

**UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA**  
**Facultad de Ciencias y Humanidades**  
**Departamento de Ingeniería Industrial**



**MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE ILUMINACION**  
**EN UNA INDUSTRIA DE CONFECCION TEXTIL**

**HORACIO ENRIQUE ALDAY VELASQUEZ**

Trabajo de graduación presentado para optar  
al grado académico de

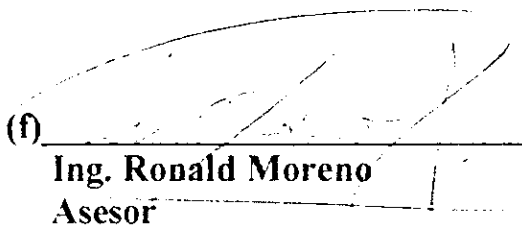
**Licenciado en Ingeniería Industrial**

Guatemala, 1999

**MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE ILUMINACION EN  
UNA INDUSTRIA DE CONFECCION TEXTIL**

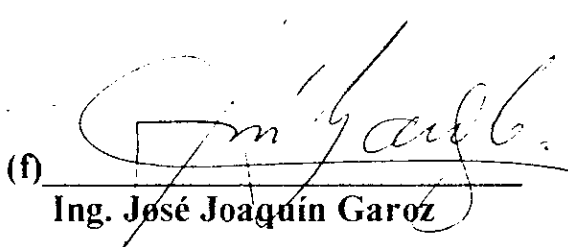
Vo. Bo.:

(f)

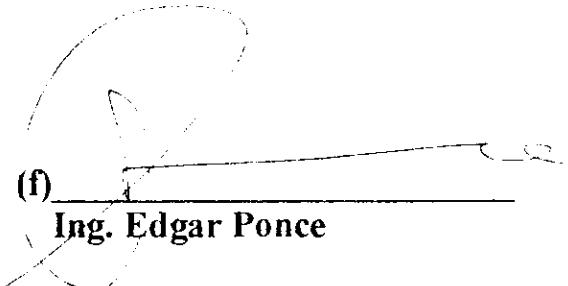
  
Ing. Ronald Moreno  
Asesor

Tribunal:

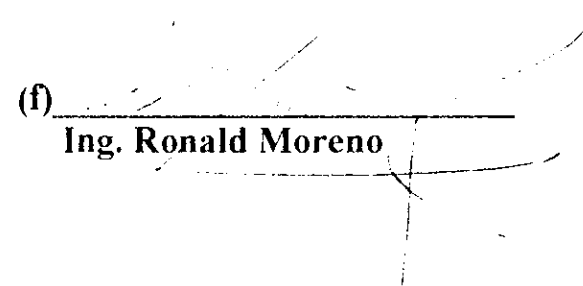
(f)

  
Ing. José Joaquín Garoz

(f)

  
Ing. Edgar Ponce

(f)

  
Ing. Ronald Moreno

Fecha de aprobación: 23 de marzo de 1999

**A mis padres y hermanos**

	Página
I. Introducción	1
II. Objetivos	3
III. ANTECEDENTES	4
A. Condiciones de trabajo	4
1. El ambiente visual	4
2. Control de ruido	4
3. Vibraciones	7
4. Condiciones térmicas	8
5. Condiciones atmosféricas	11
6. La salud y seguridad visual	11
B. Luz e iluminación	13
1. Cantidad de iluminación	14
2. Ergonomía visual	15
C. Fuentes de Luz	16
1. Lámparas incandescentes	17
2. Lámparas fluorescentes	18
a) Lámparas fluorescentes compactas	20
3. Lámparas de descarga de alta-intensidad (HID)	20
a) Lámparas de mercurio	21
b) Lámparas de aditivo metálico	22
c) Lámparas de sodio de alta presión	25
D. Calidad de luz	28
1. Color	28
2. Brillantez	29
E. Ambiente físico	29
1. Temperatura ambiente	30
2. Reflectancia	30
3. Cavidad zonal	31
F. Ambiente eléctrico	32
1. Variaciones de voltaje	32
2. Harmónicos	33
G. Luminarias	33
1. Características de la luminaria	33
2. Consideraciones ambientales	34
3. Consideraciones eléctricas	34

4. Consideraciones mecánicas	34
5. Estándares	34
H. Diseño e instalación	35
1. Factores para un buen sistema de iluminación	35
a) Nivel lumínico adecuado	35
b) Uniformidad	43
c) Ausencia de deslumbramiento	44
d) Graduación de sombras	44
e) Color de la luz	44
2. Métodos de diseño	44
a) Método de cavidad zonal	45
IV. METODOLOGIA	49
A. Análisis de la Industria	49
1. Areas de trabajo	49
2. Proceso de producción	50
3. Niveles de Iluminación	53
4. Selección del luminario	54
B. Cálculos	55
1. El programa ALADAN	55
2. Entrada de datos	58
C. Resultados	59
1. Sistema ideal	60
V. RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES	62
A. Recomendaciones	62
B. Conclusiones	63
VI. GLOSARIO	64
VII. BIBLIOGRAFIA	67
VIII. ANEXOS	68
A. Datos fotométricos y dimensiones de la luminaria	69
B. Hoja de resultados del programa ALADAN	72

# I. INTRODUCCION

Actualmente, las empresas que desean crecer y aumentar su rentabilidad ( o utilidades) deben aumentar su productividad. Aumentar la productividad es aumentar el volumen de producción por unidad de tiempo. La herramienta que permite alcanzar este objetivo es el estudio de métodos, tiempos, movimientos y un sistema de pago de salarios.

El departamento de producción en una industria puede considerarse como el motor de la misma. Es aquí donde se define cómo se realiza la producción, cuándo y dónde se lleva a cabo y cuánto tiempo se emplea en hacerla. De la misma forma en que el area de producción se considera como el motor de la industria, el estudio de métodos, tiempos, movimientos y pago de salarios se consideran el motor del departamento de producción. Estas actividades representan un gran reto, pero las empresas que las desarrollan estarán mejor preparadas para competir en el mercado y lograr utilidades.

Los ingenieros de métodos deben diseñar las estaciones de trabajo donde se fabricará el producto. Posteriormente, deben estudiar las estaciones para encontrar la mejor manera de elaborar el producto. El análisis de la operación es un procedimiento empleado para estudiar todos los elementos productivos y no productivos de una operación en vistas a su mejoramiento. Este procedimiento es tan efectivo en la planeación de nuevos centros de trabajo como en el mejoramiento de los existentes. Se puede proyectar un centro de trabajo más eficiente a partir de la formulación de preguntas acerca de todos los aspectos operacionales en un area de trabajo, otras estaciones dependientes y del diseño del producto. Todo esto con la idea de aumentar la productividad y reducir los costos manteniendo o mejorando la calidad del producto.

Es responsabilidad del analista de métodos el que haya condiciones de trabajo apropiadas, seguras y cómodas para el trabajador. Las condiciones de trabajo ideales permiten obtener un mayor rendimiento de los trabajadores. Algunas consideraciones para lograr mejores condiciones de trabajo son: 1. Mejoramiento del alumbrado. 2. Control de temperatura. 3. Ventilación adecuada. 4. Control de ruido. 5. Orden y limpieza. 6. Eliminación de elementos irritantes y nocivos como polvo, gases, humo y vapores. 7. Uso de equipo de protección personal. 8. Programa de primeros auxilios.

La iluminación es un factor importante dentro del ambiente físico de trabajo. El ambiente visual tendrá un impacto sobre el desempeño del operario y del supervisor, así como sobre la confiabilidad del proceso y la calidad del producto. Para realizar una actividad eficiente es necesario tener la visión adecuada. No basta tener cantidad de luz, sino que se debe tener luz de calidad. La calidad de la luz se refiere a la capacidad de eliminar el brillo directo o indirecto que se ve reflejado a los ojos. No todas las tareas necesitan el mismo nivel de iluminación, se debe estudiar la operación de cada una de ellas para determinar el nivel apropiado. Así como existen distintos niveles de iluminación para distintas tareas, también existen distintos tipos de fuentes de luz para cada tarea. La variación de un tipo a otro se basa en su eficacia, costo, y vida útil.

Para determinar el nivel de iluminación adecuado y el tipo de luz que se requiere es necesario realizar un estudio de iluminación. La fuente de luz se selecciona a partir de conocer el nivel de iluminación adecuada para la actividad. Por último se calcula el acomodo de las lámparas y se diseñan los luminarios.

En este trabajo se realizará un estudio de iluminación en una empresa de confección textil con el objetivo de mejorar el método actual y de esta forma mejorar las condiciones de trabajo y la productividad. Las áreas que se analizarán son las de corte y azorado<sup>1</sup>, producción, control de calidad y empaque.

Las empresas guatemaltecas están en necesidad de mejorar sus sistemas de producción. Las condiciones de trabajo son un punto importante al que se le debe prestar mucha atención, tanto para mejorarlas como para asegurarse de que se mantengan. Este trabajo tiene la intención de colaborar con una empresa nacional en su esfuerzo por mejorar las condiciones de trabajo de su planta con el objetivo de seguir en la línea competitiva en el marco de la producción.

---

<sup>1</sup> El azorado consiste en identificar las piezas que formarán cada prenda para que las prendas lleven el mismo tono de tela y las piezas correctas.

## **II. OBJETIVOS**

- Poner en practica conocimientos teóricos de la Ingeniería Industrial.
- Estudiar el ambiente de trabajo de la industria elegida.
- Proveer el ambiente visual correcto como parte de las condiciones de trabajo.
- Determinar el tipo de luz apropiada, su ubicación y costos.
- Mejorar el método actual de iluminación.

### **III. ANTECEDENTES**

#### **A. Condiciones de trabajo**

Para Niebel<sup>1</sup>, los factores ambientales que influyen principalmente en la productividad del personal laborante y en la confiabilidad del proceso comprenden el ambiente visual, control de ruido, vibraciones, condiciones térmicas y condiciones atmosféricas. Además de proveer un ambiente agradable de trabajo, es necesario mantener un ambiente seguro.

##### **1. El ambiente visual**

Para realizar eficientemente toda labor o tarea, ya sea industrial, de oficina, de negocios, de servicios o profesional, es necesario tener la visión adecuada. El alumbrado eficaz es necesario tanto para una persona que trabaja en un escritorio como para un operario que realiza trabajos de torno.

Los criterios que se aplican principalmente en el ambiente visual son el nivel de iluminación, el contraste y el brillo.

##### **2. Control de ruido**

El ruido es todo sonido no deseado. El sonido se puede transmitir a través del aire, líquidos y cuerpos sólidos. Así que el ruido puede ser transmitido a través de las estructuras de las máquinas y herramientas.

El sonido se puede definir en función de la frecuencia, que determina su tono y calidad, y de la amplitud de las ondas, que determina su intensidad. Las frecuencias audibles por el oído humano varían desde aproximadamente 20 hasta 20,000 ciclos por segundo. La unidad "ciclo por segundo" se denomina hertz (Hz). La intensidad del sonido se puede medir por medio de un medidor de nivel de sonido o decibelímetro, que expresa la intensidad en decibeles (dB). Cuanto

---

<sup>1</sup> Niebel, B. 1993. Ingeniería Industrial. México, DF. 9ª Edición.  
Alfaomega grupo editor, S.A. de C.V.

mayor sea la amplitud de las ondas sonoras, tanto mayor será la presión de sonido que se registra en la escala de decibeles.

El nivel de sonido con ponderación A, es la medida más ampliamente aceptada del ruido ambiental. La ponderación A reconoce que desde los puntos de vista psicológico y fisiológico, las frecuencias bajas (50-500 Hz) son menos molestas y nocivas que los sonidos en el intervalo de frecuencias crítico de 1,000 a 4,000 Hz. Con frecuencias superiores a 10,000 Hz, la agudeza auditiva decae nuevamente.

Se dispone de circuitos electrónicos apropiados en los medidores de nivel de sonido para atenuar las frecuencias altas y bajas, de modo que el aparato pueda indicar lecturas en unidades dB A directamente en correspondencia con el efecto sobre el oído humano de tipo medio.

Las probabilidades de daño al oído que resultaría en sordera "conductiva", aumentan a medida que la frecuencia tiende hacia el intervalo de 2,400 a 4,800 Hz. Esta pérdida de audición es resultado de una pérdida en la flexibilidad mecánica en el oído medio, de modo que deje de transmitir adecuadamente las ondas sonoras al oído interno. También, a medida que aumenta el tiempo de exposición, especialmente donde intervienen intensidades elevadas, finalmente se producirá una afección en el oído. La sordera nerviosa es resultado de daños en el oído interno o en el propio nervio auditivo. La sordera conductiva y la sordera nerviosa son las más comunes, debido a excesos de exposición al ruido, y una de sus causas es el ruido ocupacional o del trabajo. La susceptibilidad personal a la sordera inducida por ruido varía ampliamente.

En general se puede clasificar el ruido en dos modos: como ruido de banda amplia y como ruido de significativo. El ruido de banda amplia abarca frecuencias que cubren una gran parte del espectro de sonidos. Este tipo de ruido puede ser continuo e intermitente. El ruido significativo es información distractiva que tendrá influencia en la eficiencia de un trabajador.

En situaciones de largo plazo el ruido confuso puede ocasionar sordera, y en operaciones de día a día afecta a la eficiencia del trabajador y no permite una comunicación efectiva.

El ruido de banda amplia continuo es típico de industrias como la industria textil, y de talleres como los de los tornos automáticos, donde el nivel de ruido no se desvía significativamente de un cierto valor durante todo el día de trabajo. El ruido de banda amplia intermitente es característico de un taller de forja de martinete y de un aserradero. Cuando una persona se expone a ruido que excede el nivel crítico de daño, el efecto inicial probablemente será una pérdida de oído temporal, de la cual se recuperará por completo unas pocas horas después de

salir de ese ambiente de trabajo. Si continua la exposición repetida por largo tiempo, entonces resultaría un daño irreversible en el sentido del oído. Los efectos del ruido excesivo dependen de la energía acústica total que reciba el oído durante el periodo de trabajo. Por tanto, reduciendo el tiempo de exposición al ruido excesivo durante el turno de trabajo, será posible disminuir la probabilidad de una alteración auditiva permanente.

Los ruidos de banda amplia y significativos han demostrado ser lo bastante perturbadores y molestos, para ser causa de bajas de productividad y de incrementos en la fatiga ocupacional.

Exposiciones permisibles al ruido

Duración por día (hrs)	Nivel de sonido (dB A)
16	80
8	85
4	90
2	95
1	100
1/2	105
1/4	110
1/8	115

Fuente: Federal Register. Vol. 34 . No. 36

El control del nivel de ruido se puede lograr de tres maneras. La mejor, y generalmente la más difícil, es reducir el nivel de ruido en su origen. Sería muy difícil modificar equipos como martillos neumáticos, prensas de forja de vapor, martinets y máquinas para labrado de madera, de modo que la eficiencia del equipo no se altere y el nivel de ruido quede dentro de un intervalo tolerable. Sin embargo, en algunos casos es posible utilizar equipos de operación más silenciosa en vez de aparatos que operan a un nivel de ruido elevado. Por ejemplo, una remachadora hidráulica podría sustituir a una remachadora neumática, una máquina impulsada eléctricamente podría reemplazar a una operada con vapor y un barril con revestimiento de elastómero podría sustituir a uno no revestido.

Si el ruido no se puede controlar en su origen, entonces se debe investigar la posibilidad de aislar acusticamente el equipo responsable del ruido. El que proviene de una máquina se puede controlar encerrando toda o una gran parte de la instalación de trabajo en un recinto aislado. Esto

se ha realizado con frecuencia en relación con prensas mecánicas provistas de alimentación automática. El ruido ambiente se puede reducir a menudo al aislar de la estructura la fuente de ruido, eliminando por consiguiente el efecto de resonancia. Esto si se logra montar el equipo ruidoso sobre un elastómero del tipo de corte o cizalleo, ya que amortigua así la propagación del ruido.

Si el ruido no se puede reducir en su origen y si la fuente de ruidos no se puede aislar acústicamente, entonces podrá emplearse la absorción acústica con ventaja. El objeto de instalar materiales acústicos en paredes, techos interiores y pisos es reducir la reverberación.

Finalmente, el personal en el área puede portar equipo de protección personal. Este equipo comprende diversos tipos de tapones para oído, algunos de los cuales son capaces de atenuar ruidos en todas las frecuencias hasta niveles de presión de sonido de 110 dB o mayores. También es posible emplear orejeras que atenuarán ruidos hasta 125 dB arriba de 600 Hz, y hasta 115 dB debajo de esta frecuencia.

### **3. Vibraciones**

La vibración puede causar efectos nocivos en el comportamiento humano. Las vibraciones de alta amplitud y la frecuencia baja tienen efectos especialmente perjudiciales sobre los órganos y los tejidos del cuerpo. Los parámetros de la vibración son: frecuencia, amplitud, velocidad, aceleración y rapidez de aceleración.

El desplazamiento y la aceleración máxima son los parámetros principales utilizados para caracterizar la intensidad de una vibración. Existen tres clases de exposición a la vibración:

1. Casos en que resultan afectadas toda o una gran parte de la superficie del cuerpo; por ejemplo, cuando un sonido de alta intensidad en el aire o en el agua induce la vibración.
2. Casos en los que las vibraciones se transmiten al cuerpo a través de un área de soporte; por ejemplo, a través de los pies del individuo puesto de pie sobre una instalación de sacudimiento o trepidación en una fundidora.
3. Por último, casos en que se aplican vibraciones a un área localizada del cuerpo, por ejemplo, la mano, cuando se maneja una herramienta mecanizada.

De estas tres clases, la segunda es la de mayor interés al analista de métodos. Esta categoría tiene los efectos más intensos sobre eficiencia en el trabajo y sobre la salud, la seguridad y el bienestar de la fuerza laborante.

Las investigaciones en este campo han señalado que los intervalos de frecuencias más sensibles son de 4 Hz (1/seg) a 8 Hz para vibración vertical, y de menos de 2 Hz para vibración horizontal. Diversas partes del cuerpo resuenan a determinadas frecuencias ya que causan perturbaciones. Debe reconocerse también que la tolerancia humana a la vibración disminuye a medida que aumenta el tiempo de exposición. Por consiguiente, el nivel de aceleración tolerable aumenta cuando decrece el tiempo de exposición. Las vibraciones de alta amplitud y baja frecuencia son la causa principal del mareo o trastorno que algunas personas experimentan en viaje por mar o por aire. Los trabajadores sufren de fatiga mucho más rápidamente cuando se exponen a vibraciones en el intervalo de 1 a 250 Hz. Los primeros síntomas de fatiga por vibración son dolor de cabeza, disminución del apetito y pérdida del interés. Las vibraciones experimentadas en este intervalo a menudo son características de las actividades de transporte en camiones. Las vibraciones verticales que se presentan en muchos tipos de camión provistos de ruedas con llantas de caucho, al recorrer a velocidades típicas por caminos ordinarios, varían desde 3 Hz hasta aproximadamente 7 Hz.

La protección contra las vibraciones se puede lograr de varias maneras. Las fuerzas aplicadas responsables de iniciar una vibración pueden ser reducidas. Es factible alterar la posición del cuerpo de modo que dé por resultado una atenuación de las fuerzas vibratorias perturbantes. Finalmente, es posible emplear soportes acolchonados que sostengan el cuerpo y amortiguadores hidráulicos, resortes helicoidales o de hojas, montaduras de caucho o hule del tipo de cizalleo (corte de metal), o bien, barras de torsión.

#### **4. Condiciones térmicas**

Aunque un ser humano es capaz de funcionar dentro de un intervalo amplio de condiciones térmicas, su comportamiento se modificará notablemente si queda sometido a temperaturas que varían respecto de las consideradas "normales". Cuando el analista considera la temperatura en el ambiente de trabajo debe estar consciente de que la temperatura ambiente es la temperatura experimentada por una persona en un ambiente dado. Esta temperatura es el resultado del

intercambio de calor a través de herramientas, pisos, paredes o radiación solar. También debe considerar que la temperatura efectiva es un índice determinado experimentalmente. El intervalo normal es desde 18.3°C hasta 22.8°C, con una humedad relativa de 20 a 60%.

El intervalo de la temperatura efectiva también ha sido denominado “zona termal confortable”. Se recomiendan aquí temperaturas de 18.8°C y 22.9°C “como los límites externos para la regulación termostática en áreas donde se realiza trabajo sedentario o ligero”. Por supuesto, la carga de trabajo, la ropa portada por el trabajador y la carga de calor radiante afectan la sensación de comodidad del individuo dentro del intervalo normal de temperatura efectiva o de la zona de comodidad térmica.

Por último, el analista debe considerar la temperatura operativa como la temperatura del cuerpo de un trabajador. Se determina por los efectos acumulativos de todas las fuentes y receptores de calor.

Si el ambiente es del tipo de calor seco, donde la fuente principal de calor es radiadora, entonces el problema es fundamentalmente de ganancia de calor, y se resuelve reduciendo la carga térmica. Si el ambiente es de calor húmedo, el problema depende de la pérdida de calor, y su mejor solución es por ventilación y deshumidificación del aire ambiente.

Para estimar el tiempo que una persona puede estar expuesta a un cierto ambiente de calor, es necesario estimar o medir la carga de calor. Las mediciones se pueden realizar sobre el ambiente y la persona. Cuando se toman mediciones en la persona se utilizan una o más de tres características, que son: pulso o ritmo cardíaco, consumo de oxígeno y temperatura del cuerpo.

El ritmo cardíaco aumentará además por la presencia del calor mientras se realiza un trabajo particular. Una regla general que el analista puede utilizar es que la carga de calor no debe causar un incremento en el pulso de más de 15 latidos por minuto. Otro valor de referencia es que la combinación de la carga de trabajo y la carga ambiental no debe causar un aumento en el ritmo cardíaco de más de 45 latidos por minuto sobre el pulso normal en reposo. La relación normal entre el ritmo cardíaco y el consumo de oxígeno no se mantendrá cuando se efectúa trabajo en presencia de un exceso de calor, y esta variación se puede utilizar como estimación de la carga térmica.

La temperatura del cuerpo que en condiciones normales es de aproximadamente 37°C, no debe permitirse que se eleve a 38°C. Si la temperatura del cuerpo subiera hasta este nivel, resultaría un colapso físico del trabajador.

Las variables que afectan el ambiente y que interesa medir son la llamada temperatura de bulbo seco, la humedad, la velocidad de aire y la radiación térmica de los alrededores inmediatos.

Las temperaturas de bulbo seco generalmente se miden con un termómetro ordinario de líquido en vidrio. El instrumento más comúnmente utilizado para determinar la humedad del aire es probablemente el psicrómetro de honda o de cadena.

Muchas actividades industriales implican la exposición a un calor intenso contra el cual necesita protección el trabajador. Ejemplos típicos son: la forja en caliente de grandes piezas, la atención de un horno para la producción de vidrio o acero. En el caso de obreros que intervienen en algunas de estas actividades, un recinto con aire acondicionado y provisto de ventanas apropiadas proporcionará protección y permitirá que se trabaje eficazmente. Por ejemplo, operadores de grúas elevadas, equipo mecánico y otros, pueden ser alojados en tales cubículos con aire acondicionado.

Si un operario necesita estar excepcionalmente cerca de una fuente de calor radiante, será indispensable que use equipo de protección personal. Se dispone ahora de trajes con aire acondicionado. Este tipo de indumentaria generalmente está aluminizada por la parte exterior para mayor protección. La tela es ligera y proporciona una envolvente de aire fresco circulante. En condiciones de exposición al calor menos severas, serán de utilidad guantes, vestuario protector y una careta.

Actualmente, son pocas las actividades industriales en las cuales los trabajadores operan expuestos a ambientes fríos. Las ocupaciones principales que dan lugar a tal exposición son trabajos en instalaciones frigoríficas y bodegas refrigeradas, como las que se usan para carnes y otros alimentos. La actuación declina cuando se abate la temperatura. Para que un operario conserve el equilibrio térmico en condiciones de temperatura baja, debe haber una relación estrecha entre la actividad física del operario (generación de calor) y el aislamiento térmico del cuerpo, proporcionado por la indumentaria de protección.

## **5. Condiciones atmosféricas**

Las condiciones atmosféricas pueden representar un peligro de salud o de seguridad. Los factores principales que se deben tomar en cuenta al estudiar la atmósfera es que: el aire puede tener muy poco oxígeno, y que el aire puede ser inflamable o tóxico. En las pruebas de atmósfera se verifica que el contenido de oxígeno esté entre el 19.5% y el 23.5%. El nivel de concentración de gases inflamables, que no debe superar el 10% del límite inferior de inflamabilidad. Que la presencia de polvo combustible en el aire no iguale o exceda el límite inferior de inflamabilidad. A los trabajadores que realizan trabajos bajo condiciones riesgosas se les debe proveer con el equipo apropiado de protección personal, que puede ser cascos, caretas y trajes de protección.

## **6. La salud y seguridad visual**

La visión es el sentido más valioso. Los ojos están diariamente en constante uso cada minuto que estamos despiertos. La manera en que se utilizan los ojos puede determinar el nivel de calidad del trabajo. Más del 80% del aprendizaje se realiza a través de la vista, lo cual indica el papel tan importante que los ojos juegan en las actividades cotidianas. El trastorno visual constituye un enemigo oculto que solamente aparece luego de un continuado período de esfuerzo.

El ojo humano no había experimentado esencialmente ningún cambio por más de 40,000 años dentro de la evolución. Sin embargo, en los últimos 100 años, se han alterado las tareas visuales de aquellas que requerían predominantemente trabajos a distancia a aquellas que requieren estar más cerca de nuestras tareas. Hoy en día, la cantidad de tiempo que se destina a trabajos de ambientes cerrados es desproporcionada. La adaptación a este cambio por parte de los ojos produce miopía. La miopía es un defecto óptico que se caracteriza por la cortedad de la vista.

Estos cambios indeseables pueden ser prevenidos o revertidos con una educación apropiada en relación a la función del sistema visual, y con simples ejercicios. Sin embargo, si no se interviene, la visión continuará degradándose y cada vez más aumentará la dependencia de lentes correctivos en la realización de actividades diarias. Los factores que afectan la visión son el nivel de iluminación, la posición del ojo y el brillo.

Algunas veces, tomar ciertas precauciones y/o utilizar lentes apropiados no es suficiente. Si el sistema visual de un empleado es incapaz de hacer los ajustes necesarios para realizar un trabajo efectivo, dicho empleado podría probablemente beneficiarse de una terapia visual.

La terapia de la visión es un programa que ofrecen optometristas para enseñar a la gente cómo utilizar sus ojos correctamente y con menor esfuerzo. Esto se realiza con el uso de un programa integrado de técnicas y procedimientos que ayuda a la persona a mejorar todos los aspectos de su visión, incluyendo la coordinación general, balance, coordinación entre manos y ojos, movimientos oculares, trabajo en conjunto de los dos ojos, y eficiencia en el enfoque. Esto se aplica en pacientes de todas las edades y para cualquier número de situaciones diferentes.

Hay muchas cosas que los mismos empleados pueden hacer para reducir el esfuerzo visual que sienten cuando trabajan, el concepto Parpadee, Respire y Descanse (PRD) es un modelo que les puede ser útil.

**Parpadee:** El parpadeo constituye una función automática. Este resulta también ser el reflejo más rápido del cuerpo. Se parpadea regularmente a una velocidad de 12 a 15 veces por minuto en situaciones normales. Lamentablemente, hasta ahora todavía no se ha tratado de definir lo que constituye una situación normal. Se parpadea más a menudo cuando se está excitado, estimulado, ansioso, hablando y haciendo actividades físicas en general.

Se parpadea con mucho menor frecuencia cuando se está en calma, lo cual incluye cuando se está leyendo, pensando y concentrándose en algo específico. Esta clase de mirada fija puede inducir a los ojos a realizar un mayor esfuerzo. El parpadeo permite que los ojos tomen un descanso por un corto tiempo, y además limpia y humedece la superficie ocular para mantener una visión clara. Ya que el parpadeo es automático, es posible que inicialmente se necesite de cierta concentración para lograr una tasa de parpadeo normal cuando se realiza una tarea. El sólo hecho de que los trabajadores tomen en cuenta esta condición, hará que su parpadeo se realice de una manera normal.

**Respire:** La respiración es la vida. La totalidad de nuestro cuerpo está gobernada por el intercambio del oxígeno y el dióxido de carbono de nuestro proceso de respiración. Al entrar en una situación de esfuerzo dentro de las actividades, se tiende a contener la respiración para “sobreponerse” a la situación. Esto se debe a que ese período de inactividad respiratoria controla la actividad de nuestros músculos. Si se contiene la respiración se puede contumecer ciertos

músculos en lugares que ni siquiera son conocidos. La respiración correcta, es decir uniforme y estable, puede también ayudar a que los músculos del ojo se relajen.

**Descanse:** Con el intenso nivel de concentración que se adquiere al trabajar, no debe ser sorpresa la necesidad de un mayor número de períodos de descanso. El micro-descanso es de solamente 10 segundos y debe ser tomado aproximadamente cada 10 minutos. El trabajador debe mirar a una distancia lejana y respirar y parpadear tranquilamente. La persona deberá mantener sus ojos en movimiento mientras mira objetos que se encuentren a distancias diferentes. Esto no debe interferir con su trabajo ni con su concentración. El mini-descanso debe ser tomado por el trabajador cada media hora y su duración será de 5 minutos. Primero, el trabajador deberá ponerse de pie y estirarse. Luego se deben realizar ejercicios para que los músculos oculares se relajen y puedan ser usados en diferentes situaciones de observación. El maxi-descanso puede ser un descanso para un café o el almuerzo. El maxi-descanso es un tipo de descanso que permite que la persona se levante y se mueva permitiendo que la sangre fluya sin restricciones nuevamente y le provea una renovación de energías. Este descanso debe ser tomado cada pocas horas.

El tipo de descanso dependerá de las características de la tarea porque no todas las tareas pueden permitirse descansos cada 10 o 30 minutos. Aunque sí es importante tomar en cuenta el 3er tipo que puede realizarse durante las horas de refacción o almuerzo.

## **B. Luz e iluminación**

Según el Manual de Iluminación Holophane<sup>3</sup>, la luz se puede definir como la causa y la iluminación como el efecto de la luz en las superficies sobre las cuales incide. La luz es una manifestación de la energía en forma de radiaciones electromagnéticas, capaz de afectar o estimular la visión.

---

<sup>3</sup> Manual de iluminación. Holophane S.A. de C.V.

## 1. Cantidad de iluminación

La cantidad de iluminación se define como la cantidad de luz que producirá brillantez sobre la tarea visual y sus alrededores. La cantidad de luz que se necesita para realizar un trabajo satisfactorio es afectada por varios factores independientes, entre ellos sobresalen:

**Tamaño.** Cuanto más grande sea un objeto en términos de ángulo visual más rápidamente podrá verse. La persona que trae cerca de sus ojos un objeto pequeño para verlo más claramente, está inconscientemente usando el factor tamaño para incrementar el ángulo visual.

**Reflexividad.** La reflexividad de un objeto depende de la intensidad de la luz incidiendo sobre él y la proporción en la cual la luz es reflejada hacia el órgano visual. La relación entre reflexividad, luminancia e iluminación es como sigue:

$$R = \frac{B}{E} \times 100$$

donde:

R = % de reflexividad

B = Luminancia ( cantidad de luz reflejada por el objeto en lúmenes por centímetro cuadrado).

E = Iluminación ( cantidad de luz incidente sobre el objeto en lúmenes por centímetro cuadrado).

**Contraste.** Es tan importante como el nivel de brillantez general, es el contraste de brillantez o color entre el objeto y su inmediato alrededor. Los niveles altos de iluminación compensan en parte los bajos contrastes en brillantez y son de gran asistencia donde no se puede tener condiciones de alto contraste. Los colores tienen también una influencia significativa sobre el contraste.

El contraste entre el objeto que se ve y el medio circundante inmediato, se puede considerar en función de diferencias de brillo y como porcentaje de una intensidad. El contraste se expresa entonces como:

$$C = \frac{B_L - B_D}{B_L \times 100}$$

donde:

C = contraste en tanto por ciento (%)

B<sub>L</sub> = luminancia o brillo de la superficie más luminosa (expresado en lamberts)

B<sub>D</sub> = luminancia o brillo de la superficie menos luminosa (expresado en lamberts)

**Tiempo.** La visión no es un proceso instantáneo sino que requiere tiempo. El ojo puede ver detalles muy pequeños si se le da el tiempo suficiente para que se realice el proceso visual.

Al hacer un análisis del método, se tiene cierto control sobre todos estos factores, excepto sobre el tamaño del objeto. Aún se puede tener cierto control sobre el tamaño si se planea la operación, de modo que la pieza a trabajar se exponga en su posición más ventajosa desde el punto de vista de la percepción visual del operario. Al aumentarse el nivel de iluminación aumenta la capacidad visual y aumenta al mismo tiempo la velocidad de percepción.

## 2. Ergonomía visual

La ergonomía reconoce que cada persona difiere en tamaño forma, resistencia, actitudes y habilidades sensoriales y mentales. Debido a estas diferencias, el trabajo y el entorno en que se trabaja deben ser diseñados de tal manera que los empleados puedan desempeñarse dentro de sus capacidades. Las capacidades humanas se derivan de:

- La psicología, la cual incluye la percepción, reconocimiento, carga de trabajo mental, aprendizaje y motivación.

- La antropometría, la cual define la distribución de los tamaños y formas del cuerpo humano.
- La biomecánica, la cual estima tensiones estáticas en los componentes del cuerpo bajo diferentes cargas.
- La fisiología, la cual ayuda a explicar las demandas físicas de las actividades de trabajo.

La ergonomía incorpora un entendimiento de las capacidades humanas y puede ser utilizada para diseñar equipos y contornos de trabajo que mejoren la eficiencia, alivien la tensión física y reduzcan el potencial de lesiones. Para optimizar la interrelación entre los equipos y los seres humanos, los empleados que utilizan los equipos deben comprender los principios de la ergonomía. Por lo tanto el entrenamiento es integral.

Los trabajadores están expuestos a medios estresantes cuyas fuentes son los equipos, ambiente visual y acústico, y el aire que circula en el entorno de trabajo. Los medios estresantes pueden ser derivados de una o de varias combinaciones de estas entidades.

La iluminación debe proveer un ambiente visual seguro, cómodo y eficiente. Una iluminación inadecuada puede conducir a la monotonía, incomodidad visual y fatiga. Indirectamente, puede producir un forzamiento de la vista, dolores de cabeza, y fatiga general de los músculos. Una consideración adicional es que las fuentes de luz generan calor, el cual puede influenciar ligeramente la temperatura ambiental en el contorno del trabajo.

## **C. Fuentes de Luz**

Según el Manual de Iluminación de Holophane<sup>4</sup>, existen dos tipos de fuentes luminosas: las fuentes naturales y las artificiales. Las fuentes naturales incluyen el sol, las estrellas, etc y las fuentes artificiales incluyen las lámparas de descarga. La selección de fuentes de luz implica la evaluación de la lámpara, balastro y luminarios que mejor se ajusten a cumplir el objetivo de iluminación, costo inicial y de operación, mantenimiento, estética y restricciones de espacio físico. Existen tres tipos de lámpara adquiribles que son las incandescentes, fluorescentes y las de

---

<sup>4</sup> Manual de iluminación. Holophane S.A. de C.V.

descarga de alta intensidad (HID), también conocidas como de mercurio y sodio. Las lámparas fluorescentes y las HID requieren de un balastro para controlar el voltaje y la corriente aplicada a la lámpara.

## **1. Lámparas incandescentes**

Las lámparas incandescentes operan por medio del calentamiento de un filamento en una envoltura translúcida y generan luz y calor. El alumbrado por medio de lámparas incandescentes es probablemente el más utilizado en todo el mundo. Este tipo de fuente involucra la menor inversión inicial, menor eficacia, menor vida útil, mayor mantenimiento y la mayor generación de calor de las tres opciones. Las lámparas incandescentes proveen la mejor distribución de color en las longitudes de onda mayores.

Las lámparas incandescentes usualmente emplean un filamento de tungsteno y son generalmente del tipo vacío (debajo de 40 W para uso general) o llenas de gas usando una combinación de argón y nitrógeno o solo nitrógeno. Las bombillas se fabrican para distintos voltajes y potencias, con rendimientos que oscilan entre 10 y 25 Lm/W, con una vida útil del orden de 1000 horas. Los lúmenes producidos no son constantes, sino que van bajando con el uso, debido a la vaporización del tungsteno. El rendimiento lumínico de bombillas de mayor voltaje es más bajo (10-18 Lm/W) que el de bombillas de voltaje más bajo, por lo que generalmente no es conveniente usar circuitos de alumbrado en 240 voltios.

El rendimiento y la vida útil también son afectados por variaciones en el voltaje aplicado respecto del nominal, en forma exponencial. Por esta razón, generalmente se trata de operar las bombillas a un voltaje muy cercano al nominal, para obtener la economía total máxima.

Hay tres tipos de lámparas incandescentes disponibles: 1) Estándar, 2) Eficiente de energía, y 3) halógenas. Las lámparas eficientes en energía son lámparas de Voltaje bajo que brindan casi el mismo rendimiento de una lámpara estándar de Voltaje alto. El ahorro en energía se logra al cambiar el filamento o el reflector. Las lámparas de halógeno utilizan el gas halógeno para permitir que el filamento se quemara con mayor intensidad sin sacrificar la vida útil. El gas halógeno se combina con partículas de tungsteno que se han evaporado del filamento y las redeposita en el filamento.

Una comparación de las tres categorías para una lámpara modelo PAR38 aparece a continuación:

Tipo de Lámpara	W	lm	LPW	Vida útil
1. Estándar	75	765	10.2	2000
2. Eficiente de energía	65	675	10.4	2000
3. Halógenas	60	1150	19.2	3000

Lm = Lúmenes iniciales.

LPW = Lúmenes por Watt.

Vida útil = promedio en horas.

Fuente: Reproducido de Prabhakara, F.S., Robert L. Smith, Jr. y Ray P Stratsford. 1996. Industrial and Commercial Power Systems Handbook. USA. 1ª Edición. McGraw-Hill.

Las ventajas de las lámparas incandescentes que merece la pena nombrar son éstas: son una fuente de luz concentrada, la cual es fácil de dirigir hacia el lugar u objeto que se quiere iluminar. Trabaja eficientemente cualquiera que sea la temperatura de operación. Encendido instantáneo. Excelente definición de colores en la mayor parte de las aplicaciones ópticas. Muy fácil reemplazo. Trabajan indistintamente con corriente alterna o continua. No requiere equipo extraordinario para su instalación. Bajo costo de lámpara y de instalación.

## 2. Lámparas fluorescentes

Las lámparas fluorescentes operan con una fuente de descarga de gas a baja presión. La luz se produce cuando una capa de polvos fluorescentes en la envoltura de vidrio se activan por medio de energía ultravioleta generada por un arco de mercurio a baja presión. Estas lámparas deben operar con un balastro, que es un limitador de tensión, corriente y forma de onda. Tres tipos de arranque son utilizados para este tipo de lámparas: precalentamiento, encendido rápido y encendido instantáneo.

El arranque por precalentamiento utiliza un arranque de switch para iniciar el arco por medio de la ebullición de electrones fuera de los electrodos de la lámpara y aun se utiliza para lámparas pequeñas del tipo de escritorio. El precalentamiento acelera la pérdida de la capa de polvos,

resultando en una menor vida útil que la que se tiene en lámparas operadas por balastos de encendido rápido. Las lámparas que arrancan por precalentamiento fueron las primeras lámparas que se desarrollaron, y todavía se utilizan en lámparas de tipo económico y de escritorio. Debido al balastro, las lámparas poseen un factor de potencia bajo (del orden de 0.5), a menos que se utilicen condensadores para mejorarlo. Los balastos de alto factor de potencia, ya tienen incorporado este condensador. La potencia nominal de los tubos no incluye las pérdidas causadas por el balastro, por lo que el consumo real de una lámpara fluorescente es un 25% mayor que la potencia nominal. El rendimiento lumínico de los tubos fluorescentes está comprendido entre 40 y 80 lumen/Watt.

Las lámparas de arranque instantáneo no requieren filamentos, pero necesitan un voltaje más alto para su arranque. Este se logra por medio de un autotransformador, que desempeña simultáneamente el papel de balastro para limitar la corriente durante el funcionamiento normal a su valor nominal.

Las lámparas de arranque rápido son tal vez las más populares actualmente. Utilizan un autotransformador especial, que pasa corriente a través de los filamentos, no solamente durante el período de precalentamiento, sino constantemente. La mayoría de las lámparas modernas se puede utilizar indistintamente en circuitos de precalentamiento o de arranque rápido. La vida útil de los tubos fluorescentes es del orden de 10,000 horas, es decir 10 veces mayor que la de las bombillas incandescentes, y no tienen un fin abrupto, sino que van disminuyendo su rendimiento lumínico en una forma exagerada, sin quemarse, aún mucho tiempo después de haber terminado su vida útil. Por esta razón es muy importante establecer programas de cambio de lámparas en función de las horas uso, sin esperar a que dejen de encender.

Las lámparas fluorescentes se fabrican en gran variedad de colores, usándose principalmente el blanco frío estándar (el más eficiente), blanco frío de lujo, blanco caliente y luz de día.

Entre las ventajas de las lámparas fluorescentes se pueden mencionar las siguientes: Tres veces más luz por watt de energía consumida y conservación de su brillo más tiempo. Dura siete veces más que una lámpara incandescente de la misma potencia. Produce mayor cantidad de luz visible y menor cantidad de calor radiante que una lámpara incandescente. Crea menos resplandor y sombras más suaves. Mayor rendimiento, gran duración y perdurable potencia lumínica comparada con una lámpara incandescente.

### **a) Lámparas fluorescentes compactas**

La instalación de las lámparas fluorescentes compactas tiene tres configuraciones: dedicadas, de balastro-propio y modular. Los sistemas dedicados son similares a los sistemas de iluminación fluorescente de tamaño completo con balastos separados conectados dentro del luminario. Una lámpara de balastro-propio es una en que el balastro y la lámpara forman una unidad integral y no pueden ser separados. Un producto fluorescente modular consiste en un balastro atornillado a una base con una lámpara reemplazable. Como la vida útil del balastro es aproximadamente 5 veces mayor que la de la lámpara, los sistemas modulares permiten el cambio de lámpara sin tener que cambiar el balastro.

Las altas eficacias (lm/W) y larga vida de las lámparas fluorescentes las convierten en un atractivo reemplazo para las lámparas incandescentes. Las eficacias para estos sistemas de lámparas varían entre 40 y 60 LPW para sistemas de 13 a 28 W. Estas eficacias, que son 4 o más veces que para las lámparas incandescentes, se aproximan a aquellas disponibles utilizando lámparas fluorescentes estándares de 32 W o más. La vida útil es diez veces más que la de las incandescentes. La vida útil del balastro es cinco veces la vida útil de la lámpara fluorescente compacta. Los inconvenientes de utilizar lámparas fluorescentes compactas son escasos, distorsión armónica, dificultad de acomodar las lámparas en algunos luminarios etc. Al tomar en cuenta lo anterior, los ahorros de energía hacen a las lámparas fluorescentes compactas una atractiva opción para reemplazar muchos sistemas de lámparas incandescentes, a pesar de que el costo inicial es mayor que para las lámparas incandescentes.

### **3. Lámparas de descarga de alta intensidad**

Existen tres tipos de lámparas de descarga de alta intensidad (HID), de mercurio, aditivos metálicos y sodio de alta presión. En las lámparas HID la luz se produce al paso de una corriente eléctrica a través de un vapor o gas bajo presión, en vez de hacerlo a través de un filamento de tungsteno como en la lámpara incandescente.

### a) Lámparas de mercurio

La potencia de las lámparas de vapor de mercurio actuales fluctúa entre 40 y 1500 watts. Se necesita un balastro de tamaño y tipo adecuado para que la lámpara de vapor de mercurio funcione en cualquier circuito eléctrico regular; para ajustar el voltaje de distribución del circuito de alumbrado al voltaje que requiere para encender y controlar la corriente durante su funcionamiento. Este control de la corriente es necesario debido a que la lámpara de vapor de mercurio, como todas las fuentes de luz de descarga, tiene la característica de “resistencia negativa”: Una vez encendida, el arco se desboca tomando excesiva corriente la cual destruiría la lámpara si no se controla por medio de un balastro.

Cuando se conecta el interruptor de la línea de alimentación, el voltaje de arranque del balastro es aplicado a través del espacio existente entre los electrodos de operación situados en los extremos opuestos del tubo de arco y también a través del pequeño espacio entre el electrodo de operación y el de arranque. Lo anterior ioniza el gas argón en el espacio existente entre el electrodo de arranque y operación; pero la corriente es limitada a un valor pequeño, debido al resistor de arranque.

Cuando hay suficiente argón ionizado y vapor de mercurio, distribuidos ambos a lo largo del tubo de arco, se establece una descarga entre los electrodos de operación. Esto vaporiza más mercurio, calentándose rápidamente la lámpara, hasta alcanzar una condición estable.

Después de formarse el arco principal, el resistor de arranque provoca que el potencial, a través del espacio de encendido, se mantenga muy bajo para mantener esta descarga, estableciéndose, en esta forma, el flujo de descarga entre los electrodos de operación.

Los iones y electrones que componen el flujo de corriente, se ponen en movimiento a velocidades fantásticas a lo largo del trayecto existente entre los dos electrodos de operación situados en los extremos opuestos del tubo de arco. El impacto producido por los electrones y los iones que viajan a enorme velocidad por el gas o vapor circundante, cambian ligeramente su estructura atómica. La luz se produce de la energía emitida por los átomos afectados, a medida que vuelven nuevamente a su estructura normal.

A pesar de que existen muchos tamaños y formas, los tipos más comúnmente utilizados están contruidos a base de dos bulbos o bombillos, uno exterior, a manera de cubierta, y otro interior,

que es el tubo de arco. El tubo de arco, fabricado de cuarzo, contiene el arco propiamente dicho, vapor de mercurio, los electrodos y pequeña cantidad de gas argón.

El bulbo exterior llenado comúnmente de nitrógeno, sirve para proteger al tubo de arco contra el deterioro y la corrosión atmosférica. También regula la temperatura de funcionamiento del tubo de arco y actúa como filtro para absorber la radiación ultravioleta.

La lámpara de mercurio debe usarse solamente en luminarios con circuitos equipados apropiadamente. La operación con equipo incompatible, puede causar la destrucción de la lámpara, pudiendo producir daños físicos a personas o al equipo. A pesar de que la lámpara de vapor de mercurio de base media puede usarse en portalámparas ordinarios, nunca deberán instalarse en tales portalámparas sin el balsto adecuado, requerido para la operación de lámparas de vapor de mercurio.

Se recomienda desconectar el circuito en caso de quitar o colocar una lámpara. Si el bulbo exterior se rompe, deberá desconectarse inmediatamente el circuito de la lámpara para evitar la exposición de la energía ultravioleta, la cual puede ser dañina a los ojos y la piel. No deberá someterse el bulbo a ninguna presión, debido a que puede causar su rotura.

A pesar de que el bulbo exterior se fabrica de vidrio resistente a la intemperie, se requiere de una protección externa para la lámpara, con objeto de minimizar el riesgo de rotura y evitar el contacto con el agua durante su funcionamiento.

#### **b) Lámparas de aditivos metálicos**

La lámpara de aditivos metálicos es la fuente de luz blanca más eficiente disponible hoy en día. Además, incorpora todas las características deseables de otras fuentes luminosas: Alta eficacia, vida razonablemente económica, excepcional rendimiento de color y buen rendimiento lumínico.

Físicamente, la lámpara de aditivos metálicos es de tamaño compacto y tiene las mismas dimensiones exteriores correspondientes a una lámpara de vapor de mercurio de la misma potencia. Internamente, difieren considerablemente de estas últimas. Actualmente, estas lámparas se encuentran disponibles en potencias de 175 a 1500 watts, en paquetes desde 14,000 a 155,000 lúmenes.

La lámpara de aditivos metálicos tiene un tubo de descarga de cuarzo, ligeramente menor que el correspondiente a una lámpara de vapor de mercurio de la misma potencia. El tubo de arco contiene gas argón y mercurio, más yoduros de torio, sodio y escanio.

Estos tres materiales son los responsables del excelente comportamiento de esta fuente luminosa. Los extremos del tubo de descarga tienen una pantalla térmica (revestimiento), cuya función es controlar la temperatura en estas áreas durante la operación. El control de la temperatura es esencial durante la operación de la lámpara de aditivos metálicos.

La lámpara de aditivos metálicos se fabrica con un montaje para tubo de arco en dos secciones. Esta división es necesaria debido a la alta actividad electroquímica del sistema de aditivos, debido a la cual se requiere el máximo aislamiento de las partes metálicas del tubo de arco.

La lámpara de aditivos metálicos, hace uso del mismo principio de arranque de las lámparas de vapor de mercurio, pero difieren significativamente en características y requerimientos de arranque. Cuando el voltaje se aplica a la lámpara, se inicia la ionización en el espacio existente entre el electrodo de arranque y el electrodo de operación adyacente. Debido a la presencia de yoduros metálicos, en el tubo de arco, el voltaje requerido para la ionización es mucho más alto en la lámpara de aditivos metálicos. Cuando existe suficiente ionización se establece un flujo de electrones entre los electrodos principales. Una vez establecido el arco, la lámpara empieza a calentarse.

Conforme la temperatura se va incrementando, los aditivos metálicos van integrándose al flujo del arco, y emiten su radiación característica. Debido a la naturaleza del sistema de yoduros de aditivos metálicos, las exigencias básicas de balasto son mas severas que las requeridas en el balasto usado en lámparas de vapor de mercurio.

Cuando la lámpara ha logrado su estabilización y los aditivos metálicos se encuentran en el arco en concentración apropiada, sus efectos se notan claramente. La emisión espectral de la lámpara tiene todas las longitudes de onda a las cuales responde el ojo humano y adicionalmente, mucha de la energía radiada se desplaza a las áreas del espectro donde la lámpara de vapor de mercurio es deficiente, debido a que todas las longitudes de onda o colores están presentes en el

balance aceptable, la apariencia del color de la lámpara es blanco, dando como resultado un excelente rendimiento cromático.

La segunda ventaja de esta lámpara, en comparación con la lámpara de vapor de mercurio, es su eficacia substancialmente mayor. En general, sobre la base de lámparas de la misma potencia, la lámpara de aditivos metálicos tiene una eficacia superior entre el 65 y 70%.

A pesar de que la lámpara de aditivos metálicos tiene excelente calidad de color para la mayoría de los usos, las necesidades de interiores, tales como en tiendas, supermercados y otras instalaciones comerciales necesitan un mayor rendimiento de color.

Para estos casos se recomienda otros tipos de lámparas de aditivos metálicos, las cuales tienen un recubrimiento de fósforo, con el cual se incrementa el porcentaje de rojos, naranja, así como las longitudes de onda de los amarillos en el espectro.

El sistema de lámpara de aditivos metálicos resulta químicamente complejo y requiere de un periodo de operación para que todos sus componentes se estabilicen. Se requiere de un lapso de funcionamiento de 100 horas para que la lámpara alcance todas sus ventajas que, a la vez, son la base de sus características de comportamiento a través de sus horas de vida. Todas las especificaciones publicadas de las lámparas se basan en mediciones realizadas después de 100 horas.

La lámpara de aditivos metálicos cuenta con características excelentes en lo referente al mantenimiento de lúmenes. El decremento en producción lumínica se produce en forma muy gradual, a través de las horas de vida de la lámpara. Las tres mayores causas de este decremento en la emisión lumínica son: el deterioro de los electrodos a medida que pasa el tiempo, la pérdida de transmisión del tubo de arco, debido al ennegrecimiento y el cambio en el balance químico de los aditivos metálicos. El mantenimiento de los lúmenes es mejor cuando la lámpara se opera en largos periodos, por arranque; por lo tanto, el mejor mantenimiento de lúmenes se obtiene cuando su operación es de ciclo continuo.

La vida útil de la lámpara de aditivos metálicos se define como el lapso en horas, en el cual el 50 % de una muestra representativa de la producción llega al final de la vida normal, cuando se opera con un voltaje controlado nominal de alimentación de balsto, en ciclos de 10 horas en posición vertical.

El fin de su vida nominal, se caracteriza cuando la lámpara falla en el arranque o cuando se acerca a su potencia de diseño. Esto es causado por el deterioro de los electrodos de la lámpara a lo largo de las horas de vida. El deterioro de los electrodos es más severo durante el periodo de arranque.

Mientras más largo sea el ciclo de operación, mayor será la vida útil de la lámpara y mejor el mantenimiento en lúmenes.

La lámpara de aditivos metálicos debe usarse solamente en luminarios que se encuentren equipados apropiadamente. La operación con equipo inadecuado podría destruir la lámpara, provocando incluso heridas al personal o daños al equipo.

La lámpara opera sobre presión y a alta temperatura, y puede destruirse cuando se opera horizontalmente o dentro de 60 grados de la posición horizontal. En tal posición la lámpara debe instalarse en luminario cerrado. La lámpara de 250 y 1500 watts debe usarse en luminarios cerrados para cualquier posición.

Se recomienda desconectar el circuito en caso de quitar o colocar una lámpara. Si el bulbo exterior se rompe, el circuito de la lámpara deberá desconectarse inmediatamente para evitar la exposición a la energía ultravioleta, la cual puede ser dañina para los ojos y la piel. No deberá someterse el bulbo a ninguna presión, debido a que puede causarse su rotura.

A pesar de que el bulbo exterior se fabrica de vidrio resistente a la intemperie, se requiere una protección externa para la lámpara, con objeto de minimizar el riesgo de rotura y evitar su contacto con el agua durante la operación.

### **c) Lámparas de Sodio de alta presión**

La lámpara de vapor de sodio es el tipo más eficaz de la familia de las lámparas de alta intensidad (HID). La luz se produce por el paso de corriente eléctrica a través de vapor de sodio, con una presión determinada a alta temperatura. Sus características físicas, eléctricas y fotométricas son diferentes a otros tipos de lámparas HID. Las ventajas de una lámpara con arco de descarga, de vapor de sodio de alta presión, son conocidas desde hace varios años.

El desarrollo práctico de una lámpara que tuviera características de larga vida para uso de iluminación general, requirió de descubrimientos sensacionales en el campo de la tecnología de

materiales. El desarrollo de una nueva cerámica, el óxido de aluminio policristalino, fue la clave para poder fabricar lámparas de vapor de sodio a alta presión para usos prácticos, este material es extremadamente resistente al ataque del vapor de sodio y puede soportar las altas temperaturas de operación que requiere el logro de una gran eficiencia y adicionalmente, cuenta con características excelentes para la transmisión de luz visible.

El principal elemento de radiación en el tubo de la lámpara es el sodio. Sin embargo, contiene mercurio como gas corrector del color y para controlar el voltaje. También existe una pequeña cantidad de xenón, en el tubo de arco, utilizado para iniciar la secuencia de arranque.

Para su ignición, la lámpara requiere voltajes extremadamente altos, debido a la geometría del tubo de arco, el cual deberá ser largo y estrecho, a fin de lograr la máxima eficacia y, además, al hecho de no usar electrodos de arranque sino únicamente gas xenón que facilita la ignición inicial. La función de arranque, se logra por medio de un circuito electrónico (ignitor), que trabaja en conjunto con los componentes magnéticos del balasto.

El ignitor provee un corto pulso de alto voltaje en cada ciclo o mitad del ciclo del voltaje de alimentación. El pulso tiene suficiente amplitud y duración para ionizar el gas xenón y, de esta forma, iniciar la secuencia de arranque de la lámpara. La lámpara de vapor de sodio de alta presión se fabrica con un exceso de sodio, en forma de amalgama con mercurio. Después de un período de operación de la lámpara, parte del vapor de sodio se pierde, en el flujo del arco, a través de varios mecanismos.

Debido al cambio de la relación de presiones de sodio y vapor de mercurio, el voltaje de arco se incrementa. Eventualmente, el voltaje de operación de la lámpara se incrementará a un nivel más allá del voltaje que el balasto pueda sostener. Cuando esto sucede, la lámpara arrancará, calentándose hasta lograr su completa brillantez y luego se extingue. Cuando la secuencia de operación se repite regularmente, se dice que esta ciclando. Las lámparas de vapor de sodio de alta presión presentan la característica de cicleo cuando su vida ha llegado al final.

La lámpara de vapor de sodio requiere un período de calentamiento de 3 a 4 minutos para lograr su completa brillantez, un poco menor que el período requerido por una lámpara de aditivos metálicos o de vapor de mercurio. Así, cuando la presión en el tubo de arco se incrementa, la lámpara logra su completa brillantez y produce una luz blanca dorada. Si existe una interrupción momentánea de energía, el tiempo de re-encendido será de aproximadamente un minuto.

Al igual que las lámparas de vapor de mercurio y aditivos metálicos, este tipo de lámparas se fabrica con dos envoltentes: Un bulbo exterior “cubierta” y uno interior “tubo de arco”. El tubo de arco cerámico contiene los electrodos, amalgama de mercurio sodio y una pequeña cantidad de xenón. El envoltente o bulbo exterior de vidrio, resistente a la intemperie (borosilicato), protege al tubo de arco y, debido a que se encuentra al vacío, reduce las pérdidas de calor por las corrientes de conducción y convección originadas en el tubo de arco, para asegurar en esta forma una alta eficacia.

El tubo de arco en la lámpara de vapor de sodio es largo y esbelto, se fabrica con cerámica de óxido de aluminio policristalino. La geometría del tubo está determinada por los requerimientos de alta temperatura para vaporizar el sodio. Se requiere que la cerámica resista esas temperaturas. El material del tubo de descarga es translúcido y adecuado para la transmisión y generación de luz en lámparas de alta intensidad de descarga, con una transmitancia de aproximadamente 95 % en las longitudes de onda de luz visible.

Las lámparas de vapor de sodio de alta presión deben usarse solamente en luminarios que con circuito apropiadamente equipado. La operación con equipo que no sea compatible, puede causar la destrucción de la lámpara, y causar heridas personales o daños al equipo. Se recomienda desconectar el circuito al quitar o colocar una lámpara.

Si el bulbo exterior se rompe, deberá desconectarse inmediatamente el circuito de la lámpara para evitar la exposición de los rayos ultravioleta, que puede ser dañina a los ojos o a la piel. Debido a que el bulbo exterior de la lámpara se encuentra al vacío, puede implotar si se rompe. Por lo tanto no debe someterse a ninguna presión.

No debe existir ningún metal en contacto con el bulbo exterior de la lámpara, y debe estar eléctricamente aislado para evitar la descomposición del vidrio. A pesar de que el bulbo exterior se fabrica de vidrio resistente a la intemperie, se requiere una protección externa para la lámpara, con el objeto de minimizar el riesgo de rotura y evitar el contacto con el agua durante la operación.

## D. Calidad de Luz

El color y la brillantez son factores importantes en casi todas las instalaciones de iluminación. No basta con tener la cantidad de luz apropiada, sino también es necesario que la calidad de la luz sea la correcta. Un buen sistema de iluminación es el que cubre ambos aspectos.

### 1. Color

Existen tres conceptos básicos que caracterizan a las fuentes de luz:

- *Temperatura de color correlativa (CCT)* : La temperatura absoluta en Kelvins (K) de un cuerpo negro cuya cromaticidad asemeja la de la fuente de luz.
- *Índice de rendimiento de color (CRI)* : La medición del cambio de color que se produce sobre un objeto cuando es iluminado por una fuente, comparado con una fuente de referencia a la misma temperatura de color. El CRI se mide en una escala de 0 a 100 establecido por la CEI (Comisión Internacional de Iluminación). Los objetos y las personas aparecen generalmente con más vida bajo la luz del día, la cual tiene un CRI de 100.
- *Índice de preferencia de color (CPI)* : Aunque este índice es mencionado a menudo, no existe ningún sistema de medición definido. La preferencia es subjetiva y ésta se relaciona a la combinación de colores y contraste. El gusto personal, el contraste entre el objeto y el color de fondo afectan la preferencia de color.

<b>Tipo de Lámpara</b>	<b>CCT (K)</b>	<b>CRI</b>
Fluorescente		
Blanco vivo	3020	52
Blanco vivo deluxe	2940	73
Blanco	3450	57
Blanco cálido	4250	62
Blanco cálido deluxe	4050	89
Luz de día	6250	74
Mercurio		
Clara	5710	15
Color mejorado	4430	32
Aditivos Metálicos		
Clara	3720	60
Sodio de alta presión		
	2100	21

Fuente: Reproducido de Prabhakara, F. S., Robert L. Smith, Jr. y Ray P Stratsford. 1996. Industrial and Commercial Power Systems Handbook, U.S.A. 1ª Edición. McGraw-Hill.

## 2. Brillantez

Las luminarias con mucho brillo para el ambiente físico producen brillantez: ya sea brillantez que incomoda o brillantez incapacitante. La brillantez puede ser directa o reflejada. Para reducirla se necesita corregir la ubicación de las luminarias. Algunas recomendaciones son : aumentar el ángulo entre la fuente de brillantez y la línea de visión e incrementar el nivel de iluminación del área que rodea la fuente de brillantez y en contra de donde es vista.

## E. Ambiente físico

El ambiente físico afecta la operación de la lámpara, además la selección del sistema de iluminación y el diseño de instalación. Existen factores en el ambiente físico que deben tomarse en cuenta para realizar los cálculos en un proyecto de iluminación.

## 1. Temperatura ambiente

Para las lámparas incandescentes y HID (descarga de alta-intensidad) no existen pérdidas de luz significativas dentro de un amplio rango de temperaturas (-20 a 80°C). Los balastos deben ser operados dentro del rango de temperatura de los componentes. Las lámparas fluorescentes pierden casi toda su habilidad de producir luz a temperaturas bajo el punto de congelación.

La mayoría de fuentes luminosas producen calor. Al diseñar sistemas de acondicionamiento de aire, ésto debe ser considerado.

## 2. Reflectancia

Las paredes, el piso y el techo reflejan la luz. Cada uno de estos componentes posee reflectancia. Las reflectancias son estimadas o medidas. De no ser conocidas, se asume un valor de 20% para el piso y 30% para el techo y las paredes.

Valores de reflectancia para áreas de oficina

Superficie	Reflectancia
Techo	80-90%
Paredes	40-60%
Muebles	25-45%
Piso	20-40%

Fuente: Reproducido de Prabhakara, F.S., Robert L. Smith, Jr. y Ray P Stratsford. 1996.

Industrial and Commercial Power Systems Handbook, U.S.A. 1ª Edición. McGraw-Hill.

### 3. Cavidad zonal

Para interiores, se divide el volumen de la habitación en tres zonas y se define cada zona de la siguiente manera:

Cavidad del techo: Espacio entre el techo y el plano de las luminarias.

Cavidad de la habitación: Espacio entre las luminarias y el plano de trabajo.

Cavidad del piso: Espacio entre el plano de trabajo y el piso

Cada una de estas cavidades tiene una relación especial que se calcula a partir de las dimensiones de la zona. Estas relaciones de cavidades finalmente determinan el coeficiente de utilización (CU).

$$\text{Relación de cavidad de la habitación (RCR)} = 5H_{RC} \times \frac{L + W}{L \times W}$$

$$\text{Relación de cavidad del techo (CCR)} = 5H_{CC} \times \frac{L + W}{L \times W}$$

$$\text{Relación de cavidad del piso (FCR)} = 5H_{FC} \times \frac{L + W}{L \times W}$$

Donde.

L = Largo del área

W = Ancho del área

H<sub>RC</sub> = Altura de la cavidad de la habitación

H<sub>CC</sub> = Altura de la cavidad del techo

H<sub>FC</sub> = Altura de la cavidad del piso

Los fabricantes de luminarias proveen información fotométrica para cada diseño disponible. Utilizando las relaciones calculadas por medio de las formulas presentadas anteriormente, se calcula el coeficiente de utilización (CU).

## F. Ambiente Eléctrico

Todo sistema eléctrico está sujeto a subidas y bajadas de voltaje, así como a interrupciones. Los equipos de iluminación que trabajan fuera de un rango normal de voltaje durante mucho tiempo generan un desempeño pobre. Todo sistema que trabaja con cargas no-lineales está sujeto a armónicos producidos por estas cargas.

### 1. Variaciones de voltaje

Las lámparas incandescentes producen bajo rendimiento lumínico al trabajar con voltajes bajos. La vida útil decrece considerablemente al trabajar con voltajes altos. Las lámparas fluorescentes y HID se extinguen al trabajar con voltajes menores al 90% del voltaje indicado. La mayoría de balastos están diseñados para soportar caídas de 10% durante 4 segundos. Si la caída de voltaje es mayor al 10%, la lámpara usualmente se extingue.

Tiempo de arranque aproximado para lámparas fluorescentes y HID

Lámpara	Tiempo de arranque
Fluorescente (Arranque rápido)	1seg
Fluorescente (Arranque instantáneo)	<1seg
Fluorescente (Arranque por precalentamiento)	Algunos seg
HID Mercurio	3-7min
HID Aditivos Metálicos	Hasta 15min
HID Sodio	3-4min

Fuente: Reproducido de Prabhakara, F.S., Robert L. Smith, Jr. y Ray P. Stratsford, 1996. Industrial and Commercial Power Systems Handbook, U.S.A. 1ª Edición, McGraw-Hill.

## **2. Harmónicos**

Los armónicos producidos por lámparas fluorescentes han plagado los sistemas de poder desde hace mucho tiempo. Estos armónicos pueden ser aliviados por medio del uso de filtros activos o pasivos. Estos filtros se pueden instalar en el equipo o localizarlos en el bus de distribución.

## **G. Luminarias**

La selección de la luminaria adecuada está sujeta a estos factores:

- Características de la luminaria
- Consideraciones ambientales
- Consideraciones eléctricas
- Consideraciones mecánicas
- Estándares

### **1. Características de la luminaria**

Existen tres tipos de diseños de reflector para lámparas individuales. Los reflectores parabólicos se utilizan cuando se necesita un haz de luz bien definido. Las aplicaciones típicas incluyen luces de automóvil, mostradores, cualquiera área que necesite de una luz enfocada. Los reflectores elípticos se utilizan en áreas donde la luz no debe causar intromisión, como en el caso de un salón de cóctel. Los reflectores hiperbólicos se usan cuando se necesita que la luz cubra una gran área, tal es el caso de la iluminación industrial.

Las lámparas fluorescentes a veces utilizan reflectores parabólicos gemelos para concentrar la luz en un área específica. Para oficinas y lugares con techos bajos, las lámparas fluorescentes se instalan utilizando difusores prismáticos.

El reemplazo y la limpieza del luminario son factores a ser considerados para su elección. Otros factores incluyen la posición de montaje ya que algunas lámparas sólo pueden ser montadas boca abajo o boca arriba.

## **2. Consideraciones ambientales**

La temperatura ambiente, así como lugares húmedos, peligrosos y corrosivos, necesitan de luminarias especiales o de medidas a tomar para poder instalar luminarias estándar bajo esas condiciones.

## **3. Consideraciones eléctricas**

La calidad de los circuitos de iluminación (voltaje, armónicos) debe ser considerado. Circuitos que afectan la carga deben ser aislados del circuito de iluminación.

## **4. Consideraciones mecánicas**

La coordinación con otros servicios instalados, como cable de poder, vapor y líneas aéreas, se requiere para asegurar que los luminarios así como la calidad de la iluminación, no se vean afectados en la instalación. Soportes de alambre adecuados deben ser instalados.

## **5. Estándares**

Los códigos y estándares proveen de requisitos que son aplicables a instalaciones industriales. Los estándares de IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), IES (Illuminating Engineering Society), y ANSI (American National Standards Institute) contienen disposiciones que afectan a las instalaciones de iluminación.

## **H. Diseño e Instalación**

Según Koenigsberger<sup>5</sup>, existen dos clases de iluminación, estos son cuando se iluminan los ambientes de forma general y el individual cuando se requiere una iluminación específica en cada área. La iluminación general de un ambiente da mayor uniformidad, pero mantener un nivel muy alto es costoso, por lo que muchas veces se prefiere utilizar el alumbrado individual directamente en las áreas que requieren el más alto nivel, alumbrando el resto del ambiente con un nivel más bajo.

### **1. Factores para un buen sistema de iluminación**

Para obtener un buen sistema de iluminación, hay que tomar en cuenta varios factores, los cuales son el nivel lumínico adecuado, uniformidad, ausencia de deslumbramiento, graduación de sombras y el color de la luz.

#### **a). Nivel lumínico adecuado**

No todos los trabajos requieren el mismo nivel de iluminación. Para apreciar detalles pequeños se requiere más iluminación, lo mismo que para colores oscuros. No existe ninguna ley matemática que nos diga exactamente los valores requeridos en cada caso; sin embargo distintas sociedades de Ingenieros se han dedicado a investigar los niveles requeridos para diversos tipos de trabajo, habiendo llegado a conclusiones bastante distintas. Esto se explica talvez por las distintas condiciones económicas y las costumbres en diferentes países.

En octubre de 1983, en una conferencia internacional organizada por la Sociedad de Aplicaciones Industriales del IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineering), se presentó la siguiente recomendación:

---

<sup>5</sup> Koenigsberger, Rodolfo. 1986. Ingeniería Eléctrica 2. Guatemala. 1ª Edición.

1). Seleccionar la categoría de iluminación apropiada, para la actividad a estudiar, definida en la siguiente tabla:

**Tabla de niveles y/o categorías de iluminación**

<b>Tipo de Actividad</b>	<b>Nivel de Iluminación (Luxes) o Categoría</b>
<b>Auditorios</b> Congresos Actividades sociales	C B
<b>Bancos</b> Lobby general Area de máquinas de oficina y Contabilidad Area de cajas	C D E
<b>Salas de conferencia</b> Area de conferencias visión crítica (Se refiere a trabajos individuales) Corredores	D C
<b>Areas de dibujos</b> Trazos hechos en papel brillante Impresión en color azul Sala de exhibición	E E C
<b>Librerías</b> Anaqueles de libros Areas audio-visuales	D D
<b>Areas de mercadotecnia</b> Actividad alta Actividad media Actividad baja	300 200 100
<b>Area de actividades comerciales</b> Actividad alta Actividad media Actividad baja	1150 1000 300
<b>Oficinas</b> Lectura y escritura a tinta Lectura e impresiones de mucho contraste Privados, vestibulos y áreas de recepción	D D C
<b>Control de calidad e impresión</b> Xenografía, Mimeografía Lápices No.3 y líneas suaves Lápices No.4 y líneas fuertes Boligrafo Revista brillante Nuevas impresiones	D E F D D D

Tipo de Actividad	Nivel de Iluminación (Luxes) o Categoría
<b>Mantenimiento de aviones</b> General Instrumentos, radio y sistema eléctrico Tapizado Inspección de partes Taller de pintura	750 1500 1000 1000 1000
<b>Fabricación de aviones</b> Trabajo pesado de banco Roscadora de cerrojos Trabajo mediano de banco Ensamble final	500 750 1000 1000
<b>Ensamblaje</b> Simple Moderadamente difícil Difícil Muy difícil	D D F G
<b>Fabricación de automóviles</b> Ensamblado de carrocería Ensamble y componentes del cuerpo del chasis Ensamble final	500 1000 2000
<b>Panaderías (en general)</b>	D
<b>Cervecerías</b>	D
<b>Elaboración y presentación de conservas</b> Banda continua en la elaboración de conservas Llenado de conservas Empaque a mano Inspección	E E D F
<b>Productos de tela</b> Corte y costura Planchado Inspección Pasillos	G F G B
<b>Manufactura de equipo eléctrico</b> Impregnación Aislados: enrollado de bobina	D E
<b>Salas de control</b> Tableros de control principal Tableros de control auxiliar Estación de operadores Túneles y tuberías eléctricas Edificios de turbinas y pisos de operación Area de tratamiento de agua	D D E B D D

<b>Tipo de Actividad</b>	<b>Nivel de Iluminación (Luxes) o Categoría</b>
<b>Molinos de harina</b>	
Tamboleo, molido y purificación	E
Empaquetado	D
Control de producción	F
<b>Talleres de forja</b>	E
<b>Fundición</b>	
Horno	D
Fabricación de corazones finos	F
Fabricación de corazones medianos	E
Inspección fina	G
Inspección mediana	F
Vaciado	E
<b>Fabricación de hierro y acero en horno abierto</b>	
Patio de materia prima	100
Horno de piso	200
Trompo caliente	300
Corte en tiras al descubierto	200
<b>Taller de laminación</b>	
Devastador, placas, soleras calientes, lámina caliente	300
Faja de carbón, plancha de tubos, varilla, estirado de alambre	500
<b>Taller de placas y hojalata</b>	
Hojalata y galvanizada	500
<b>Taller de maquinado</b>	
Trabajo de banco áspero o trabajo de maquinado	D
Trabajo de banco mediano o trabajo de maquinado, maquinado ordinario automático de afilado áspero	E
Trabajo de banco fino o trabajo de maquinado fino automático, pulido mediano y pulido mediano fino	G
<b>Manejo de materiales</b>	
Engrapado, empaquetado y lavado	D
Clasificación	D
Cargamento dentro de camión y carga de camiones	C

Tipo de Actividad	Nivel de Iluminación (Luxes) o Categoría
<b>Plantas de energía nuclear</b> Edificio auxiliar, áreas de acceso no controlables Areas y salas de acceso de control considerables Laboratorios	C E E
<b>Oficinas de salud física</b> Sala de ayuda médica Lavado caliente Sala de almacenamiento Ingeniería de seguridad y equipo de fotografía	F F C D
<b>Edificio para manejo de combustible</b> Sala de operación Sala de operación baja	D C
<b>Estación nuclear</b> Sala de operación Sala de operación baja	D C
<b>Fabricación de papel</b> Batidores, molinos y satinado Terminación, cortadora, ajustadora y fabricación de papel Contabilidad a mano, humedad final del papel Fabricación de papel molido Inspección del papel y laboratorios	D E E F F
<b>Plantas químicas y petroleras</b> Areas de bombas Area de control general Tablero de control	50 150 200
<b>Aire, caldera y compresores</b> Equipo interior Equipo exterior	200 50
<b>Area de tanques</b> Area sencilla Area múltiple	10 5
<b>Rejilla de cargamento</b> Area general Tanques de carros Tanques de camión lugar de carga	50 100 100
<b>Sustancias eléctricas y patio de maniobras</b> Patio de maniobras exteriores Sustancias generales exteriores	20 20

<b>Tipo de Actividad</b>	<b>Nivel de Iluminación (Luxes) o Categoría</b>
<b>Fotograbado</b>	
Grabado, escenificación y bloqueo	D
Ultimo retoque, última prueba, colocación de la tinta en la máscara	E
<b>Taller de fabricación de hule</b>	
General	500
Molinos, planificación y horno de humo negro	300
Inspección	2000
<b>Fabricación de neumáticos</b>	
Horno de humo negro	300
Satinadora general	300
Edificio de neumáticos general	500
En la maquinaria	1500
Vulcanizado general en los moldes	750
Inspección general	1000
<b>Aserraderos</b>	
Corteza secundaria del tronco	B
Sierra de corte (áreas de corte a la vista para aserradero)	E
Sierra de corte exterior	B
Máquina alimentadora para cortar desperdicios, recortes	B
Molino mayor de piso	A
Maderas clasificadas	D
Maderas finas clasificadas	F
Madera seca para almacén	C
<b>Trabajos en lámina metálica</b>	
Misceláneas, maquinaria y trabajos ordinarios de banco	E
<b>Áreas de almacenamiento</b>	
Inactivo	B
Activo	C
Tamaño grande, áspero	C
Tamaño pequeño	F

Tipo de Actividad	Nivel de Iluminación (Luxes) o Categoría
<b>Fábrica de tejidos</b> Cepoteñido, tintes Clasificación y rango Residuos abierto, cardas, extracción y combinación Producción y fabricación Terminación, preparación y fabricación Terminado Inspección	D E D F D E G
<b>Fabricación de tabaco</b> Secado y deshojado Clasificación y rango Baños y área de lavado	D F C

Fuente: Holophane. Manual de iluminación.

2). Las categorías de iluminancia en Lux y Footcandle se clasifican de la siguiente manera:

Tipo de actividad	Categoría de iluminación	Rango de iluminación		Referencia del plano de trabajo
		Luxes	Footcandles	
Áreas públicas con alrededores oscuros	A	20-30-50	2-3-5	
Áreas de orientación para visitantes de corta temporada	B	50-75-100	5-7.5-10	Iluminación general a través de las áreas
Áreas de trabajo en donde las tareas visuales se realizan ocasionalmente	C	100-150-200	10-15-20	
Realización de tareas visuales de alto contraste	D	200-300-500	20-30-50	
Realización de tareas medianas de mediano contraste o rango pequeño	E	500-750-1000	50-75-100	Iluminación en la zona de actividad
Realización de tareas visuales de bajo contraste o muy pequeño rango	F	1000-1500-2000	100-150-200	
Realización de tareas visuales de bajo contraste y muy pequeño rango por un período prolongado	G	2000-3000-5000	200-300-500	Iluminación en la zona de actividad obtenida mediante una combinación general y localizada (iluminación suplementaria)

Fuente: Hologhane, Manual de iluminación

3). Para escoger entre los límites establecidos, se toman en consideración tres factores de peso, que son los siguientes:

Factores de peso	-1	0	+1
Edad	<40	40-55	>55
Velocidad o exactitud	No importa	Importante	Critico
Reflectancia de los alrededores	>70%	30-70%	<30%

Fuente: Koenigsberger, Rodolfo: 1986. Ingeniería Eléctrica 2. Guatemala. 1ª Edición.

Para cada factor se escoge un valor de -1 , 0 , o 1 dependiendo del rango en el que se encuentra ubicado. Luego se suma el valor de los tres factores.

Si los factores de peso suman:

- 2 ó -3 usar el valor inferior del rango de iluminación de la tabla
- 1,0,+1 usar el valor medio del rango de iluminación de la tabla
- +2 ó +3 usar el valor superior del rango de iluminación de la tabla

#### b). Uniformidad

Se debe procurar que la iluminación sea lo más uniforme posible, aunque es costoso lograr la uniformidad absoluta pero resulta imprescindible evitar los contrastes fuertes. La iluminación general permite obtener un alto grado de uniformidad, pero en locales de trabajo de alta precisión es generalmente recomendable utilizar alumbrado complementario individual, para lograr que el alumbrado general sea lo suficientemente elevado y no causar contrastes demasiado acentuados. La uniformidad está directamente relacionada con el número de lámparas y su distribución en un ambiente. Para obtener una uniformidad aceptable se ha recomendado que el espaciamiento de las lámparas sea menor o igual a la altura de suspensión de la lámpara sobre el plano de trabajo, que es usualmente entre 2 y 3 metros, según la norma americana.

### **c). Ausencia de deslumbramiento**

El deslumbramiento disminuye la capacidad funcional del ojo, produciendo molestias, inseguridad en el trabajo y peligro de accidentes. Para reducir o evitar el deslumbramiento se utilizan lámparas con difusores, y se colocan las lámparas fuera del ángulo visual normal ( $15^\circ$  sobre el plano horizontal a la altura de la vista). También es importante evitar reflejos causados por superficies brillantes, etc.

### **d). Graduación de sombras**

La graduación de sombras está íntimamente ligada a la uniformidad. Mientras mayor sea el número de lámparas, más suaves serán las sombras. El alumbrado generalmente no debe estar desprovisto de sombras ya que éstas ayudan a la percepción tridimensional. Sin embargo hay que evitar sombras fuertes que perjudican la vista y dificultan apreciar los detalles de los objetos.

### **e). Color de la luz**

Para ciertos trabajos, no afecta el color de la luz. Sin embargo en lugares donde se debe apreciar los colores el alumbrado debe ser lo más parecido posible a la luz natural, para evitar la distorsión. Para efectos especiales, se pueden utilizar colores fuertes que realzan algunos aspectos deseables.

## **2. Métodos de diseño**

Dos de los métodos más utilizados en el diseño de sistemas de iluminación son el método de Punto por Punto, y el método de Cavidad Zonal. El primero se aplica especialmente para iluminación exterior, donde se desprecian factores de reflexión, y se considera que toda la luz producida por las lámparas se enfoca hacia la superficie a iluminar.

El método de Cavidad Zonal se aplica para iluminación interior, donde es muy difícil realizar un cálculo exacto debido a las variantes de reflexión de los ambientes. Este método se basa en

factores experimentales que relacionan el rendimiento luminoso total con las dimensiones y acabados de los ambientes.

#### a). Método de Cavidad Zonal

Este método, que es el más moderno y recomendado por el IES (Illuminating Engineering Society), consiste en encontrar un coeficiente de utilización (CU). El ambiente se considera formado por tres cavidades o espacios zonales que son del techo, de la habitación y del piso. Con las dimensiones de la habitación y las alturas de las cavidades zonales respectivas, se pueden determinar ciertas relaciones para encontrar las reflectancias efectivas. El procedimiento del método consiste en desarrollar 9 pasos:

**Paso 1).** Escoger el nivel luminoso de acuerdo a una de las normas.

**Paso 2).** Escoger el tipo de luminaria.

**Paso 3).** Escoger los colores de la habitación.

**Paso 4).** Estimar el coeficiente de mantenimiento, que toma en cuenta la disminución de la luz debido al envejecimiento, y el ensuciamiento, este valor oscila entre 0.5 y 0.8.

**Paso 5).** Se determinan las relaciones de cavidad del techo, de la habitación y del piso.

$$\text{Relación de cavidad de la habitación (RCR)} = 5H_{RC} \times \frac{L + W}{L \times W}$$

$$\text{Relación de cavidad del techo (CCR)} = 5H_{CC} \times \frac{L + W}{L \times W}$$

$$\text{Relación de cavidad del piso (FCR)} = 5H_{FC} \times \frac{L+W}{L \times W}$$

Donde,

L = Largo del área

W = Ancho del área

H<sub>RC</sub> = Altura de la cavidad de la habitación

H<sub>CC</sub> = Altura de la cavidad del techo

H<sub>FC</sub> = Altura de la cavidad del piso

**Paso 6).** Buscar la reflectancia efectiva para la cavidad del techo (P<sub>CC</sub>) con los valores de reflectancias de techo (P<sub>C</sub>) y paredes (P<sub>P</sub>), y la relación de cavidad del techo (CCR). Luego, buscar la reflectancia efectiva para la cavidad del piso (P<sub>FC</sub>) con el valor de reflectancia del piso (P<sub>F</sub>). Estos datos se encuentran en la tabla de reflectancias efectivas para la cavidad de cielo y de piso.

**Tabla de reflectancias efectivas para la cavidad de techo y piso (valores en %)**

P <sub>C</sub> o P <sub>F</sub>	90				80				70			50			30				10			
	90	70	50	30	80	70	50	30	70	50	30	70	50	30	65	50	30	10	50	30	10	
<b>P<sub>P</sub></b>																						
<b>0</b>	90	90	90	90	80	80	80	80	70	70	70	50	50	50	30	30	30	30	10	10	10	
<b>0.1</b>	90	89	88	87	79	79	78	78	69	69	68	59	49	48	30	30	29	29	10	10	10	
<b>0.2</b>	89	88	86	85	79	78	77	76	68	67	66	49	48	47	30	29	29	28	10	10	9	
<b>0.3</b>	89	87	85	83	78	77	75	74	68	66	64	49	47	46	30	29	28	27	10	10	9	
<b>0.4</b>	88	86	83	81	78	76	74	72	67	65	63	48	46	45	30	29	27	26	10	10	9	
<b>0.5</b>	88	85	81	78	77	75	73	70	66	64	61	48	46	44	29	28	27	25	10	10	9	
<b>0.6</b>	88	84	80	76	77	75	71	68	65	62	59	47	45	43	29	28	26	25	11	10	9	
<b>0.7</b>	88	83	78	74	76	74	70	66	65	61	58	47	44	42	29	28	26	24	11	10	8	
<b>0.8</b>	87	82	77	73	75	73	69	65	64	60	56	47	43	41	29	27	25	23	11	10	8	
<b>0.9</b>	87	81	76	71	75	72	68	63	63	59	55	46	43	40	29	27	25	22	11	9	8	
<b>1.0</b>	86	80	74	69	74	71	66	61	63	58	53	46	42	39	29	27	24	22	11	9	8	
<b>1.1</b>	86	79	73	67	74	71	65	60	62	57	52	46	41	38	29	26	24	21	11	9	8	
<b>RCC</b>	86	78	72	65	73	70	64	58	61	56	50	45	41	37	29	26	23	20	12	9	7	
<b>1.2</b>																						
<b>O 1.3</b>	85	78	70	64	73	69	63	57	61	55	49	45	40	36	29	26	23	20	12	9	7	
<b>RCP 1.4</b>	85	77	69	62	72	68	62	55	60	54	48	45	40	35	28	26	22	19	12	9	7	

1.5	85	76	68	61	72	68	61	54	59	53	47	44	39	34	28	25	22	18	12	9	7
1.6	85	75	66	59	71	67	60	53	59	53	45	44	39	33	28	25	21	18	12	9	7
1.7	84	74	65	58	71	66	59	52	58	51	44	44	38	32	28	25	21	17	12	9	7
1.8	84	73	64	56	70	65	58	50	57	50	43	43	37	32	28	25	21	17	12	9	6
1.9	84	73	63	55	70	65	57	49	57	49	42	43	37	31	28	25	20	16	12	9	6
2.0	83	72	62	53	69	64	56	48	56	48	41	43	37	30	28	24	20	16	12	9	6
2.1	83	71	61	52	69	63	55	47	56	47	40	43	36	29	28	24	20	16	13	9	6
2.2	83	70	60	51	68	63	54	45	55	46	39	42	36	29	28	24	19	15	13	9	6
2.3	83	69	59	50	68	62	53	44	54	45	38	42	35	28	28	24	19	15	13	9	6
2.4	82	68	58	48	67	61	52	43	54	45	37	42	35	27	28	24	19	14	13	9	6
2.5	82	68	57	47	67	61	51	42	53	44	36	41	34	27	27	23	18	14	13	9	6
2.6	82	67	56	46	66	60	50	41	53	43	35	41	34	26	27	23	18	13	13	9	5
2.7	82	66	55	45	66	60	49	40	52	43	34	41	33	26	27	23	18	13	13	9	5
2.8	81	66	54	44	66	59	48	39	52	42	33	41	33	25	27	23	18	13	13	9	5
2.9	81	65	53	43	65	58	48	38	51	41	33	40	33	25	27	23	17	12	13	8	5
3.0	81	64	52	42	65	58	47	38	51	40	32	40	32	24	27	22	17	12	13	8	5
3.1	80	64	51	41	64	57	46	37	50	40	31	40	32	24	27	22	17	12	13	8	5
3.2	80	63	50	40	64	57	45	36	50	39	30	40	31	23	27	22	16	11	13	8	5
3.3	80	62	49	39	64	56	44	35	49	39	30	39	31	23	27	22	16	11	13	8	5
3.4	80	62	48	38	63	56	44	34	49	38	29	39	31	22	27	22	16	11	13	8	5
3.5	79	61	48	37	63	55	43	33	48	38	29	39	30	22	26	22	16	11	13	8	5
3.6	79	60	47	36	62	54	42	33	48	37	28	39	30	21	26	21	15	10	13	8	5
3.7	79	60	46	35	62	54	42	32	48	37	27	38	30	21	26	21	15	10	13	8	4
3.8	79	59	45	35	62	53	41	31	47	36	27	38	29	21	26	21	15	10	13	8	4
3.9	78	59	45	34	61	53	40	30	47	36	26	38	29	20	26	21	15	10	13	8	4
4.0	78	58	44	33	61	52	40	30	46	35	26	38	29	20	26	21	15	9	13	8	4
4.1	78	57	43	32	60	52	39	29	46	35	25	37	28	20	26	21	14	9	13	8	4
4.2	78	57	43	32	60	51	39	29	46	34	25	37	28	19	26	20	14	9	13	8	4
4.3	78	56	42	31	60	51	38	28	45	34	25	37	28	19	26	20	14	9	13	8	4
4.4	77	56	41	30	59	51	38	28	45	34	24	37	27	19	26	20	14	8	13	8	4
4.5	77	55	41	30	59	50	37	27	45	33	24	37	27	19	25	20	14	8	14	8	4
4.6	77	55	40	29	59	50	37	26	44	33	24	36	27	18	25	20	14	8	14	8	4
4.7	77	54	40	29	58	59	36	26	44	33	23	36	26	18	25	20	13	8	14	8	4
4.8	76	54	39	28	58	59	36	25	44	32	23	36	26	18	25	19	13	8	14	8	4
4.9	76	53	38	28	58	59	35	25	44	32	23	36	26	18	25	19	13	7	14	8	4
5.0	76	53	38	27	57	58	35	25	43	32	22	36	26	17	25	19	13	7	14	8	4

Fuente: Koenigsberger, Rodolfo. 1986. Ingeniería Eléctrica 2. Guatemala. 1ª Edición

**Paso 7).** Encontrar el Coeficiente de Utilización a partir de los valores de Relación de cavidad de Habitación (RCR), Reflectancia efectiva de cavidad del Techo ( $P_c$ ), y de Reflectancia de paredes ( $P_p$ ). La tabla de coeficientes de utilización debe corresponder al tipo de lámpara seleccionada.

**Paso 8).** Encontrar el número de lámparas. La fórmula que determina el número de lámparas es:

$$N = \frac{E \times \text{Area}}{CU \times LLD \times LL \times LDD}$$

Donde,

N = número de lámparas

E = Nivel de iluminación

CU = Coeficiente de utilización

LLD = Depreciación de lúmenes de la lámpara ( o coeficiente de mantenimiento )

LL = Lúmenes iniciales de la lámpara

LDD = Factor de depreciación por suciedad

**Paso 9).** Encontrar el espaciamiento de las lámparas. El espaciamiento se hace preferiblemente en forma cuadrada. Las lámparas que se localizan al lado de una pared se ubican a la mitad de la distancia de espaciamiento en esa dirección. La fórmula para encontrar el espaciamiento es:

$$\text{Esp.} = \sqrt{\frac{\text{Area}}{N}}$$

Donde,

Esp. = Espaciamiento

Area = Largo por Ancho

N = Número de luminarias

## **IV. METODOLOGIA**

### **A. Análisis de la industria**

La empresa para la cual se hace este estudio se dedica a la confección de ropa. Para poder diseñar un sistema de iluminación se deben estudiar las condiciones de la planta de trabajo. Este análisis identifica todos los factores necesarios para poder llevar a cabo el estudio de iluminación. A partir de esto se puede diseñar un sistema acorde a las necesidades del caso en particular.

#### **1. Areas de trabajo**

En la empresa se realizan 4 tareas en el área de producción, las cuales son: Corte y Azorado, Costura (o confección), Revisión y Control, y Empaque. Las tareas realizadas en esta área requieren de mucha habilidad y precisión, la iluminación se convierte en un factor clave para poder cumplir con estos requisitos. Las cuatro tareas se realizan dentro del edificio de la empresa, la bodega se divide en dos secciones, separadas por un desnivel. En una sección se encuentra el área de Corte y Azorado y en la otra la Costura, Revisión y Control, y el Empaque.

El edificio posee una altura de techo de aproximadamente 10 mts. , cuenta con extractores de aire por lo que el ambiente es fresco. Al tener a un número alto de personas trabajando en un área resulta necesario mantener un ambiente fresco porque los cuerpos generan calor.

El nivel de ruido no es de consideración, dentro de los límites de permisibilidad. El ruido proviene de las máquinas de costura y de las cortadoras. A pesar de que las máquinas de costura están permanentemente trabajando, no emiten un nivel de ruido considerable.

El piso de la planta es de cemento y es de color gris opaco. Las paredes están pintadas de color celeste antirreflejante. Las estaciones de trabajo tienen un color gris o verde antirreflejante.

La edad de los trabajadores oscila entre 21 a 35 años. La rotación de personal es considerable. La planta cuenta con un área de aprendizaje donde los empleados nuevos, sin experiencia ni conocimientos aprenden a coser.

## 2. Proceso de producción

El Corte y Azorado consiste en cortar los patrones de las prendas y luego numerarlos. La tela se desenrolla sobre la mesa de corte y se va doblando para formar la mayor cantidad de capas de tela posible. Al desenrollar la tela sobre la mesa es importante tratar de que todas las capas sean uniformes para evitar que se formen arrugas o que algunas queden más largas o más cortas. Luego encima se coloca el patrón de las prendas y todo está listo para comenzar con el corte. El patrón es un dibujo que incluye todas las piezas que componen la prenda. El encargado de dibujar el patrón debe ser muy hábil para poder incluir el mayor número de prendas posible en cada patrón. En el corte es importante que el operario pueda distinguir muy bien las líneas en el patrón para poder cortar todas las piezas correctamente. Esta tarea es delicada porque al cortar una pieza se están cortando varias capas de tela, es decir una gran cantidad de piezas y si se comete un error se echa a perder buena parte del lote. El corte de la tela se realiza con equipo de corte especial para esta tarea.

El azorado consiste en numerar las piezas que se han cortado para que lleven una correlación. La numeración depende de la capa de tela a la cual pertenece cada pieza, las prendas deben estar formadas con piezas que pertenecen a la misma zona de la tela. Esto se debe a que las telas traen diferentes tonalidades y si se combinan piezas de otras partes de la tela, la prenda puede resultar con tonos de color distintos. El azorado también sirve para el control y agrupación de las prendas para enviarlas al área de costura. La numeración ayuda a agrupar las piezas que forman cada prenda y luego para controlar la producción al llevar un seguimiento de éstas.

El área de Corte y Azorado tiene una longitud de 28 mts. y un ancho de 13 mts.. Aquí se ubican cuatro mesas rectangulares del mismo tamaño donde se lleva a cabo primero el corte y luego el azorado. Las mesas tienen una altura de 1.4 mts. y el color es gris antirreflejante. Los lotes que ya fueron agrupados se colocan en una mesa antes de ser distribuidos en el área de costura. De esta manera se puede seguir cortando sin tener que esperar a que el área de costura esté lista para recibir los lotes recién cortados.

El área de costura se compone de 6 módulos de trabajo. Los módulos consisten en un grupo de operarios que confeccionan una prenda. Cada módulo ensambla un tipo de prenda y las tareas de ensamble se reparten entre los operarios del módulo. El número de operarios en cada módulo

depende del tipo de prenda que se esté confeccionando y del número de operaciones que requiera su confección. La confección de cada prenda se realiza en línea y los módulos deben ser organizados para poder cumplir con esta necesidad.

La costura es una tarea que requiere habilidad y precisión. Los operarios deben poder ver con claridad su estación de trabajo así como los colores de la tela y de los hilos. Si un operario no puede distinguir bien el color del hilo que selecciona, puede echar a perder todo el lote de prendas.

Esta área tiene una longitud de 24 mts. y un ancho de 17 mts.. Dentro de esta zona se ubican todas las maquinas de costura que tienen una altura de 1.2 mts. y las estaciones de trabajo tienen un color verde o gris de tono mate.

En el área de revisión y control es donde se aceptan o rechazan las prendas confeccionadas. Aquí se revisa que las prendas estén dentro de los límites de especificación, también se controla que los lotes estén completos. La información obtenida en esta etapa es importante para elaborar análisis estadísticos y gráficas de control para lograr identificar cuáles son las causas de los defectos, para poder corregirlos con mayor certeza.

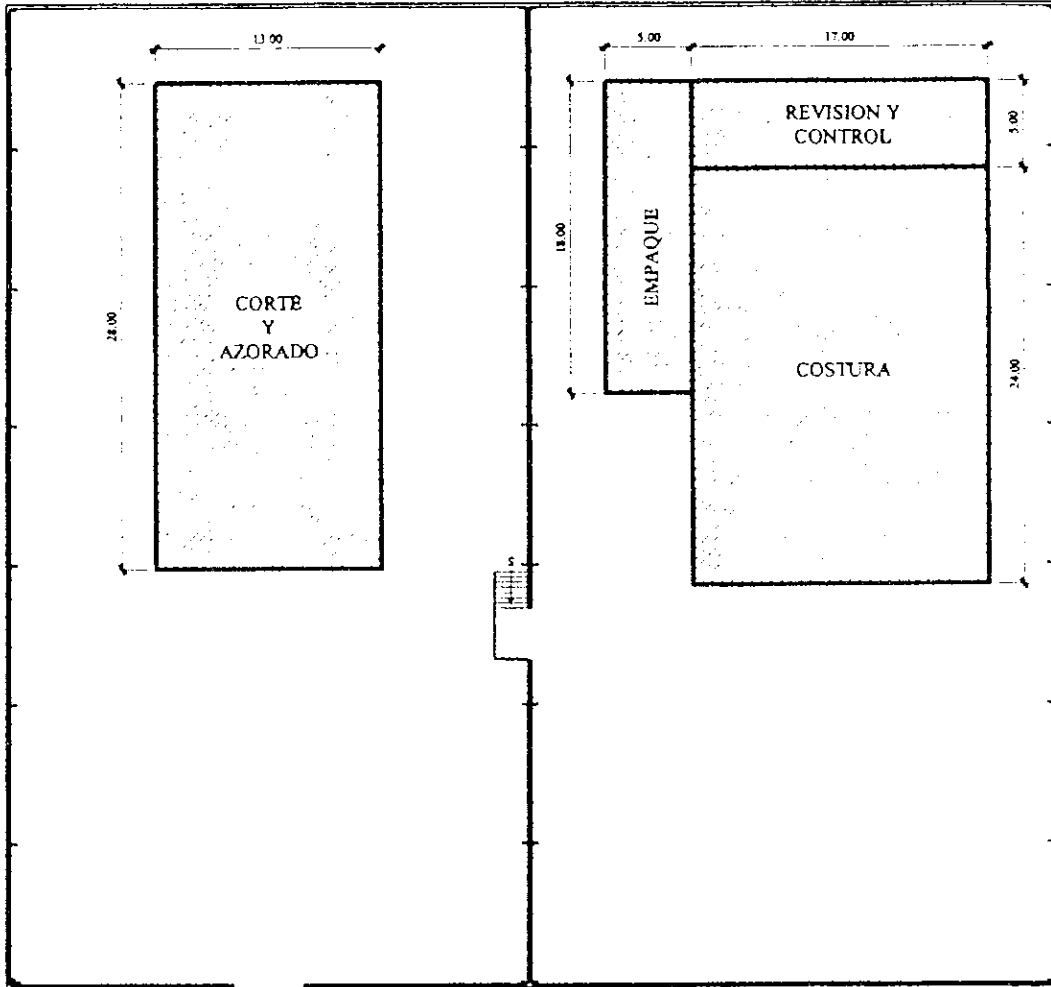
Esta área tiene una longitud de 5 mts. y un ancho de 17 mts.. Las mesas de trabajo tienen una altura de 1.5 mts. Esta sección se encuentra ubicada justo al fondo del área de costura, de esta manera las prendas se revisan conforme salen de los módulos, evitando traslados innecesarios.

En el área de empaque se agrupan las prendas ya revisadas y se empacan en bolsas. Las prendas se empacan de forma general, en una bolsa va un número determinado de prendas. Estas prendas se transportan a mayoristas y distribuidores por lo que no se empacan de manera individual.

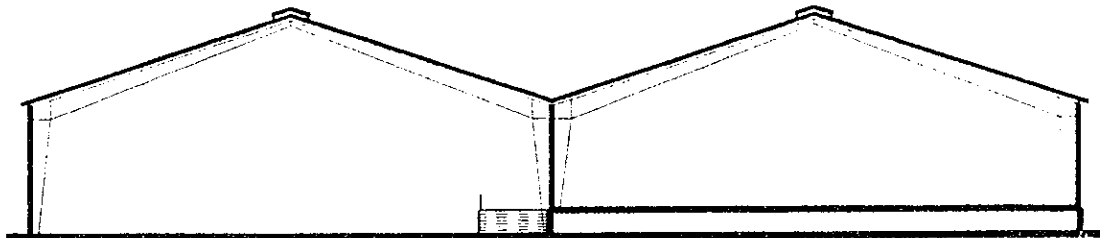
Esta área tiene una longitud de 18 mts. y un ancho de 5 mts.. Las mesas de trabajo tienen una altura de 1.2 mts.. Esta area se encuentra ubicada al lado del area de revisión y control , y costura.

A continuación se presenta un diagrama de distribución de la planta. El desnivel se identifica con una línea que divide a las dos secciones. Las cuatro áreas están rodeadas por pared de modo que algunas áreas sólo están rodeadas por una o dos paredes.

# AREA DE PRODUCCION



PLANTA DE BODEGAS Sin escala



CORTE TRANSVERSAL DE BODEGAS Sin escala

### 3. Niveles de iluminación

Para determinar las condiciones actuales de las áreas de trabajo, se realizaron mediciones de los niveles de iluminación de cada área utilizando el fotómetro GE Triple Range. Este aparato tiene un margen de precisión del +/- 15%, y una escala de 100 a 10,000 pie-candela ( 1000 a 100,000 Lux). Para todas las áreas, el nivel de iluminación resultó ser menor a los 100 pie-candela (1000 Lux).

Los niveles de iluminación recomendados para las cuatro áreas en estudio se obtienen a partir de los datos de la tabla de niveles y/o categorías de iluminación (pag 26). Las categorías y rangos de iluminación de cada área se muestran en la siguiente tabla:

Area	Categoría	Rango (Lux)
Corte y Azorado	G	2000-3000-5000
Costura	G	2000-3000-5000
Revisión y Control	G	2000-3000-5000
Empaque	F	1000-1500-2000

Después de identificar la categoría se debe definir el valor del rango a partir de los factores de peso que son: Edad, velocidad o exactitud, y reflectancia de los alrededores. Los valores obtenidos para cada factor fueron los siguientes:

Factor	Rango	Valor
Edad	<40	-1
Velocidad o exactitud	importante	0
Reflectancia de los alrededores	<30%	1

De esta forma, al sumar el valor elegido para cada factor de peso obtenemos cero. Esto quiere decir que se debe elegir el valor del medio en el rango de iluminación para cada categoría. El nivel de iluminación para cada área se muestra en la siguiente tabla:

<b>Area</b>	<b>Nivel de iluminación (Lux)</b>
Corte y Azorado	3000
Costura	3000
Revisión y control	3000
Empaque	1500

#### **4. Selección del luminario**

Actualmente las áreas de trabajo están iluminadas por medio de lámparas fluorescentes. Estas lámparas no generan suficiente intensidad luminosa.

Para uso industrial, es necesario utilizar una lámpara de descarga de alta-intensidad (HID). Dentro de esta familia de lámparas, la elegida para este estudio es la lámpara de aditivos metálicos. Sus ventajas son : es la fuente de luz blanca más eficiente disponible hoy en día, alta eficacia, vida razonablemente económica, excepcional rendimiento de color y buen rendimiento lumínico. Específicamente, los cálculos se trabajarán con base en una luminaria GE 7139 de 1000 vatios, que es una lámpara de aditivos metálicos. El diseño de la luminaria es del tipo hiperbólico, el utilizado para iluminación industrial. Además, la luminaria será del tipo cerrada (o Enclosed) para evitar contaminación en la lámpara y que ésta se pueda mantener limpia. (Ver datos fotométricos y dimensiones de la luminaria en la pg. 69).

## B. Cálculos

### 1. El programa ALADAN

Los cálculos para el sistema de iluminación de cada área se harán por medio del programa ALADAN<sup>6</sup> (A Lighting Application Design & Analysis). Este programa es un software desarrollado por la empresa General Electric Company® para la división GE Lighting Systems® para el cálculo de sistemas de iluminación de interiores y exteriores. Los cálculos efectuados por medio de este programa son muy precisos porque están basados en los datos fotométricos de cada lámpara.

El programa requiere de información tal como dimensiones del área, altura de montaje, tipo de lámpara ( HPS, aditivos metálicos o de mercurio), y otros datos. Resultados altamente precisos son proporcionados por medio de los cálculos del método de cavidad zonal. Los resultados finales son calculados usando la fotometría específica de cada lámpara. Los datos se ingresan en una pantalla ( ver abajo) y luego presionando la función apropiada definida en la parte baja de la pantalla, se obtienen los resultados.

ALADAN	
I N D O O R - GE Lighting Systems 03-15-1995 11:26:47	
INPUT	
1 CUSTOMER NAME -----	KYZ Company
2 ROOM DESCRIPTION -----	Industrial Assembly Room
3 WIDTH -----	100.0
4 LENGTH -----	120.0
5 MH (FIXT TO WORKPLANE DIST) -----	30.0
6 (1) HPS (2) MET. HAL (3) MERC -----	2.
7 (1) HIGH BAY (2) LOW BAY (3) HAZARD -----	1. P7 to Select GE Photometry
8 (1) 5W/5M (2) 3W/3M (3) 1M/1H -----	2.
9 (1) CLEAN (2) AVG (3) DIRTY -----	2.
10 (1) FILTR (2) ENCL0S (3) OPEN -----	2.
11 MAINTAINED ILLUMINATION -----	50.0
RESULTS	
USE A ENCLOSED HIGH BAY FIXTURE WITH A 100 WATT METAL HALIDE /U LAMP	
QUANTITY OF FIXTURES -----	40.
ROOM CAVITY RATIO (RCR) -----	2.75
COEFFICIENT OF UTILIZATION (CU) -----	0.61 (Generic Approximation)
INITIAL LUMENS (LI) -----	40000.
LAMP LUMEN DEPRECIATION (LLD) -----	0.80
LUMINAIRE DIRT DEPRECIATION (LDD) -----	0.86
ACTUAL MAINTAINED ILLUMINATION -----	56.1
SQUARE FEET PER FIXTURE -----	300.0
AUG. SQ. SPACING -- 17.3	
WIDTH: 5 ROWS SPACED 20.0 ( 0.7 MH) -LENGTH: 8 ROWS SPACED 15.0 ( 0.5 MH)	
F1:Help F2:Calc F3:WAITS F4:WAITS F7:Phot F8:PI by P1 P9:Print Esc:Quit	

<sup>6</sup> Extraído de la página web <http://www.ge.com/lightingsystems/ls4.htm>

Los 11 datos de entrada (Input) son los siguientes :

**Dato 1. CUSTOMER NAME** (Nombre del Cliente)

**Dato 2. ROOM DESCRIPTION** (Descripción de la habitación)

Este campo contiene cualquier información descriptiva que el usuario crea apropiada.

**Dato 3. WIDTH** (Ancho)

**Dato 4. LENGTH** (Largo)

El usuario debe ingresar la dimensión más corta de la habitación como Ancho y la dimensión más larga de la habitación como Largo.

**Dato 5. MH (MOUNTING HEIGHT)**

(Altura de montaje)

Este dato es la altura de montaje desde el plano de trabajo que se quiere iluminar hasta la parte más baja de la lámpara. Generalmente, este dato es la altura del techo al piso menos la longitud de suspensión de la lámpara (distancia del techo a la parte más baja de la lámpara) y menos la longitud del plano de trabajo (desde el piso hasta el plano de trabajo).

**Dato 6. (1)HPS (2) MET.HAL (3) MERC**

El tipo de lámpara debe ser seleccionado; Alta presión de sodio (HPS), aditivos metálicos o de mercurio.

**Dato 7. (1)HIGH BAY(Montaje alto) (2) LOW BAY(Montaje bajo)**

**(3) HAZARD(Lugares peligrosos)**

La elección del tipo de lámpara (HIGH BAY o LOW BAY) depende de la dimensión ingresada para MH (altura de montaje). Una buena regla a seguir es la siguiente: si la altura de montaje es de 7 metros o mayor, se selecciona una luminaria HIGH BAY. Si la altura de montaje es menor de 7 metros, se selecciona una luminaria LOW BAY.

Las consecuencias de utilizar una luminaria HIGH BAY a una altura de montaje que es muy baja será un vatiaje de lámpara muy bajo y como resultado un número alto y anormal de luminarias. Si se incrementan los vatios de la lámpara para reducir el número de luminarias lo único que se conseguirá es un incremento en la brillantez. A esto también se le suma una pobre uniformidad y sombras pronunciadas. En este caso el programa generará avisos de emergencia.

Cuando una luminaria LOW BAY es utilizada a una altura de montaje que es muy alta, el programa generará un sistema de iluminación menos eficiente. También generará un número excesivamente alto de luminarias ya que generalmente las luminarias LOW BAY no pasan de los 400 vatios. Otra vez, el programa generará avisos de emergencia.

El cálculo genérico para la selección de HAZARD asume que una luminaria con reflector será seleccionada para obtener mejor utilización y un número menor de luminarias.

**Dato 8.** (1)50/50 (2) 30/30 (3) 10/10

Esta selección especifica las reflectancias de techo y pared que serán utilizadas para calcular el número de luminarias. El valor de 30/30 debería ser utilizado para la mayor parte de aplicaciones industriales a menos que las paredes sean muy oscuras (10/10) o muy claras (50/50).

**Dato 9.** (1)CLEAN (Limpio) (2) AVG (Promedio) (3) DIRTY (Sucio)

Esta selección especifica cuan rápido la suciedad se acumula en la habitación. La suciedad se adhiere tanto dentro como fuera de la luminaria y reduce el rendimiento lumínico.

**Dato 10.** (1)FILTR (Filtro) (2) ENCLOS (Cerrada) (3) OPEN (Abierta)

La construcción básica del componente óptico de la luminaria se define en esta selección. ¿Es cerrada y tiene filtro, es cerrada (sin filtro), o está abierta a la atmosfera?

**Dato 11. MAINTAINED ILLUMINATION (Iluminación mantenida)**

Aquí se ingresa el nivel de iluminación requerido.

**2. Entrada de datos**

Los datos de entrada para cada área se muestran en la siguiente tabla:

<b>Dato</b>	<b>Corte y Azorado</b>	<b>Costura + Revisión y C.</b>	<b>Empaque</b>
1	Ind. de confección textil	Ind. de confección textil	Ind. de confección textil
2	Corte y Azorado	Costura + Revisión y C.	Empaque
3	13m.	17m.	5m.
4	28m.	29m.	18m.
5	5.8m.	5.8m.	5.8m.
6	2	2	2
7	1	1	1
8	2	2	2
9	2	2	2
10	2	2	2
11	3000 Lux	3000 Lux	1500 Lux

La altura de montaje se establece en 5.8m. porque es una altura que permite acceso pero que no interfiere con las estaciones de trabajo, también porque existe una altura mínima a la cual se pueden colgar las luminarias de montaje alto (HIGH BAY) y son las que se utilizarán. Al elegir una altura de 6m. o mayor, aumenta el número de luminarias se incrementa. La luminaria será del tipo cerrada (Enclosed).

Al valor de reflectancia de techo y pared se le asignó un 30/30, como lo aconseja el programa, porque las paredes y techo no son ni muy claras ni muy oscuras.

Para el dato del nivel de limpieza, se asignó un valor promedio. La instalación acumula polvo y partículas de hilo y tela, no es posible mantener limpia la instalación porque se estarían estropeando las prendas que se encuentran sobre las estaciones de trabajo si se desempolva. Por esta razón, sólo se limpia en tiempos preestablecidos para esta actividad y por esto se le asigna un valor promedio.

## **C. Resultados**

Los datos obtenidos por el programa ALADAN son:

- # de luminarias
- Relación de cavidad de la habitación (RCR)
- Coeficiente de Utilización (CU)
- Lúmenes iniciales (LL)
- Factor de depreciación por suciedad (LDD)
- Depreciación de lúmenes de la lámpara (LLD)
- Iluminación mantenida actual
- Metros cuadrados por luminaria
- Espaciamiento de las luminarias (Largo y ancho)

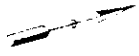
## 1. Sistema ideal

Los datos generados por el programa Aladan son los siguientes:

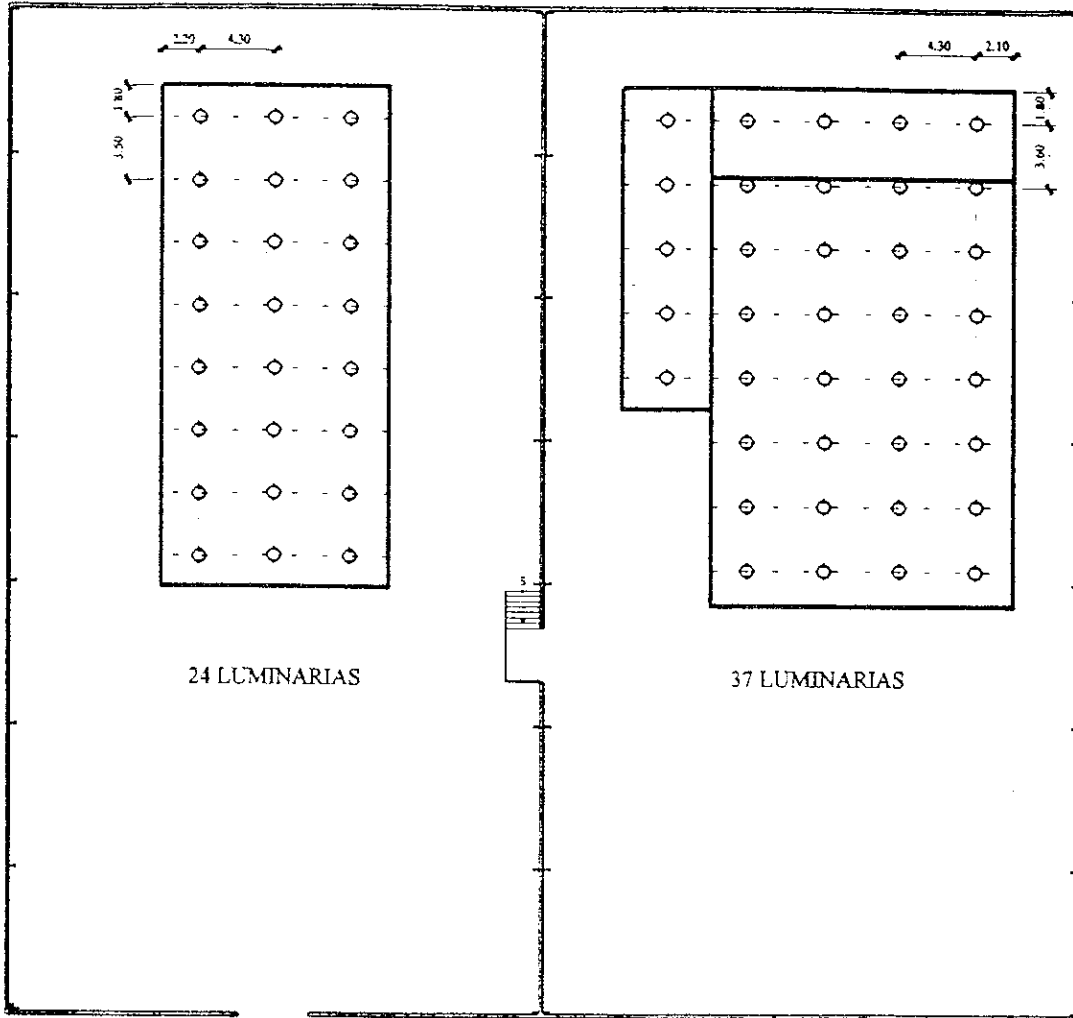
Dato	Corte y Azorado	Costura + Revisión y C.	Empaque
# de Luminarias	24	32	5
RCR	3.27	2.71	7.41
CU	0.56	0.60	0.35
Lúmenes iniciales	115,000	115,000	115,000
LDD	0.86	0.86	0.86
LLD	0.80	0.80	0.80
Iluminación mantenida actual	2915.70 Lux	3088.07 Lux	1550.45 Lux
M <sup>2</sup> /Luminaria	15	15	18
Espaciamiento	3 filas a 4.3m. 8 filas a 3.5m.	4 filas a 4.3m. 8 filas a 3.6m.	1 fila 5 filas a 3.6m

El sistema de iluminación ideal para las cuatro áreas en estudio consiste en 61 luminarias de 1000 vatios distribuidas según lo indica la tabla. Este se debe considerar el caso ideal, en el que se puede cumplir a cabalidad con las exigencias expuestas por las normas IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineering), sin tener restricciones. (Ver hoja de resultados del programa en pg. 60).

Finalmente, la distribución de las luminarias queda de la siguiente manera:



# DISTRIBUCION DE LUMINARIAS



24 LUMINARIAS

37 LUMINARIAS

## **V. RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES**

### **A. Recomendaciones**

Las mejoras en las condiciones de trabajo se traducen en un incremento de la productividad. Se debe hacer un esfuerzo por mejorar y mantener la comodidad y seguridad de los trabajadores.

El sistema de iluminación forma parte de las condiciones de trabajo que deben cumplirse dentro de una empresa. El sistema de iluminación actual presenta un nivel lumínico muy bajo, por lo que cualquier incremento se puede considerar una mejora.

Al hacer estudios sobre mejoras, es importante identificar todos los factores de los que depende el sistema a mejorar. En este caso los más importantes eran el costo, rendimiento de color de las lámparas y nivel lumínico. Al conocer ésto, se obtiene un sistema que se ajusta mejor a las necesidades particulares del caso. En este estudio se presenta el sistema ideal, donde no se han tomado en cuenta los costos del mismo.

Uno de los factores más importantes al querer implementar un nuevo sistema es el costo. Es necesario elaborar estudios financieros para determinar la manera más económica de adquirir el sistema. Es posible mejorar el sistema paso a paso según las posibilidades económicas de la empresa. pero la mejora de las condiciones de trabajo deben ser una prioridad.

El esfuerzo por mejorar las condiciones de trabajo y los procesos de producción en general, son la clave para mantenerse adelante en un campo cada vez más competitivo.

## **B. Conclusiones**

1. Por medio del estudio de iluminación llevado a cabo, se ha puesto en práctica el mejoramiento de las condiciones de trabajo, que es parte de las tareas de las que es responsable un analista de métodos.
2. Se llevó a cabo un estudio de las condiciones de trabajo de las cuatro áreas elegidas para determinar su situación actual , a partir de la cual se pueden lograr mejoras.
3. Se determinó que el tipo de luminaria que cumple con las exigencias de nivel lumínico y rendimiento de color es la lámpara de aditivos metálicos con diseño de luminaria hiperbólica. A partir de ésto se determinó la ubicación de las luminarias.
4. Basado en los niveles de iluminación recomendados por la IEEE ( Institute of Electrical and Electronics Engineering), en los datos fotométricos de la lámpara y haciendo uso de programas de computación, se determinó el número de luminarias y el arreglo más apropiado para cada área, que sigue el método de cavidad zonal.
5. El sistema presentado en este estudio es el sistema ideal para cada área de trabajo. Aunque cualquier incremento en nivel lumínico se considera una mejora, se debe realizar todo esfuerzo para lograr implementar el sistema de iluminación más apropiado para el tipo de tarea realizada. Las condiciones de trabajo cómodas y seguras se traducen en incrementos de productividad.

## VI. GLOSARIO

**Analista de Métodos:** Encargado de idear y preparar los centros de trabajo donde se fabrica el producto, y estudiar el centro de trabajo para hallar una mejor manera de elaborar el producto.

**Balastro:** Dispositivo electromagnético o electrónico usado para operar lámparas eléctricas de descarga. Sirve para proporcionar a éstas las condiciones de operación necesarias como son: tensión, corriente y forma de onda.

**Brillantez o Luminancia:** Es la relación entre la intensidad luminosa ( $I$ ) en cierta dirección y la superficie, vista por un observador situado en la misma dirección.

**Candela ( cd ):**  Se define como la intensidad luminosa, en una dirección dada, de una fuente luminosa que emite radiación monocromática.

**Cavidad de techo:** La cavidad formada por el techo, el plano de luminaria y las superficies de las paredes entre estos dos planos.

**Cavidad de la habitación:** Cavidad formada por el plano de luminarias, el plano de trabajo y las paredes entre estos dos planos.

**Cavidad de piso:** Cavidad formada por el plano de trabajo, el piso y las paredes.

**Coefficiente de Utilización ( Cu ):**  Relación entre el flujo luminoso (lúmenes) que cae sobre un área específica directamente de un reflector o proyector y el flujo luminoso total (lúmenes).

**Eficacia Luminosa (de una lámpara):** Relación de flujo luminoso total emitido en lúmenes por la lámpara entre la potencia eléctrica consumida por la misma, su unidad está dada en :  
Lúmenes/Watt.

**Ergonomía:** Mejoramiento continuo orientado a proporcionar mayor comodidad en la interacción del usuario con el producto.

**Factor de depreciación de los lúmenes de la lámpara (LLD):** Relación de los lúmenes emitidos por la lámpara al 70% de su vida entre los lúmenes iniciales de la misma.

**Flujo luminoso ( Lúmen ):** Cantidad de luz comprendida en un ángulo sólido, emitido por una fuente luminosa de una candela (cd) colocada en el centro de una esfera unitaria.

**Footcandle ( $\text{lm}/\text{m}^2$ ) (fc):** Unidad de nivel luminoso en el sistema inglés.

**Fuente luminosa:** Es toda materia, objeto o dispositivo en que parte de la energía radiante que emite cae dentro de los límites visibles del espectro electromagnético.

**Iluminación:** Flujo luminoso por unidad de superficie.

**Iluminación general:** Iluminación diseñada para proporcionar un nivel de iluminación sustancialmente uniforme sobre una superficie.

**Ingeniería de Métodos:** Diseño, formulación y la selección de los mejores métodos, procesos, herramientas, equipos diversos y especialidades necesarias para manufacturar un producto.

**Intensidad de Iluminación ( E ):** Es la densidad de flujo luminoso sobre una superficie ( $E = F/S$ ), y es directamente proporcional a la intensidad luminosa e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia. Su unidad es el lux ( $E = I/d$ ), el cual tiene un valor correspondiente de distribuir el flujo de un lumen sobre una superficie de un metro cuadrado. En los países de habla inglesa se usa el pie candela como unidad de intensidad de iluminación siendo:

$$1 \text{ pie candela} = 10.76 \text{ luxes}$$

**Lamberts:** Unidad de luminancia o luminosidad, igual a  $1/\pi$  bujía por centímetro cuadrado.

## VII. BIBLIOGRAFIA

García Laguardia, Jorge Mario y Jorge Luján Muñoz. 1992. Guía de técnicas de Investigación. Guatemala. 7ª Edición. Editorial Serviprensa Centroamericana.

Manual de iluminación. Holophane S.A. de C.V.

Maynard, H.B.. Manual del Ingeniero Industrial. Mexico, DF. 1ª Edición. McGraw-Hill.

Niebel, B. 1993. Ingeniería Industrial. Mexico , DF. 9ª Edición. Alfaomega grupo editor, S.A. de C.V.

Koenigsberger, Rodolfo. 1986. Ingeniería Eléctrica 2. Guatemala. 1ª Edición.

Página web <http://www.ge.com/energy/power/energy.htm>, ©1997, 1998, 1999 General Electric Company. por medio de Internet Explorer, Microsoft Corp.

Prabhakara, F.S., Robert L. Smith, Jr. y Ray P Stratsford. 1996. Industrial and Commercial Power Systems Handbook. USA. 1ª Edición. McGraw-Hill.

## **VIII. ANEXOS**

## **A. Datos fotométricos y dimensiones de la luminaria**

# GE Luminaire Photometric Data Report

GE Lighting Systems - Hendersonville, NC, USA - Printed: 03-03-1999

Report No: 177139 Luminaire: UNIGLOW 400/1000 ENCL Issue Code: 2  
 Lamp: MET 1000

IES Distribution: SC 1.8 CIE Distribution: -  
 Socket Position: A  
 Comments: ENCLOSED 22" REFLECTOR

Revision No: 0 Test No: 83092601 Tested By: -  
 Approved Date: 920311 Approved By: MO Image Code: -  
 Store Type: 3 Store Record: 178 Prod Group: 4 CAD Symbol: 7  
 Refl: - Refr: -  
 Lumen Basis: 10000

Vertical Angle	Candela	Vertical Angle	Candela
0.0	1692	95.0	0
5.0	2055	100.0	0
10.0	2649	105.0	0
15.0	3109	110.0	0
20.0	3449	115.0	0
25.0	3597	120.0	0
30.0	3348	125.0	0
35.0	2893	130.0	0
40.0	2438	135.0	0
45.0	2083	140.0	0
50.0	1793	145.0	0
55.0	1400	150.0	0
60.0	798	155.0	0
65.0	274	160.0	0
70.0	86	165.0	0
75.0	46	170.0	0
80.0	23	175.0	0
85.0	10	180.0	0
90.0	0		

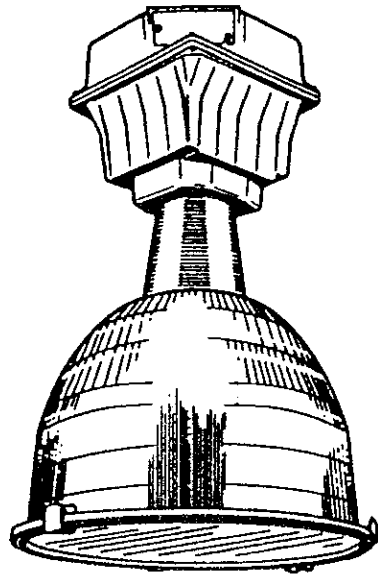
Zonal Lumens @ 5,15,25,...,175:

213.1	882.0	1617.8	1808.5	1620.1	1202.1	351.8	52.7	11.4
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

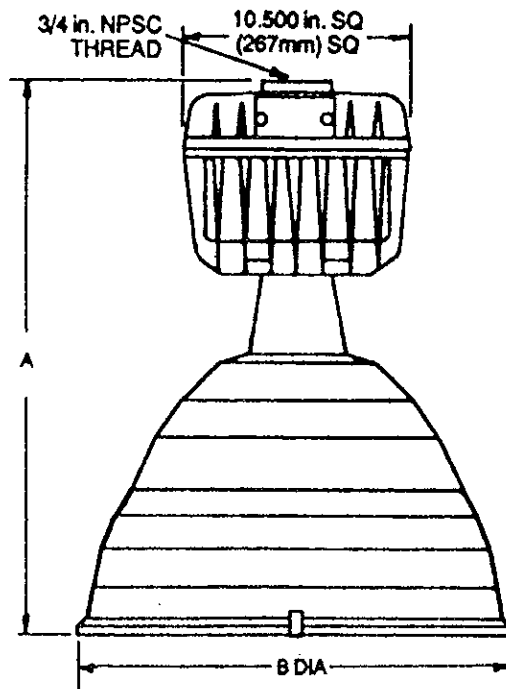
Downward Lumens = 77.6% Upward Lumens = 0.0%

COEFFICIENTS OF UTILIZATION - ZONAL CAVITY METHOD (20% Floor) per IES 1982

RCR	80			70			50			30			10			0 <Ceiling
	80	80	80	70	70	70	50	50	50	30	30	30	10	10	10	
0	<-	0.92	->	<-	0.90	->	<-	0.86	->	<-	0.83	->	<-	0.79	->	.78
1	.83	.81	.79	.82	.79	.77	.79	.77	.75	.76	.74	.73	.73	.72	.70	.69
2	.75	.70	.67	.73	.69	.66	.71	.67	.64	.68	.65	.63	.66	.64	.62	.60
3	.67	.62	.57	.66	.61	.57	.63	.59	.56	.61	.58	.55	.60	.57	.54	.52
4	.60	.54	.50	.59	.53	.49	.57	.52	.49	.55	.51	.48	.54	.50	.47	.46
5	.54	.48	.43	.53	.47	.43	.52	.47	.43	.50	.46	.42	.49	.45	.42	.40
6	.49	.43	.38	.48	.42	.38	.47	.42	.38	.46	.41	.37	.44	.40	.37	.36
7	.44	.38	.34	.44	.38	.34	.43	.37	.33	.42	.37	.33	.41	.36	.33	.32
8	.41	.34	.30	.40	.34	.30	.39	.34	.30	.38	.33	.30	.37	.33	.30	.28
9	.37	.31	.27	.37	.31	.27	.36	.31	.27	.35	.30	.27	.34	.30	.27	.25
10	.34	.29	.25	.34	.28	.25	.33	.28	.24	.32	.28	.24	.32	.27	.24	.23



**ENCLOSED**



## **B. Hoja de resultados del programa ALADAN**

A L A D A N (tm)

A Lighting Application Design &amp; Analysis

General Electric Company

GE Lighting Systems - Hendersonville, NC USA 28739

## P R O V I D E D B Y:

Place your company information  
here by picking COMPANY INFO  
from the SETUP selection on  
the main ALADAN screen.  
City, ST, ZIP

Phone: xxx-xxx-xxxx Fax: xxx-xxx-xxxx

## D E S I G N P A R A M E T E R S F O R:

Ind. de Confeccion Textil - Costura + Revision y Control

ROOM DIMENSIONS ARE 17.0 WIDE X 29.0 LONG

AVERAGE MAINTAINED LUX REQUIRED IS 3000.0

USE ENCLOSED METAL HALIDE HIGH BAY FIXTURES

MOUNTING HEIGHT (FIXT TO WORKPLANE DIST) IS 5.8

ROOM CLEANLINESS FACTOR IS AVERAGE AND WALL/CEILING REFLECTANCE IS 30/30

## S U G G E S T E D D E S I G N &amp; L A Y O U T:

Use a 1000 WATT METAL HALIDE /V GE UNIGLOW 400/1000 ENCLOSED (UGS & UGL) Fixture  
See Catalog Page 1040 for Complete Ordering Information.

Room Cavity Calculations are based on GE Photometric ID: 7139

Total Fixture Quantity: 32

Average Square Spacing: 3.9

Adjusted Lux: 3088.07

Square Meters per Fixture: 15

Room Cavity Ratio: 2.71

Coefficient of Utilization (CU): 0.60

Initial Lumens: 115000

Light Loss Factor (LLD x LDD): 0.69

Lamp Lumen Depreciation (LLD): 0.80

Luminaire Dirt Depreciation (LDD): 0.86

Fixture Locations are Positioned as Follows:

4 Rows of Fixtures Spaced 4.3 Along the Width (Spac/MH Ratio = 0.7).

First Row is Spaced 2.1 from the Wall.

8 Rows of Fixtures Spaced 3.6 Along the Length (Spac/MH Ratio = 0.6).

First Row is Spaced 1.8 from the Wall.

Normal deviations in luminaire installation, lighted area geometry, electrical supply, lamp tolerances, luminaire tolerances, and obstructions within the lighted space may produce illumination levels different from the above predicted values.

## A L A D A N (tm)

A Lighting Application Design & Analysis  
 General Electric Company  
 GE Lighting Systems - Hendersonville, NC USA 28739

## P R O V I D E D B Y:

Place your company information  
 here by picking COMPANY INFO  
 from the SETUP selection on  
 the main ALADAN screen.  
 City, ST, ZIP  
 Phone: xxx-xxx-xxxx Fax: xxx-xxx-xxxx

## D E S I G N P A R A M E T E R S F O R:

Ind. de Confeccion Textil - Corte y Azorado

ROOM DIMENSIONS ARE 13.0 WIDE X 28.0 LONG  
 AVERAGE MAINTAINED LUX REQUIRED IS 3000.0  
 USE ENCLOSED METAL HALIDE HIGH BAY FIXTURES  
 MOUNTING HEIGHT (FIXT TO WORKPLANE DIST) IS 5.8  
 ROOM CLEANLINESS FACTOR IS AVERAGE AND WALL/CBILING REFLECTANCE IS 30/30

## S U G G E S T E D D E S I G N &amp; L A Y O U T:

Use a 1000 WATT METAL HALIDE /V GE UNIGLOW 400/1000 ENCLOSED (UGS & UGL) Fixtur  
 See Catalog Page 1040 for Complete Ordering Information.

Room Cavity Calculations are based on GE Photometric ID: 7139

Total Fixture Quantity: 24	Average Square Spacing: 3.9
Adjusted Lux: 2915.70	Square Meters per Fixture: 15
Room Cavity Ratio: 3.27	Coefficient of Utilization (CU): 0.56
Initial Lumens: 115000	Light Loss Factor (LLD x LDD): 0.69
Lamp Lumen Depreciation (LLD): 0.80	Luminaire Dirt Depreciation (LDD): 0.86

Fixture Locations are Positioned as Follows:

- 3 Rows of Fixtures Spaced 4.3 Along the Width (Spac/MH Ratio = 0.7).  
 First Row is Spaced 2.2 from the Wall.
- 8 Rows of Fixtures Spaced 3.5 Along the Length (Spac/MH Ratio = 0.6).  
 First Row is Spaced 1.8 from the Wall.

Normal deviations in luminaire installation, lighted area geometry, electrical supply, lamp tolerances, luminaire tolerances, and obstructions within the lighted space may produce illumination levels different from the above predicted values.

A L A D A N (tm)

A Lighting Application Design &amp; Analysis

General Electric Company

GE Lighting Systems - Hendersonville, NC USA 28739

## P R O V I D E D B Y:

Place your company information

here by picking COMPANY INFO

from the SETUP selection on

the main ALADAN screen.

City, ST, ZIP

Phone: xxx-xxx-xxxx Fax: xxx-xxx-xxxx

D E S I G N P A R A M E T E R S F O R:  
Ind. de Confeccion Textil - Empaque

ROOM DIMENSIONS ARE 5.0 WIDE X 18.0 LONG

AVERAGE MAINTAINED LUX REQUIRED IS 1500.0

USE ENCLOSED METAL HALIDE HIGH BAY FIXTURES

MOUNTING HEIGHT (FIXT TO WORKPLANE DIST) IS 5.8

ROOM CLEANLINESS FACTOR IS AVERAGE AND WALL/CEILING REFLECTANCE IS 30/30

## S U G G E S T E D D E S I G N &amp; L A Y O U T:

Use a 1000 WATT METAL HALIDE /V G UNIGLOW 400/1000 ENCLOSED (UGS & UGL) Fixtur  
See Catalog Page 1040 for Complete Ordering Information.

Room Cavity Calculations are based on GE Photometric ID: 7139

Total Fixture Quantity:	5	Average Square Spacing:	4.2
Adjusted Lux:	1550.45	Square Meters per Fixture:	18
Room Cavity Ratio:	7.41	Coefficient of Utilization (CU):	0.35
Initial Lumens:	115000	Light Loss Factor (LLD x LDD):	0.69
Lamp Lumen Depreciation (LLD):	0.80	Luminaire Dirt Depreciation (LDD):	0.86

Fixture Locations are Positioned as Follows:

- 1 Rows of Fixtures Spaced 5.0 Along the Width (Spac/MH Ratio = 0.9).  
First Row is Spaced 2.5 from the Wall.
- 5 Rows of Fixtures Spaced 3.6 Along the Length (Spac/MH Ratio = 0.6).  
First Row is Spaced 1.8 from the Wall.

Normal deviations in luminaire installation, lighted area geometry, electrical supply, lamp tolerances, luminaire tolerances, and obstructions within the lighted space may produce illumination levels different from the above predicted values.