

4. Diseño de Iluminación.

Uno de los aspectos más importantes del diseño de un sistema eléctrico, es el diseño del sistema de iluminación. No solo proporciona un nivel de iluminación adecuado, también debe producir confort visual y el calor apropiado al ambiente de la instalación.

Para el diseño de la iluminación tenemos que tener en cuenta que la eficacia luminosa (lm/w) o energía eléctrica consumida, que es convertida en luz, y que la intensidad luminosa o luz emitida en una sola dirección debe ser de buena calidad esto quiere decir que la reproducción de los colores para su apreciación sea de un buen nivel, además de la duración de vida media y costo de la lámpara, y que no debe haber reflejos que afecten la visibilidad de los usuarios, procurando tener el mayor ahorro posible de energía.

4.1 Método de Cavidad Zonal.

Se recomienda el uso del método de cavidad zonal, para los cálculos de iluminación interior uniformemente distribuidos sobre superficies horizontales.

Este método asume que cada local está constituido por tres diferentes zonas o cavidades; cada una de ellas será tratada en conjunto, ya que tiene un efecto en cada una de las otras cavidades para producir iluminación uniforme. Este método calcula niveles horizontales de iluminación promedio a través de un espacio.

Cavidad de Techo: Es el área medida desde el plano de las luminarias al techo. Para luminarias colgantes existirá una cavidad de techo; para luminarias colocadas directamente en el techo o empotradas en el mismo, no existirá cavidad de techo.

Cavidad de Local: Es el espacio entre el plano de trabajo donde se desarrolla la tarea y la parte inferior de la luminaria; el plano de trabajo se encuentra localizado normalmente arriba del nivel del piso. En algunos casos, donde el plano de trabajo es considerado a nivel del piso, el espacio desde la luminaria al piso se considera como cavidad de local. En el lenguaje de iluminación la distancia desde el plano de trabajo a la parte inferior de la luminaria es llamada altura de montaje de la luminaria.

Cavidad de Piso: Se considera desde el piso a la parte superior del plano de trabajo o bien el nivel donde se realiza la tarea específica. Para áreas de oficina esta distancia es aproximadamente, de 76 centímetros. Para bancos de trabajo de tareas difíciles en industrias deberán considerarse 92 centímetros aproximadamente. Sin el trabajo se realizara directamente en el piso, no existe cavidad de piso.

La teoría básica en este método de cálculo de iluminación es que la luz producida por una lámpara es reflejada por todas las superficies del área. Las reflexiones múltiples de la luz desde la luminaria y desde las superficies del local actúan para producir la luz en el plano de trabajo. Debido a este hecho es muy importante determinar:

- a) Las dimensiones del local
- b) La reflectancia del local de techo, paredes y piso.
- c) Características de la lámpara (factor de depreciación y coeficiente de utilización).
- d) Efectos ambientales (polvo, suciedad y temperatura).

- e) Mantenimiento planeado del sistema de iluminación.

4.1.1 Los pasos a seguir para aplicar el método de cavidad zonal son los siguientes:

1. Determinar el tipo de trabajo que se realizará en el local. Esto servirá para determinar la calidad y cantidad de luz que se necesitará. Esta consulta se puede realizar en los listados que proporciona la NOM-001-SEDE-2005, donde proporciona algunos niveles de luz sugeridos para tipos diferentes de industrias y actividades específicas.
2. Determinar que fuente luminosa deberá usar.
3. Determinar que condiciones ambientales prevalecerán en el área. Esto ayudará a determinar los efectos del polvo, suciedad y las condiciones ambientales que se deberán tomar en cuenta.
4. Determinar las características físicas y operacionales del área y cómo se usará. Esto incluye dimensiones del local, valores de reflectancia, localización del plano de trabajo y características operacionales tales como: horas diarias y anuales de uso del sistema.
5. Seleccionar la luminaria que se usará:
 - a) Altura de montaje
 - b) Tipo de lámpara seleccionada
 - c) Características de depreciación de la luminaria
 - d) Restricciones físicas del montaje
 - d.1) Colgante
 - d.2) Empotrada
 - d.3) Abierto
 - d.4) Cerrada
6. Determinar los factores de depreciación de luz para el área. Los factores de pérdida de luz se pueden dividir en dos categorías:
 - a) No recuperables (temperatura, voltaje, materiales utilizados en la fabricación de la lámpara).
 - b) Recuperables (polvo, vida útil, etc.).
7. Cálculo de las relaciones de cavidad:

Cavidad del Local
Cavidad del techo
Cavidad del piso
8. Determinar las reflectancias correspondientes a la cavidad del techo y piso. Este procedimiento contempla el efecto de ínter

reflexión de la luz, considerando las diferentes superficies del local. Si todas las superficies son altamente reflectivas o si las luminarias se encuentran localizadas directamente en el techo, no será necesario efectuar este cálculo. En este caso se puede usar el valor actual de las reflectancias de las superficies, para determinar el coeficiente de utilización.

9. El coeficiente de utilización; es determinar el coeficiente que se encuentra dentro de los datos técnicos proporcionados por fabricante de las lámparas.
10. Cálculo de número de luminarias requeridas con los datos anteriores y la localización se determinará por las limitaciones físicas del local.

4.2 Utilización del método de cavidad zonal

De acuerdo a esto, tenemos para nuestro proyecto lo siguiente:

1. Según lo especificado en la NOM-001-SEDE-2005, artículo 220-3 b) Como tenemos un comedor se tiene la relación para restaurantes de una carga de alumbrado general de 20 (W/m²).
2. Dado que para distancias entre el piso y el techo de 3 a 6 m. la fuente luminosa adecuada son las lámparas fluorescentes compactas, así como lámparas dicróicas halógenas, ya que proporcionan los niveles de iluminación adecuada y con un índice de reproducción de color adecuado a las necesidades de nuestro proyecto, pues dentro del comedor la reproducción de colores debe de ser la adecuada para que los comensales aprecien los alimentos en colores reales, y dar calidad a la estancia de los mismos.
3. Ya que el comedor estará ubicado dentro de un complejo industrial, pero con todas las condiciones adecuadas para ser un comedor que proporcione a los usuarios gran confort, comodidad, y sensación de bienestar, se pondrá especial cuidado en las condiciones Ambientales que puedan surgir alrededor como el polvo y la suciedad. Para que no puedan llegar a afectar a las actividades del mismo.
4. Dimensiones del Local.

Parte del Comedor	Largo (m)	Ancho (m)	Área (m ²)
Baños y Cocina	20.5	12.7	260.4
Mesas	20.65	7.05	145.6
Complemento de mesas	7	3.7	26
Comedor ejecutivo	8.9	5.4	48
		Total	480

Se tiene contemplado un índice de reflectancia del techo 80%, paredes 30%, piso 10% para tener una visibilidad adecuada sin tener iluminación excesiva o molesta dentro del inmueble.

Plano de trabajo = altura del comedor - 0.75 m que es la altura estándar para un escritorio, que en este caso se utilizaría como referencia la mesa.

Plano de trabajo = **2.5** m - 0.75 m = 1.75 m.

Las características operacionales serían:

Haciendo la consideración de un horario del comedor de 7 am. a 7 pm. Y con 6 días laborales, ya que el sábado se trabajaría medio día.

Horas	Total
Diarias	12
Semanales	66
Anuales	2970

4.3 Selección de luminaria a utilizar

- Se tiene contemplado como se mostró en el plano de trabajo una altura de 2.5 m de altura a la cual irán colocadas las luminarias, ya sean las colgantes o las empotradas en plafón.
- Sistema de alimentación normal con Luminarias garnea con reflector de aluminio, suspendido con cables de acero, con lámpara de 42 W fluorescente compacta, para operarse a 127 V. C.A., 1 F, 2 H.

Luminaria Fluorescente de 2 X 32 Watts tipo empotrar en plafón liso, con balastro electrónico para operar a 127 V. C.A. 1 F, 2 H. dimensiones 30 X 122 cm. Watts. Sellado especial para área limpia.

Luminaria Fluorescente de 2 X 17 W. Tipo empotrar en plafón liso. con balastro electrónico para operar a 127 V. C.A. 1 F, 2 H, dimensiones 30 X 60 cm. Sellado especial para área limpia.

Luminaria Fluorescente de 2 X 26 W. Tipo empotrar, con balastro electrónico integrado para operar a 127 V. C.A. 1 F, 2 H, Baffle color blanco y cristal.
Luminaria empotrada para lámpara MR-16 de 50 Watts. circular de color blanco para operar a 12 V. Con transformador para 127 V. C.A. 1 F, 2 H.

Lámpara Dicroica Halógena GE MR16 50W/12V EXN. Tapa de vidrio. Alta intensidad de luz. Inclinación de la luz: 40°. Vida útil: 2000 hrs. Luz blanca cálida, con reflector que puede variar la dirección y apertura del haz de 7° hasta 60° empotradas en plafón liso.

c) Características de depreciación de la luminaria

Uno de los factores más importantes que deben tenerse en cuenta durante la elección de luminarias y el diseño de la iluminación es la depreciación de las luminarias por polvo (DLP).

La depreciación de las luminarias por polvo se refiere a la disminución de luminosidad que una luminaria presenta debido a la contaminación del ambiente en el que se encuentra instalada. Los valores para calcular la disminución en la producción de luz de una luminaria por este concepto los proporcionan los propios fabricantes. No obstante, la mayoría de éstos utilizan criterios muy optimistas. Parten del supuesto de que existirán programas regulares de mantenimiento, lo cual no siempre ocurre, ya que en muchas plantas industriales se presta poca atención a la limpieza de las luminarias, ó a la reposición periódica de las mismas.

La DLP es uno de los principales factores de pérdida de la luz, otro de estos componentes es la depreciación de los lúmenes de lámpara (DLL), debido al uso de las mismas lámparas.

TABLA 1 Nivel de contaminación de cinco ambientes distintos.

Característica	Muy limpio	Limpio	Medianamente limpio	Sucio	Muy sucio
Polvo que se genera	Ninguna	Muy poca	Observable, pero no abundante	Se acumula rápidamente	Se acumula constantemente
Polvo en el ambiente	Ninguna (o ninguna entra al área)	Alguna (casi no entra nada)	Parte entra al área	Una gran cantidad entra al área	Invade toda el área
Limpieza o filtración del polvo	Excelente	Mejor que el promedio	Menor que el promedio	Sólo utilizando ventiladores	Ninguna
Adhesión	Ninguna	Ligera	Suficiente para ser visible después de algunos meses	Elevada: probablemente debido a aceites, humedad o electricidad estática	Alta
Ejemplos	Oficinas ejecutivas alejadas de la zona de producción; laboratorios; oficinas limpias.	Oficinas en edificios viejos o cerca de las áreas de producción; locales de ensamble ligero; áreas de inspección.	Oficinas de talleres; locales de procesamiento de papel; áreas de maquinado ligero.	Áreas de tratamiento térmico; áreas de impresión a alta velocidad, procesamiento de caucho.	Áreas similares a las sucias, pero las luminarias están expuestas directamente a la contaminación.

Fuente: Illuminating Engineering Society of North America. *"IES Lighting Handbook"*. Octava edición. Capítulo 9, Lighting Calculations. Figura 9.11. pp 397. New York. 1995.

TABLA 2.2 CATEGORÍA DE MANTENIMIENTO DE LAS LUMINARIAS.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA ELÉCTRICA - ELECTRÓNICA

CATEGORÍA DE MANTENIMIENTO	SECCIÓN SUPERIOR	SECCIÓN INFERIOR
I	1. Nada.	1. Nada.
II	1. Nada. 2. Transparente con 15% o más de luz hacia arriba a través de las aberturas. 3. Translúcida con 15% o más de luz hacia arriba a través de las aberturas. 4. Opaca con 15% o más de luz hacia arriba a través de las aberturas.	2. Nada. 3. Rejillas o reflectores.
III	1. Transparente con menos del 15% de luz hacia arriba a través de las aberturas. 2. Translúcida con menos del 15% de luz hacia arriba a través de las aberturas. 3. Opaca con menos del 15% de luz hacia arriba a través de las aberturas.	1. Nada. 2. Rejillas o reflectores.
IV	1. Transparente sin aberturas. 2. Translúcida sin aberturas. 3. Opaco sin aberturas.	1. Nada. 2. Rejillas.
V	1. Transparente sin aberturas. 2. Translúcida sin aberturas. 3. Opaco sin aberturas.	1. Transparente sin aberturas. 2. Translúcida sin aberturas.
VI	1. Nada. 2. Transparente sin aberturas. 3. Translúcida sin aberturas. 4. Opaco sin aberturas.	1. Transparente sin aberturas. 2. Translúcida sin aberturas. 3. Opaco sin aberturas.

Fuente: Illuminating Engineering Society of North America. *"IES Lighting Handbook"*. Octava edición. Capítulo 9, Lighting Calculations. pp 396. New York. 1995.

Tabla 2.3 Constantes para el cálculo de la Depreciación de Luminarias por Polvo (DLP) Para seis Categorías de Mantenimiento y cinco grados de suciedad del ambiente.

Categoría de Mantenimiento de la luminaria	B	A				
		Muy limpio	Limpio	Medianamente limpio	Sucio	Muy sucio
I	0.69	0.038	0.071	0.111	0.162	0.301
II	0.62	0.033	0.068	0.102	0.147	0.188
III	0.70	0.079	0.106	0.143	0.184	0.236
IV	0.72	0.070	0.131	0.216	0.314	0.452
V	0.53	0.078	0.128	0.190	0.249	0.321
VI	0.88	0.076	0.145	0.218	0.284	0.396

Fuente: Illuminating Engineering Society of North America. *"IES Lighting Handbook"*. Octava edición. Capítulo 9, Lighting Calculations. Figura 9.13. pp 398. New York. 1995. (Traducción).

De acuerdo a estos datos podemos proponer tener como factores de depreciación por polvo de:

Nivel de Contaminación	Categoría de Mantenimiento	de	Constante para el cálculo de DLP
Limpio	II		0.068

Para el cálculo del DLL se tomará como criterio de diseño 0.4

Entonces tenemos que para **lámparas fluorescentes** el flujo luminoso en Lumen es:

2950 lumen X 0.4 = 1180 Lumen como factor DLL.

Y una vida útil de 20 000 horas.

Lámparas fluorescentes compactas.

1825 Lumen X 0.4 = 730 Lumen.

Y con una vida útil superior a las 8000 horas.

Para lámparas halógenas.

690 lumen X 0.4 = 276 Lumen como factor DLL.

Y una vida útil de 3000 horas.

Como se ha mostrado las luminarias van a estar colocadas de dos tipos diferentes:

- Colgantes
- Empotradas.

Y utilizamos los cálculos para la cavidad del Local.

Densidad de potencia eléctrica para alumbrado (DPEA).

Índice de la carga conectada para alumbrado por superficie de construcción; se expresa en W/m^2 .

DPEA = $22 W/m^2$ en alumbrado interior para restaurantes según la NOM-007-SEDE-2004, en el inciso 6.- Especificaciones, Tabla 1.

$$KW_{\text{carga conectada}} = (\text{Área} \times \text{DPEA}) = 480 \text{ m}^2 \times \frac{22W}{\text{m}^2} = 10560 \text{ W}$$

$$W_{L_{\text{linea}}} = 32$$

$$W_{\text{luminaria}} = 64$$

Esta cifra de Watts se adecuará de acuerdo a la zona y al nivel de iluminación de cada parte del comedor, según se requiera y como se utilicen los distintos tipos de lámparas y luminarias. Por lo tanto tenemos un número aproximado de luminarias para el comedor.

$$N. \text{ de iluminarías} = \frac{10560}{64} = 165 \text{ luminarias}$$

$$m^2_{Lum} = \frac{480}{165} = 2.9$$

Volumen total del comedor = (1.75) (480) = 840 m³

$$\text{Volumen total/luminarias} = \frac{840}{165} = 5$$

Como criterio de espaciamento entre los centros de luminarias utilizamos

S = 1.5 como información fotométrica x el espacio de trabajo de 1.75 m

S = 1.5 x 1.75 = 2.66 m. que sería la máxima distancia de separación entre luminarias y dividiendo esta distancia entre dos obtenemos también la distancia mínima, por lo tanto:

$$\text{Distancia mínima} = \frac{2.66}{2} = 1.33 \text{ m.}$$

Ubicación de las luminarias. Nuestro comedor además de la iluminación convencional y requerida normalmente llevará una iluminación de emergencia de acuerdo a lo expuesto en el artículo 700 de la NOM-001-SEDE-2005, que en este caso se considerará la mitad del total de la iluminación.

Comedor.

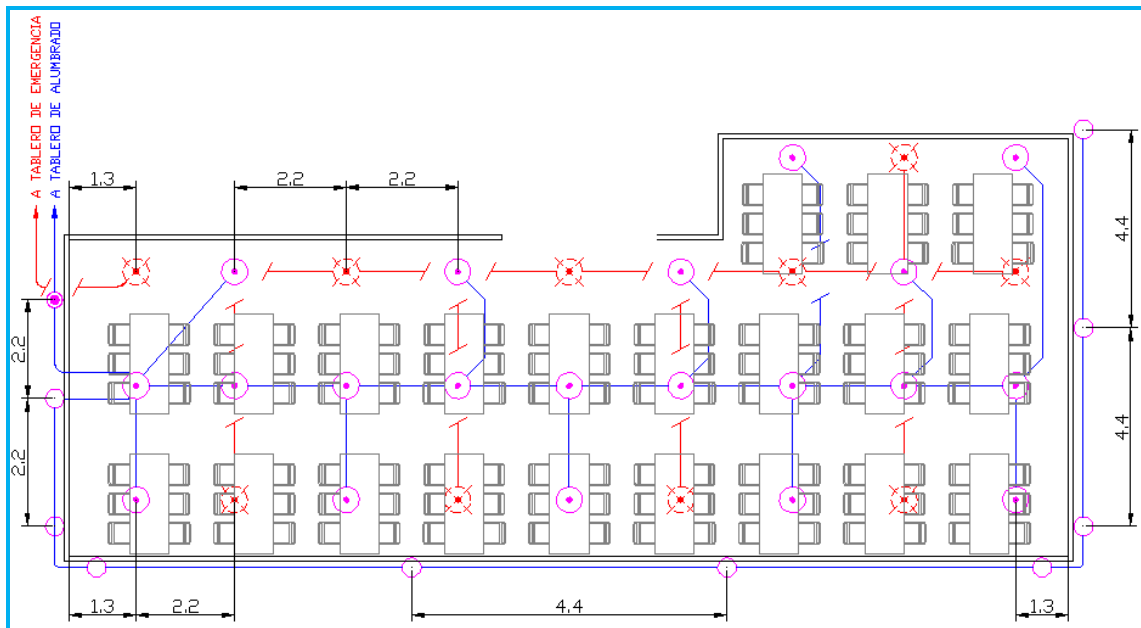
4.4 Distribución de Luminarias

De acuerdo a los datos obtenidos nuestra distribución de las luminarias será de la siguiente manera con sus acotaciones correspondientes en metros, en este caso tenemos la distribución de las luminarias para la parte del comedor donde se encuentran las mesas para los empleados, posteriormente se mostrará la distribución para el comedor ejecutivo y la cocina.

El rendimiento óptimo para la iluminación se logrará utilizando luminarias que distribuyan adecuadamente la luz proporcionadas en este caso por lámparas fluorescentes compactas las cuales proporcionan una excelente luz, ahorran energía y lucen magníficas y con una vida útil de más de 8000 horas¹. Y sabiendo que el coeficiente de utilización o luz que realmente utilizamos debe tener las mejores condiciones dentro del diseño.

Nuestra Área total de nuestro comedor, sin considerar baños, comedor ejecutivo y cocina sería de = 145.6 m² y la distribución de luminarias será como se muestra en la figura siguiente.

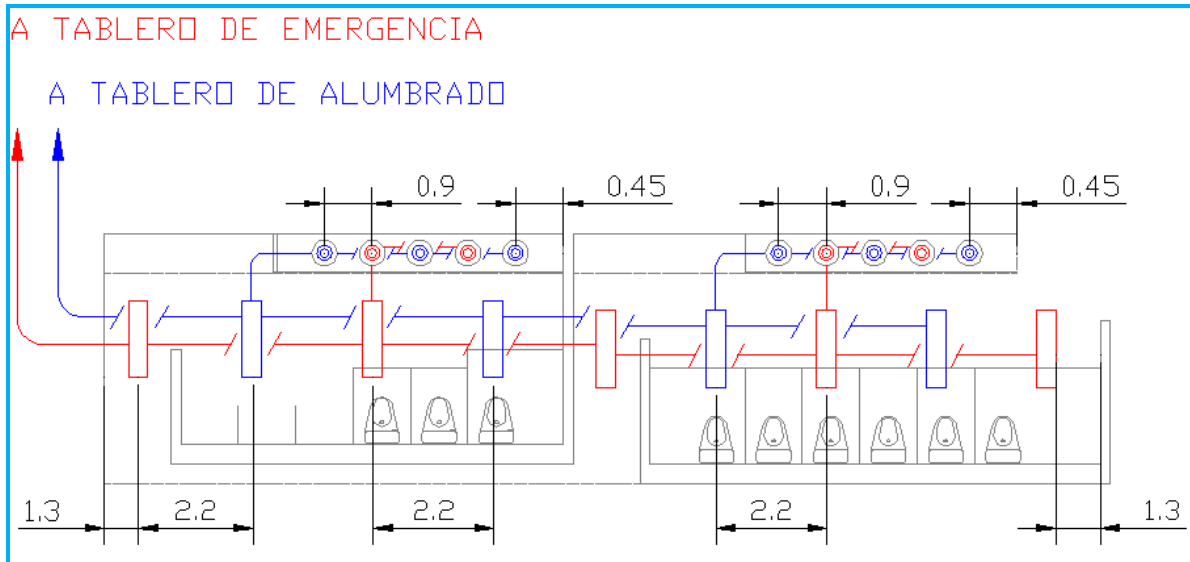
¹ Catálogo General OSRAM 2007.



En la figura puede verse la distribución de las luminarias para tener una óptima relación de lumen / Watt, para la parte de las mesas, para cumplir con nuestros requerimientos de diseño, se colocarán a lo largo a 2.2 m. de distancia entre ellas y a lo ancho a 2.8 m. de distancia con lo cual superamos la distancia mínima de 1.3 m. que dieron nuestros cálculos, esta distancia de 1.3 m. se tendrá entre las luminarias en las esquinas y el borde del comedor.

Baños. Para la parte de los baños tenemos un área de: 60 m^2 . Debido a que esta área es rectangular y que nuestro lado más pequeño mide 4 m. la distribución de luminarias quedaría de la siguiente manera. Teniendo en cuenta que por petición de nuestro cliente en esta zona tendremos luminarias de un tamaño aproximado de $30 \times 122 \text{ cm}$ fluorescentes, y de acuerdo a nuestro análisis en esta parte lo más conveniente sería colocar 10 luminarias como se muestra en la figura siguiente y que dentro de esta distribución la mitad del total de lámparas para el baño se utilizarán como lámparas de emergencia como en el comedor, en un circuito independiente del circuito que proporcionará energía a las lámparas del baño generales.

Como se puede ver en la figura se respeta la distancia mínima que debe haber entre las luminarias que según nuestros cálculos es de 1.30 m. para este caso la distancia a considerar entre las luminarias es de 1.5 m, y serán colocadas al centro de la superficie del baño, ya que este mide 4 m. de ancho, el centro de las luminarias estará a los 2 m.

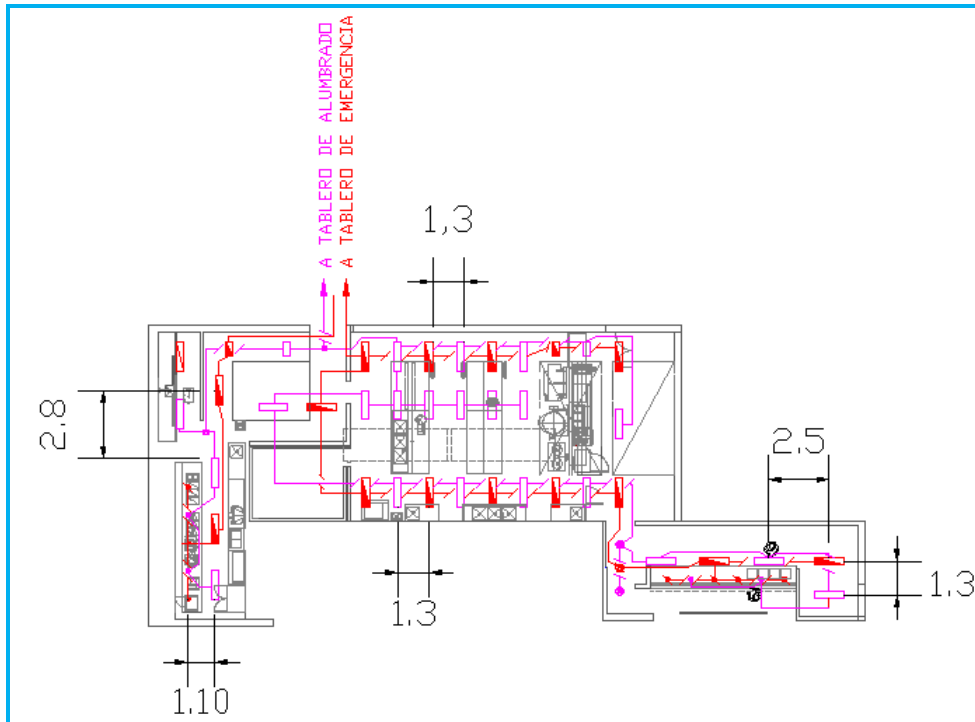


Cocina. Para la iluminación de la cocina del comedor se hace la siguiente distribución de luminarias siguiendo en la mayoría de los casos los datos obtenidos para la separación entre luminarias, se hace la mención que en la mayoría de los casos ya que en algunas partes de la cocina debido al área que se maneja (por ser un área más pequeña) la distancia entre luminarias llegó a hacer menor que la estipulada en los datos obtenidos y haciendo esto para no perder calidad en la iluminación del lugar.

Las lámparas halógenas que con su luz brillante y una luminosidad más alta, este tipo de lámparas proporciona una luminosidad hasta 100 % más alta que las lámparas incandescentes convencionales y crean efectos fascinantes en los objetos iluminados, además del interesante juego de colores que se genera dentro de las luminarias, adicionalmente la duración de las lámparas de halógeno es hasta cuatro veces más que una lámpara incandescente².

En la siguiente figura se muestra la iluminación de la cocina.

² Catálogo General OSRAM 2007.



Comedor Ejecutivo. Se hace una distribución de luminarias más reducida en cuanto a la separación de una luminaria con otra, además de las luminarias tipo empotradas en plafón para lámparas fluorescentes lineales, se instalan luminarias PAR 16 para lámparas MR-16 (reflector multifaz) de 50w que son lámparas halógenas, así como dimmers con los cuales se tendrá un control sobre la iluminación para poder variar el flujo luminoso proporcionado por las lámparas halógenas y las fluorescentes, así poder crear diferentes ambientes dentro del comedor ejecutivo, así mismo dentro de esta área tenemos una parte para el sanitario que llevará de estos dos tipos de luminarias y lámparas, para que nos proporcionen un nivel de iluminación correcto. En esta parte del comedor toda la iluminación esta conectada al tablero de emergencia.

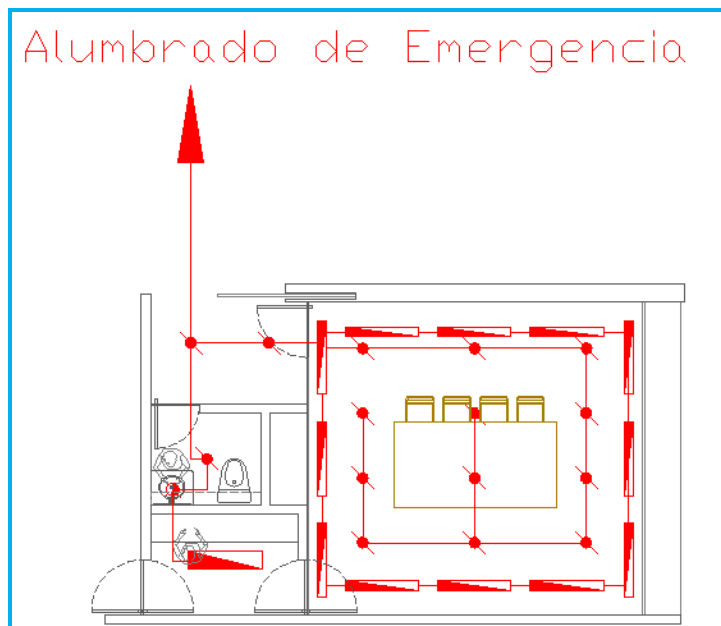


Diagrama Unifilar Esquemático cuando se tiene como a la compañía suministradora.

