposición de una lámpara

TU = Tiempo de utilización anual del alumbrado (horas)

VM = Vida media de la lámpara, en horas.

C = Costo de la lámpara

MOC = Costo de mano de obra por reemplazar una lámpara individual (en forma casual)

MOG = Costo de mano de obra por reemplazar en grupo la lámpara

TS = Tiempo de uso de la lámpara que transcurre entre dos reemplazos en grupo (horas)

K = Proporción de lámparas sustituidas en forma casual entre dos reemplazos en grupo

No existe regla general para la selección del tipo de reemplazamiento, por lo que la selección debe estar en función al costo, de tal forma que la evaluación será para la alternativa de reemplazar en grupo el 100, el 50, o el 30% de las lámparas, o el reemplazamiento individual de todas las lámparas agotadas. Esta evaluación se debe hacer para cada periodo de reposición que puede ser 3, 6, 12 o 24 meses, a fin de hacer coincidir el tiempo entre cada reemplazo, con los periodos de limpieza.

c) Costo anual de limpieza de lámparas, luminarias, ventanas y/o paredes:

$$CAL = NL * FL * (MOL + CML) \quad (4.27)$$

donde:

CAL = costo anual de limpieza de una lámpara, luminaria, ventana o pared

NL = número de lámparas, luminarias, ventanas y/o paredes

FL = fracción o número de limpiezas al año

MOL = costo de mano de obra por limpieza de una lámpara, luminaria, ventana y/o pared

CML = costo de materiales por limpieza de una lámpara, luminaria, ventana o pared

d) Costo anual de operación y mantenimiento de la instalación

$$CAOM = NL * (CEC + CAR) + CAL \quad (4.28)$$

donde, NL es el número de lámparas.

Puesto que cualquier medida de ahorro afectará ya sea todas o alguna de las variables, la evaluación de los costos de alumbrado se hacen en forma similar en todos los casos.

6.2 Cálculo de inversiones

Las inversiones que requieren muchas de las medidas de ahorro son principalmente por concepto de:

.Compra e instalación de nuevas lámparas, luminarias y/o balastos.

.Compra e instalación de sistemas de control de la iluminación.

.Compra e instalación de interruptores adicionales.

.Compra e instalación de nuevos accesorios diversos (cables, etc.)

Para considerar el cálculo de las inversiones adicionales, hay que establecer dos situaciones:

a) Cuando se sustituye equipo existente (lámparas, luminaria o balastro), se considera solo la inversión adicional. Para ello:

a.1) Cálculo del monto de la nueva inversión.

Haciendo que:

C1 = costo de la nueva luminaria o nuevo balastro

C2 = costo de la instalación de la nueva luminaria o balastro

C3 = costo de la nueva lámpara

NP = número de partes nuevas instaladas (luminarias o balastos)

NLV = número de lámparas nuevas

Entonces la nueva inversión (ITN) estará dada según:

$$ITN = NLV * C3 + NP * (C1 + C2) \quad (4.29)$$

a.2) Cálculo del costo de la sustitución de la instalación actual (Se supone que se mantienen las mismas instalaciones electricas, de ahí que no se consideran costos por instalación):

Haciendo que:

C4 = Costo de la luminaria o balastro actual

C5 = Costo la lámpara actual

NPA = número de partes (luminarios o balastos) actuales

NLA = número de lámparas actuales

Entonces el costo de la sustitución (CTS) es:

$$CTS = NPA * C4 + NLA * C5 \quad (4.30)$$

a.3) Cálculo de la inversión adicional (IA):

$$IA = ITN - CTS \quad (4.31)$$

b) Cuando el accesorio o parte no es sustituido, es decir en la actualidad no es utilizado, se considera la inversión total requerida (ITR), que está dada por:

$$ITR = CA + CI \quad (4.32)$$

donde, CA es el costo del accesorio y CI es el costo de la instalación del mismo.

6.3 Cálculo de ahorros económicos producidos

Los ahorros totales que genera una medida de ahorro de energía están constituidos por los ahorros por energía no consumida y aquellos ahorros por lograr una operación y mantenimiento más eficiente. En ese sentido, para establecer si una medida de ahorro produce ahorros económicos, simplemente comparamos los costos anuales de operación y mantenimiento según:

$$AAE = + (CAOM2 - CAOM1) \quad (4.33)$$

donde:

AAE = ahorros anuales producidos en pesos/año

CAOM1 = costo anual de operación y mantenimiento de la situación actual

CAOM2 = costo anual de operación y mantenimiento de la situación mejorada

6.4 Selección de medidas de ahorro

Las medidas de ahorro de energía en iluminación, se consideran independientes entre sí, por lo cual no hay conflicto de selección. Esta fase se refiere a la elección de las medidas más apropiadas económicamente, y como las inversiones requeridas para

cada reforma, normalmente serán amortizadas en poco tiempo, el criterio para la elección de las medidas será el periodo de recuperación de la inversión. Para ello:

$$PR = \frac{\text{Inversión}}{\text{Ahorros anuales}} \quad (4.34)$$

donde:

Inversión = según sea el caso, emplear la IA ó ITR, en pesos
Ahorros anuales = AAE, en pesos

Si bien este criterio no considera el valor del dinero en el tiempo, se utiliza debido a que en la pequeña y mediana industria, las decisiones de inversión a corto y mediano plazo, generalmente se hacen en función de el periodo de recuperación. Además, este es el principal criterio empleado en las decisiones sobre uso eficiente de energía en otros países como Estados Unidos, España, Francia, etc.

Para una evaluación más detallada que considere una tasa de descuento, se pueden emplear alternativaente los criterios, tasa interna de retorno (TIR), la relación beneficio/ costo (B/C), el valor presente neto (VPN), o el costo de la energía ahorrada, es decir el costo que para el usuario significa cada kWh ahorrado.

CAPITULO V

DESARROLLO DEL SISTEMA EXPERTO

"S E I L U M"

1. SISTEMAS EXPERTOS

La solución de una gran variedad de problemas en la industria y demás áreas de la ciencia y tecnología es a través del uso de procedimientos basados en el uso de la computadora, generalmente procedimientos numéricos algorítmicos. Por ejemplo, en el diseño de sistemas de iluminación, el cálculo del número de lámparas que se deben emplear en un área determinada para satisfacer un determinado nivel de iluminación, puede ser completamente definido como una secuencia de procedimientos numéricos. En general, problemas de este tipo pueden ser descritos como:

Algoritmo más datos numéricos

Sin embargo, existe también una gran variedad de otros tipos de problemas o que son problemas adicionales a los ya mencionados cuya naturaleza de solución no corresponde fácilmente con los requerimientos de las técnicas de computación convencionales. En

estos últimos problemas, las relaciones entre los diversos items de información, no pueden ser expresados en términos de un algoritmo numérico, lo cual no es sorprendente dado que mucha de la información en estos casos no es numérica.

La solución de numerosos problemas se da también recurriendo a expertos humanos. Un experto humano basa su análisis en deducciones a través de un grupo de reglas, las que las ha definido de acuerdo a su experiencia y conocimiento adquirido. Por ejemplo, para seleccionar el uso de un tipo de lámpara, el experto sabe que las lámparas incandescentes son frecuentemente inadecuadas en naves industriales porque el consumo de potencia no está acorde con el rendimiento luminoso y el tiempo de utilización, lo cual no es económico ni eficiente energéticamente. Esta forma o modelo de deducción basada en reglas, cuando es incorporado e implementado en una computadora, es un ejemplo de lo que es concido como un sistema experto.

Un sistema experto, es entonces un tipo particular de técnica de computación en el que los conocimientos y experiencia de expertos humanos es capturado dentro de un código de computadora que contiene procedimientos para realizar deducciones de una manera similar al que sería usado por el experto luego de una adecuada manipulación de información cualitativa y cuantitativa. El proceso de inferencia o manipulación de datos es a través de las reglas incorporadas al sistema experto y que son aplicadas sobre la información. En ese sentido, los sistemas expertos diseñados correctamente pueden llegar a las mismas conclusiones a las que llegaría un experto humano utilizando estas reglas, dentro de una área específico de ciencia y tecnología.

Por consiguiente, puede decirse que los sistemas expertos infieren las conclusiones desde los datos, mediante la utilización de métodos que aparentemente son similares a los métodos humanos de inferencia. El conjunto de reglas es lo que constituye la base de conocimientos, por lo cual un sistema experto puede ser descrito en forma general como:

La capacidad de las computadoras para funcionar de este modo ha sido desarrollado durante los pasados 30 años como parte de programas comprometidos con muchos aspectos de la inteligencia artificial. Los sistemas expertos son uno de los resultados de estos trabajos, los cuales están recibiendo extenso interés fuera de los confines de los laboratorios de inteligencia artificial.

Desde entonces, esta rama de la ciencia ha evolucionado vertiginosamente y, desde entonces, se busca, con esta disciplina resolver problemas complejos mediante la computarización de los procesos utilizados por la mente humana para captar y clasificar información, identificar estructuras y patrones en lo percibido, captar significados, plantear problemas, buscar soluciones, planear su implantación y hacer el control, seguimiento y adaptación de dichas soluciones a través del tiempo.

1.1 Características de un sistema experto

Se ha manifestado que hay un contraste entre las técnicas tradicionales de procesamiento de datos y las técnicas de resolución y razonamiento en inteligencia artificial. Mientras las primeras usan cálculo numérico con algoritmos comprensibles, que usados correctamente producen respuestas correctas, las segundas permiten a los sistemas expertos extraer conclusiones que no estaban programados en ellos explícitamente.

En cuanto al conocimiento que se integra a un sistema experto, dentro de cualquier área científico tecnológica, podemos decir que en general proviene de dos fuentes: la pública y la privada. El conocimiento público incluye las definiciones, hechos y teorías publicadas que usualmente componen el contenido de libros, manuales técnicos, revistas y todo tipo de publicaciones.

Sin embargo una forma de conocimiento privado como es la experiencia, va más allá de este tipo de conocimiento. Lo expertos humanos generalmente cuentan con cierto bagaje de conocimiento privado coformado, en buena medida de "reglas de dedo" o intuición que no han encontrado, todavía un lugar dentro de los libros. Este conocimiento privado se denomina heurística. La heurística le permite a los expertos humanos enfrentarse a problemas de sistemas muy complejos, muchas veces con información incompleta o poco confiable y dar soluciones exitosas. La extracción, articulación, y computarización de este conocimiento, es la fase fundamental al construir un Sistema Experto.

En base a este razonamiento, podemos manifestar que las técnicas y elementos que hacen la construcción de sistemas expertos para realizar inferencias a partir del conocimiento de expertos humanos, son fundamentalmente:

a) La adquisición del conocimiento, que es el proceso para extraer y formalizar el conocimiento de un experto y usarlo en un sistema experto.

b) La heurística, que son reglas empíricas concernientes a una determinada área que un investigador u experto aprende o descubre.

c) Una representación del conocimiento, que es una estructura normal con un conjunto de operaciones que expresan descripciones, relaciones y procedimientos que un experto proporciona a un sistema experto.

d) Una máquina de inferencia, que es un protocolo de un programa para pilotear y resolver un programa, entre reglas y datos, en una representación del conocimiento.

Teóricamente existen dos razones principales para el énfasis que, dentro de esta área, se le da al conocimiento en sí sobre los métodos de razonamiento formal. La primera radica en el hecho de

que gran cantidad de problemas son demasiado complicados como para encontrarles una solución algorítmica debido a que se originan en contextos físicos o sociales extremadamente complejos. La segunda tiene que ver con el enorme valor social, cultural y económico que tiene el conocimiento experto.

En la realidad, un problema se presta a ser analizado a través de un sistema experto cuando:

a) Una solución del problema tiene una rentabilidad tan alta que justifica el desarrollo de un sistema, pues las soluciones son necesidades del área y no se ha trabajado en otros métodos para obtenerla.

b) El problema puede resolverse sólo por un conocimiento experto que puede dar forma a los conocimientos necesarios para resolver el problema, y la intervención de este experto dará al sistema la experiencia que necesita.

c) El problema puede resolverse solamente por un conocimiento experto en vez de usar algoritmos particulares.

d) Se tiene acceso a un experto que puede dar forma a los conocimientos necesarios para resolver el problema. la intervención de este experto dará al sistema la experiencia que necesita.

e) El problema puede no tener una solución única. Los sistemas expertos funcionan mejor con problemas que tienen un cierto número de soluciones aceptables.

f) El problema cambia rápidamente, o bien el conocimiento es el que cambia rápidamente, o sus soluciones son las que cambian constantemente.

Una característica también notable es el hecho que el desarrollo

de un sistema experto no se considera que está acabado una vez que éste funciona, sino que se continúa desarrollando y actualizando tanto el conocimiento del sistema como los métodos de procesamiento, quedando reflejados los progresos o modificaciones en el campo, área o sistema.

En la sección 1.4 se plantea la tipología de aplicaciones de sistemas expertos y en la sección 2.1.1, se incluyen algunos criterios para la evaluación de una aplicación potencial de un sistema experto, a fin de establecer si una posible aplicación conviene o no llevarla a cabo empleando esta técnica.

1.2 Arquitectura de un sistema experto

Con las consideraciones anteriores, la arquitectura predominante de este nuevo sistema informático para diferentes tipos de aplicaciones consta fundamentalmente de los siguientes bloques funcionales:

1.2.1 Base de conocimientos

Es el bloque que guarda el conocimiento del sistema experto. Este conocimiento está expresado en una serie de hechos conocidos relativos a las condiciones particulares del problema que pretende resolver el sistema, plasmados en una base de hechos y en un conjunto de relaciones cognitivas expresadas en forma de reglas de producción, conceptos estructurados y/o redes semánticas que configuran una base de relaciones.

1.2.2 Máquina de inferencia

Este bloque según el conocimiento almacenado en la base de conocimientos y un conjunto de reglas lógicas, infiere nuevos hechos y relaciones que amplían el conocimiento y resuelven el problema planteado, si éste es soluble en este entorno.

1.2.3 Sistema de adquisición de conocimientos

Bloque que sirve para transferir de manera articulada el conocimiento de uno o varios expertos a la base de conocimientos.

1.2.4 Interfáz del usuario

Permite la comunicación entre el usuario y el sistema experto, es decir por medio de este bloque el usuario brinda información al sistema experto y recibe de él respuestas a su problema.

1.2.5 Interfáz explicativa

Bloque que permite cuestionar al sistema experto para que explique cómo obtuvo sus conclusiones o porque es que hace determinadas preguntas al usuario.

Este tipo de estructura, al separar el conocimiento del proceso que lo utiliza para obtener respuestas, ofrece las siguientes ventajas fundamentales:

a) Un mismo conocimiento puede utilizarse para obtener respuestas a distintos problemas, lo que no ocurre con la estructura clásica de las aplicaciones algorítmicas en las que tanto conocimiento como procedimiento están integrados en un único programa orientado a una clase más restringida de problemas.

b) La estructura del conocimiento separada permite su formulación e interpretación con lógicas no clásicas como las utilizadas en los lenguajes de programación procedural. Con ello, se puede utilizar conocimiento que no sería quizás suficiente para formular algoritmos, pero que sin embargo, permite identificar, si no una solución a un problema, varias soluciones con distintos niveles de certeza.

c) Posibilidad de aprendizaje y, por tanto, programación

automática. La estructura de conocimiento separada puede permitir la definición de procesos de obtención de unidades de conocimiento, en función de una valoración de los resultados producidos por el sistema y los observados realmente.

Podría plantearse como inconveniente que la resolución de problemas basándose en la búsqueda y evaluación del conocimiento adecuado para ello, resulta menos eficiente que la resolución con el conocimiento integrado en el proceso de resolución, como se presenta en los programas procedurales. Por ello, cuando el conocimiento es suficiente para la formulación de un algoritmo capaz de dar las respuestas a la clase de problemas a resolver, no sería precisa la utilización de este tipo de estructura; sin embargo, en los casos de conocimiento incompleto si resulta de interés su empleo, sobre todo por su facilidad de refino en función de la experiencia y porque al formularse el conocimiento mediante estructuras próximas o análogas a las utilizadas por las personas para razonar, es más sencilla su traslación al lenguaje natural.

1.3 Ventajas de la aplicación de sistemas expertos

Las ventajas más resaltantes de la aplicación de sistemas expertos en la solución de problemas en la industria y demás áreas de la ciencia y tecnología son:

a) Autonomía. Una vez que el Sistema Experto ha sido diseñado y completado, se hace autónomo, es decir, independiente de la presencia física tanto del experto como del desarrollador del sistema.

b) Productividad. Se aumenta la productividad del conocimiento experto al sustituir a especialistas de tareas repetitivas, y así aprovechar sus capacidades intelectuales en asuntos más creativos.

c) Manejo de gran cantidad de información. Posibilidad de operar

en tiempo real con gran cantidad de información durante el proceso de raciocinio, rebasando por mucho los niveles de manejo de información accesibles a los expertos humanos.

d) Rapidez. La velocidad de respuesta puede ser muchas veces mayor a la de los expertos humanos sin perder efectividad.

e) Homogenización de criterios. Los Sistemas Expertos pueden desarrollarse basándose en los conocimientos de más de un experto.

f) Imparcialidad. Los juicios emitidos por los sistemas expertos son imparciales, aun operando con información ambigua, inexacta, incompleta o con algún grado de incertidumbre.

g) Reproducibilidad. El Sistema Experto en sí y el conocimiento que abarca son reproducibles a voluntad de su autor. Esto implica que, en caso de ser necesario, el producto puede reproducirse para dar servicio a miles de usuarios. Por otro lado, en contraposición con la lentitud del proceso de formación de expertos, la reproducción de un Sistema Experto es del orden de unos minutos solamente.

h) Bajo costo de adquisición y operación. En tanto que disponer permanentemente de un experto supone altos costos, un Sistema Experto requiere únicamente pagar por su diseño y construcción, y por la adquisición del ejecutable del shell que se emplee en el diseño. Este costo después se distribuye entre todos los usuarios del sistema, por lo que el costo por copia es muy reducido.

i) Facilidad de distribución. Por la naturaleza del sistema, pueden cubrirse necesidades en localizaciones geográficas muy dispersas y bajo condiciones de trabajo difíciles.

1.4 Tipología de problemas de aplicación de sistemas expertos

Para definir una aplicación adecuada para los sistemas expertos,

cabría plantear los siguientes rasgos del área problema como idóneos:

- a) El procedimiento de resolución empleado sin el sistema, actualmente, debe tener una componente importante de razonamiento, siendo claramente menos relevante los componentes de cálculo.
- b) El proceso de resolución por los expertos humanos debe ser suficientemente conocido. Su nivel de complejidad debe ser tal que se resuelvan los problemas en plazos razonables; de esta forma el tamaño del dominio de discurso será limitado y, por tanto, manejable el sistema a desarrollar.
- c) Si se plantea algorítmicamente, el proceso de resolución empleado debe tener un volumen combinatorio importante, de forma que pueda apreciarse la ventaja de una base de conocimiento heurística como elemento reductor de la explosión combinatoria existente con técnicas algorítmicas.
- d) El conocimiento debe poder introducirse en forma incremental.
- e) Su implantación, evidentemente, debe aportar un valor añadido suficiente respecto de la forma actual de operación.

Dentro de estos criterios generales, cabe establecer que dependiendo del problema que resuelven, la aplicación de la mayoría de los Sistemas Expertos pueden clasificarse dentro de una de las siguientes categorías:

- a) De interpretación de datos: Infieren el significado de un conjunto de datos partiendo de su contexto.
- b) De predicción: Infieren las probables consecuencias de una situación dada.
- c) De diagnóstico: Identifican la naturaleza y las causas del mal

funcionamiento de un sistema a partir de ciertos signos y síntomas.

d) De diseño: Desarrollan las configuraciones que resuelven un problema satisfaciendo sus restricciones.

e) De planeación: Diseño de estrategias para lograr un objetivo, utilizando ciertos recursos y sujetándose a ciertas restricciones.

f) De monitoreo: Analizan observaciones del comportamiento de un sistema para detectar posibles desviaciones de la norma y tomar eventuales medidas correctivas en tiempo real.

g) De depuración: Describen soluciones para los casos en que programas de computadora o equipos de toda índole muestran condiciones anómalas en su comportamiento.

h) De reparación: Desarrollan y ejecutan planes para corregir fallas.

i) De instrucción o tutoriales: Ayudan en el aprendizaje, no solo presentando la información necesaria al usuario sobre un tema específico, sino también haciendo un seguimiento del aprendizaje del mismo.

j) De control: Comparan la situación actual de un sistema con una norma predefinida y corrigen las variables conforme sea necesario.

2. METODOLOGIA PARA EL DESARROLLO DE SISTEMAS EXPERTOS

El desarrollo de un sistema experto requiere una serie de fases, tal como se muestra en la figura 4.1. Cada una de ellas comporta unos objetivos, una metodología y unas herramientas específicas.

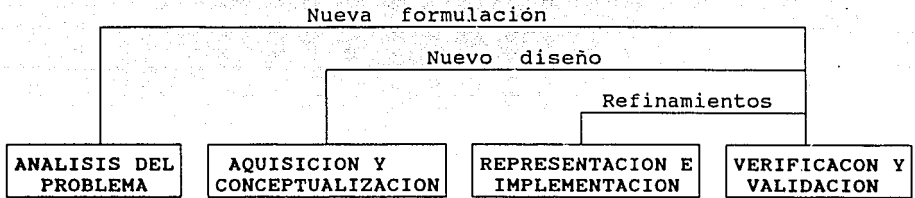


FIGURA 4.1: Ciclo de desarrollo de un Sistema experto

2.1 Analisis y formulación del problema

De acuerdo con los requerimientos del usuario, los recursos disponibles y las características del problema, se fijan los objetivos generales y las tareas específicas que deben ser realizadas por el sistema experto. El resultado de esta fase es el proyecto de construcción del sistema. Se debe evaluar cada tarea, proponer los recursos necesarios, y establecer un calendario para el desarrollo de las diferentes etapas.

2.1.1 Evaluación de la posible aplicación

Se recomienda que en esta etapa se lleve a cabo una evaluación de la potencial aplicación, para establecer con ciertos criterios si la solución al problema conviene que sea a través de un sistema experto, ya que no todos los problemas relacionados con el procesamiento de información es conveniente solucionarlos aplicando esta tecnología informática.

No se cuenta con un procedimiento exacto para establecer correctamente si la tecnología de los sistemas expertos es apropiada aplicarla a un problema específico, sin embargo se puede emplear un procedimiento muy aproximado basado en una lista de control de atributos con adecuados criterios de ponderación.

Típicamente, los atributos de las listas de control están organizados dentro de categorías. Muchas de ellas tienen cinco de tales categorías como: tipo de tarea, dominio del experto, resultado final, usuario, administración. Anteriormente, estas listas de control han estado enfocadas principalmente a los aspectos técnicos como: naturaleza del problema, características deseables y no deseables del problema, y las fuentes y disponibilidad del dominio experto. Aspectos prácticos usualmente han sido incluidos en muchas listas de control solamente de relleno. Sin embargo, los factores prácticos tales como marco organizacional, apoyo administrativo, resultados potenciales, capacidades del diseñador, interés del usuario, frecuentemente determinan el éxito del proyecto.

La lista de control que se presenta a continuación, remedia esta situación ya que incluye no solamente aspectos técnicos en gran detalle, sino que también considera igualmente aspectos prácticos. Además la lista de control incluye una categoría relacionada con el diseñador del sistema.

Las categorías de la lista de control y sus ponderaciones relativas se incluyen en la tabla 5.1:

TABLA 5.1: LISTA DE CONTROL PARA EVALUAR APLICACIONES DE SISTEMAS EXPERTOS

Categoría	Ponderación
(1) Tipo de problema	30
(2) Resultados finales	25
(3) Diseñador del sistema	20
(4) Dominio del experto	15
(5) Usuario final	10
Puntaje total	100

Fuente: Beckman T. J., AI-EXPERT, The Magazine of artificial Intelligence in Practice, February 1991.

Para calcular la ponderación de cada categoría se procede según

$$\text{Ponderación} = \frac{\text{Puntos a favor}}{\text{Puntos totales}} * 100 \quad (5.1)$$

El tipo de problema y los resultados finales son las categorías esenciales para el éxito del proyecto, mientras que las otras contribuyen en menor grado.

Por lo tanto, para que una aplicación sea considerada prometedora, la ponderación debe ser al menos del 50% para estas categorías, es decir: tipo de problema (15 puntos) y resultados finales (13 puntos). Si la ponderación es menor que el 50% , se debe considerar la selección de otro problema.

Una aplicación debe tener al menos una ponderación total del 50% (50 puntos) para ser llevada a cabo, ponderaciones menores que el 50% en cualquiera de las categorías indican posibles dificultades de aplicación. Hay que tener en mente que estas ponderaciones de éxito/fracaso, son simplemente mediciones gruesas del éxito potencial de una aplicación.

(a) Tipo de problema deseable

La naturaleza del problema es la categoría más crítica de ponderar en la evaluación de la aplicación potencial. No solamente el problema debe ser técnicamente factible, sino que el uso de sistemas expertos debe también ser necesario y apropiado. El problema debe involucrar procesamiento simbólico significativo, complejidad, juicios, e incertidumbre, y no debe ser de solución fácil (solucionable usando métodos de programación convencionales)

Si la ponderación de la aplicación propuesta es menor que el 50% en esta categoría, el problema puede ser solucionado aplicando técnicas convencionales de programación, o el problema es

inapropiado para la aplicación de la tecnología de sistemas expertos. En la tabla 5.2, se incluyen los atributos para esta categoría, con sus respectivos valores de ponderación.

TABLA 5.2: ATRIBUTOS PARA LA EVALUACION DE LA CATEGORIA:
TIPO DE PROBLEMA

Atributo	Ponderación
1. Problema principalmente cognositivo, que requiere análisis, síntesis o decisión , en lugar que percepción o acción.	3
2. Involucra principalmente conocimiento simbólico y razonamiento	3
3. Es complejo, involucrando muchos parámetros	3
4. Involucra cadenas de razonamiento en múltiples niveles de conocimiento	2
5. Usa heurística o reglas de dedo y requiere juicios o razonamiento acerca de factores subjetivos	2
6. No puede ser resuelto usando métodos de computación convencionales	2
7. Frecuentemente debe ser resuelto con información incompleta y datos inexactos	2
8. Frecuentemente requiere explicar y justificar los resultados o razonamiento por parte del usuario final	2
9. Está a un estado intermedio de formalización de conocimiento que usa la heurística y la clasificación en lugar de registros, búsquedas o algoritmos	1
10. El problema del conocimiento es confinado a un estrecho campo o dominio	1
11. El problema del conocimiento es estable	1
12. El incremento progresivo es posible, el problema puede ser subdividido	1
13. No requiere razonamiento acerca del tiempo y espacio	1
14. No es intensivo en lenguaje natural	1
15. Requiere poco o nada de sentido común o conocimiento general	1
16. No requiere el sistema para aprender de la experiencia	1
17. Es similar a un sistema experto existente	1
18. Datos y casos de estudio son disponibles	1
19. La ejecución del sistema puede ser exáctamente y fácilmente medido	1
Puntaje total	30

Fuente: Beckman T. J., AI-EXPERT, The Magazine of artificial Intelligence in Practice, February 1991.

(b) Resultado final

La necesidad del sistema experto debe ser traducida en beneficios relevantes al usuario final. Los sistemas expertos pueden proporcionar básicamente siete tipos de beneficios: costos reducidos, calidad mejorada, incremento de ingresos, experiencia capturada, experiencia fácilmente distribuida, superación de las barreras para la entrada al mercado y aprendizaje o capacitación al usuario final.

Comparado con los sistemas convencionales de procesamiento de datos, los sistemas expertos frecuentemente incurren en gastos adicionales, incluyendo altos costos de capital por la compra de hardware, costos por el incremento en la transcripción de datos, costos por el desarrollo y captura del conocimiento experto, y costos por mantenimiento del sistema.

Si la ponderación de esta categoría es menor que el 50%, es decir 13 puntos del total de 25 (Tabla 5.3), otro problema debe ser considerado. Si los beneficios son también bajos (atributos 1-7), el problema probablemente no suministre el valor económico suficiente al usuario final. Si los costos del sistema son demasiados (atributos 8-11), el sistema requiere ser recodificado en un simple shell, códigos de medidas, en un lenguaje compacto tal como el C, o reducir su funcionalidad.

(c) Diseñador del sistema

En realidad, el éxito técnico del sistema depende principalmente del diseñador y en forma secundaria del dominio experto. Si el diseñador tiene una insuficiente experiencia en inteligencia artificial o carece de una familiaridad con los software comerciales, el proyecto puede fallar. Una ponderación menor que el 50% (10 puntos) puede ocasionar problemas potenciales. En la tabla 5.4 se incluyen los atributos para evaluar esta categoría.

TABLA 5.3: ATRIBUTOS PARA LA EVALUACION DE LA CATEGORIA:
RESULTADOS FINALES

Atributos	Ponderación
1.El sistema incrementará significativamente los ingresos	3
2.Reducción de costos	3
3.Mejora de la calidad	3
4.Captura de experiencia no documentada o que es corto suministro o fácil deterioro.	2
5.Distribución accesible de la experiencia a usuarios novatos	2
6.Proporciona aprendizaje a los usuarios a través del uso del sistema	2
7.Supera las barreras de la comercialización	1
8.No requiere más datos de entrada de lo que el sistema actual	1
9.Será desarrollado usando shells comerciales	2
10.El mantenimiento del sistema será bajo	1
11.Se podrá comprar una computadora para la utilización del sistema	2
12.Puede ser desarrollado por fases, siendo útil cualquier terminación parcial	1
13.Producirá un B/C de al menos 10:1	2
Puntaje total	25

Fuente: Beckman T.J., AI-EXPERT, The Magazine of Artificial Intelligence In Practice, February 1991.

(d) Dominio del experto

El sistema debe ser construido de una fuente de experiencia o pericia experta, la cual puede ser formal, conocimiento escrito, o la heurística informal (tales como las reglas de dedo) que no está documentada en otra parte. La heurística debe ser obtenida por la intervención de expertos en el campo del problema u observando las acciones de tales expertos.

Por lo tanto, la experiencia heurística es crucial para el éxito del sistema experto, la tabla 5.5 presenta los atributos deseables del dominio experto para la evaluación respectiva de esta categoría.

TABLA 5.4: ATRIBUTOS PARA LA EVALUACION DE LA CATEGORIA:
DISEÑADOR DEL SISTEMA

Atributos	Ponderación
1.El diseñador tiene experiencia en el diseño y el desarrollo de sistema expertos	3
2.Conoce como usar la herramienta apropiada para el sistema y ha usado el shell elegido	2
3.Tiene experiencia en la adquisición y selección del conocimiento de fuentes escritas y expertos	3
4.Tiene experiencia en inteligencia artificial para reconocer cuales técnicas serán útiles para el desarrollo del sistema	3
5.Comprende la sicologia congnositiva	1
6.Ha dirigido y desarrollado más aplicaciones de computación tradicional	2
7.Está informado o es un experto en el campo del del problema	2
8.Tiene hardware y software disponible para ser empleado en el desarrollo del sistema	1
9.Puede asignar al menos 6 meses a tiempo completo para el desarrollo, evaluación e implementación del sistema	3
Puntaje total	20

Fuente: Beckman T.J., AI-EXPERT, The Magazine of Artificial Intelligence in Practice, February 1991.

(e) Usuario final

Considerar la necesidad y preferencias de los usuarios, es esencial para el éxito del proyecto. El usuario debe tener una fuerte necesidad de asistencia, pero sentirse cómodo con el sistema. Por lo tanto, el rol jugado por el sistema experto es crucial para la aceptación del usuario.

Muy frecuentemente, los sistemas deben ser diseñados como asistentes del usuario para el control del problema. Si el sistema automatiza el problema, es esencial que el usuario tenga otros problemas más deseables para reemplazar al problema automatizado. Usuarios y expertos se resistirán a toda aplicación de sistemas expertos, si el usuario es reemplazado, desplazado o tiene menos participación en el manejo del problema.

**TABLA 5.5: ATRIBUTOS PARA LA EVALUACION DE LA CATEGORIA
DOMINIO EXPERTO**

Atributos	Ponderación
1.Existen expertos reconocidos	3
2.El desempeño experto es probablemente mejor que la de amateurs	3
3.El problema es habitual enseñar a principiantes	1
4.Expertos son accesibles por periodos de tiempo prolongados	2
5.Los expertos son cooperativos	2
6.Los expertos son bien comunicativos	2
7.Disponibles para desarrollar casos de evaluación y ayudar a evaluar el sistema	2
Puntaje total	15

Fuente: Beckman T.J., AI-EXPERT, The Magazine of Artificial Intelligence in Practice, February 1991.

Aunque esta categoría no es tan crítica como las otras, una ponderación menor que 50% (5 puntos) puede presagiar dificultades durante y después de la implementación. Debido a que los sistemas expertos son muy fáciles de implementar cuando los usuarios tienen burdamente el mismo nivel de experiencia, este atributo es el de mayor ponderación durante la evaluación, tal como se puede notar en la tabla 5.6.

**TABLA 5.6: ATRIBUTOS PARA LA EVALUACION DE LA CATEGORIA:
USUARIO FINAL**

Atributos	Ponderación
1.Los usuarios sienten una fuerte necesidad por el sistema	2
2.El usuario no será desplazado o reemplazado como resultado de la implementación del sistema	2
3.Desear ser involucrado en el desarrollo del sistema	1
4.No tener altas o irreales expectativas	2
5.Tener burdamente el mismo nivel de experiencia	3
Puntaje total	10

Fuente: Beckman T.J., AI-EXPERT, The Magazine of Artificial Intelligence in Practice, February 1991.

Aunque es relativamente comprensible que una lista de control es inexacta, esta metodología puede proporcionar una buena estimación de que tan factible es una aplicación dada.

2.2 Adquisición del conocimiento y conceptualización

El objetivo consiste en identificar todos los elementos que intervienen en la solución del problema (conceptos, procedimientos, reglas de inferencia, heurísticos, casos especiales, métodos de razonamiento, restricciones, etc.).

La información puede obtenerse de distintas fuentes: dialogo directo con expertos, información escrita (libros, revistas, manuales, informes, etc.), datos empíricos proporcionados por aparatos de medida o por observaciones, datos gráficos (imágenes, diagramas, dibujos, etc.). A medida que se obtiene el conocimiento es necesario depurarlo, seleccionando los conceptos básicos que harán posible el funcionamiento del sistema.

La realización de esta fase implica llevar a cabo diferentes procesos:

- a) Análisis del conjunto de información que proporcionan las fuentes de conocimiento.
- b) Abstracción para la obtención de conceptos.
- c) Selección y clasificación de la información
- d) Inferencia de nuevos conceptos, relaciones o propiedades a partir de los ya existentes.
- e) Generalización a partir de casos concretos
- f) Inducción, etc.

En la práctica, la adquisición del conocimiento requiere una buena metodología y, sobre todo, gran habilidad y experiencia por parte del diseñador. Es, sin duda, la fase más compleja del ciclo y donde se requiere de todas las herramientas que existiesen por ejemplo para ayudar en tareas como: interrogar con habilidad y

paciencia a los expertos en el área de aplicación, extraer información de textos, clasificar y filtrar datos, etc.

2.3 Representación e implementación

La actividad del desarrollador del sistema experto en esta fase se concreta en las siguientes tareas:

- a) Elección de un shell para la representación del conocimiento.
- b) Elección de una arquitectura que permita coordinar y manejar los distintos tipos de elementos que intervienen en la solución del problema (objetos específicos del dominio-problema, reglas de inferencia, tareas, etc). Esta arquitectura debe estar basada en agendas de tareas, procesos cooperativos, relaciones modulares, etc.
- c) Creación de la base de conocimiento utilizando el shell y la arquitectura elegida.
- d) Diseño de la interfaz del sistema experto con el usuario y con el resto del entorno lógico (bases de datos, sensores, etc.):

2.3.1 Metodología para la selección del shell mas apropiado

Un "shell" es un ambiente computacional o lenguaje de alto nivel, que presenta un serie de facilidades y herramientas preprogramadas para el desarrollo de Sistemas Expertos.

Se puede decir que un shell de desarrollo es el esqueleto del Sistema Experto, ya que él define en términos estructurales el tipo de modelado y la forma del razonamiento del Sistema. De esta forma, dependiendo del problema particular que se quiera enfrentar se utilizara uno u otro shell dependiendo de sus características.

De acuerdo a las salidas que se desean obtener con el sistema

experto, los requerimientos que debe tener un shell pueden ser:

a) Tipo de representación del conocimiento: reglas, listas de atributos, etc.

b) Capacidad para efectuar cálculos numéricos

c) Capacidad para la interface con rutinas externas: bases de datos, programas externos, control numérico, controles automáticos de procesos, otras aplicaciones etc.

d) Facilidad para elaborar comprensibles y variados reportes al usuario.

e) facilidades para la elaboración de interfaces con el usuario: hipertextos, gráficos, diagramas, animaciones, planos, etc.

f) Facilidad para la inclusión y manejo de información incierta.

g) Capacidad para brindar interfaces explicativas

2.5 Verificación y validación

Los errores en un sistema experto se detectan de distintas formas: conclusiones falsas, respuestas inconexas a preguntas, deducción de hechos irrelevantes o no encontrar la solución a los problemas previstos. La fuente común de los errores se encuentra casi siempre en la definición de la Base de Conocimientos: objetos, reglas, relaciones, procedimientos o tareas incorrectas, que son la causa del mal funcionamiento del sistema.

El proceso de verificación y validación permitirá entre otras:

a) Detectar las inconsistencias derivadas de la definición de la base de conocimientos.

b) Localizar objetos, relaciones o propiedades que faltan en la

base de conocimientos.

c) Obtener trazas de los procesos de inferencia.

d) Interrogar al sistema en forma selectiva acerca de la obtención de determinados resultados, con cuestiones del tipo: cómo has obtenido..., porqué has obtenido..., qué pasaría si..., etc.

e) Funciones para evaluar la velocidad de cálculo y para mejorar la implementación de los diferentes objetos sin variar su definición.

3. DESARROLLO DEL SISTEMA EXPERTO "SEILUM"

3.1. Análisis y formulación del problema

El problema en sí es la elaboración de un sistema experto aplicado al análisis del uso eficiente de la energía eléctrica en iluminación, en la pequeña y mediana industria, de ahí es el resultado de esta herramienta que se le llamará SEILUM.

3.1.1 Objetivos de Seilum

Seilum se diseñó y desarrolló para cumplir los siguientes objetivos:

a) Asesorar y apoyar el ahorro y uso eficiente de la energía en iluminación industrial.

b) Identificar las mejoras y los probables ahorros de energía eléctrica en las instalaciones de iluminación industrial.

c) Evaluar y recomendar la ejecución de las medidas más apropiadas técnica y económicamente.

3.1.2 Formulación y alcance del problema

Seilum se aplica al análisis de sistemas de iluminación industrial según un proceso secuencial de evaluación, diagnóstico y toma de decisiones. Esta estrategia para abordar la problemática del uso de energía en iluminación industrial se aplica a cada una de las fases del diagnóstico energético discutido en el capítulo anterior.

(a) Problema general

Ya se ha manifestado que el propósito de la iluminación industrial es proporcionar energía luminosa en cantidad y calidad suficiente para permitir una adecuada visibilidad, aumentar la productividad y la seguridad, dentro de un ambiente de trabajo agradable. Por lo tanto el diseño, operación y mantenimiento de un sistema de alumbrado deben estar influenciados por factores luminicos, económicos y factores relacionados con el manejo eficiente de la energía eléctrica.

También se ha descrito que el problema del uso eficiente de energía en la iluminación de plantas industriales implica responder las siguientes preguntas principales:

¿Qué tanta energía eléctrica consume la instalación de iluminación?

¿Qué tanta potencia eléctrica ha sido instalada para iluminación?

¿Qué tan eficiente es la instalación de iluminación?

¿Cómo mejorar la eficiencia de la instalación de iluminación en el consumo de energía eléctrica?

¿Cómo implementar medidas de ahorro energético en la instalación de iluminación?

¿Qué ahorros de energía se obtendrían?

¿Cuánto costaría la implementación de tales medidas de ahorro energético?

¿En que tiempo se recuperaría las nuevas inversiones?

De acuerdo a ello, el sistema experto SEILUM se diseñó y desarrolló para permitir al pequeño y mediano industrial, responderse a estas preguntas, sin la necesidad de solicitar el

asesoramiento de consultores. En otras palabras, el sistema experto desarrollado, permite llevar a cabo un diagnóstico energético en iluminación a un nivel de detalle apropiado para que el industrial asuma sus propias decisiones finales.

(b) Problemas específicos

Siendo claro que el problema general de aplicación del sistema experto SEILUM es el diagnóstico energético de sistemas de iluminación industrial, los problemas específicos y que cuando se diseña la arquitectura del sistema se consideran como módulos, son:

a) Identificación y evaluación de medidas de ahorro, que comprende los siguientes problemas:

.Evaluación de los niveles de iluminación actuales

.Evaluación del equipo e instalaciones: lámparas, luminarias y balastos

.Evaluación de la utilización del alumbrado y su integración con la luz natural

.Evaluación de la conservación y mantenimiento del equipo e instalaciones

b) Evaluación económica y selección de medidas, que abarca la evaluación de:

.Factores económicos: costo, ahorros energéticos y económicos y periodo de recuperación de las inversiones.

Las diferentes medidas de ahorro y uso eficiente de energía que recomienda el sistema experto se evalúan dentro de cada área problema descrito.

Este Sistema Experto es aplicable tanto para evaluar instalaciones de iluminación existentes (mejoras puntuales o específicas), como instalaciones de iluminación nuevas (mejora total de la instalación) y puede ser usado por un usuario no necesariamente especializado en iluminación industrial.

3.1.3 Evaluación de la aplicación potencial de un sistema experto

La evaluación de la posible aplicación de un sistema experto para evaluar el uso de la energía eléctrica en instalaciones de iluminación industrial, empleando la lista de control descrita en la sección 2.1.1 de este capítulo nos brinda los siguientes resultados que se dan en tabla 5.7:

TABLA 5.7: RESULTADOS DE LA EVALUACION DE LA APLICACION POR CATEGORIAS PONDERADAS

Categoría	Ponderación
1. Tipo de problema	26/30 = 86%
2. Resultados finales	19/25 = 76%
3. Diseñador del sistema experto	14/20 = 70%
4. Dominio experto	9/15 = 60%
5. Usuario final	7/10 = 70%
Ponderación total	75/100 = 75%

De acuerdo con estos resultados, se puede expresar que la aplicación de un sistema experto al uso eficiente de iluminación es factible de llevarlo a cabo, pues satisface una buena porción de atributos requeribles para ello.

3.2 Adquisición del conocimiento

Fué la fase de desarrollo más larga del proceso, aproximadamente el 60% del periodo de tiempo del proyecto. Los aspectos que componen la estrategia de adquisición del conocimiento son: sitio de observación, fuentes y niveles de conocimiento experto, criterios para la selección de conocimiento experto, características de las entrevistas a expertos y tipo de preguntas, registro y selección del conocimiento adquirido.

3.2.1 Sitio de observación

Dado que la aplicación está orientada a los sistemas de iluminación de la pequeña y mediana industria, la definición del

lugar o sitio de observación está inherente a la direccionalidad u sujeto del proyecto. Sin embargo, para delimitar el universo de sujetos de la aplicación, se tuvo que visitar varias industrias de las diversas ramas y tamaños a fin de:

(1) Identificar características generales y específicas para la definición de tareas y zonas de trabajo, lo cual nos permite asignar valores de niveles de iluminación recomendados.

(2) Identificar características generales y específicas reales del uso de la iluminación artificial y natural.

(3) Identificar el vocabulario familiar sobre iluminación que se emplea en la industria.

(4) Identificar las características del uso de energía eléctrica para iluminación, principalmente en lo referido a tarifas y al control del consumo.

(5) Seleccionar las ramas industriales comunes para su agrupación respectiva según la Clasificación Mexicana de Actividades Económicas y de Productos (ver anexo II).

3.2.2 Fuentes y niveles de conocimiento

En lo que se refiere a diseño, operación y mantenimiento de sistemas de iluminación y al uso eficiente de energía en tales instalaciones, las fuentes de conocimiento identificadas son:

a) Fuentes escritas, conformadas por tratados técnicos de iluminación, manuales de iluminación y de uso eficiente de energía, revistas diversas de aplicaciones, catálogos de fabricantes, etc.

b) Conocimiento experto humano. En este caso se consideró recuperar el conocimiento experto de los usuarios de sistemas de

iluminación (pequeña y mediana industria), fabricantes de tecnología de iluminación (Philips, Holophane, General Electric, Crouse Hinds, Osram, etc.), consultores de empresas en iluminación y auditorías energéticas, y profesores e investigadores universitarios.

Por otro lado se tuvo que considerar diferentes niveles de conocimiento experto para la elaboración de las reglas de producción y las bases de datos. Así tenemos que:

a) De la fuentes escritas, en los tratados de iluminación se localizó conocimiento formal como son los cálculos generales de sistemas de iluminación. En los manuales técnicos se localizan diversas recomendaciones globales para el uso eficiente de la energía siendo el conocimiento más específico pero no de aplicación inmediata, aunque permitió elaborar muchas reglas heurísticas. En las revistas y catálogos de fabricante, se encontró conocimiento específico de uso inmediato, especialmente aquella información técnica para la elaboración de las bases de datos, y también para la elaboración de algunas reglas para la toma de decisiones.

b) En cuanto al conocimiento experto, prácticamente todos los consultados tienen al menos un grado universitario y con un mínimo de 5 años dedicados a aspectos de energía e iluminación, tanto en el uso como en la fabricación y distribución (venta). En ese sentido, el conocimiento experto recuperado de expertos humanos está prácticamente al mismo nivel y el tipo de información obtenida son conocimientos detallados que nos permitió mejorar la estructura de la base de conocimientos adicionándole muchas reglas prácticas de decisión y selección de equipos de iluminación, así como fué útil para la validación y verificación.

Conviene anotar que prácticamente no surgieron conflictos de opiniones de expertos, más bien todas las versiones dadas para la solución de los componentes del problema del sistema fueron

complementarias entre si reforzadas con los conocimientos rescatados de las fuentes escritas.

3.3 Representación e implementación

3.3.1 Elección del shell

Para el manejo y ejecución de la producción de las reglas que conforman los diferentes módulos de la base de conocimientos, la herramienta elegida fué el paquete EXSYS Profesional (1988).

Este shell fué seleccionado considerando qué:

- a) La representación es través de reglas de producción.
- b) Rapidez de ejecución.
- c) Capacidad para el manejo de alrededor de 5 000 reglas
- d) Capacidad para el manejo de cálculos numéricos empleando diversas funciones matemáticas.
- e) Capacidad para el razonamiento hacia adelante y hacia atrás en forma combinada.
- f) Capacidad para la intercomunicación con rutinas externas: lotus 123, Dbase 4, programas externos escritos en otros lenguajes de programación.
- g) Capacidad para controlar la ejecución de las reglas por grupos o módulos.
- h) Facilidad para la elaboración de interfaces con el usuario: hipertextos y gráficos.
- i) Facilidad para la elaboración de reportes finales al usuario
- j) Facilidad para la explicación de los resultados finales.
- k) Fácil uso para la operación y edición.
- l) Software no muy costoso (1000 dólares).

3.3.2 Arquitectura de SEILUM y Funciones operativas

Puesto que la identificación y análisis de mejoras que permitan el ahorro de energía en instalaciones de iluminación industrial requiere el empleo de un conjunto de conocimientos empiricos y técnicos estructurados en un flujo secuencial de información y

toma de decisiones, la arquitectura del SEILUM se estructura prácticamente en varias fases sucesivas de ejecución, cada una de las cuales brinda información procesada (resultados) para la ejecución de la fase subsiguiente hasta la toma de decisión final, que sería la elección de las medidas más atractivas técnica y económicamente.

El Sistema Experto, a través de una comunicación interactiva con el usuario, obtiene de éste toda la información necesaria que requiere para su razonamiento. La información básica debe ser consolidada por el usuario y es principalmente:

a) Características de la industria: rama industrial y características de las actividades que se realizan y de los trabajadores que la ejecutan.

b) Clasificación de los ambientes en zonas de trabajo: oficinas, almacenes, naves industriales, estaciones de proceso, etc.

c) Características de los ambientes: altura, anchura, longitud, forma y color de paredes y techos, acceso a luz natural, tipos de ventanas, claraboyas o techos de dientes en sierra, dimensiones de las fuentes de luz natural, etc.

d) Características de las instalaciones: Tipo de lámparas y luminarias, altura de montaje de luminarias, potencia de lámparas y balastos, número de lámparas, costos, etc.

e) Características de la utilización: horas de utilización de la luz artificial y de la luz natural, número de interruptores, tipo de control de la luz natural, etc.

f) Características del mantenimiento: periodos de limpieza, tipo de atmósfera del ambiente de trabajo, periodos de reemplazamientos de lámparas y luminarias, etc.

g) Características generales: tarifa de energía eléctrica, costos diversos, y otra información requerida por el sistema.

Las funciones operativas que realiza SEILUM para procesar toda esta información, están agrupadas en 5 módulos o áreas de conocimiento.

Módulo 1: Análisis del servicio de alumbrado

A través de este módulo, el sistema experto asigna el nivel de iluminación que se recomienda para cada tipo de tarea que se ejecuta en la industria, luego determina el nivel de iluminación actual y evalúa si está de acuerdo con el nivel recomendado asignado. Así también, evalúa el consumo de energía, la potencia instalada, las exigencias ambientales y problemas de deslumbramiento, recomendando al final posibles modificaciones. Las recomendaciones básicas de este módulo se refieren al cambio de color de las superficies para mejorar el coeficiente de utilización de las luminarias instaladas y eliminar problemas de deslumbramientos.

Módulo 2: Análisis del equipo de alumbrado

Este módulo permite realizar un análisis de la instalación actual para determinar aquellos equipos que influyen negativamente en el balance energético del alumbrado o en su economicidad, diagnosticar la posibilidad de reemplazamientos, modificaciones, etc. También analiza si la instalación permite una operación racional identificando medidas correctoras que puedan implantarse. Las recomendaciones del módulo son: sustitución de lámparas ineficientes, empleo de balastos mas adecuados, cambiar luminarias, etc.

Módulo 3: Análisis de la utilización del alumbrado

Este módulo permite realizar un análisis de cómo se utiliza la

instalación de alumbrado en el tiempo y en el espacio, así como si su uso se armoniza con la disponibilidad de luz natural. Además permite efectuar un diagnóstico de la adecuación de la utilización del alumbrado a las exigencias reales y, en su caso, estudia medidas correctoras que pueden limitarse a motivar a los responsables de las instalaciones o a los usuarios para que racionalicen su uso, o también recomendar modificaciones en la instalación actual. Las medidas que recomienda el módulo pueden ser: incrementar el uso de interruptores, instalar controladores de flujo luminoso para emplear la luz natural, instalar sensores de ocupación y de temperatura, eliminar luces innecesarias, cambiar horarios de trabajo, etc.

Módulo 4: Análisis de la conservación del alumbrado

Con este módulo el usuario puede analizar cómo se conservan los equipos de alumbrado, obteniendo recomendaciones de métodos y programas de conservación (mantenimiento) que deben adoptarse. Las medidas que recomienda el módulo pueden ser: programas de limpieza de lámparas y luminarias y programas de reemplazamientos.

Módulo 5: Análisis de la rentabilidad

Por medio de este módulo se efectúa un análisis económico de las medidas propuestas en los módulos anteriores y se seleccionan las medidas más apropiadas técnica y económicamente. El criterio que se emplea es el del periodo de recuperación de las inversiones.

3.3.3 Base de conocimientos

La base de conocimientos de SEILUM estará integrado por reglas de producción, las cuales están ligadas a bases de datos y programas externos.

Las reglas de producción son porciones de conocimiento que permiten al sistema experto establecer conclusiones hasta arribar a la solución final. Cada regla tiene un formato del tipo:

IF, condiciones.
THEN, condiciones y alternativas.
ELSE, condiciones y alternativas.
NOTE,
REFERENC.

Una condición es una declaración de hechos o de un estado de hechos que deben cumplirse. Las alternativas son las posibles soluciones del problema, o en todo caso, el abanico de recomendaciones que el sistema toma en cuenta en su análisis. Las condiciones pueden ser, texto, relaciones matemáticas o una combinación de ambos.

Las notas y referencias son aclaraciones para el usuario que se despliegan, si se cree necesario, cuando se está corriendo el programa o bien cuando el usuario lo solicite.

Una regla puede ser parte del grupo de condiciones de otras reglas y viceversa, de modo que las reglas están interrelacionadas entre sí, formando grupos de reglas correspondientes a cada uno de los diferentes módulos de conocimiento, los cuales también estarán interrelacionados de este modo. En el Anexo II, se incluyen las reglas elaboradas para SEILUM.

Puesto que todos los módulos requieren de información adicional a la que brinda el usuario, SEILUM está provisto de interfaces externas para ser empleadas según necesidades específicas. En el sistema se manejan dos tipos de archivos externos:

(1) Bases de datos, creadas en Lotus 123, para obtener información referente a: niveles de iluminación recomendados, características técnicas de equipos (coeficientes de utilización de luminarias, factores de mantenimiento, etc), factores luz del día para ventanas, claraboyas y techos en dientes de sierra; etc.

(2) Programas externos elaborados en lenguaje BASIC.

3.3.4 Interfáces con el usuario

Para la ejecución de cada regla el sistema experto requiere información que debe ser brindado por el usuario a través de lo que se conoce como "interfaz con el usuario". Por ejemplo el usuario es cuestionado sobre el tipo de atmósfera del ambiente de la planta, en la siguiente forma:

La atmósfera del ambiente de trabajo de la planta es:

- (1) Limpio (p.e. montajes)
- (2) Sucio (p.e. calderería)
- (3) Muy sucio (p.e. fundición)

Así también para cuestionar sobre el tiempo entre limpiezas es como sigue:

El tiempo transcurrido entre cada limpieza de lámparas es:

- (1) Cada 3 meses
- (2) Cada 6 meses
- (3) Cada 12 meses
- (5) Cada 24 meses o más

Así también se ha provisto al sistema de interfaces gráficas para orientar al usuario por ejemplo sobre el tipo de luminarias y el color de superficies. Por otro lado, también cuenta con hipertextos para que el usuario obtenga una explicación adicional sobre algún término que no conozca o que su conocimiento sea dudoso al respecto. Estas palabras generalmente se le presenta al usuario sobreiluminadas.

De igual modo, ya que generalmente las reglas no se muestran al usuario cuando se esta corriendo el sistema experto, existe la alternativa "WHY" (porqué?) para que el usuario consulte que regla esta empleando el sistema en su razonamiento, esto puede ser

durante la corrida, o al final, para consultar el porqué de algun resultado obtenido.

3.4 Verificación y validación

Esta tarea fué llevada a cabo mostrando la corrida del sistema a expertos. Durante el proceso de validación y verificación los expertos se dan cuenta como sus respuestas de las entrevistas fueron usadas para la construcción de la base de conocimientos. Usando esta aproximación fué relativamente fácil las modificaciones de esos aspectos del sistemas que tuvieron error.

En forma paralela, un exámen a través de cuestionarios fué usada para medir el grado de satisfacción de los usuarios del sistema, que en este caso fueron las empresas donde el sistema fué probado. Algunas áreas poco convenientes fueron detectadas con el exámen y las acciones correctivas fueron tomadas.

CONCLUSIONES

1. CONCLUSIONES

1.1 El consumo de energía en iluminación depende fundamentalmente del nivel de iluminación, las horas de utilización, la potencia y el rendimiento luminoso de la lámpara , el tipo de luminario y balastro, de las condiciones de operación, así como de los programas de reposición y mantenimiento.

1.2 El uso racional de la energía en iluminación industrial es un problema que debe abordarse de manera integral, agrupando diferentes factores relacionados entre sí, más o menos directamente. En ese sentido, el objetivo global se logra considerando:

1.2.1 El uso de tecnología de iluminación eficiente: lámparas luminarios y balastos

1.2.2 La adopción de programas de limpieza y reposición de lámparas y luminarias

1.2.3 El empleo de tecnología de control y/o adopción de programas de utilización del alumbrado promocionando su uso racional

1.2.4 Elaboración cuidadosa del diseño o rediseño de sistemas de iluminación.

1.3 La metodología de diagnóstico energético de sistemas de iluminación industrial, permite identificar y seleccionar los puntos críticos del sistema, por su elevado consumo o por bajo rendimiento energéticos, y plantea las medidas correctivas apropiadas desde el punto de vista energético y económico.

1.4 La insuficiencia de especialistas en diagnósticos energéticos en iluminación y los altos costos de este servicio de asesoría, justifica en principio la captura del conocimiento especializado en un sistema experto. Esta aplicación fue apropiado desarrollarla ya que la evaluación de su conveniencia alcanzó 75 % de los atributos requeribles para ello.

1.5 La adquisición del conocimiento incorporado en el sistema experto se obtuvo mediante la consulta de una amplia bibliografía, diversos manuales técnicos, revistas y catálogos de fabricante. Además, se entrevistó a especialistas en el área, investigadores, profesores y fabricantes de equipos de iluminación, lo cual sirvió también para ajustar el procedimiento de análisis energético propuesto que integra la base de conocimientos de SEILUM.

1.6 Para el desarrollo del sistema se empleó el paquete EXSYS Profesional (1988), cuya máquina de inferencia utiliza reglas de producción con encadenamiento hacia atrás y hacia adelante, para confeccionar las soluciones finales que se presentaban al usuario. Este paquete se eligió por su rapidez de ejecución, facilidad para interactuar con programas externos, bases de datos y paquetes gráficos, manejo de funciones matemáticas, generación de reportes y control de la ejecución de reglas principalmente.

1.7 La implantación de SEILUM se puede llevar a cabo en una computadora personal compatible IBM/AT, con 640 Kbytes de memoria RAM y bajo el sistema operativo MS-DOS.

1.8 El sistema experto SEILUM constituye una alternativa objetiva e inmediata para apoyar el uso eficiente de la energía en los sistemas de iluminación de la pequeña y mediana empresa industrial, ya que permite efectuar evaluaciones energéticas flexibles y permanentes de las instalaciones de alumbrado. También apoya el diseño y seguimiento de nuevas instalaciones, eficientando el consumo de energía.

1.9 Las facilidades que SEILUM brinda al pequeño y mediano industrial son: diagnóstico de las instalaciones de alumbrado para identificar el paquete de acciones relevantes a seguir, evaluación técnica y económica de las mismas y selección de las más convenientes, que satisfagan objetivos de optimización energética y económica.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

[1] Lara Rosano F. Rodriguez Viqueira L., "Utilización de Sistemas Expertos para racionalizar el uso de energía en la pequeña y mediana industria." Informe Interno, Instituto de Ingeniería, UNAM, marzo de 1990.

[2] "Manuales técnicos y de instrucción para conservación y ahorro de energía. Tomo 10: Iluminación Industrial", Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía-IDAE., Madrid, España 1983.

[3] "Seminario de economía de energía.", Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, Mexico, Agosto 1987.

[4] "Manual de Eficiencia Energética Eléctrica en la Industria", Centro para el Ahorro y Desarrollo Energético y Minero S.A., CADEM, Bilbao, España, 1984.

[5] Chapa C.J., "Manual de Instalaciones de Alumbrado y Fotometría", Editorial Limusa S.A. y Noriega Editores. México, 1990.

[6] Ramírez V.J. "Luminotécnica: Enciclopedia CEAC de Electricidad, Ediciones CEAC, S.A., Barcelona, España, 1974.

[7] Ambríz G.J., Gonzalez D.E., Romero P.H. "Fundamentos del Uso Racional de la Energía en la Iluminación y el Alumbrado: Curso de Actualización", Programa Universitario de Energía, Facultad de Ingeniería-UNAM, División de Ciencias Básicas e Ingeniería-UAMI. México, 1989.

[9] "Lighting Handbook", Westinghouse Lamp Division, Westinghouse Electric Corporation. USA, 1964.

[10] "Manual de Alumbrado", Centro de Ingeniería y Diseño de Alumbrado de N.V. Philips. Editorial Paraninfo S.A., Madrid, España, 1976.

[11] "Catálogo de Iluminación" ,Crouse-Hinds, Edición Julio 1990. México.

- [12] "Catálogo Condensado 1990", Holophane S.A de C.V., México, 1990.
- [13] Frost R. , "Bases de datos y Sistemas Expertos, Ingeniería del Conocimiento", Ediciones Diaz de Santos, S.A. .Madrid, 1989.
- [14] Intelligence Ware, INC. Experteach-III, Los Angeles 1988.
- [15] EXSYS, Inc. Exsys Professional Expert System Development Package. Albuquerque, USA, 1988 .
- [16] Beckman Thomas J. Selecting Expert System Applications. AI- Expert, The Magazine Artificial Intelligence in Practice, Pags.42-47, Volume 6, Number 2, February 1991, U.S.
- [17] Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Clasificación Mexicana de Actividades Económicas y Productos-CMAP. Secretaria de Programación y Presupuesto. México, 1986.
- [18] Generalitat Valenciana. Ahorro de Energia en Instalaciones. Edita Conselleria D'Industria, Comerc i Turisme. Valencia, 1987.
- [19] General Electric Company. Lighting Application Bulletin: Industrial Lighting. Nela Park, Cleveland. November 1990.
- [20] Bernold T, Albers G. Artificial Intelligence: Towards Practical Application. Elsevier Science Publishers B.V. Amsterdam, 1986.
- [21] Hayes-Roht F, Waterman D y Lenat D. Bulding Expert Systems. Addison wesley Publishing Company, Inc. Canadá, 1983.
- [22] Mompim Poblet José. Inteligencia Artificial, Conceptos, Técnicas y Aplicaciones. Ed. Marcombo. Barcelona, 1987.
- [23] Kaufman, J.E, Christensen J.F., IES Lighting Hanbook. Published by Illuminating Engineering Society of North America. Volumen 1897, New York.
- [24] Kaufman, J.E, Christensen J.F., IES Lighting Hanbook. Published by Illuminating Engineering Society of North America. Volumen 1894, New York.

ANEXO I

CLASIFICACION DEL SECTOR INDUSTRIAL POR SUBSECTOR Y RAMAS

SUBSECTOR	RAMA
1. INDUSTRIAS ALIMENTARIAS	1.1 Productos lácteos: leche, queso mantequilla, yogures, similares 1.2 Fábrica de conservas: frutas y carnes 1.3 Molienda de productos agrícolas 1.4 Industria del pan: galletas, pastas, botanas, similares 1.5 Aceites y grasas comestibles 1.6 Productos azucarados y confites 1.7 Bebidas: cerveza, refrescos, y vinos 1.8 Otros: café, té, tabaco, etc.
2. INDUSTRIA TEXTIL	2.1 Fábricas de fibras duras y de tipo de cordelería 2.2 Fábricas de hilos blandos: lana algodón, sintéticos, mixtos. 2.3 Fábrica de telas de lana, sedas algodón, etc, incluye telas no tejidas 2.4 Confección de sábanas, colchas, tapices, alfombras, manteles 2.5 Confección de prendas de vestir de tela y cuero 2.6 Confección de tejidos de punto 2.7 Industria del cuero: fábricas de cuero y pieles, portafolios, carpetas, mochilas, etc. 2.8 Industria del calzado
3. INDUSTRIA DE LA MADERA	3.1 Aserraderos, fábricas de todo tipo de chapas de madera 3.2 Fabricación de carpintería de madera para la construcción 3.3 Fábricas de muebles 3.4 Tapicerías en general 3.5 Carpinterías en general 3.6 Fábricas de hormas y tacones
4. INDUSTRIA PAPELERA	4.1 Fábricas de papel y similares 4.2 Fábricas de celulosa 4.3 Fábricas de cartón y similares 4.4 Fábricas de envases de cartón y papel 4.5 Impresiones y encuadernación

5. INDUSTRIA QUIMICA

- 4.6 Edición de libros, revistas, periódicos y similares
- 5.1 Fábricas de ácidos, bases y sales orgánicas e inorgánicas, óxidos y productos farmacéuticos
- 5.2 Fabricación de colorantes, pigmentos y similares
- 5.3 Fabricación de resinas, plastificantes, fibras químicas, etc.
- 5.4 Fabricación de pinturas, barnices, lacas y similares
- 5.5 Fabricación de jabones, dentrificantes, detergentes, etc
- 5.6 Fabricación de perfumes, cosméticos y similares
- 5.7 Fabricación de limpiadores, desinfectantes y aromatizantes
- 5.8 Industria del hule: llantas, cámaras y suelas
- 5.9 Industria del plástico

6. INDUSTRIA DE LOS MINERALES NO METALICOS

- 6.1 Alfarería y cerámica en general
- 6.2 Fabricación de ladrillos, losetas, artículos sanitarios, etc.
- 6.3 Industria del vidrio
- 6.4 Fabricación de cemento, cal, yeso y similares

7. INDUSTRIA SIDERURGICA Y METALURGICA

- 7.1 Fundición de hierro y acero:
- 7.2 Fundición de metales no ferrosos: aluminio, cobre, zinc, etc
- 7.3 Fundición y moldeo de piezas metálicas en general
- 7.4 Laminados y forjados en general

8. INDUSTRIA METAL MECANICA

- 8.1 Fabricación de muebles y estructuras metálicas en general
- 8.2 Productos de hojalata y láminas metálicas en general
- 8.3 Fabricación de calderas, calentadores, quemadores y otros
- 8.4 Maquinaria e implementos agrícolas
- 8.5 Maquinaria y equipo industrial
- 8.6 Maquinaria y equipo para oficinas
- 8.7 Diversos productos metálicos: alambre, cadenas, pernos, hojalata, clavos, y similares
- 8.8 Fabricación de carrocerías y mecánica en general.

9. INDUSTRIA ELECTRICA Y ELECTRONICA

- 9.1 Fabricación y ensamble de motores eléctricos

- 9.2 Fabricación y ensamble de todo tipo de equipo eléctrico
- 9.3 Fabricación de equipos de iluminación
- 9.4 Electrodomésticos en general
- 9.5 Equipos para telecomunicaciones
- 9.6 Equipos y aparatos electrónicos
- 9.7 Máquinas y equipos para el procesamiento informático

Fuente: CHAP - Clasificación Mexicana de Actividades Económicas y Productos, Geografía e Información, 1986.

ANEXO II

CATEGORIAS DE ACTIVIDAD Y NIVELES DE ILUMINACION
PARA DIFERENTES RAMAS INDUSTRIALES

TABLA II.1: INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Categoría	Area y/o actividad	Iluminación
D	Lavado de envases, limpieza y preparación de materias primas, etiquetado, empaçado, ensacado, pesado, etc. Tanques, tolvas, marmitas, frigoríficos, calderas, andenes, hornos, y similares. Almacenes de envases	200 - 250 - 300
E	Clasificación y selección, llenado de envases, cortado y picado, elatados, mezclados, moliendas, cocción, fermentados, esterilizaciones, y de más operaciones similares	300 - 500 - 750
F	Inspección visual y laboratorio	750 - 1000 - 1200

TABLA II.2: INDUSTRIA TEXTIL

Categoría	Area y/o actividad	Iluminación
D	Tintado, coloreado, teñido, estampa do, preparación de telas, bobinado, remojado, blanqueado, estirado, etc. Abridoras, mezcladoras, cardados, limpieza, curtido, etc	200 - 250 - 300
E	Clasificación y selección, preparación de hilos, urdido, moldeado, pa bilado, engomado, telares, hilado, tejido, apilado, satinado, marcado, planchado, devanado, peinado, cosido cortado, costura, acabados, etc.	300 - 500 - 750
F	Control de telas, hilos, costuras, cortes, etc.	750 - 1000 - 1200

TABLA II.3: INDUSTRIA DE LA MADERA

Categoría	Area y/o actividad	Iluminación
D	Trabajo burdo de banco y sierra, habilitado. Apilado, mecanizado normal, labrado y cortes gruesos	200 - 250 - 300
E	Tapizados diversos. Encolados, cepillado, lijado, trabajos de mediana calidad en máquinas y bancos, prensados, anchapados, etc	300 - 500 - 750
F	Trabajo fino de banco y máquinas, acabados finos, labrado fino, lijado fino de madera, inspección final	750 - 1000 - 1200

TABLA II.4: INDUSTRIA PAPELERA

Categoría	Area y/o actividad	Iluminación
D	Bastidores, molinos, calandras. Plegadoras, tapas, alzados.	200 - 250 - 300
E	Area general de manufactura. Doblado, empastado, cortado, punzonados, cocido, apizonado, acabado, cortado, recortado, máquinas de papel, composición mecánica, correctores, otros.	300 - 500 - 750
F	Inspección y control. Laboratorios.	750 - 1000 - 1200
G	Grabado el realce e inspección. Impresiones, linotipos, cajistas	1200 - 1500 - 2000

TABLA II.5: INDUSTRIA QUIMICA

Categoría	Area y/o actividad	Iluminación
D	Sala de calderas, bombas, compresores, tanques, maquinaria pesada y de proceso químico general. Emabalajes, empaques, plantas de fuerza y similares.	200 - 250 - 300
E	Máquinas y equipos con manómetros, termómetros, niveles y controles. Moliendas, mezclado-triturado, prensado, preparación y cortado, vulcanizados, satinados, inyecciones.	300 - 500 - 750
F	Laboratorios, salas de ensayo y controles específicos diversos.	750 - 1000 - 1200

TABLA II.6: MINERALES NO METALICOS

Categoría	Area y/o actividad	Iluminación
D	Embalaje, pesado y recepción de materiales. Area de hornos, cristalería en general, plateados, coloración y barnizado, decoración y esmaltado, moldeo y prensas, triturado. Sala general de procesos de ladrillos, locetas y similares.	200 - 250 - 300
E	Vaciado mecánico del cristal. Tallas, tallados, decoraciones en vidrio, esmerilados, grabados, biselados	300 - 500 - 750
F	Inspección y corte de critales. Pintura y vidriado, control calidad	750 - 1000- 1200

TABLA II.7: SIDERURGIA Y METALURGIA

Categoría	Area y/o actividad	Iluminación
D	Templado, hornos en general. Patio chatarra, mezclado, calcinación. Molinos de laminación, plataformas de control.	200 - 250 - 300
E	Taller de moldeo y modelados. Fundición, hechura de corazones. Sala de forjado	300 - 500 - 750
F	Inspecciones generales de fundidos, laminados y similares.	750 - 1000- 1200

TABLA II.8: INDUSTRIA METAL MECANICA

Categoría	Area y/o actividad	Iluminación
D	Máquinas herramientas y bancos para trabajos de piezas grandes y brudas Soldadura de piezas grandes. Carpintería, ebanistería y chapistería. Recubrimientos metálicos.	200 - 250 - 300
E	Talleres de montaje piezas grandes. Máquinas herramientas, bancos y soldadura de piezas medianas. Pintura y pulimentado.	300 - 500 - 750
F	Talleres de montaje piezas medianas Máquinas herramientas, bancos, soldadura de piezas pequeñas.	750 - 1000- 1200
G	Talleres de montaje de piezas muy pequeñas. Trabajos finos y de precisión.	1200 - 1500- 2000

TABLA II.9: INDUSTRIA ELECTRICA Y ELECTRONICA

Categoría	Area y/o actividad	Iluminación
D	Areas de trabajo en general. Máquinas herramientas y bancos para trabajos de piezas grandes. Acabados burdos.	200 - 250 - 300
E	Ensamblaje mediano. Impregnado, aislados y embobinados, trabajos y acabados medios.	300 - 500 - 750
F	Ensamblaje fino, Ajustes, inspección y pruebas diversas. Trabajos y acabados de piezas finas y pequeñas.	750 - 1000- 1200
G	Ensamblaje muy fino (relojes, computadoras, similares). Trabajos y acabados de piezas muy finas y de precisión.	1200 - 1000- 2000
G	Talleres de montaje de piezas muy pequeñas. Trabajos finos y de precisión.	1200 - 1500- 2000

ANEXO III

REGLAS DE PRODUCCION DEL SISTEMA EXPERTO "SEILUM"

MODULO 1: ANALISIS DEL SERVICIO DE ALUMBRADO

RULE NUMBER: 1 (A-1)

IF:
La ^^ZONA DE TRABAJO^^ que se va a evaluar es del área: Productiva
and La actividad de su empresa, se ubica en la ^^RAMA INDUSTRIAL^^:
Alimentaria

THEN:

[CP] IS GIVEN THE VALUE [CAP]
and [SFP] IS GIVEN THE VALUE (1*[EOP] + 1*[VE] + 1*[RAP])
and [RP] IS GIVEN THE VALUE ([SFP] + 10)

RULE NUMBER: 2 (A-2)

IF:
La ^^ZONA DE TRABAJO^^ que se va a evaluar es del área: Productiva
and La actividad de su empresa, se ubica en la ^^RAMA INDUSTRIAL^^:
Textil y cueros

THEN:

[CP] IS GIVEN THE VALUE [CAPT]
and [SFP] IS GIVEN THE VALUE (1*[EOP] + 1*[VE] + 1*[RAP])
and [RP] IS GIVEN THE VALUE ([SFP] + 10)

RULE NUMBER: 3 (A-3)

IF:
La ^^ZONA DE TRABAJO^^ que se va a evaluar es del área: Productiva
and La actividad de su empresa, se ubica en la ^^RAMA INDUSTRIAL^^:
Maderera

THEN:

[CP] IS GIVEN THE VALUE [CAPM]
and [SFP] IS GIVEN THE VALUE (1*[EOP] + 1*[VE] + 1*[RAP])
and [RP] IS GIVEN THE VALUE ([SFP] + 10)

RULE NUMBER: 4 (A-4)

IF:
La ^^ZONA DE TRABAJO^^ que se va a evaluar es del área: Productiva
and La actividad de su empresa, se ubica en la ^^RAMA INDUSTRIAL^^:
Papelera

THEN:

[CP] IS GIVEN THE VALUE [CAPP]
and [SFP] IS GIVEN THE VALUE (1*[EOP] + 1*[VE] + 1*[RAP])
and [RP] IS GIVEN THE VALUE ([SFP] + 10)

RULE NUMBER: 5 (A-5)

IF:
La ^^ZONA DE TRABAJO^^ que se va a evaluar es del área: Productiva

and La actividad de su empresa, se ubica en la ^^RAMA INDUSTRIAL^^:
Química

THEN:

[SFP] IS GIVEN THE VALUE (1*[EOP] + 1*[VE] + 1*[RAP])
and [RP] IS GIVEN THE VALUE ([SFP] + 10)
and [CP] IS GIVEN THE VALUE [CAPQ]

RULE NUMBER: 6 (A-6)

IF:
La ^^ZONA DE TRABAJO^^ que se va a evaluar es del área: Productiva
and La actividad de su empresa, se ubica en la ^^RAMA INDUSTRIAL^^:
Siderurgia y metalurgia

THEN:

[CP] IS GIVEN THE VALUE [CAPS]
and [SFP] IS GIVEN THE VALUE (1*[EOP] + 1*[VE] + 1*[RAP])
and [RP] IS GIVEN THE VALUE ([SFP] + 10)

RULE NUMBER: 7 (A-7)

IF:
La ^^ZONA DE TRABAJO^^ que se va a evaluar es del área: Productiva
and La actividad de su empresa, se ubica en la ^^RAMA INDUSTRIAL^^:
Metal mecánica

THEN:

[CP] IS GIVEN THE VALUE [CAPE]
and [SFP] IS GIVEN THE VALUE (1*[EOP] + 1*[VE] + 1*[RAP])
and [RP] IS GIVEN THE VALUE ([SFP] + 10)

RULE NUMBER: 8 (A-8)

IF:
La ^^ZONA DE TRABAJO^^ que se va a evaluar es del área: Productiva
and La actividad de su empresa, se ubica en la ^^RAMA INDUSTRIAL^^:
Eléctrica y electrónica

THEN:

[CP] IS GIVEN THE VALUE [CAPI]
and [SFP] IS GIVEN THE VALUE (1*[EOP] + 1*[VE] + 1*[RAP])
and [RP] IS GIVEN THE VALUE ([SFP] + 10)

RULE NUMBER: 9 (A-9)

IF:
[X1] > 0

THEN:

[NIR] IS GIVEN THE VALUE [X1]

RULE NUMBER: 10

IF:
La ^^ZONA DE TRABAJO^^ que se va a evaluar es del área:
Administración y servicios
and La actividad de su empresa, se ubica en la ^^RAMA INDUSTRIAL^^:
Alimentaria OR Textil y cueros OR Maderera OR Papelera OR
Química OR Siderurgia y metalurgia OR Metal mecánica OR
Eléctrica y electrónica

THEN:

[CP] IS GIVEN THE VALUE [CAAA]
and [SFP] IS GIVEN THE VALUE (1*[EOP] + 1*[RAP])
and [RP] IS GIVEN THE VALUE ([SFP] + 9)

RULE NUMBER: 11 (A-11)

IF La ^^ZONA DE TRABAJO^^ que se va a evaluar es del área:
Administración y servicios
and [X2] > 0

THEN:

[NIR] IS GIVEN THE VALUE [X2]

RULE NUMBER: 12 (A-12)

IF: La ^^ZONA DE TRABAJO^^ que se va a evaluar es del área: Productiva
OR Administración y servicios
and La lámpara empleada en esta zona de trabajo es: Incandescente OR
Fluorescente luz del día OR Fluorescente blanco frío OR Vapor de
mercurio (Blanco de lujo o color corregido) OR Halogenuros
metálicos, acabado claro OR Sodio baja presión, acabado claro OR
Sodio alta presión, acabado claro

THEN:

[K] IS GIVEN THE VALUE $\text{INT}((5*[HCC]*(1*[L] + 1*[A]))/([L]*[A]))$
and [Y1] IS GIVEN THE VALUE ([K] + 1)

RULE NUMBER: 13 (A-13)

IF: La lámpara empleada en esta zona de trabajo es: Incandescente OR
Vapor de mercurio (Blanco de lujo o color corregido) OR Halogenu
ros metálicos, acabado claro OR Sodio baja presión, acabado claro
OR Sodio alta presión, acabado claro
and El tipo de luminaria que se emplea es: Reflector cerrado
and El color del techo de la zona de trabajo es Muy claro
and [Z1] > 0

THEN:

[CU] IS GIVEN THE VALUE [Z1]

RULE NUMBER: 14 (A-14)

IF: La lámpara empleada en esta zona de trabajo es: Incandescente OR
Vapor de mercurio (Blanco de lujo o color corregido) OR Halogenu
ros metálicos, acabado claro OR Sodio baja presión, acabado claro
OR Sodio alta presión, acabado claro
and El tipo de luminaria que se emplea es: Reflector cerrado
and El color del techo de la zona de trabajo es Medio claro
and [Z2] > 0

THEN:

[CU] IS GIVEN THE VALUE [Z2]

RULE NUMBER: 15 (A-15)

IF: La lámpara empleada en esta zona de trabajo es: Incandescente OR
Vapor de mercurio (Blanco de lujo o color corregido) OR Halogenu

ros metálicos, acabado claro OR Sodio baja presión, acabado claro
OR Sodio alta presión, acabado claro
and El tipo de luminaria que se emplea es: Reflector cerrado
and El color del techo de la zona de trabajo es Oscuro
and [Z3] > 0

THEN:

[CU] IS GIVEN THE VALUE [Z3]

RULE NUMBER: 16 (A-16)

IF:

La lámpara empleada en esta zona de trabajo es: Incandescente OR
Vapor de mercurio (Blanco de lujo o color corregido) OR Halogeno
ros metálicos, acabado claro OR Sodio baja presión, acabado claro
OR Sodio alta presión, acabado claro
and El tipo de luminaria que se emplea es: Reflector prismático ventila
distribución media
and El color del techo de la zona de trabajo es Muy claro
and [Z4] > 0

THEN:

[CU] IS GIVEN THE VALUE [Z4]

RULE NUMBER: 17 (A-17)

IF:

La lámpara empleada en esta zona de trabajo es: Incandescente OR
Vapor de mercurio (Blanco de lujo o color corregido) OR Halogeno
ros metálicos, acabado claro OR Sodio baja presión, acabado claro
OR Sodio alta presión, acabado claro
and El tipo de luminaria que se emplea es: Reflector prismático venti-
lado distribución media
and El color del techo de la zona de trabajo es Medio claro
and [Z5] > 0

THEN:

[CU] IS GIVEN THE VALUE [Z5]

RULE NUMBER: 18 (A-18)

IF:

La lámpara empleada en esta zona de trabajo es: Incandescente OR
Vapor de mercurio (Blanco de lujo o color corregido) OR Halogeno
ros metálicos, acabado claro OR Sodio baja presión, acabado claro
OR Sodio alta presión, acabado claro
and El tipo de luminaria que se emplea es: Reflector prismático venti-
lado distribución media
and El color del techo de la zona de trabajo es Oscuro
and [Z6] > 0

THEN:

[CU] IS GIVEN THE VALUE [Z6]

RULE NUMBER: 19 (A-19)

IF:

La lámpara empleada en esta zona de trabajo es: Incandescente OR
Vapor de mercurio (Blanco de lujo o color corregido) OR Halogeno
ros metálicos, acabado claro OR Sodio baja presión, acabado claro

OR Sodio alta presión, acabado claro
and El tipo de luminaria que se emplea es: Reflector prismático ventila-
do distribución estrecha
and El color del techo de la zona de trabajo es Muy claro
and [Z7] > 0

THEN:

[CU] IS GIVEN THE VALUE [Z7]

RULE NUMBER: 20 (A-20)

IF:

La lámpara empleada en esta zona de trabajo es: Incandescente OR Vapor de mercurio (Blanco de lujo o color corregido) OR Halogenuros metálicos, acabado claro OR Sodio baja presión, acabado claro OR Sodio alta presión, acabado claro
and El tipo de luminaria que se emplea es: Reflector prismático ventila-
do distribución estrecha
and El color del techo de la zona de trabajo es Medio claro
and [Z8] > 0

THEN:

[CU] IS GIVEN THE VALUE [Z8]

RULE NUMBER: 21 (A-21)

IF:

La lámpara empleada en esta zona de trabajo es: Incandescente OR Vapor de mercurio (Blanco de lujo o color corregido) OR Halogenuros metálicos, acabado claro OR Sodio baja presión, acabado claro OR Sodio alta presión, acabado claro
and El tipo de luminaria que se emplea es: Reflector prismático ventila-
do distribución estrecha
and El color del techo de la zona de trabajo es Oscuro
and [Z9] > 0

THEN:

[CU] IS GIVEN THE VALUE [Z9]

RULE NUMBER: 22 (A-22)

IF:

La lámpara empleada en esta zona de trabajo es: Incandescente OR Vapor de mercurio (Blanco de lujo o color corregido) OR Halogenuros metálicos, acabado claro OR Sodio baja presión, acabado claro OR Sodio alta presión, acabado claro
and El tipo de luminaria que se emplea es: Reflector prismático ventila-
do distribución ancha
and El color del techo de la zona de trabajo es Muy claro
and [Z10] > 0

THEN:

[CU] IS GIVEN THE VALUE [Z10]

RULE NUMBER: 23 (A-23)

IF:

La lámpara empleada en esta zona de trabajo es: Incandescente OR Vapor de mercurio (Blanco de lujo o color corregido) OR Halogenuros metálicos, acabado claro OR Sodio baja presión, acabado claro OR Sodio alta presión, acabado claro

and El tipo de luminaria que se emplea es: Reflector prismático ventila-
do distribución ancha
and El color del techo de la zona de trabajo es Medio claro
and [Z11] > 0

THEN:

[CU] IS GIVEN THE VALUE [Z11]

RULE NUMBER: 24 (A-24)

IF:

La lámpara empleada en esta zona de trabajo es: Incandescente OR
Vapor de mercurio (Blanco de lujo o color corregido) OR Halogenu-
ros metálicos, acabado claro OR Sodio baja presión, acabado claro
OR Sodio alta presión, acabado claro
and El tipo de luminaria que se emplea es: Reflector prismático ventila-
do distribución ancha
and El color del techo de la zona de trabajo es Oscuro
and [Z12] > 0

THEN:

[CU] IS GIVEN THE VALUE [Z12]

RULE NUMBER: 25 (A-25)

IF:

La lámpara empleada en esta zona de trabajo es: Fluorescente luz
del día OR Fluorescente blanco frío
and El tipo de luminario empleado con estas lámparas es: A
and El color del techo de la zona de trabajo es Muy claro
and [W1] > 0

THEN:

[CU] IS GIVEN THE VALUE [W1]

RULE NUMBER: 26 (A-26)

IF:

La lámpara empleada en esta zona de trabajo es: Fluorescente luz
del día OR Fluorescente blanco frío
and El tipo de luminario empleado con estas lámparas es: A
and El color del techo de la zona de trabajo es Medio claro
and [W2] > 0

THEN:

[CU] IS GIVEN THE VALUE [W2]

RULE NUMBER: 27 (A-27)

IF:

La lámpara empleada en esta zona de trabajo es: Fluorescente luz
del día OR Fluorescente blanco frío
and El tipo de luminario empleado con estas lámparas es: A
and El color del techo de la zona de trabajo es Oscuro
and [W3] > 0

THEN:

[CU] IS GIVEN THE VALUE [W3]

RULE NUMBER: 28 (A-28)

IF:

La lámpara empleada en esta zona de trabajo es: Fluorescente luz del día OR Fluorescente blanco frío
and El tipo de luminario empleado con estas lámparas es: B
and El color del techo de la zona de trabajo es Muy claro
and [W4] > 0

THEN:

[CU] IS GIVEN THE VALUE [W4]

RULE NUMBER: 29 (A-29)

IF:

La lámpara empleada en esta zona de trabajo es: Fluorescente luz del día OR Fluorescente blanco frío
and El tipo de luminario empleado con estas lámparas es: B
and El color del techo de la zona de trabajo es Medio claro
and [W5] > 0

THEN:

[CU] IS GIVEN THE VALUE [W5]

RULE NUMBER: 30 (A-30)

IF:

La lámpara empleada en esta zona de trabajo es: Fluorescente luz del día OR Fluorescente blanco frío
and El tipo de luminario empleado con estas lámparas es: B
and El color del techo de la zona de trabajo es Oscuro
and [W6] > 0

THEN:

[CU] IS GIVEN THE VALUE [W6]

RULE NUMBER: 31 (A-31)

IF:

La lámpara empleada en esta zona de trabajo es: Fluorescente luz del día OR Fluorescente blanco frío
and El tipo de luminario empleado con estas lámparas es: C
and El color del techo de la zona de trabajo es Muy claro
and [W7] > 0

THEN:

[CU] IS GIVEN THE VALUE [W7]

RULE NUMBER: 32 (A-32)

IF:

La lámpara empleada en esta zona de trabajo es: Fluorescente luz del día OR Fluorescente blanco frío
and El tipo de luminario empleado con estas lámparas es: C
and El color del techo de la zona de trabajo es Medio claro
and [W8] > 0

THEN:

[CU] IS GIVEN THE VALUE [W8]

RULE NUMBER: 33 (A-33)

IF:

La lámpara empleada en esta zona de trabajo es: Fluorescente luz del día OR Fluorescente blanco frío

and El tipo de luminario empleado con estas lámparas es: C
and El color del techo de la zona de trabajo es Oscuro
and [W9] > 0

THEN:

[CU] IS GIVEN THE VALUE [W9]

RULE NUMBER: 34 (A-34)

IF:

La lámpara empleada en esta zona de trabajo es: Fluorescente luz
del día OR Fluorescente blanco frío
and El tipo de luminario empleado con estas lámparas es: D
and El color del techo de la zona de trabajo es Muy claro
and [W10] > 0

THEN:

[CU] IS GIVEN THE VALUE [W10]

RULE NUMBER: 35 (A-35)

IF:

La lámpara empleada en esta zona de trabajo es: Fluorescente luz
del día OR Fluorescente blanco frío
and El tipo de luminario empleado con estas lámparas es: D
and El color del techo de la zona de trabajo es Medio claro
and [W11] > 0

THEN:

[CU] IS GIVEN THE VALUE [W11]

RULE NUMBER: 36 (A-36)

IF:

La lámpara empleada en esta zona de trabajo es: Fluorescente luz
del día OR Fluorescente blanco frío
and El tipo de luminario empleado con estas lámparas es: D
and El color del techo de la zona de trabajo es Oscuro
and [W12] > 0

THEN:

[CU] IS GIVEN THE VALUE [W12]

RULE NUMBER: 37 (A-37)

IF:

La lámpara empleada en esta zona de trabajo es: Incandescente
and [Y2] > 0
and [P1] > 0
and [E1] > 0
and [D1] > 0

THEN:

[PL] IS GIVEN THE VALUE [P1]
and [RL] IS GIVEN THE VALUE [E1]
and [FD] IS GIVEN THE VALUE [D1]

RULE NUMBER: 38 (A-38)

IF:

La lámpara empleada en esta zona de trabajo es: Fluorescente luz
del día
and [Y3] > 0

THEN:

and [PL] IS GIVEN THE VALUE [P2]
and [RL] IS GIVEN THE VALUE [E2]
and [FD] IS GIVEN THE VALUE [D2]

RULE NUMBER: 39 (A-39)

IF:

La lámpara empleada en esta zona de trabajo es: Fluorescente blanco frío

and [Y4] > 0
and [D3] > 0

THEN:

[PL] IS GIVEN THE VALUE [P3]
and [RL] IS GIVEN THE VALUE [E3]
and [FD] IS GIVEN THE VALUE [D3]

RULE NUMBER: 40 (A-40)

IF:

La lámpara empleada en esta zona de trabajo es: Vapor de mercurio (Blanco de lujo o color corregido)

and [Y5] > 0
and [P4] > 0

THEN:

[PL] IS GIVEN THE VALUE [P4]
and [RL] IS GIVEN THE VALUE [E4]
and [FD] IS GIVEN THE VALUE [D4]

RULE NUMBER: 41 (A-41)

IF:

La lámpara empleada en esta zona de trabajo es: Halogenuros metálicos acabado claro

and [Y6] > 0
and [P5] > 0

THEN:

[PL] IS GIVEN THE VALUE [P5]
and [RL] IS GIVEN THE VALUE [E5]
and [FD] IS GIVEN THE VALUE [D5]

RULE NUMBER: 42 (A-42)

IF:

La lámpara empleada en esta zona de trabajo es: Sodio baja presión, acabado claro

and [Y7] > 0
and [P6] > 0

THEN:

[PL] IS GIVEN THE VALUE [P6]
and [RL] IS GIVEN THE VALUE [E6]
and [FD] IS GIVEN THE VALUE [D6]

RULE NUMBER: 43 (A-43)

IF: La lámpara empleada en esta zona de trabajo es: Sodio alta presión,
acabado claro
and [Y8] > 0
and [P7] > 0

THEN:
[PL] IS GIVEN THE VALUE [P7]
and [RL] IS GIVEN THE VALUE [E7]
and [FD] IS GIVEN THE VALUE [D7]

RULE NUMBER: 44

IF: La lámpara empleada en esta zona de trabajo es: Incandescente OR
Fluorescente luz del día OR Fluorescente blanco frío OR Vapor de
mercurio (Blanco de lujo o color corregido) OR Halogenuros
metálicos, acabado claro OR Sodio baja presión, acabado claro OR
Sodio alta presión, acabado claro
and [Y9] > 0
and [S] > 0

THEN:
[FS] IS GIVEN THE VALUE [S]

RULE NUMBER: 45 (A-45)

IF: La zona de trabajo ¿Tiene acceso a luz natural? NO

THEN:
[NIAT] IS GIVEN THE VALUE INT((NL)*[PL]*[RL]*[CU]*[FD]*[FS]/([L]*
[A]))

NOTA: Se presentan un grupo de reglas de producción que permiten
asignar niveles de iluminación recomendados por tipo de tarea, y
calcular los niveles de iluminación actuales. SEILUM, esta
conformado de alrededor 200 reglas de producción, 20 bases de
datos, y diversas archivos gráficos e hipertextos.