



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

USO EFICIENTE DE LOS SISTEMAS DE
ILUMINACION EN EL MINIBUS
ELECTRICO DE BATERIAS UNAM

FALLA DE ORIGEN

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A :
MANUEL GOMEZ VAZQUEZ

Asesor: M. I. Pablo Francisco Lara Reyes



CIUDAD UNIVERSITARIA

1995



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

DEDICATORIA

Todos estos años de esfuerzo los dedico con todo mi cariño a mis padres, Manuel Gómez y María Cervellon Vásquez, por que juntos lo logramos, a mis hermanos Adriana y Damián, y de una manera muy especial para Angélica.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México.

A la Facultad de Ingeniería.

Al Instituto de Ingeniería.

A mi asesor M.I. Pablo Lara Reyes por su tiempo y asesoría.

A los académicos de la Coordinación de Automatización.

A mis compañeros de la Coordinación de Automatización.

1	INTRODUCCIÓN	3
2	GENERALIDADES	6
2.1	Descripción general del minibús eléctrico	6
2.2	Descripción general de los sistemas auxiliares	7
2.3	Conceptos generales de iluminación	8
3	ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS DE ILUMINACIÓN	12
3.1	Iluminación externa	12
3.2	Iluminación interna	20
3.3	Consumo de energía en un peor caso	22
4	DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN DEL MINIBÚS ELÉCTRICO	28
4.1	Diseño de la iluminación interna	28
4.2	Diseño de la iluminación externa	38
4.3	Consumo de energía	54

5	CIRCUITOS ELÉCTRICOS DE LOS SISTEMAS AUXILIARES DEL MINIBÚS ELÉCTRICO	63
5.1.-	Iluminación interna con lámparas fluorescentes	64
5.2.-	Luces de posicionamiento (peor caso)	65
5.3.-	Luces de posicionamiento (agrupamiento)	66
5.4.-	Luces de posicionamiento (fibra óptica)	67
5.5.-	Luces direccionales (peor caso)	68
5.6.-	Luces direccionales (agrupamiento)	69
5.7.-	Luces de advertencia (de frenado y reversa) y fanales sellados	70
5.8.-	Otros equipos auxiliares	71
5.9.-	Lista de componentes	72
6	CONCLUSIONES	76
	APÉNDICE A COEFICIENTES DE UTILIZACIÓN	81
	APÉNDICE B HOJAS DE DATOS DE LAS BALASTRAS 82 COMERCIALES	83
	APÉNDICE C HOJAS DE DATOS DE BATERÍAS	87
	APÉNDICE D LÁMPARAS FLUORESCENTES	92
	D.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES	93
	D.2 DISEÑO DE UNA BALÁSTRA ELECTRÓNICA	96
	D.3 CONTROL DE LA INTENSIDAD DE LUZ	105
	REFERENCIAS	108

INTRODUCCIÓN

Una de las tendencias de la ingeniería automotriz está encaminada a producir sistemas menos contaminantes y más eficientes; esto es, tratando de hacer a un lado los hidrocarburos como fuente de energía y recurrir a la energía de tipo eléctrica. Reconociendo esta tendencia, la UNAM inició un proyecto que tiene por objetivo diseñar y construir un minibus eléctrico de baterías para transporte público.

El proyecto del minibus UNAM se realiza principalmente en el Instituto de Ingeniería, con la cooperación del Centro de Instrumentos, ambas dependencias de la UNAM, y con el financiamiento del Departamento del Distrito Federal (DDF) y la Facultad de Química de la UNAM.

Este trabajo de tesis se desarrolla dentro del proyecto del minibus UNAM y tiene como propósito reducir los niveles de consumo de energía en los sistemas auxiliares del minibus eléctrico, para con ello disminuir la capacidad y el peso necesario del banco de baterías de los sistemas auxiliares.

Dado que algunos equipos auxiliares están en etapa de diseño, como por ejemplo el tablero de mandos y la instrumentación del control de vehículo, y de otros no se tiene

información suficiente para conocer su demanda de energía, como por ejemplo la bomba neumática del sistema de frenado de potencia (de la que se espera evaluar su consumo en pruebas de campo una vez construido el primer prototipo del minibús UNAM), y dado que el consumo de energía en los equipos de iluminación es uno de los componentes más importantes del consumo total de energía en los sistemas auxiliares, se decidió enfocar este trabajo a la disminución del consumo de energía en el sistema de iluminación. Para ello se consultaron las normas que proporciona la *Society of Automotive Engineers* (SAE) [ref. 1] y el DDF [ref. 2] acerca de los requerimientos de iluminación: niveles de iluminación e identificación de los elementos de iluminación necesarios para un vehículo.

Se realizaron diferentes análisis de energía para conocer el consumo energético por iluminación, considerando en todos los casos una jornada de operación del minibús de 16 horas. En el primer análisis se consideró un peor caso, que consiste en utilizar todos los elementos de iluminación señalados por SAE y DDF, suponer el uso de lámparas incandescentes para toda la iluminación (incluyendo la iluminación interna) y considerar el nivel de iluminación interior comúnmente usado en estas unidades de transporte, que es muy elevado. Este peor caso se usa como referencia para evaluar el ahorro de energía que pueda lograrse.

En cuanto a la iluminación interna, para economizar el consumo de energía, se hizo un diseño de alumbrado que partió del mínimo nivel de iluminación recomendado para este uso [ref. 3], de proponer las mejores condiciones del entorno para el alumbrado (lo que implica un alto coeficiente de utilización) y de seleccionar lámparas más eficientes. Para estáo último, se analizaron diferentes alternativas, se decidió finalmente recomendar el uso de lámparas fluorescentes, manejadas por balastras electrónicas de alta frecuencia.

Una primera propuesta para disminuir el consumo de energía en la iluminación externa consistió en utilizar sólo los elementos de iluminación considerados como indispensables y agrupar elementos de iluminación sin descuidar los requerimientos señalados en las normas mencionadas; esto es, unir elementos cuyo funcionamiento es similar, en una sólo lámpara; como por ejemplo usar una sola lámpara para las luces de posición delanteras y laterales. Este agrupamiento de elementos permitió reducir el número de elementos de iluminación y por tanto el consumo de energía.

La segunda propuesta para la iluminación externa consistió en utilizar, además del agrupamiento de luces, lámparas fluorescentes excepto en las luces intermitentes (direccionales, de freno, etc.) y en los fanales sellados.

La tercera propuesta consiste en el uso de sólo dos lámparas para las luces exteriores fijas (no intermitentes), una lámpara para luces delanteras y otra para las traseras, con distribución de luz para los diferentes usos con base en fibra óptica.

La cuarta y última propuesta es semejante a la segunda, pero incluye el uso de lámparas fluorescentes también en las luces intermitentes, esto es en todas las luces exteriores con excepción de los fanales sellados.

En conjunto los cambios propuestos dan como resultado una reducción hasta del 59% en el consumo de energía con respecto al peor caso presentado.

Por el momento, para el caso de uso de lámparas fluorescentes, se decidió proponer la utilización de balastras electrónicas de alta frecuencia (20 kHz) que ya existen en el mercado mexicano (se encontraron dos fabricantes de este tipo de balastras, apéndice B). En el trabajo se mencionan los resultados experimentales de uso de estas balastras para lámparas de baja potencia y en operación intermitente, requisitos importantes para su aplicación en el minibús UNAM.

Al final del trabajo se presentan las conclusiones de los diferentes análisis energéticos realizados, así como de las recomendaciones para futuros trabajos en el área, en especial en cuanto a las balastras electrónicas. En este trabajo se hizo una investigación bibliográfica acerca de los avances en dichas balastras que pudieran aplicarse en autos eléctricos, los resultados de dicha investigación se resumen en el apéndice D.

Finalmente se elaboraron, y suministraron al fabricante de la carrocería del minibús UNAM, los diagramas eléctricos de la iluminación externa e interna para la construcción del arnés eléctrico.

GENERALIDADES**2.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL MINIBÚS ELÉCTRICO**

Las características más importantes del minibús eléctrico de la UNAM son [ref 10]:

Autonomía	100 km
Capacidad	30 pasajeros (entre sentados y parados e incluyendo al chofer)
Velocidad crucero	40 km/h
Velocidad máxima	60 km/h
Aceleración inicial 0-40 km/h	0.9 m/s ² 14 s
Habilidad en pendiente	10% a 15 km/h

GENERALIDADES**2.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL MINIBÚS ELÉCTRICO**

Las características más importantes del minibús eléctrico de la UNAM son [ref 10]:

Autonomía	100 km
Capacidad	30 pasajeros (entre sentados y parados e incluyendo al chofer)
Velocidad crucero	40 km/h
Velocidad máxima	60 km/h
Aceleración inicial	0.9 m/s ²
0-40 km/h	14 s
Habilidad en pendiente	10% a 15 km/h

Peso a toda la capacidad	6,500 kg
Radio de viraje	7.5 m
Sistema de propulsión primario:	conjunto motor de inducción e inversor con una potencia continua de 30 kW y banco de baterías con una capacidad de 56 kWh nominales
Sistema de propulsión secundario:	bomba/motor hidráulica, almacén hidroneumático de pistón

2.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS SISTEMAS AUXILIARES

Los sistemas auxiliares son todos aquellos equipos eléctricos que no forman parte directa del sistema de tracción eléctrico, esto es: equipos de iluminación, tableros de mando, bomba del sistema de frenado neumático, limpiaparabrisas, bomba de agua, claxon, timbre, etc.

Hay equipos convencionales de los que no se conoce con precisión su consumo de energía (limpiaparabrisas, bomba de agua, claxon, etc.) ya que éste depende de las condiciones de operación y de la forma en que cada conductor haga uso de dichos equipos, y por ello será necesario medir su consumo ya en el prototipo del minibús UNAM en pruebas de campo. Por otro lado, algunos equipos están en etapa de diseño o construcción, como el tablero de mandos y el sistema de frenado de potencia, por lo que tampoco se conoce el consumo energético que tendrán, por lo que para estos equipos también se deberá esperar a las pruebas de campo. Por todo lo anterior se decidió particularizar este trabajo de tesis a la búsqueda del ahorro de energía en los sistemas de iluminación.

El sistema de iluminación en un vehículo es en general muy amplio, ya que son muchas las necesidades que debe cubrir:

- a) Proporcionar la visibilidad necesaria para circular de noche.
- b) Señalizar con exactitud el propio vehículo durante la noche.

c) Indicar los cambios de dirección, de sentido, si se está frenado o parado en carretera.

d) Proveer visibilidad a los pasajeros

Las luces que forman parte del automóvil se pueden clasificar de manera general según su situación en:

1.- Luces externas. Alumbrado para carretera (altas y bajas), luces de posición, de señalización, de maniobra (dirección, marcha atrás, etc.) y matrícula.

2.- Luces de interiores. Son las luces de alumbrado interior para pasajeros y conductor.

2.3 CONCEPTOS GENERALES DE ILUMINACIÓN

A continuación se presentan algunos conceptos básicos de iluminación que son importantes para comprender el diseño de los sistemas de iluminación [ref. 11 y 12]:

Flujo luminoso:

El flujo luminoso (Φ) se define como la tasa de flujo, respecto al tiempo, de energía luminosa visible. El flujo luminoso tiene unidades de joule/segundos es decir watts y es, por lo tanto, una medida de potencia luminosa. La unidad de medida del flujo luminoso es el lumen (lm), el cual es equivalente a 1/680 watts de luz con una longitud de onda de 5550 Å.

Intensidad luminosa:

La intensidad luminosa se define de dos maneras, en función del tipo de superficie que se considera iluminar. Cuando dicha superficie es una esfera se define una intensidad media esférica (I_{me}) y cuando se trata de una superficie horizontal se define una intensidad

luminosa horizontal; esta última definición se utiliza cuando la lámpara debe iluminar un campo muy extenso, como es el caso del fero de un automóvil.

La intensidad media esférica de una fuente de luz depende de la cantidad de lumenes que emite en una región angular definida por un ángulo sólido (Ω) y se calcula de acuerdo con la ecuación 2.1.

$$I_{me} = \Phi / \Omega \quad (2.1)$$

Ahora bien, si se coloca una fuente puntiforme (una fuente cuyas dimensiones son despreciables en comparación con su distancia a la superficie que ilumina) en el centro de una esfera transparente con radio de un metro y si el flujo luminoso total que pasa a través de cada metro cuadrado de la superficie, es un lumen, entonces la intensidad luminosa de la fuente es de un lumen por esterradian lo que se define como una candela .

Existe una relación entre la intensidad media esférica y la intensidad horizontal llamada factor de relación esférica. Para las lámparas modernas este factor vale aproximadamente 0.8, lo que equivale a decir que una lámpara cuya intensidad luminosa horizontal es de 100 candelas, tiene una intensidad media esférica de unas 80 candelas

Nivel de iluminación

Se dice que una superficie está iluminada cuando incide flujo luminoso sobre ella. La iluminación representada por E, se mide en función del flujo luminoso incidente sobre una unidad de área de la superficie; esto es en lumenes por metro cuadrado. La unidad de medida del nivel de iluminación es el lux (lx), que es igual a un lumen por metro cuadrado

$$E = \frac{\Phi_{in}}{S} \quad (2.2)$$

donde

Φ_{in} = flujo incidente

S = area en m²

Luminaria:

Es un conjunto de elementos que sirven para tener una emisión adecuada de flujo luminoso. Estos elementos son:

Lámparas: son la fuente de luz, puede haber más de una lámpara en la luminaria, esto para aprovechar las dimensiones de los reflectores y hacer la iluminación más eficiente, según la dimensión del local.

Reflectores: están constituidos esencialmente por superficies reflectoras. Dependiendo de su forma provocan la concentración de la luz en una determinada dirección o la dispersión en ángulos mayores.

Difusores: son envoltentes de vidrio más o menos transparentes que atenúan el fenómeno de deslumbramiento y producen una mejor distribución del flujo luminoso.

Reflexión.

Cuando una superficie devuelve un rayo de luz que incide sobre ella, se dice que el rayo es reflejado. La reflexión se mide en función del porcentaje de luz reflejada por una superficie.

Deslumbramiento

El deslumbramiento es cualquier brillo que produzca molestia o interferencia en la visión generando fatiga visual.

Difusión de la luz

La difusión de la luz se mide en términos de ausencia de sombras. Entre menos sombras existan y entre menos definidas estén éstas se dice que la luz es más difusa.

ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS DE ILUMINACIÓN

3.1 ILUMINACIÓN EXTERNA

La iluminación externa del vehículo consiste en las lámparas colocadas en el exterior del vehículo y que tienen como finalidad proveer el nivel de iluminación necesario para que el chofer pueda conducir con seguridad, así como formar parte de las señales de aviso (direccionales por ejemplo) y de identificación (cuartos, etc).

Elementos de iluminación externa

A continuación se presentan los requisitos de elementos iluminación externa que especifican la SAE y el DDF:

Los elementos de iluminación usados en vehículos recomendados por la SAE [ref 1] son:

UNIDAD DE FANAL SELLADO.- Un conjunto óptico integral e indivisible con la leyenda "Unidad sellada" moldeada en las lentes.

LUZ ALTA.- Una luz de camino clara, cuyo objetivo principal es iluminar a distancia, para usarse en carretera abierta cuando no viene vehículo en sentido contrario.

LUZ BAJA.- Una luz lo suficientemente baja sobre la izquierda, que evite deslumbramiento en los conductores que vienen en dirección contraria que se encuentran dentro de una distancia de 152 metros.

LUCES DE POSICIÓN TRASERAS.- luces de aviso usadas para distinguir la parte posterior de un vehículo .

LUCES DE POSICIÓN DELANTERAS.- Luces de aviso usadas para distinguir la parte frontal de un vehículo.

LUCES DE FRENADO.- Son aquellas que producen una luz de aviso continuo en la parte posterior del vehículo o del tren de vehículos, para indicar la intención del conductor de disminuir la velocidad o parar.

LUCES PARA LA PLACA DE CIRCULACIÓN.- Es aquella que se usa para iluminar la placa posterior del vehículo.

LUCES DIRECCIONALES DELANTERAS Y TRASERAS.- Luces de aviso que indican un cambio de dirección. Las luces destellan del lado hacia el cual se hará el giro.

LUCES DIRECCIONALES LATERALES DELANTERAS Y TRASERAS.- Luces montadas sobre el costado de un vehículo, las cuales destellan al unísono con las luces direccionales delanteras y traseras para indicar la intención del vehículo de cambiar la dirección hacia el lado en el cual destella la luz de señal.

LUCES DE CONTORNO.- Son aquellas que delinear el frente o la parte posterior del vehículo y van montadas sobre la estructura permanente del mismo, tan cerca como es posible de las orillas extremas superiores izquierda y derecha, para dar idea del ancho total y la altura del vehículo.

LUCES DE POSICION LATERALES.- Son aquellas que delinear el costado de un vehículo y van montadas sobre la estructura del mismo, tan cerca como es posible de las orillas extremas superior delantera y trasera, para dar idea de la longitud total de vehículo

LUCES DE IDENTIFICACIÓN.- Se utilizan en grupos de tres, en hilera horizontal, para definir el frente o la parte posterior, o ambas. Tiene un espaciamiento entre centros de luces no menor de 152 mm ni mayor a 305 mm y van montadas sobre la estructura del vehículo tan cerca como es posible de la línea de centro vertical y en la parte superior del vehículo.

LUCES DE REVERSA.- Las luces de reversa se usan para proveer iluminación detrás del vehículo cuando éste tiene movimiento en reversa.

El DDF recomienda los siguientes elementos de iluminación para minibuses [ref 2]

FAROS DE LUZ ALTAS Y BAJAS. Son dos faros ubicados al frente y a los extremos uno de cada lado, colocados simétricamente una altura entre 500 y 1400 mm del suelo, la luz es de color blanca .

GALIBO. Figura ideal cuyo perímetro marca las dimensiones máximas de la sección transversal de la carrocería autorizada a los vehículos para poder pasar por túneles, arcos, etc., así como para la identificación en su volumen cuando sale de noche. Se usan dos delanteros, dos delanteros laterales, dos posteriores, dos posteriores laterales y dos más en la parte lateral central. Todos estos dispositivos van localizados en la parte superior de la estructura de vehículo y son de color rojo.

LUCES DE FRENADO. Son dos luces de color rojo ubicadas una a cada extremo de la parte posterior a una altura no mayor de 1600 mm.

LUZ DE PORTA PLACA. Una sola luz, localizada de tal forma que ilumine la placa de circulación. Esta luz es blanca.

LUCES DIRECCIONALES DELANTERAS Y POSTERIORES. Son de color ámbar o blanca, hay un par de luces en la parte frontal y otro en la parte posterior y separadas de tal forma que haya una luz en cada extremo a una altura no mayor de 1600 mm del suelo.

CUARTOS. Son de color rojo y están colocados uno en cada extremo de la parte posterior y de la parte frontal, a una altura de entre 850 y 1600 mm.

LUCES DE IDENTIFICACIÓN. Son dos grupos de tres luces, colocados, uno en la parte posterior, al centro y de color rojo, y el otro grupo en la parte frontal, de igual forma al centro pero de color ambar, los dos grupos de luces deben de ir en la parte más alta de la estructura del vehículo

LUCES DE REVERSA. Son dos luces blancas colocadas una en cada extremo de la parte posterior a una altura no mayor de 1600 mm

LUZ DE FRENADO CENTRAL. Esta luz va al centro de la parte posterior, a una altura no menor de 1000 mm. Esta luz no es obligatoria.

Ubicación de los elementos de iluminación externa

Enseguida se muestran diferentes vistas de un minibús donde se indica la disposición de los elementos de iluminación externa, de acuerdo con las recomendaciones ya mencionadas. Los elementos de iluminación se indican con números que se referencian en una lista que se presenta inmediatamente después de los dibujos.

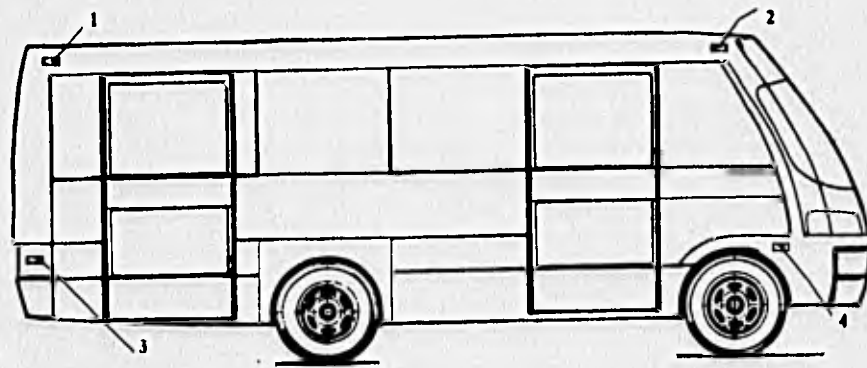


Fig.3.1 Vista lateral derecha

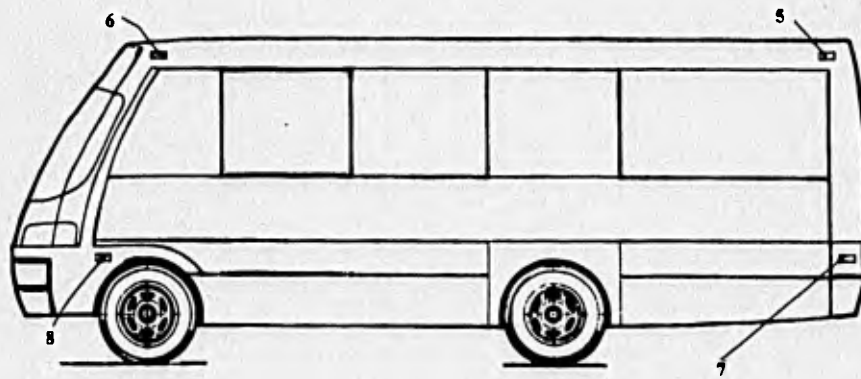


Fig. 3.2 Vista lateral izquierda

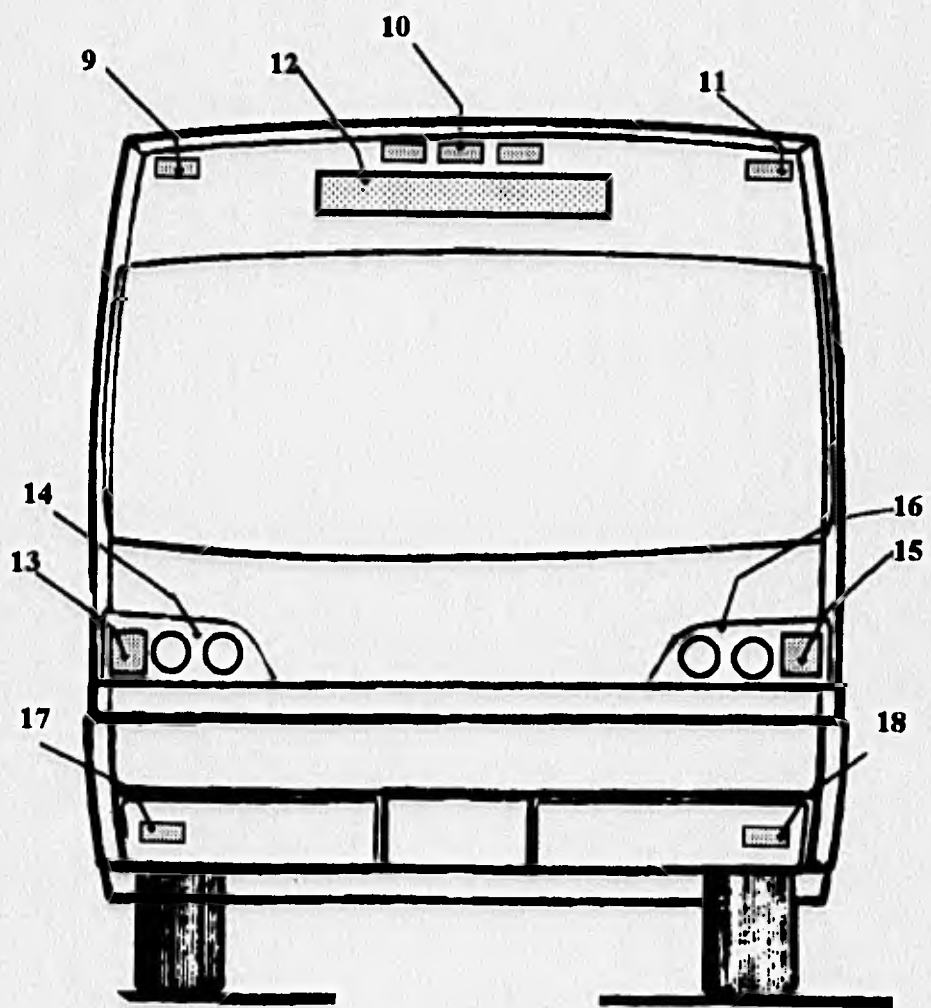


Fig. 3.3 Vista frontal

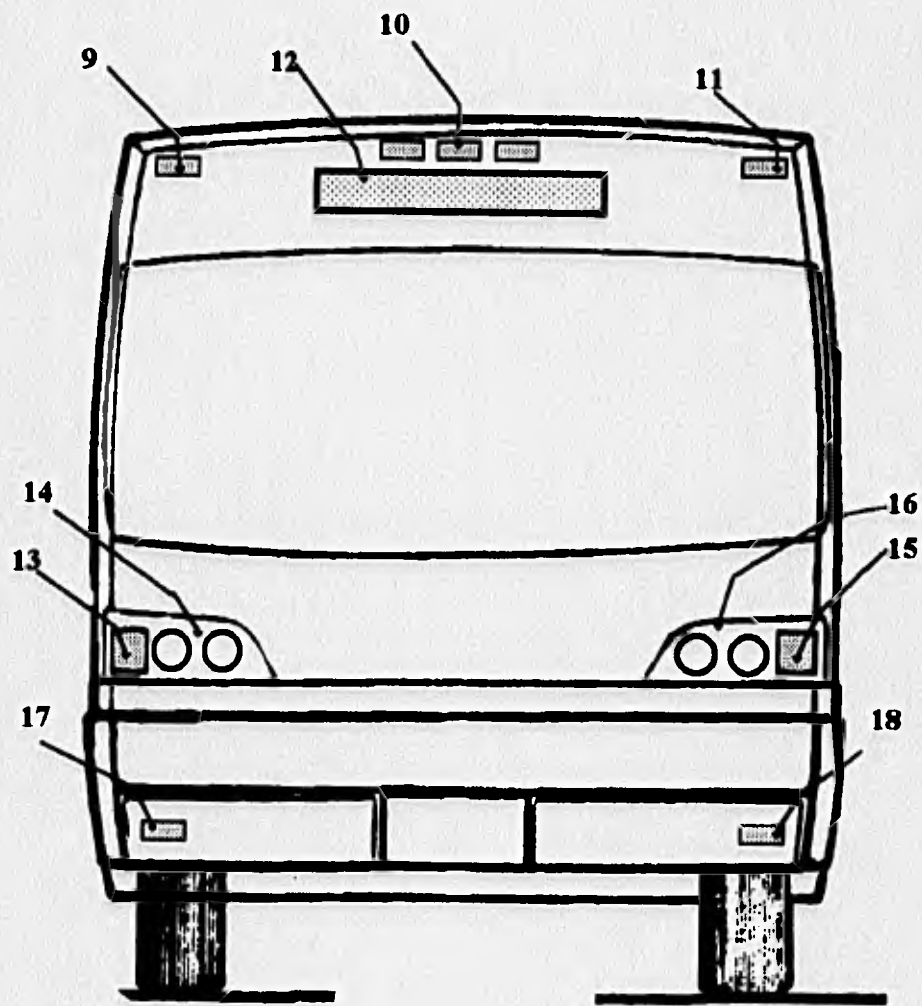


Fig. 3.3 Vista frontal

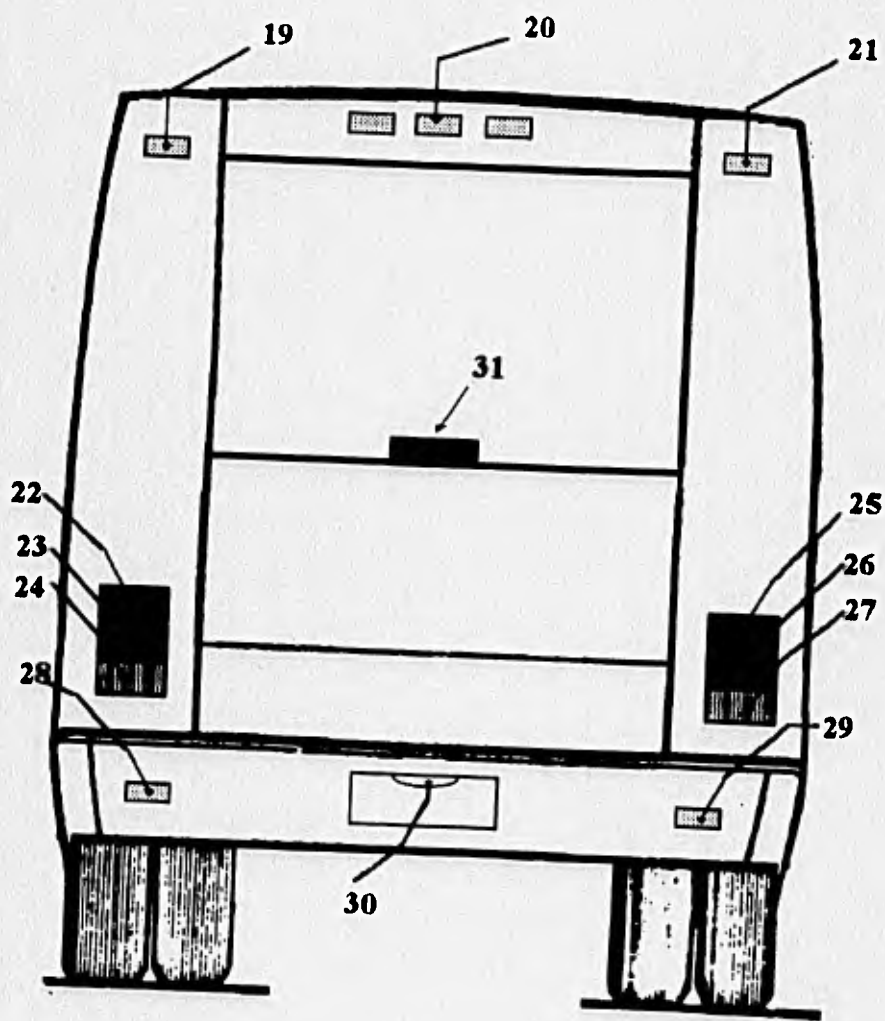


Fig. 3.4 Vista posterior

Lista de referencia para la disposición de elementos de iluminación externa

- 1.- Luz lateral de posición trasera derecha, o gálibo (roja)
- 2.- Luz lateral de posición delantera derecha, o gálibo (ámbar)
- 3.- Luz direccional lateral trasera derecha (ámbar)
- 4.- Luz direccional lateral delantera derecha (ámbar)
- 5.- Luz lateral de posición trasera izquierda, o gálibo (roja)
- 6.- Luz lateral de posición delantera izquierda, o gálibo (ámbar)
- 7.- Luz direccional lateral trasera izquierda (ámbar)
- 8.- Luz direccional lateral delantera izquierda (ámbar)
- 9.- Luz de contorno delantera derecha, o gálibo (ámbar)
- 10.- Luces de identificación delanteras (ámbar)
- 11.- Luz de contorno delantera izquierda, o gálibo (ámbar)
- 12.- Luz del letrero (blanca)
- 13.- Luz direccional delantera derecha (ámbar o blanca)
- 14.- Unidad de fanal sellado derecho (blanca)
- 15.- Luz direccional delantera izquierda (ámbar o blanca)
- 16.- Unidad de fanal sellado izquierdo (blanca)
- 17.- Cuarto delantero izquierdo (ámbar o blanca)
- 18.- Cuarto delantero derecho (ámbar o blanca)
- 19.- Luz de contorno trasera izquierda, o gálibo (roja)
- 20.- Luces de identificación traseras (roja)
- 21.- Luz de contorno trasera derecha, o gálibo (roja)
- 22.- Luz direccional trasera izquierda (roja o ámbar)
- 23.- Luz de frenado trasera izquierda (roja o ámbar)
- 24.- Luz de reversa trasera izquierda (ámbar o blanca)
- 25.- Luz direccional trasera derecha (roja o ámbar)
- 26.- Luz de frenado trasera derecha (roja o ámbar)
- 27.- Luz de reversa trasera derecha (ámbar o blanca)
- 28.- Cuarto trasero izquierdo (roja)
- 29.- Cuarto trasero derecho (roja)
- 30.- Luz de placa (blanca)
- 31.- Luz de frenado central (roja)

3.2 ILUMINACIÓN INTERNA

La iluminación interna tiene como propósito principal proporcionar el nivel de iluminación necesario para que los pasajeros puedan moverse con seguridad dentro del vehículo así como ascender y descender del mismo. La lista de los elementos de iluminación interna es la siguiente:

1.- Iluminación general

2.- Luces de los estribos

3.- Luz del tablero

4.- Luz de conductor

A continuación se muestra la disposición de los elementos de iluminación interna con referencia a la lista anterior (figura 3.5).

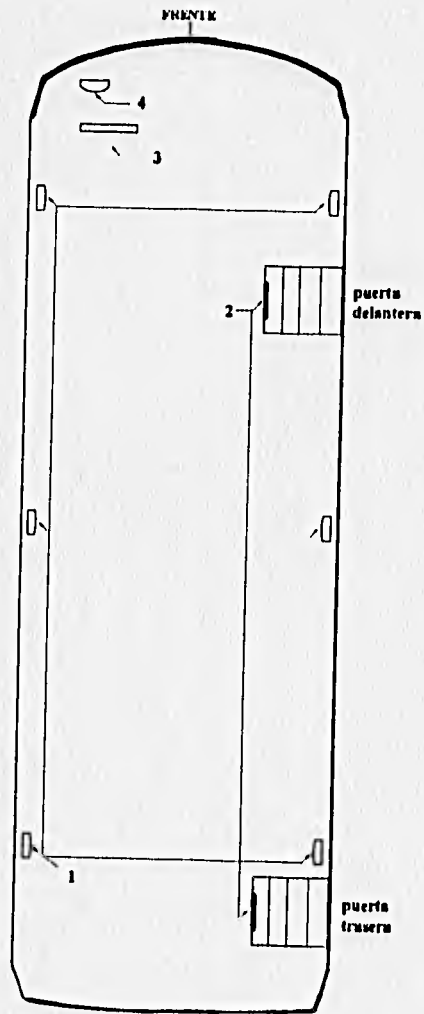


Fig.3.5 . Vista superior del interior de un minibús

3.3 CONSUMO DE ENERGÍA EN UN PEOR CASO

Para el análisis del consumo de energía (tanto para el que se hace en esta sección como para los que se desarrollan en otros capítulos del trabajo) se considera que la jornada de uso de un autobús consiste de 16 horas, 12 de éstas con luz de sol y 4 de horario nocturno. Esta consideración está basada en el uso de vehículos de combustión interna, considerando los mínimos tiempos de descanso en su uso. En el caso de vehículos eléctricos, debido a las limitaciones de capacidad de energía de las baterías y a la dificultad del recambio de baterías, el uso debe ser menos exigente. Por lo anterior se considera que la jornada de uso propuesta representa un caso pesimista, o conservador, para el cálculo del consumo de energía por iluminación

Como parte del análisis de consumo de energía se determina el banco de baterías auxiliar necesario para cubrir el consumo calculado. Para ello se supone que el banco de baterías auxiliares se encarga de cubrir dicho consumo en su totalidad. En realidad el banco de baterías estará recargándose de forma continua a partir del banco de baterías principal (el del sistema de tracción) a través de un convertidor de corriente directa a corriente directa (CD-CD), como ocurre en los prototipos comerciales de autos eléctricos [ref. 17]

Como una referencia para evaluar los ahorros de energía posibles se realiza un primer análisis de consumo que representa un peor caso, mismo que se presenta a continuación.

iluminación externa

En cuanto a la iluminación externa el peor caso consiste en considerar el uso de todos los elementos de iluminación recomendados por SAE y DDF. Para el cálculo del consumo de energía se utilizaron los datos de los valores típicos de potencia en lámparas incandescentes para este tipo de aplicaciones, los que se muestran en la figura 3.6 [ref. 1].

Dispositivos	Potencia eléctrica por elemento (W)
Luces de posición delanteras	10
Luces de posición traseras	10
Luces direccionales	18
Luces direccionales laterales	18
Luces de freno	18
Luces de reversa	18
Luces de placa	8
Fanales sellados	50 altas 45 bajas

Fig. 3.6 Potencia eléctrica de elementos de iluminación externa con lámparas incandescentes

iluminación interna

En cuanto a la iluminación interna es común encontrar microbuses o minibuses cuya iluminación interna está hecha con base en lámparas incandescentes (a pesar de que ya existen en el mercado nacional proveedores de balastros electrónicos para lámparas fluorescentes, más eficientes que las incandescentes). En estos casos, se llegan a usar aproximadamente 6 lámparas de 20 W, para la iluminación general, más las luces del conductor, la de los estribos y la del tablero, típicamente de 10W cada una, lo que se considerará el peor caso.

Cálculo del consumo de energía

Con base en las consideraciones anteriores se calcula el consumo de energía debido a los sistemas de iluminación. La información del consumo de cada unidad o lámpara, del número de unidades necesarias para cada función, así como del consumo esperado para cada tipo de luz se presenta en dos tablas, una para el uso diurno (fig. 3.7) y otra para el uso nocturno (fig. 3.8). En dichas tablas el tiempo de uso de algunas luces como las direccionales o de frenado se estableció de manera aproximada y en todo caso de modo muy conservador (exagerando tal vez en su tiempo de uso). Una vez construido el prototipo se podrá monitorear el tiempo real de uso de cada elemento de iluminación.

En la información presentada en las figuras 3.7 y 3.8 se consideraron como luces intermitentes no sólo las luces de direccionales, sino también las luces de frenado y reversa.

LUCES	CONSUMO POR UNIDAD (W)	NÚMERO DE UNIDADES	USO (h)	CONSUMO DE ENERGÍA (Wh)
fanal sellado	45	2	4	360
de posición delanteras	10	2	4	80
de posición traseras	10	2	4	80
de placa	8	1	4	32
de identificación delanteras	10	3	4	120
de identificación traseras	10	3	4	120
de contorno delanteras	10	2	4	80
de contorno traseras	10	2	4	80
laterales de posición delanteras	10	2	4	80
laterales de posición traseras	10	2	4	80
del letrero	10	2	4	80
Total de iluminación externa fija	-	-	-	1,192
de reversa	18	2	0,25	9
de frenado	18	2	1	36
de frenado central	18	2	1	36
direccionales delanteras	18	2	1	36
direccionales traseras	18	2	1	36
direccionales delanteras laterales	18	2	1	36
direccionales traseras laterales	18	2	1	36
Total de iluminación externa intermitente	-	-	-	225
iluminación general interna	20	6	4	480
del conductor	18	1	0,25	4,5
del estribo	10	2	4	80
del tablero	10	2	4	80
Total de iluminación interna	-	-	-	644,5

Fig. 3.7 Análisis del peor caso. Uso nocturno (4 horas)

LUCES	CONSUMO POR UNIDAD (W)	NÚMERO DE UNIDADES	USO (h)	CONSUMO DE ENERGÍA (Wh)
de reversa	18	2	0.5	18
de frenado	18	2	3	108
de frenado central	18	2	3	108
direccionales delanteras	18	2	3	108
direccionales traseras	18	2	3	108
direccionales delanteras laterales	18	2	3	108
direccionales traseras laterales	18	2	3	108
Total de iluminación externa	-	-	-	670

Fig. 3.8 Análisis del peor caso. Uso diurno (12 horas)

Con base en la información de las tablas anteriores los consumos totales resultan:

Consumo total diurno: 0.67 kWh
Consumo total nocturno : 2.06 kWh

CONSUMO TOTAL DE ENERGÍA POR JORNADA : 2.73 kWh

Para calcular los requerimientos de baterías se consultaron los datos de energía específica (Ee, en Wh/kg) y peso (Pb, en kg) de tres tipos de baterías de plomo ácido de 12 volts: Powersonic PS-12800 Cronos-Celtik 27C y GNB 12-EVB-1180 (ver apéndice C). Las baterías de Powersonic, están diseñadas para su aplicación en fuentes de alimentación ininterrumpibles y aunque son importadas tiene distribución nacional; la batería Cronos-Celtik de fabricación nacional se usa para los sistemas auxiliares de los autos de combustión interna y la batería GNB 12-EVB-1180 está diseñada para formar el banco de baterías principal de los vehículos eléctricos, es importada y no cuenta con distribuidor nacional [ref. 10]. Se considera que estas tres baterías representan adecuadamente la situación general de

las baterías eléctricas para esta aplicación. Los datos de las baterías mencionadas se muestran en la figura 3.9.

Ahora bien, en general se considera que una batería no debe descargarse más allá del 80% de su capacidad máxima, por ello para cubrir el consumo total de energía por jornada calculado se requiere una capacidad mínima de baterías de 3.41kWh. Así, para cubrir dicho consumo se tiene la siguiente combinación posible de baterías:

MARCA	Ee(Wh/kg)	Pb(kg)	No. de baterías	Peso total (kg)	Capacidad nominal (kWh)	Energía útil de respaldo (kWh)
Powersonic	42.3	22.7	4	91	3.84	0.44
Cronos-Celtik	26.2	64	2	128	3.35	-0.05
GNB 12-EVB-1180	39.2	30	3	90	3.52	0.12

Fig. 3.9 Requerimiento de la batería auxiliar. Análisis del peor caso

Como puede observarse de la fig. 3.9 el peso necesario de la batería auxiliar es significativo, de hecho es más grande que el peso promedio de un pasajero (70 kg.), lo que muestra la importancia de reducir la capacidad requerida de dicha batería. Nótese que el caso de la batería Cronos-Celtik se está ligeramente por debajo del requerimiento, sin embargo no vale la pena considerar en este caso el uso de tres baterías.

**DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN
DEL MINIBÚS ELÉCTRICO****4.1 DISEÑO DE LA ILUMINACIÓN INTERNA****Iluminación general**

Para proyectar la iluminación general del alumbrado interior se utiliza el método de cálculo de lúmenes [ref. 13]. Este método se basa en el nivel de iluminación requerido, el flujo luminoso inicial de cada lámpara (dato suministrado por el fabricante), el área de la zona a iluminar, toma en cuenta que algunos lúmenes son absorbidos por la luminaria, las paredes y el techo, así como el efecto del deterioro de las lámparas con el tiempo, etc. Según este método se puede calcular el número de lámparas requeridas como:

$$NI = \frac{Ni \times S}{\Phi_r \times Cu \times fp} \quad (4.1)$$

donde

S = área en m^2

Nl = número de lámparas

Φ_i = flujo luminoso inicial por lámpara.

N_i = nivel de iluminación requerido

C_u = coeficiente de utilización.

f_p = factor de conservación o pérdidas.

Factor de conservación o de pérdidas de luz (f_p):

Este factor toma en cuenta el hecho de que a partir del día en que una instalación de alumbrado se pone en funcionamiento, la iluminación va sufriendo cambios constantes a medida que las lámparas envejecen, las luminarias acumulan suciedad y se hace sentir el efecto de otros factores que contribuyen a las pérdidas de luz. El factor de pérdidas se define como la relación entre la iluminación existente cuando ésta alcanza su nivel más bajo y el nivel inicial de iluminación, que corresponde al que sería producido por las lámparas cuando éstas proporcionan su emisión nominal

Coeficiente de utilización (C_u):

El coeficiente de utilización es la relación entre los lúmenes que alcanzan el plano de trabajo (ordinariamente se toma como tal un plano horizontal a 75 centímetros sobre el suelo) y los lúmenes totales generados por la lámpara. Este coeficiente toma en cuenta el hecho de que de la salida total de lúmenes de una fuente de iluminación sólo un porcentaje llega al plano de trabajo. Esto se debe a que la iluminación se ve afectada por factores tales como la forma y dimensión de la zona que se va a iluminar, color de las paredes y techo, tipo de unidades y reflector. Por ello, el factor tiene en cuenta la eficiencia y la distribución de la luminaria, su altura de montaje, la dimensión del local y las reflectancias de las paredes, techos y suelos. En general, cuanto más alto y estrecho sea el local, mayor será la proporción de luz absorbida por las paredes y más bajo el coeficiente de utilización, este efecto se considera

mediante la Relación de Cavidad ó RC (por cavidad se entiende en este caso un volumen específico del lugar a iluminar). Así, el coeficiente de utilización se encuentra mediante tablas a partir de los datos de la relación de la cavidad y de las reflexiones de paredes y techo. La Relación de Cavidad se aplica en general a la tres cavidades que puede tener un lugar a iluminar, estas cavidades son: la del techo ó RCT (el volumen entre el techo y la lámpara), la del local ó RCL (volumen entre la lámpara y el plano de trabajo) y la del suelo ó RCS (volumen entre el plano de trabajo y el piso). Estos volúmenes se muestran en la siguiente figura.

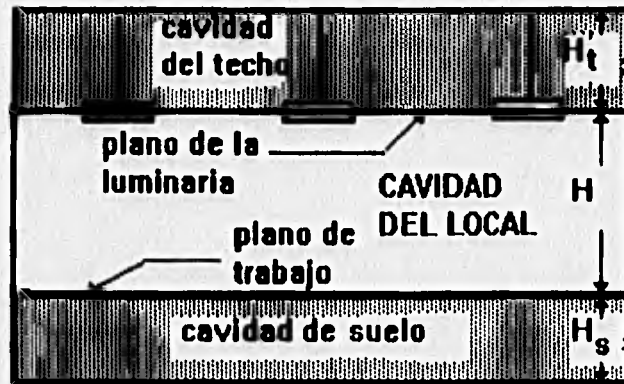


Fig. 4.1 Cavidades de un local

donde

H = altura de la cavidad del local
 H_t = altura de la cavidad del techo
 H_s = altura de la cavidad del suelo

A continuación se muestran los porcentajes de reflexión considerados satisfactorios en condiciones normales para diferentes tipos de superficie.

Función de la superficie	% de luz reflejada
Techos	70-90
Paredes	40-60
Parte superior de los muebles	25-50
Suelos	20-50

Fig 4.2 Factores de reflexión típicos en función del uso de la superficie

Cálculo de la relación de cavidad

En el caso del minibús las lámparas están empotradas en el techo por lo que la relación de la cavidad del techo es cero. Por otro lado, la relación de cavidad del suelo sólo se calcula cuando la superficie de suelo tiene una reflexión que no está entre un 20 y 30 % [ref 13], lo que no es el caso del minibús en el cual se considera que los niveles de reflexión son normales. Así, para el caso del minibús sólo es necesario calcular el valor de RCL

Para un local de longitud L y ancho W, RCL se calcula como

$$RCL = \frac{5H(L+W)}{L \times W} \quad (4.2)$$

Así pues, para el caso del minibús el coeficiente de utilización se calcula de la tabla del apéndice A, con el valor de la RCL y los de la reflectancia de techo y paredes.

los pasos a seguir en el método de los lúmenes son:

1. Determinación del nivel de iluminación requerido (N_i)
- 2.- Selección de la lámpara y determinación de flujo inicial (ϕ_i)
3. Determinación de coeficiente de utilización (C_u)
4. Determinación del factor de conservación de pérdidas de luz (f_p)
5. Cálculo del número de lámparas y luminarias requeridas (N_l)
6. Distribución de las luminarias y recomendaciones generales para la instalación

1. Determinación del nivel de iluminación requerido (N_i)

A continuación se muestran los valores típicos de alumbrado en transporte público, según la ref 3.

Tipo de vehículo	Nivel de iluminación (lux)
Vehículos de servicio urbano	200-400
Vehículos de servicio entre ciudades vecinas	100-200
Vehículos de recorrido largo	
En horas avanzadas de la noche	50-100
Para lectura	30-80

Fig 4.3. Valores de iluminación interior recomendados en vehículos de transporte público.

Para el minibus de la UNAM se propone usar el valor de intensidad lumínica más bajo permitido para vehículos de servicio urbano, que es de 200 luxes, valor que corresponde también al nivel mínimo de iluminación recomendado por el DDF [ref 2].

2.- Selección de la lámpara y determinación de flujo inicial (Φ)

La selección de la lámpara para el caso del minibus eléctrico se hace, principalmente, con base en su eficiencia. La eficiencia luminosa de una lámpara se mide como el cociente del flujo luminoso que emite, entre la potencia eléctrica que consume. Para cualquier clase de lámpara, la eficiencia se incrementa al aumentar la potencia de la misma. En la figura 4.4 se presentan valores típicos de eficiencia luminosa para diferentes tipos de lámparas [ref 11, excepto por el valor de eficiencia de los LEDs]:

Clase de lámpara	Potencia (W)	Eficiencia luminosa (lm/W)
Diodo Emisor de Luz (LED)	0.125	3
Filamento de carbón (incandescente)	60	3
Tungsteno, filamento simple, gaseosa (incandescente)	60	9
Tungsteno, filamento simple, doble espiral (incandescente)	60	11
Tungsteno, gaseosa, filamento simple (incandescente)	1000	18
Vapor de mercurio	400	40
Vapor de sodio	140	68
Fluorescente	80	45

Fig 4.4 Valores típicos de eficiencia luminosa

Puede observarse que la lámpara más eficiente es la de vapor de sodio, sin embargo no existen en el mercado lámparas de baja potencia con esta tecnología, por lo que por el momento se descarta su uso en el vehículo eléctrico.

Ahora bien, las lámparas fluorescentes presentan una significativa ventaja sobre las lámparas incandescentes, pues son de cinco a cuatro veces más eficientes. Además, las lámparas fluorescentes tienen una vida media que varía de 4,000 a 20,000 horas, dependiendo de la forma y el tamaño, cuando las lámparas incandescentes en general solo tienen una vida media de 1000 horas

Por otro lado, la gran superficie de la lámpara fluorescente es más ventajosa desde el punto de vista de bajo brillo y mínimo deslumbramiento. Las luces fluorescentes directas proporcionan generalmente más iluminación difusa que las directas incandescentes.

Como el nivel de iluminación requerido para el minibus es bajo se requieren lámparas de baja potencia. Se propone usar la lámpara fluorescente de menor potencia en el mercado, esto es una lámpara de 4W. Se seleccionó para el minibus una lámpara HITACHI, modelo F4T5, de 4 W, con una tensión mínima de encendido de 110 Vrms, una vida media nominal de 6000 horas con tres horas por encendido y un flujo luminoso inicial aproximado de 115 lúmenes [ref 13].

3. Determinación de coeficiente de utilización (Cu)

Las dimensiones del autobús eléctrico son de aproximadamente 6.2 m de largo por 2.2 m de ancho y una altura de piso a techo de 2 m. Así, y tomando como altura del plano de trabajo 75 cm, se tiene que H es de 1.25 m. Se considera una reflectancia del 80% para el techo y del 50% para las paredes (por las irregularidades que esta presenta) y un 20 % en el piso.

Con los datos anteriores y usando la ecuación 4.2 se calcula el valor de RCL.

$$RCL = \frac{(5)(1.25)(6.2 + 2.2)}{(6.2)(2.2)} = 3.8$$

De la tabla de coeficientes de utilización (apéndice A) y considerando una luminaria de lente prismático, que es lo más aproximado al caso de los difusores usados en autobuses, se tiene un coeficiente de utilización de 4.9.

4. Determinación del factor de conservación de pérdidas de luz (fp).

El problema de la reducción de la emisión luminosa se hace más pronunciado en lámparas de larga vida, como las lámparas fluorescentes y de vapor de mercurio, pues la luz producida al final de su vida útil puede ser de menos del 75% del valor original [ref 13]. Así pues, para el caso del minibus en el que se usarán lámparas fluorescentes, se considera que fp es de 75%

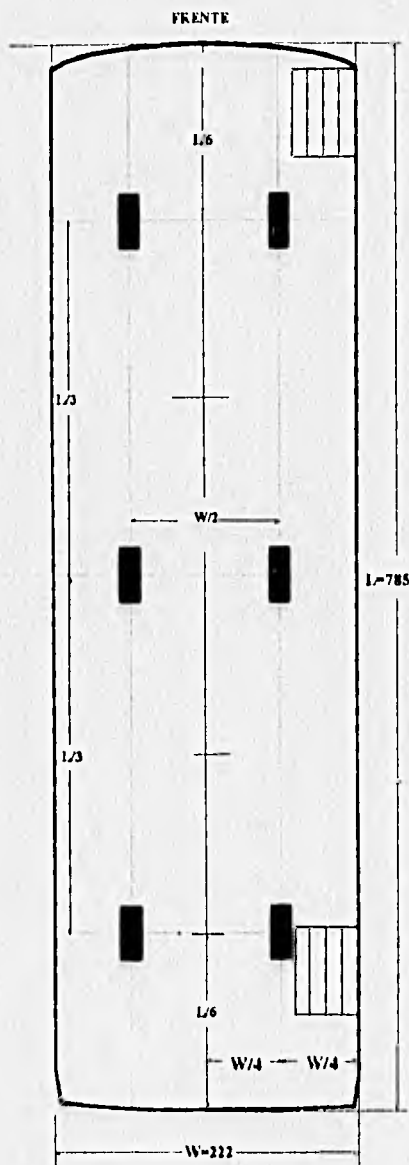
5. Cálculo del número de lámparas requeridas (NI)

Con los datos anteriores, $S = 14 \text{ m}^2$, $C_u = 4.9$, $f_p = 0.75$, $\phi_i = 115$ lúmenes, $RCL = 3.8$ y usando la ecuación 4.1, el número de lámparas requerido resulta de 6 lámparas. Se decidió utilizar una lámpara por luminaria.

6. Distribución de las luminarias y recomendaciones generales para la instalación

Se deben tomar precauciones contra el deslumbramiento excesivo, usando colores claros en techos y paredes para reducir el contraste, y reducir el brillo de las luminarias a límites razonables usando difusores en las lámparas y acabados mates en muebles, así como usar colores que entre sí no creen contrastes muy marcados, para que los ojos no tengan que ajustarse a cada momento de un nivel de brillo a otro.

En el alumbrado general la distribución más uniforme se obtiene mediante la localización simétrica de las luminarias. Las luminarias, (ó lámparas en este caso que se tiene una lámpara por luminaria) se ajustan [ref 13] de forma que el número total de ellas sea divisible por el número de filas de lámparas (que en el caso del minibús es de 2, como puede observarse en la figura 4.7). La distancia entre lámparas a lo largo de una fila se determina dividiendo la longitud del lugar a iluminar (L) por el número de luminarias de una fila (que es igual a 3 en el minibús, ver figura 4.7), dando una tolerancia de alrededor de un medio de dicha distancia entre las paredes y la primera y última unidad; en el caso del minibús esta distancia resulta de 131 centímetros. De manera similar, la distancia entre las filas es el ancho de la habitación (W) dividido por el número de filas (2 para el caso del minibús) dejándose un medio de esta distancia entre las paredes y la primera y última fila [ref 13]. Aplicando esto al caso del minibús se tiene el siguiente esquema de distribución de las luminarias.



cotas en centímetros

Fig. 4.5 Disposición de las luminarias para iluminación general. Vista superior del minibús

Para el resto de los elementos de la iluminación interior (luz de conductor, luces de los estribos y luz del tablero) se propone usar lámparas fluorescentes de baja capacidad; de hecho, se propone el uso de la misma lámpara propuesta para la iluminación interior general, esto es una lámpara de 4W.

4.2 DISEÑO DE LA ILUMINACIÓN EXTERNA

Requerimientos de intensidad luminosa para los elementos de iluminación externa

Mientras que el DDF no especifica requisitos de intensidad luminosa para la iluminación externa, la SAE señala los siguientes requerimientos:

Dispositivos	Intensidad media esférica (candela)
Luces de posición delanteras	4 a 6
Luces de posición traseras	4 a 6
Luces direccionales	21 a 32
Luces direccionales laterales	21 a 32
Luces de freno	21 a 32
Luces de reversa	21 a 32
Luces de placa	21 a 32
Fanales sellados	••

Fig 4.6 Requerimientos de intensidad luminosa para iluminación externa

donde:

•• Requisitos de intensidad para fanales sellados [ref 1]

Los requisitos de intensidad luminosa para fanales se proporcionan con base en la intensidad media horizontal, dado que son dispositivos que tienen que iluminar un campo muy extenso, y se especifican con base en un plano colocado a una distancia de 18.30 m de frente a los fanales, mismo que se muestra en las figuras 3.5 y 3.6 para los casos de luz alta y baja, respectivamente, y para los casos típicos de este tipo de faros (tipo 2 luces de 178 y de 4 luces de 146)

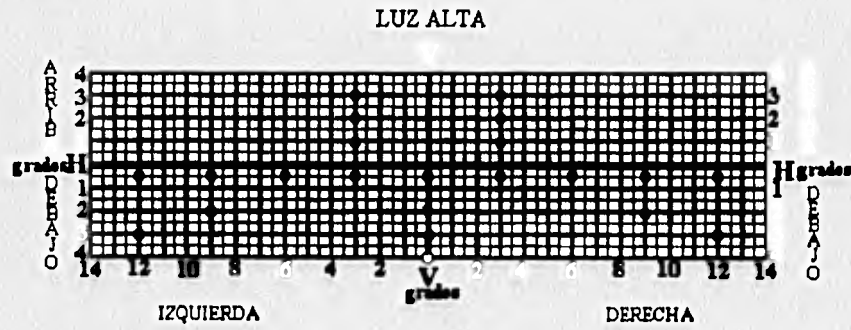


Fig.3.7 Unidad sellada tipo 2 luces de 178 y unidad sellada de 4 luces de 146

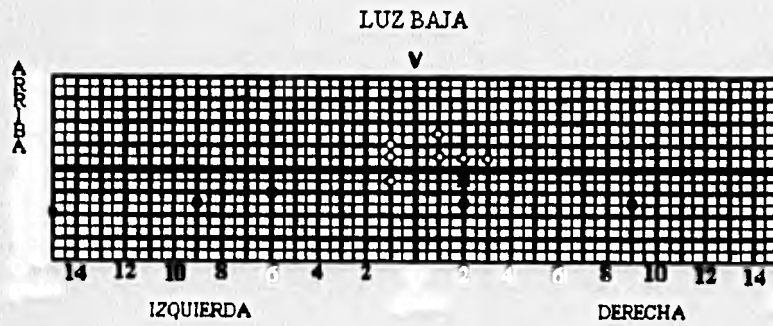


Fig. 3.8 Unidad sellada tipo 2 luces de 178 y unidad sellada de 4 luces de 146

donde:

- Indican potencia luminica máxima y mínima
- Indican potencia luminica mínima
- Indican potencia luminica máxima

Asi, los requerimientos de iluminación para faros se especifican para ciertas coordenadas del plano de referencia. Las coordenadas se dan con las siguiente notación, U, significa arriba y D abajo, con respecto a la linea H. Mientras que R significa a la derecha y L a la izquierda de la linea V. A continuación se presentan los requisitos de iluminación, referidos a los planos de las figuras 3.5 y 3.6.

LUZ ALTA UNA UNIDAD DE 178			LUZ BAJA UNA UNIDAD DE 178		
Posición, grados	Candelas máx	Candelas mín	Posición, grados	Candelas máx	Candelas mín
3U-3R y 3L	—	500	1U-1L a la izq	500	—
2U-3R y 3L	—	1 000	1/2U-1L a la izq	800	—
1U-3R y 3L	—	2 000	1/2D-1L a la izq	2 000	—
1/2D-V	—	20 000	1-1/2U-1R a la der	1 000	—
1/2D-3R y 3L	—	10 000	1/2U-1R a 3R	2 000	—
1/2D-6R y 6L	—	3 250	1/2D-2R	15 000	6 000
1/2D-9R y 9L	—	1 500	1D-6L	—	1 000
1/2D-12R y 312L	—	750	1-1/2D-2R	—	15 000
2D-V	—	5 000	1-1/2D-9L y 9R	—	1 000
2D-9R Y 9L	—	1 500	2D-15L y 15R	—	7 000
3D-V	—	2 500	4D-4R	12 500	—
3D-12R y 12L	—	750	10U a 90U	125	—
4D-V	5 000	—			
Máximo	37 500	—			

Fig.4.9 Valores del punto de prueba para unidades selladas tipo 2 luces de 178

LUZ ALTA					LUZ BAJA		
Posición, grados	Tipo 1, No.4001		Tipo 2, No.4002		Posición, grados	Candelas máx	Candelas mín
	Candelas		Candelas				
	máx	mín	máx	mín			
3U-3R y 3L	—	450	—	300	1U-1L a la izq.	500	—
2U-3R y 3L	—	750	—	750	1/2U-1L a la izq.	800	—
1U-3R y 3L	—	3 000	—	2 000	1/2U-1L a la izq.	2 000	—
1/2D-V	—	18 000	—	7 000	1-1/2U-1R a la der	1 000	—
1/2D-3R y 3L	—	12 000	—	3 000	1/2U-1R a 3R	2 000	—
1/2D-6R y 6L	—	3 000	—	2 000	1/2D-2R	15 000	6 000
1/2D-9R y 39L	—	2 000	—	1 000	1D-6L	—	1 000
1/2D-12R y 12L	—	750	—	750	1-1/2D-2R	—	15 000
2D-V	—	3 000	—	2 000	1-1/2D-9L y 9R	—	1 000
2D-9R y 9L	—	1 250	—	750	2D-15L y 15R	—	700
3D-V	—	1 500	—	1 000	4D-4R	12 500	—
3D-12R y 12L	—	600	—	400	10U a 90U	125	—
4D-V	2 500	—	2 500	—			

Fig 4.10 Valores del punto de prueba para unidades selladas de 4 luces de 146

Selección de lámparas para iluminación externa

Como se observa en la sección anterior los faros son elementos sometidos a especificaciones muy precisas, debido a la gran importancia que tienen para la conducción segura del vehículo. Por ello, no se buscará en este trabajo encontrar sustituto de los fanales comerciales. Sólo se recomienda utilizar unidades de alta eficiencia como las unidades de halógeno.

El diodo emisor de luz, o LED por sus siglas en inglés, es uno de los elementos de iluminación que parecen más adecuados para su uso en la iluminación externa de los autos eléctricos, por ser dispositivos de muy baja potencia y porque pueden manejarse intermitentemente a altas frecuencias (con respecto a la capacidad del ojo humano para distinguir la intermitencia) para disminuir su consumo para la misma iluminación aparente. De hecho, ya son de uso común los LEDs en la luz de frenado central (que es una luz opcional) Sin embargo, en realidad la eficiencia luminosa de los LEDs es muy baja, y en los mejores casos, como se observa en la figura 4.4, es apenas igual a la de la lámpara de filamento de carbón incandescente, que está prácticamente en desuso, la lámpara incandescente típica actual es la de filamento de tungsteno. Para calcular la eficiencia luminosa de los LEDs se parte de los datos que en general presentan las hojas de datos de los LEDs, como los que se muestran en la siguiente tabla (Fig. 4.11) que corresponde a LEDs típicos de diferentes potencias [ref 14].

elemento	intensidad luminosa (mlm/sr)	θ (°)	P_D (mW)
AND163S	40	10	70
AND163	100	10	55
AND163QR	720	10	1
AND125CR	400	60	125

Fig. 4.11 Datos típicos de hojas de datos de LEDs.

Donde θ es el ángulo de difusión plano.

Para calcular la eficiencia que relaciona la cantidad de lumen proporcionados con la energía eléctrica consumida, se requiere determinar el flujo luminoso total del elemento, para ello se multiplica la intensidad luminosa por esterradián por el ángulo sólido total (ω) asociado al ángulo plano θ .

$$\omega = 2\pi(1 - \cos\theta/2) \quad (4.3)$$

Así, con el dato de la potencia total disipada (P_D) y el flujo luminoso total se determina la eficiencia del elemento, la que se indica en la siguiente tabla para los elementos de la figura 4.11

elemento	η (lm/W)
AND163S	0.013
AND163	0.09
AND163QR	0.311
AND125CR	2.7

Fig. 4.12 Eficiencia luminosa de distintos tipos de LEDs.

Como puede observarse de la figura anterior la eficiencia de los LEDs puede ser muy variable. Se calcularon las eficiencias de un buen número de LEDs consultando los datos de la ref. 14 y se encontró que los valores más altos de eficiencia se acercan a los 3 lm/W, que es la cifra que se anota en la figura 4.4.

Desafortunadamente, por el momento sólo es recomendable el uso del LED en las luces opcionales, como las centrales de frenado. Sin embargo, los LEDs son lámparas con un constante desarrollo tecnológico en su construcción, pues continuamente se usan nuevos materiales en la unión n-p para hacerlos más eficientes [ref. 15], lo que en el futuro las puede hacer aptas para su uso en vehículos eléctricos comerciales. Mientras tanto, las luces

fluorescentes parecen ser la mejor alternativa a las luces incandescentes para la iluminación exterior.

En los casos en los que en el diseño de la iluminación del minibús se propone el uso de lámparas fluorescentes, se propone también que se utilicen éstas con balastras electrónicas de alta frecuencia, alimentadas a partir de 12 V de corriente directa. Con estas balastras, debido a la alta frecuencia con la que se alimenta la lámpara, el encendido es prácticamente instantáneo y además se consigue un incremento del 10% en la eficiencia, con respecto al funcionamiento de la lámpara a 60 Hz.[ref. 6].

Uno de los objetivos de este trabajo fue construir un banco de pruebas para lámparas fluorescentes con el fin de evaluar su eficiencia para diferentes frecuencias, desde 1 kHz a 80 kHz, verificando distintos tipos de lámparas fluorescentes. Para con estos datos construir una balastro diseñada para su uso en el minibús eléctrico; esto es, con alta eficiencia, hecha para manejar una lámpara de muy baja potencia (4 W), que funcione a partir de una alimentación de 12 V, que tenga un consumo nulo sin lámpara y que la inyección de armónicas a la alimentación sea mínima (esto es que el factor de potencia sea cercano a uno).

Para construir dicho banco de pruebas se realizó una breve investigación bibliográfica y un prototipo de balastro electrónica. Las balastras electrónicas para vehículos eléctricos deben convertir la tensión continua de 12 volts de una batería, en una tensión de corriente alterna de 110 a 220 volts. Pero para el prototipo de banco de prueba se construyó simplemente un amplificador de potencia de las señales provenientes de un generador de señales, con este arreglo se puede variar la frecuencia fácilmente.

El circuito del amplificador de potencia utilizado se muestra en la (fig. 4.14). Dicho amplificador está constituido a la entrada por una etapa de amplificador seguidor, con lo que se tiene una impedancia de entrada alta, esta etapa se forma con el amplificador operacional u1; enseguida se cuenta con una etapa de ganancia de corriente hecha con base en el amplificador operacional u2 y un arreglo de transistores de potencia en configuración push-pull: Q1 (TIP 31) y su complementario Q2 (TIP 32). Los amplificadores operacionales son de tipo LM301A que tienen una compensación de alimentación directa para mejorar la respuesta a la frecuencia. Las resistencias R1 y R2 establecen la ganancia de voltaje de

fluorescentes parecen ser la mejor alternativa a las luces incandescentes para la iluminación exterior.

En los casos en los que en el diseño de la iluminación del minibus se propone el uso de lámparas fluorescentes, se propone también que se utilicen éstas con balastros electrónicos de alta frecuencia, alimentadas a partir de 12 V de corriente directa. Con estas balastros, debido a la alta frecuencia con la que se alimenta la lámpara, el encendido es prácticamente instantáneo y además se consigue un incremento del 10% en la eficiencia, con respecto al funcionamiento de la lámpara a 60 Hz. [ref. 6].

Uno de los objetivos de este trabajo fue construir un banco de pruebas para lámparas fluorescentes con el fin de evaluar su eficiencia para diferentes frecuencias, desde 1 kHz a 80 kHz, verificando distintos tipos de lámparas fluorescentes. Para con estos datos construir una balastro diseñada para su uso en el minibus eléctrico; esto es, con alta eficiencia, hecha para manejar una lámpara de muy baja potencia (4 W), que funcione a partir de una alimentación de 12 V, que tenga un consumo nulo sin lámpara y que la inyección de armónicas a la alimentación sea mínima (esto es que el factor de potencia sea cercano a uno).

Para construir dicho banco de pruebas se realizó una breve investigación bibliográfica y un prototipo de balastro electrónica. Las balastros electrónicas para vehículos eléctricos deben convertir la tensión continua de 12 volts de una batería, en una tensión de corriente alterna de 110 a 220 volts. Pero para el prototipo de banco de prueba se construyó simplemente un amplificador de potencia de las señales provenientes de un generador de señales, con este arreglo se puede variar la frecuencia fácilmente.

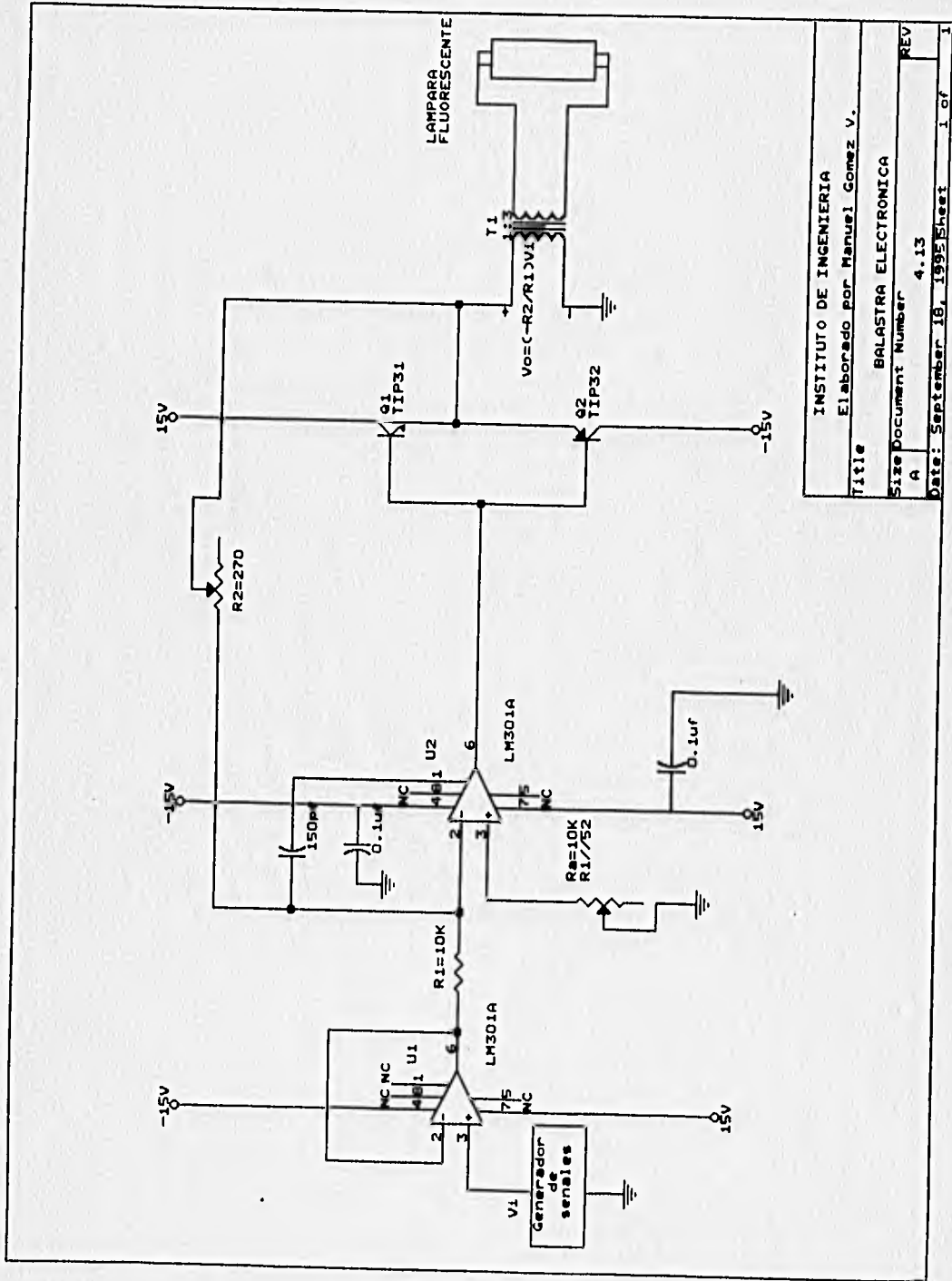
El circuito del amplificador de potencia utilizado se muestra en la (fig. 4.14). Dicho amplificador está constituido a la entrada por una etapa de amplificador seguidor, con lo que se tiene una impedancia de entrada alta, esta etapa se forma con el amplificador operacional u1; enseguida se cuenta con una etapa de ganancia de corriente hecha con base en el amplificador operacional u2 y un arreglo de transistores de potencia en configuración push-pull: Q1 (TIP 31) y su complementario Q2 (TIP 32). Los amplificadores operacionales son de tipo LM301A que tienen una compensación de alimentación directa para mejorar la respuesta a la frecuencia. Las resistencias R1 y R2 establecen la ganancia de voltaje de

amplificación. La resistencia R2 es variable, lo que permite calibrar el voltaje en el primario del transformador. Finalmente se utiliza un transformador (T1) con una relación de transformación de 1 a 3 para acoplar impedancias con la lámpara (elevando el voltaje que se aplica a la misma). La forma de operar del amplificador de potencia es la siguiente: cuando V_i es negativo, Q1 conduce para suministrar un voltaje positivo de salida. Q1 refuerza la capacidad máxima de corriente de la salida del amplificador operacional. Cuando V_i es positivo Q2 conduce para proporcionar ganancia de corriente a la salida.

El desempeño del amplificador no fue satisfactorio, desafortunadamente la respuesta en frecuencia del conjunto transformador más lámpara no fue plana en todo el rango de trabajo, ya que se presentaron picos de resonancia y un limitado ancho de banda en el transformador que hicieron difícil la evaluación del desempeño de la lámpara

Se considera que el prototipo de banco de pruebas puede mejorarse eliminando el transformador T1 y alimentando el arreglo PUSH-PULL con voltajes altos (de $\pm\sqrt{2}(120)$ volts) que se pueden obtener con fuentes sencillas que consistirían en un transformador, un puente rectificador de onda completa y un capacitor de filtrado relativamente grande.

Por limitaciones de tiempo no fue posible modificar el banco de pruebas y menos aún construir la balastra propuesta; por ello, se decidió utilizar balastras comerciales que ya existen en el mercado nacional. Estas balastras, que trabajan a una frecuencia de 20 kHz, están hechas para manejar lámparas de potencias que van de los 20 a los 40 W. A pesar de lo anterior se les utilizó para las lámparas de baja potencia propuestas (4 W). No hubo mayor problema para manejar dichas lámparas, sin embargo la eficiencia de la balastra en esta aplicación fue relativamente baja, del orden de 70%. Considerando esta eficiencia el consumo de potencia para cada unidad de 4 W se eleva a 6 W.



INSTITUTO DE INGENIERIA
 Elaborado por Manuel Gomez V.
 Title BALASTRA ELECTRONICA
 Size Document Number 4.13
 A REV
 Date: September 18, 1995 Sheet 1 of 1

Propuestas para ahorro de energía en la iluminación externa

En cuanto a la iluminación externa, excepto faros sellados, se tienen 4 propuestas para el ahorro de energía, la primera consiste en agrupar elementos de iluminación y utilizar sólo los indispensables; la segunda en, además, usar lámparas fluorescentes (excepto en luces intermitentes, frenos, direccionales, etc.); la tercera en usar sólo dos fuentes de luz para las luces fijas (no intermitentes), una lámpara para las luces delanteras y otra para las traseras con una distribución de luz por fibra óptica para los diferentes usos (gálidos, iluminación de placa. etc.) y la cuarta en usar lámparas fluorescentes en toda la iluminación externa. A continuación se explican en detalle las propuestas anteriores.

Las propuestas se presentan en orden del ahorro de energía posible y de la dificultad técnica para su realización, comenzando por la más sencilla y que menor ahorro proporciona.

En cada propuesta excepto por supuesto en la primera se utilizan también las recomendaciones de la propuesta anterior y en la cuarta ó última que retoma las recomendaciones de la segunda propuesta.

1.- Agrupamiento de elementos y eliminación de luces no indispensables

Una reducción en el consumo de energía en los elementos de iluminación externa se logra utilizando sólo los elementos indispensables (por lo que se elimina el uso de la luz de frenado central) así como agrupando ciertos elementos cuya función es la misma. Este agrupamiento se hizo tomando en cuenta el no perder la funcionalidad de las luces. De hecho SAE en su norma J592b [ref. 1] menciona que es posible agrupar elementos siempre y cuando no se altere la función del elemento. Con esta propuesta se logra reducir de 31 a 21 los elementos de iluminación externa.

La lista de elementos para la iluminación externa con los agrupamientos propuestos (que se señalan con *) se muestra enseguida

- *1.- Luz de contorno delantera derecha y luz lateral de posición delantera derecha o gálido (ámbar) (L1)
- *2.- Luces de identificación delanteras (ámbar) y luz del letrero (blanca) (L2)

- *3.- Luz de contorno delantera izquierda y luz lateral de posición delantera izquierda o gálbo (ámbar) (L3)
- 4.- Unidad de fanal sellado derecho
- 5.- Unidad de fanal sellado izquierdo.
- *6.- Luz direccional delantera izquierda y luz direccional lateral delantera izquierda (ámbar) (L4)
- *7.- Luz direccional delantera derecha y luz direccional lateral delantera derecha (ámbar) (L5)
- 8.- Cuarto delantero derecho (ámbar o blanco)
- 9.- Cuarto delantero izquierdo (ámbar o blanco)
- *10.- Luz de contorno trasera izquierda y luz lateral de posición trasera izquierda o gálbo (roja) (L6)
- *11.- Luces de identificación traseras (roja) (L7)
- *12.- Luz de contorno trasera derecha y luz lateral de posición trasera derecha o gálbo (roja) (L8)
- *13.- Luz direccional trasera izquierda y luz direccional lateral trasera izquierda (roja) (L9)
- *14.- Luz direccional trasera derecha y luz direccional lateral trasera derecha (roja) (L10)
- 15.- Luz de frenado trasera derecha (roja) .
- 16.- Luz de frenado trasera izquierda (roja) .
- 17.- Luz de reversa trasera derecha (blanca)
- 18.- Cuarto trasero izquierdo (roja).
- 20.- Cuarto trasero derecho (roja) .
- 21.- Luz de placa (blanca)

A continuación se muestran diferentes vistas del minibus mostrando la disposición de los elementos de iluminación con la agrupación propuesta.

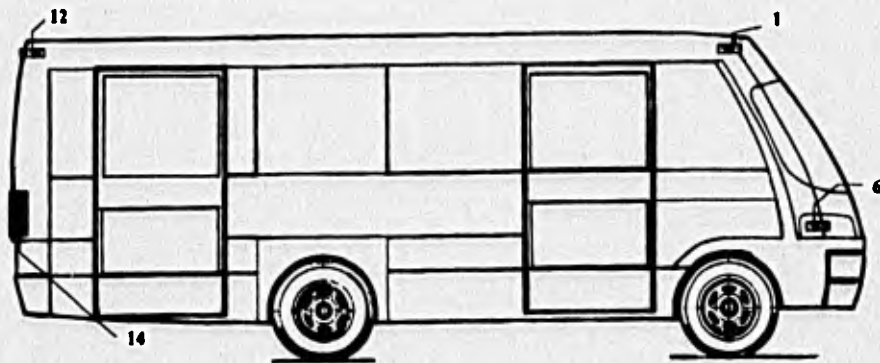


Fig. 4.14 Vista lateral derecha (luces agrupadas)

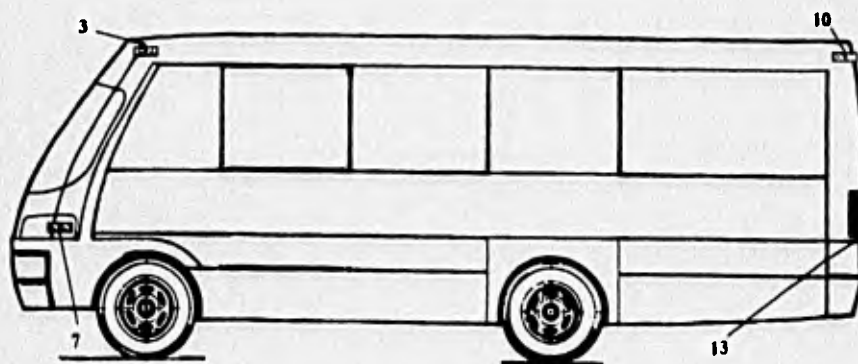


Fig. 4.15 Vista lateral izquierda (luces agrupadas)

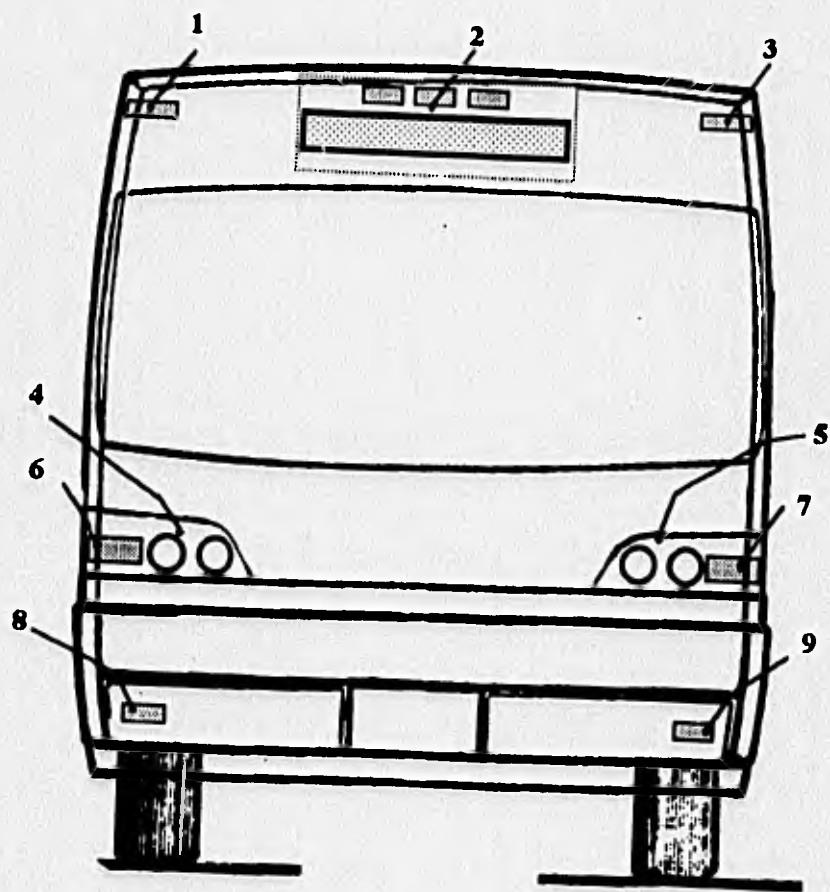


Fig. 4.16 Vista frontal (luces agrupadas)

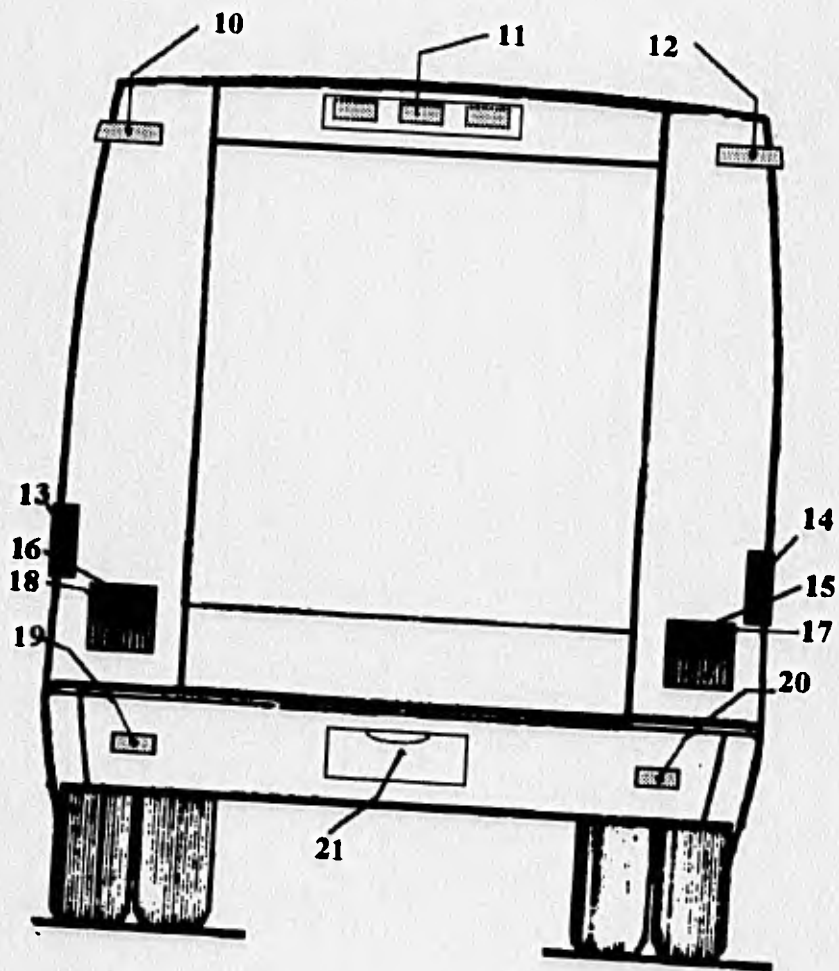


Fig. 4.17 Vista posterior (luces agrupadas)

2.- Uso de lámparas fluorescentes excepto en luces intermitentes

Para el caso donde se propone usar lámparas fluorescentes, la idea del agrupamiento de la propuesta anterior es muy adecuada, pues en las lámparas fluorescentes la emisión de luz está más distribuida que en las incandescentes. La lámpara más pequeña que existe en el mercado, que es la que se piensa utilizar, de 4 W, tiene una longitud de 15.24 cm., por lo que se tiene una fuente de luz con una área mucho mayor que las incandescentes; esto es, se puede aprovechar para cubrir la misma área de dos luces externas. Para el caso de las 3 luces de identificación se puede usar una sola lámpara fluorescente con tres rejillas o ventanillas para lograr el efecto de luces separadas. Otro punto interesante que presentan las lámparas fluorescentes ante la idea de agrupar elementos es su producción de lúmenes, pues la intensidad lumínica de la lámpara fluorescente más pequeña (4 W) está por encima de la de los focos incandescentes de 12 y 8 W que se utilizan comúnmente en la iluminación externa, lo que ayuda para que al utilizar una misma lámpara para dos funciones no haya insuficiencia de iluminación.

3.- Concentración de fuentes de luz y distribución de luz por fibra óptica.

Esta propuesta fue hecha por el Diseñador Industrial Carlos Soto, quien es miembro del equipo que diseña y construye el minibús. La propuesta consiste en utilizar sólo una o dos fuentes de luz, y distribuir la luz a través de fibra óptica para las diferentes luces del vehículo (cuartos, gálibos, etc.). Al usarse menos fuentes de luz, pero de mayor potencia que las de las unidades individuales a las que sustituirá, se logra un manejo más eficiente de la generación de luz (basta recordar que, como se mencionó en la sección 4.2, en el segundo paso del método de lúmenes, la eficiencia de las lámparas aumenta con el tamaño de las mismas). En este trabajo se combinó la propuesta del D.I. Carlos Soto con la idea del uso de lámparas fluorescentes y el agrupamiento de luces. Además es posible ajustar mejor la potencia de las lámparas fluorescentes a los requisitos de iluminación.

En un primer análisis de esta propuesta se propone reducir las lámparas para las luces fijas a sólo dos, una para luces delanteras y otra para las traseras.

Para el cálculo de la potencia requerida para de las lámparas mencionadas en esta propuesta se parte de la potencia total demandada por las luces exteriores, considerando el uso de

lámparas incandescentes. Para el caso de las luces exteriores delanteras (luces de posición delanteras derecha e izquierda, de identificación delanteras, de contorno delanteras derecha e izquierda, lateral de posición delanteras derecha e izquierda y del letrero) dicha potencia es de 100 W y la potencia demandada para el caso de las luces traseras (luces de posición traseras derecha e izquierda, de identificación traseras, de contorno traseras derecha e izquierda, lateral de posición traseras derecha e izquierda y de placa) es de 88 W.

Ahora bien, si se usan lámparas fluorescentes para proveer esta iluminación y considerando de manera conservadora que estas lámparas son 4 veces más eficientes que las incandescentes, se requiere una lámpara de 25 W para las luces delanteras y una de 22 W para las traseras (en realidad se espera que con una lámpara de mayor capacidad, la eficiencia pueda ser hasta cinco veces la de la lámpara incandescente, pero esto habrá que ser comprobado experimentalmente) Considerando una eficiencia de conducción de luz de la fibra óptica de 70% se requiere finalmente una lámpara de una potencia mínima de 36 W para la delantera y de 31.4 W para la trasera. Los valores de lámparas que más se acercan a los valores anteriores son de 40 W para la delantera y 30 W para la trasera. El consumo de energía sería, considerando una eficiencia de la balastra de 70%, de 57 W para las luces delanteras y 43 W para las traseras.

La capacidad de transmisión de luz de una fibra óptica depende de la abertura del haz incidente de la reflexión de luz en las caras de la fibra, de la atenuación de luz del material, de la longitud de la guía de luz, de las reflexiones internas en la fibra y por el coeficiente de relleno de la fibra que indica la proporción del área de luz incandescente está cubierto por el área transversal de la fibra. La estimación de dicha capacidad es muy complicada, en este trabajo se le asigna un valor que se considera razonable con base en la información presentada en la [ref. 18]. Lo que debe hacerse para un análisis más profundo de la aplicación de fibra óptica es consultar datos de fabricante y realizar pruebas fotométricas.

4.- Uso de lámparas fluorescentes en todo el sistema de iluminación externo.

Se llevaron a cabo pruebas para saber si era posible utilizar lámparas fluorescentes para luces intermitentes, como las de las direccionales y las luces de frenos. En estas pruebas se utilizaron una lámpara fluorescente de 4 W de diferentes marcas (HITACHI, OSRAM y PHILIPS), dos balastras electrónicas (apéndice B) y un destellador comercial de auto eléctrico (WAGNER FIIASA, modelo 550m). Las pruebas consistieron en activar de manera intermitente la balastra electrónica mediante el destellador, con una frecuencia de

intermitencia de 78 por minuto. Los resultados de dichas pruebas mostraron que las lámparas fluorescentes funcionan tan bien como las incandescentes en operación intermitente, cuando son manejadas con balastros electrónicos de alta frecuencia, ya que con ellas se consigue un encendido prácticamente instantáneo. Sin embargo, la vida útil de la lámpara se redujo drásticamente de 4000 horas a sólo 60, una de las razones de esta reducción es que en las lámparas fluorescentes convencionales (de cátodo caliente), como las usadas en estas pruebas, sus electrodos se deterioran con la intermitencia.

Es necesario hacer más pruebas con otros tipos de lámparas fluorescentes y diferentes configuraciones de balastros electrónicos para determinar con certeza la viabilidad de las lámparas fluorescentes para luces intermitentes de vehículos.

Por supuesto, también es posible utilizar la idea de concentración de luces y distribución de luz mediante fibra óptica para el caso de las luces direccionales (se requeriría para ello sólo dos lámparas una para las direccionales izquierdas y otra para las derechas) así como para las luces de frenado (aquí se usaría una sola lámpara) sin embargo se considera que las propuestas ya presentadas representan los ahorros más importantes que pueden lograrse.

4.3 CONSUMO DE ENERGÍA

De manera semejante a como se hizo en el análisis del consumo del peor caso se presentan cuatro análisis para los casos correspondientes a cada propuesta para la iluminación exterior presentada en la sección anterior. En todos los casos se utiliza la iluminación interior diseñada con base en lámparas fluorescentes

I.- Agrupamiento de elementos y eliminación de luces no indispensables.

LUCES	CONSUMO POR UNIDAD (W)	NÚMERO DE UNIDADES	USO (h)	CONSUMO DE ENERGÍA (Wh)
fanal sellado	45	2	4	360
de posición delanteras (cuartos)	10	2	4	80
de posición traseras (cuartos)	10	2	4	80
de placa	8	1	4	32
L2	10	3	4	120
L7	10	3	4	120
L1 y L3	10	2	4	80
L6 y L8	10	2	4	80
Total de iluminación externa fija	-	-	-	952
L4 y L5	18	2	1	36
L9 y L10	18	2	1	36
de frenado	18	2	1	36
de reversa	18	2	0.25	9
Total de iluminación externa intermitente	-	-	-	117
iluminación general interna	6	6	4	144
del estribo	6	2	4	48
del conductor	6	1	0.25	1.5
del tablero	6	2	4	48
Total de iluminación interna	-	-	-	242

Fig. 4.18 Uso nocturno (4 horas) (primera propuesta)

LUCES	CONSUMO POR UNIDAD (W)	NÚMERO DE UNIDADES	USO (h)	CONSUMO DE ENERGIA (Wh)
de reversa	18	2	0.5	18
de frenado	18	2	3	108
L4 y L5	18	2	3	108
L9 y L10	18	2	3	108
Total de iluminación externa	-	-	-	342

Fig. 4.19 Uso diurno (11:15 horas) (primera propuesta)

Total diurno: 0.34kWh

Total nocturno : 1.31kWh

CONSUMO TOTAL DE ENERGIA : 1.65 kWh

Se requiere una capacidad mínima de baterías de 2.07 kWh. Para cubrir dicho consumo se tiene la siguiente combinación posible de baterías:

MARCA	Ec(Wh/kg)	Pb(kg)	No. de baterías	Peso total (kg)	Capacidad nominal (kWh)	Energía útil de respaldo (kWh)
Poweronic	42.3	22.7	3	68	2.9	0.84
Cronos-Celtik	26.2	64	2	128	3.35	1.28
GNB 12- EVB-1180	39.2	30	2	60	2.35	0.28

Fig. 4.20 Requerimiento de la batería auxiliar (primera propuesta)

2.-Uso de lámparas fluorescentes excepto en luces intermitentes.

LUCES	CONSUMO POR UNIDAD (W)	NÚMERO DE UNIDADES	USO (h)	CONSUMO DE ENERGIA (Wh)
fanal sellado	45	2	4	360
de posición delanteras (cuartos)	6	2	4	48
de posición traseras (cuartos)	6	2	4	48
de placa	6	1	4	24
L2	21	1	4	84
L7	21	1	4	84
L1 y L3	6	2	4	48
L6 y L8	6	2	4	48
Total de iluminación externa fija	-	-	-	744
Total de iluminación externa intermitente	-	-	-	117
Total de iluminación interna	-	-	-	242

Fig. 4.21 Uso nocturno (4 horas) (segunda propuesta)

LUCES	CONSUMO POR UNIDAD (W)	NÚMERO DE UNIDADES	USO (h)	CONSUMO DE ENERGIA (Wh)
Total de Iluminación externa	-	-	-	342

Fig. 4.22 Uso diurno (11:15 horas) (segunda propuesta)

Total diurno: 0.34 kWh

Total nocturno : 1.16 kWh

CONSUMO TOTAL DE ENERGIA : 1.51 kWh

Se requiere una capacidad mínima de baterías de 1.88 kWh. Para cubrir dicho consumo se tiene la siguiente combinación posible de baterías:

MARCA	Ee(Wh/kg)	Pb(kg)	No. de baterías	Peso total (kg)	Capacidad nominal (kWh)	Energía útil de respaldo (kWh)
Powersonic	42.3	22.7	2	46	1.92	0.04
Cronos-Celtik	26.2	64	1	64	1.67	-0.2
GNB 12- EVB-1180	39.2	30	2	60	2.35	0.47

Fig. 4.23 Requerimiento de la batería auxiliar (segunda propuesta)

Aquí de nuevo la batería Cronos-Celtik está ligeramente debajo de la capacidad requerida, pero no vale la pena añadir una batería más.

3.-Concentración de fuentes de luz y distribución de luz por fibra óptica.

LUCES	CONSUMO POR UNIDAD (W)	NÚMERO DE UNIDADES	USO (h)	CONSUMO DE ENERGIA (Wh)
fanal sellado	45	2	4	360
lámpara delantera para luces fijas	57	1	4	228
lámpara trasera para luces fijas	43	1	4	172
Total de iluminación externa fija	-	-	-	760
Total de iluminación externa intermitente	-	-	-	117
Total de iluminación interna	-	-	-	242

Fig. 4.24 Uso nocturno (4 horas) (tercera propuesta)

LUCES	CONSUMO POR UNIDAD (W)	NÚMERO DE UNIDADES	USO (h)	CONSUMO DE ENERGIA (Wh)
Total de iluminación externa	-	-	-	342

Fig. 4.25 Uso diurno (11:15 horas) (tercera propuesta)

Total diurno: 0.34 kWh
 Total nocturno : 1.12 kWh

CONSUMO TOTAL DE ENERGIA : 1.46 kWh

Se requiere una capacidad mínima en la batería de 1.83 kWh. Para cubrir dicho consumo se tiene la siguiente combinación posible de baterías:

MARCA	Ee(Wh/kg)	Pb(kg)	No. de baterias	Peso total (kg)	Capacidad nominal (kWh)	Energia útil de respaldo (kWh)
Powersonic	42.3	22.7	2	46	1.92	0.1
Cronos-Celtik	26.2	64	2	64	3.35	1.52
GHB 12-EVB-1180	39.2	30	2	60	2.35	0.52

Fig. 4.26 Requerimiento de la batería auxiliar (tercera propuesta)

4.-Uso de lámpara fluorescente en todo el sistema de iluminación externa.

LUCES	CONSUMO POR UNIDAD (W)	NÚMERO DE UNIDADES	USO (h)	CONSUMO DE ENERGIA (Wh)
Total de iluminación externa fija	-	-	-	744
de reversa	6	2	0,25	3
de frenado	6	2	1	12
L4 y L5	6	2	1	12
L9 y L10	6	2	1	12
Total de iluminación externa intermitente	-	-	-	39
Total de iluminación interior	-	-	-	241,5

Fig. 4.27 Uso nocturno (4 horas) (cuarta propuesta)

LUCES	CONSUMO POR UNIDAD (W)	NÚMERO DE UNIDADES	USO (h)	CONSUMO DE ENERGIA (Wh)
de reversa	6	2	0,5	6
de frenado	6	2	3	36
L4 y L5	6	2	3	36
L9 y L10	6	2	3	36
Total de iluminación externa	-	-	-	114

Fig. 4.28 Uso diurno (11:15 horas) (cuarta propuesta)

Total diurno: 0.12 kWh

Total nocturno : 1 kWh

CONSUMO TOTAL DE ENERGIA : 1.12 kWh

Se requiere una capacidad mínima de baterías de 1.4 kWh. Para cubrir dicho consumo se tiene la siguiente combinación posible de baterías:

MARCA	Ee(Wh/kg)	Pb(kg)	No. de baterías	Peso total (kg)	Capacidad nominal (kWh)	Energía útil de respaldo (kWh)
Powersonic	42.3	22.7	2	46	1.92	0.52
Cronos-Celtik	26.2	64	1	64	1.67	0.27
GHB 12-EVB-1180	39.2	30	2	60	2.35	0.96

Fig. 4.29 Requerimiento de la batería auxiliar (cuarta propuesta)

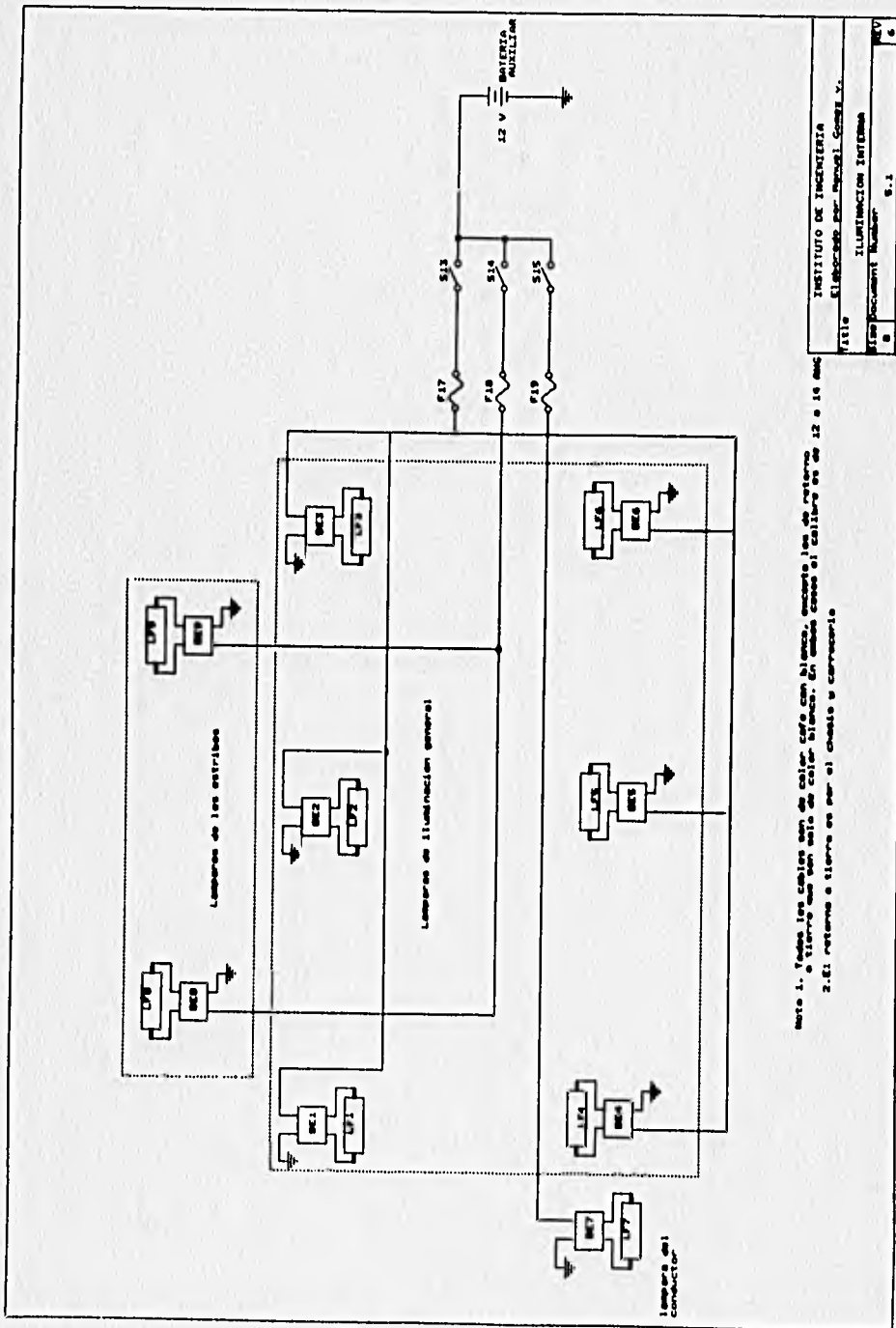
**CIRCUITOS ELÉCTRICOS DE LOS SISTEMAS AUXILIARES DEL
MINIBÚS ELÉCTRICO**

Como parte del presente trabajo, se elaboraron los circuitos eléctricos del minibús eléctrico UNAM. Estos circuitos incluyen todos los equipos auxiliares del vehículo. Para la elaboración de dichos circuitos se consultaron manuales de circuitos eléctricos de automoviles [ref 8 y 9]. Con base en estos manuales se estableció el calibre de los conductores, así como la convención de colores de los mismos. Para su mejor comprensión se divide la presentación de la circuitería eléctrica en los siguientes circuitos.

- 5.1.- Iluminación interna con lámparas fluorescentes
- 5.2.- Luces de posicionamiento (peor caso)
- 5.3.- Luces de posicionamiento (agrupamiento)
- 5.4.- Luces de posicionamiento (fibra óptica)
- 5.5.- Luces direccionales (peor caso)
- 5.6.- Luces direccionales (agrupamiento)
- 5.7.- Luces de advertencia (de frenado y reversa) y fanales sellados
- 5.8.- Otros equipos auxiliares

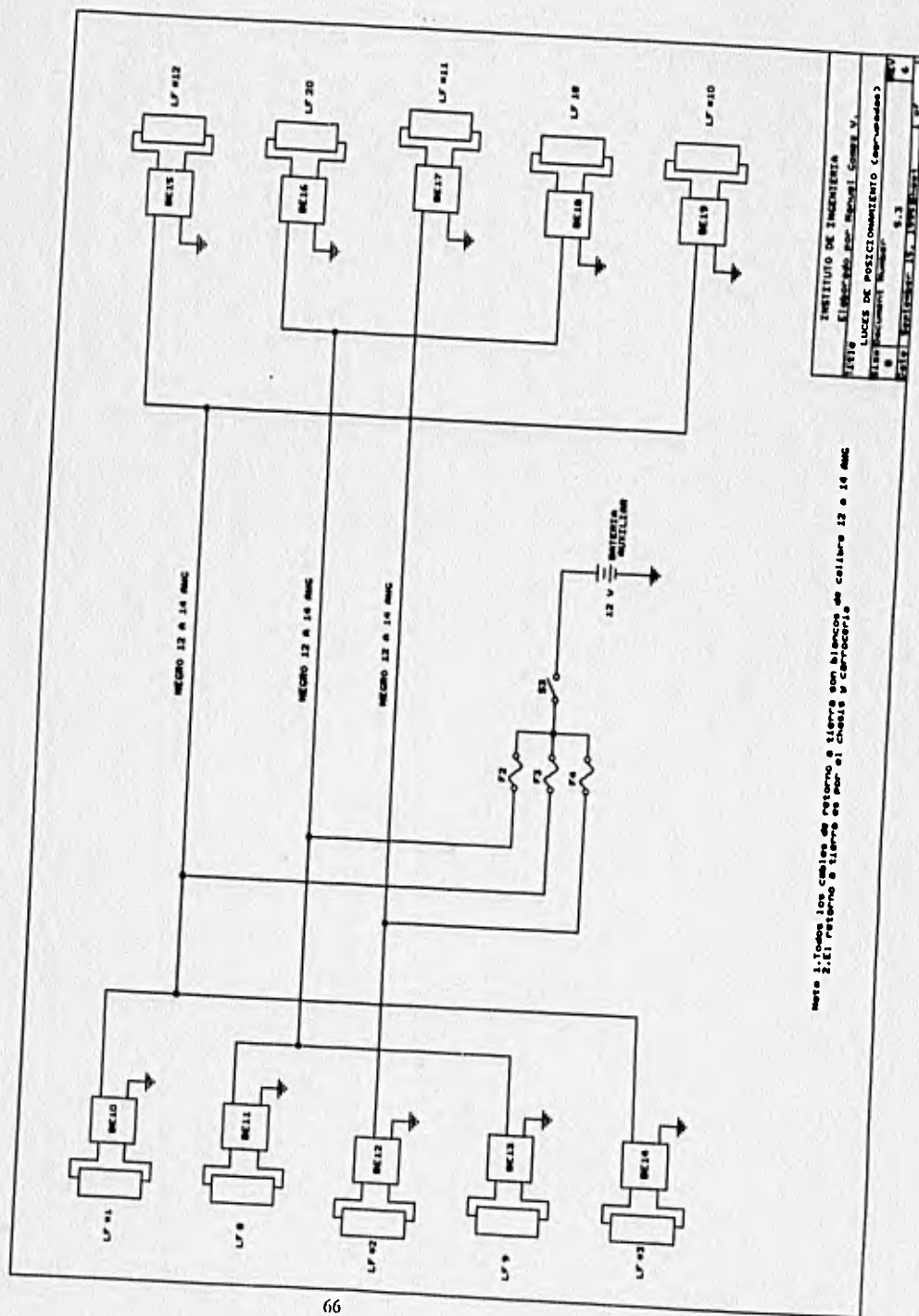
En el caso del circuito de las luces de posicionamiento con luces agrupadas (5.3) se muestran lámparas fluorescentes, el mismo circuito es válido para luces incandescentes, sólo hay que sustituir la balastra y la lámpara fluorescente por una unidad incandescente de 10 W

A continuación se presentan los ocho circuitos eléctricos de los sistema auxiliares:

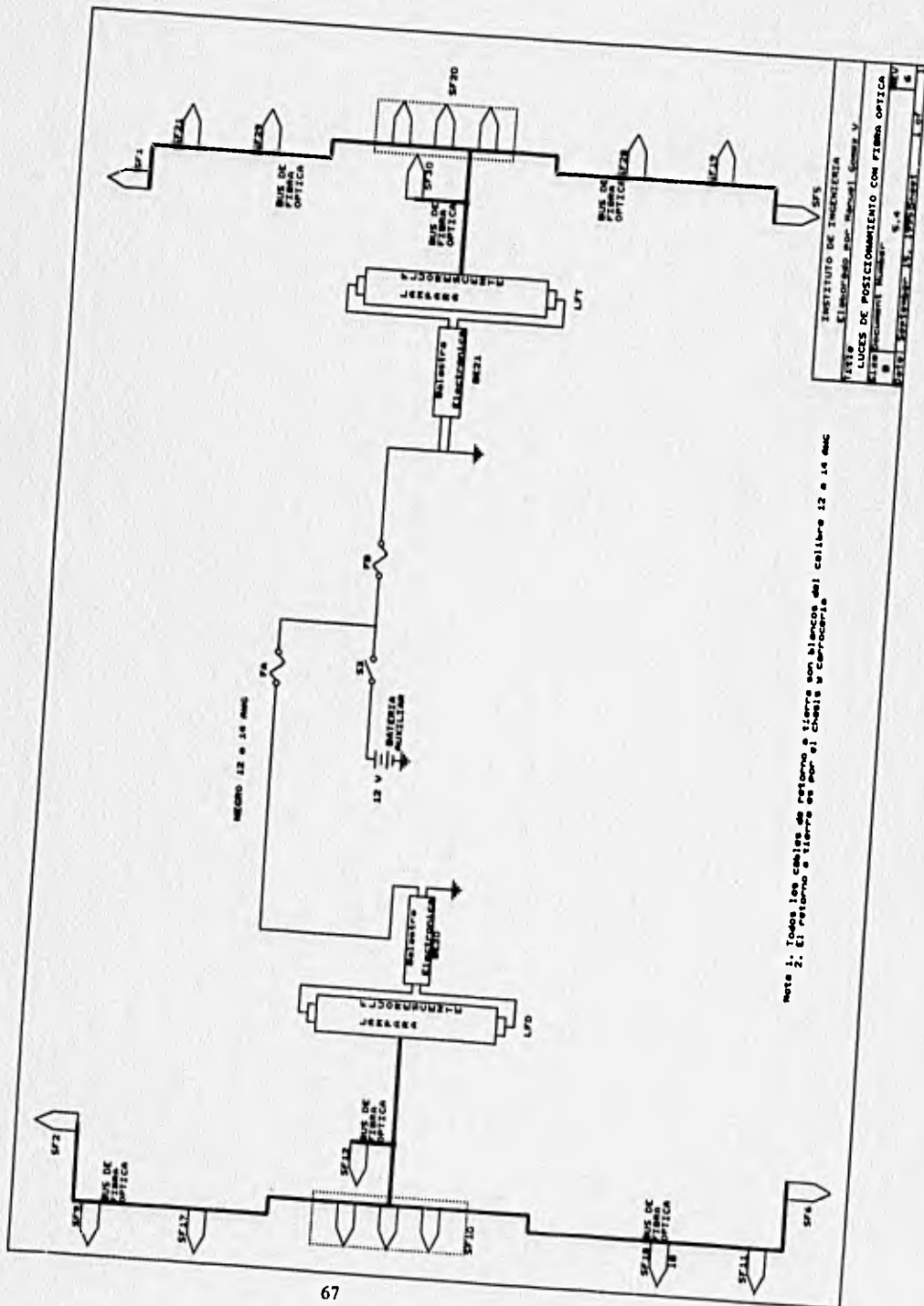


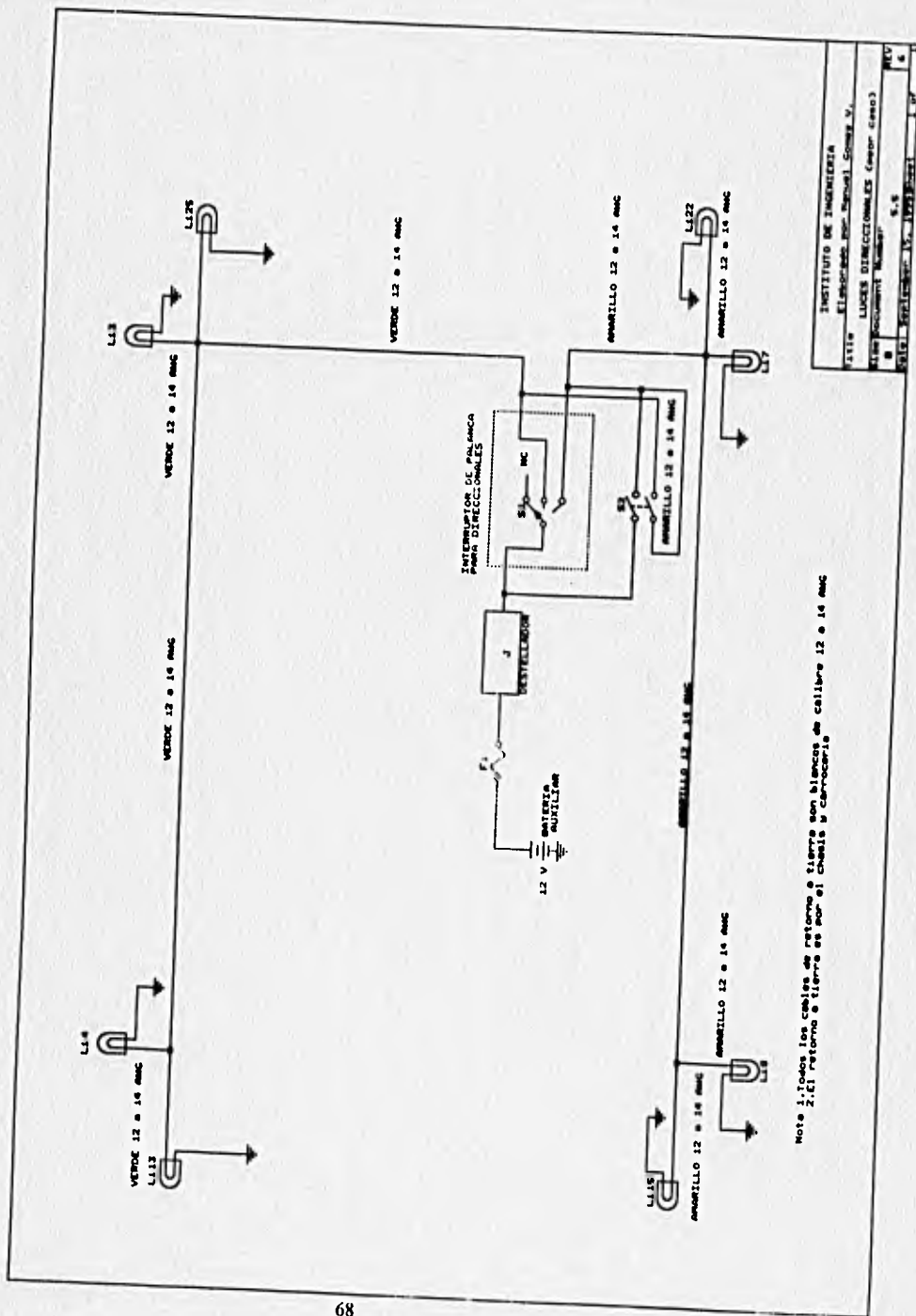
Nota 1. Todos los cables son de color café con blanco, excepto los de retorno a tierra que son azul de color blanco. En ambos casos el cableado de 12 a 16 AWG.
 2. El retorno a tierra es por el chasis y carcass.

INSTITUTO DE INGENIERIA	
ESTABLECIMIENTO TECNICO COMERCIAL S.A.	
ILUMINACION INTERNA	
Proyecto N°	8-1
Fecha	15/05/53
Escala	1:1



INSTITUTO DE INGENIERIA
 ELABORADO POR: MIGUEL GOMEZ V.
 TITULO: CABLES DE POSICIONAMIENTO (CONRADOS)
 N° DE PROYECTO: 17-1993-0011

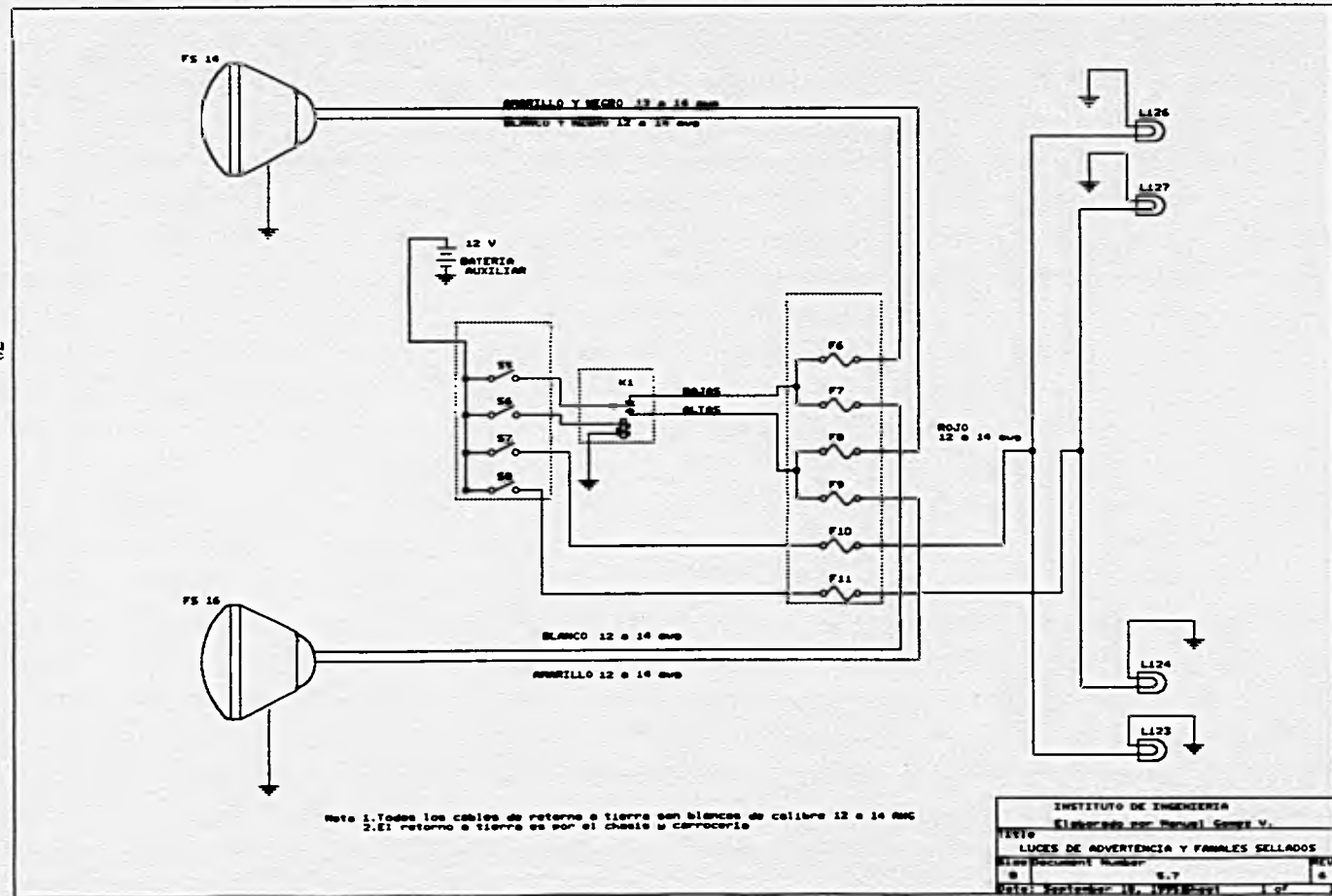


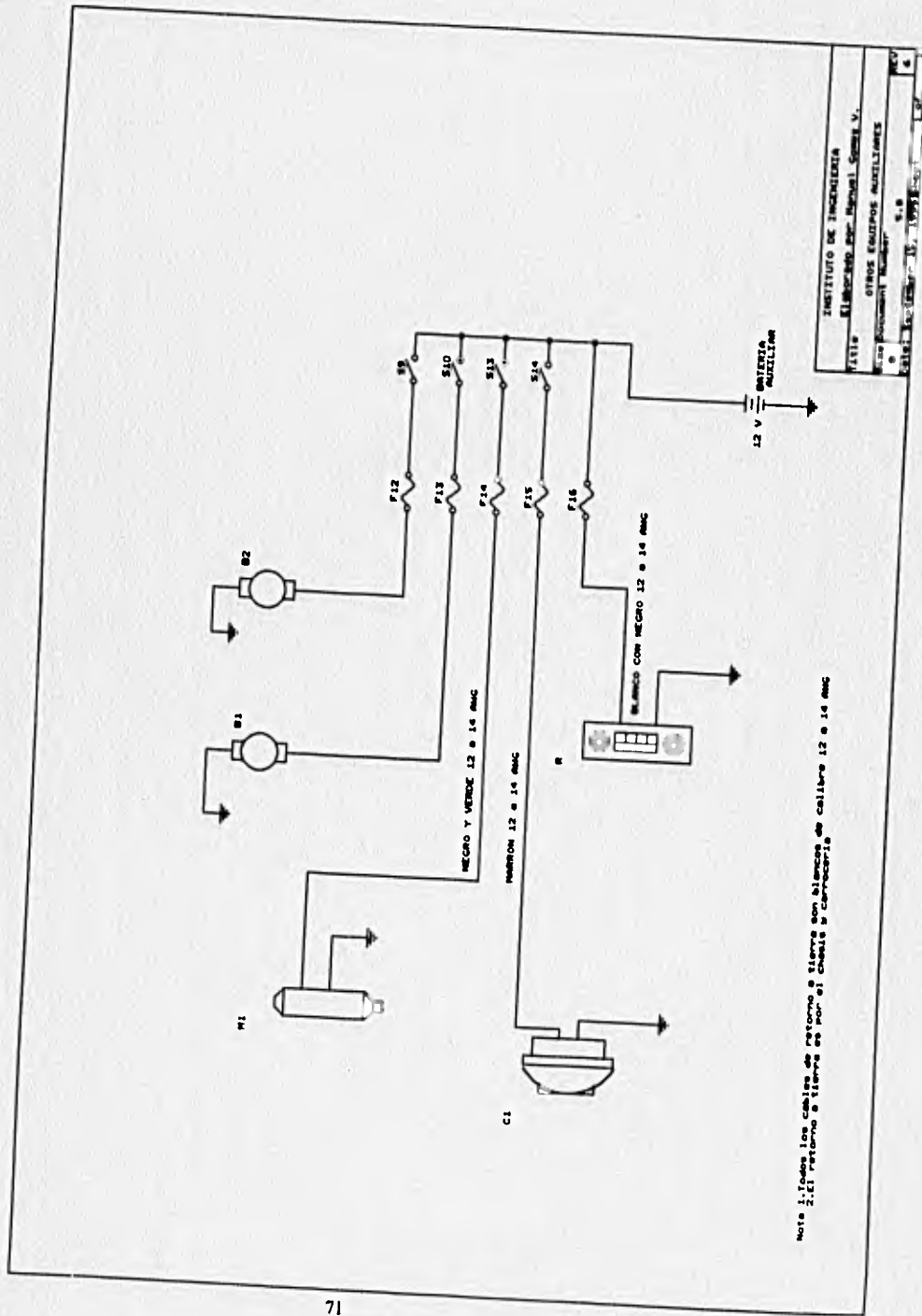


Note: Todos los cables de retorno a tierra son blancos de calibre 12 o 14 AWG.
 2. El retorno a tierra es por el chasis y carrocería.

INSTITUTO DE INGENIERIA
 ELABORADO POR: Manuel Gomez V.
 TITULO: LUCES DIRECCIONALES (aviso de error)
 ESCUELA: Mecatronica
 N.º: 15
 FECHA: 15/11/2011

70





5.9 LISTAS DE COMPONENTES

LISTA DE INTERRUPTORES

- S1 Interruptor de palanca para direccionales.
- S2 Interruptor de intermitentes.
- S3 Interruptor de luces de posicionamiento.
- S4 Interruptor de luz del letrero.
- S5 Interruptor de luces bajas.
- S6 Interruptor de luces altas.
- S7 Interruptor de luces de frenado.
- S8 Interruptor de luces de reversa.
- S9 Interruptor de bomba de agua
- S10 Interruptor de bomba de frenado
- S11 Interruptor de limpiaparabrisas
- S12 Interruptor de claxon
- S13 Interruptor de alumbrado para pasajeros
- S14 Interruptor de luces de estribos
- S15 Interruptor de luz del conductor

LISTA DE FUSIBLES

- F1 Fusible de direccionales.
- F2 Fusible de luces de posicionamiento lateral y frontal.
- F3 Fusible de luces de contorno.
- F4 Fusible de luces de identificación.
- F5 Fusible de luz del letrero.
- F6 Fusible de luz baja derecha.
- F7 Fusible de luz baja izquierda.
- F8 Fusible de luz alta derecha.
- F9 Fusible de luz alta izquierda.
- F10 Fusible de luces de frenado.
- F11 Fusible de luces de reversa
- F12 Fusible de bomba de agua
- F13 Fusible de bomba de frenado
- F14 Fusible del limpiaparabrisas
- F15 Fusible del claxon
- F16 Fusible del radio
- F17 Fusible del alumbrado para pasajeros
- F18 Fusible de luces de estribos
- F19 Fusible de luz del conductor
- FA Fusible de luces de posicionamiento con fibra óptica delanteras.
- FB Fusible de luces de posicionamiento con fibra óptica traseras.

LISTA DE LÁMPARAS

LFi1-LFi6 Lámparas de iluminación general (lámparas fluorescentes de 4 W)
LFi7 Lámpara del conductor (lámpara fluorescente de 4 W)
LFi8 y LFi9 Lámparas de los estribos (lámparas fluorescentes de 4 W)

Li1 Lámpara lateral de posición trasera derecha (lámpara incandescente de 10 W)
Li2 Lámpara lateral de posición delantera derecha (lámpara incandescente de 10 W)
Li5 Lámpara lateral de posición trasera izquierda (lámpara incandescente de 10 W)
Li6 Lámpara lateral de posición izquierda (lámpara incandescente de 10 W)
Li9 Lámpara de contorno delantera derecha (lámpara incandescente de 10 W)
Li10 Lámpara de identificación delantera (3) (lámparas incandescentes de 10 W)
Li11 Lámpara de contorno delantera izquierda (lámpara incandescente de 10 W)
Li12 Lámpara de letrero (lámpara de 10 W)
Li18 Lámpara de cuarto delantero derecha (lámpara incandescente de 10 W)
Li17 Lámpara de cuarto delantero izquierda (lámpara incandescente de 10 W)
Li19 Lámpara de contorno trasera izquierda (lámpara incandescente de 10 W)
Li20 Lámparas de identificación traseras (lámpara incandescente de 10 W)
Li21 Lámpara de contorno trasera derecha (lámpara incandescente de 10 W)
Li28 Lámparas de cuartos traseros izquierda (lámpara incandescente de 10 W)
Li29 Lámpara de cuarto trasero derecha (lámpara incandescente de 10 W)
Li30 Lámpara de placa (lámpara incandescente de 8 W)

LF*1 Lámpara de contorno delantera y lateral de posición delantera derecha (lámpara fluorescente de 4 W)
LF*2 Lámpara de identificación y del letrero
LF*3 Lámpara de contorno delantera y lateral de posición delantera izquierda (lámpara fluorescente de 4 W)
LF8 Lámpara de cuarto delanteros derechos (lámpara fluorescente de 4 W)

LF9	Lámpara de cuarto delanteros izquierdo (lámpara fluorescente de 4 W)
LF* 10	Lámpara de contorno trasera y lateral de posición trasera izquierda (lámpara fluorescente de 4 W)
LF* 11	Lámpara de identificación trasera (lámpara fluorescente de 4 W)
LF* 12	Lámpara de contorno trasera y lateral de posición trasera derecha e izquierda (lámpara fluorescente de 4 W)
LF18	Lámpara de cuarto trasera izquierda (lámpara fluorescente de 4 W)
LF20	Lámpara de cuartos trasera derecha (lámpara fluorescente de 4 W)
LF21	Lámpara de placa (lámpara fluorescente de 4 W)
<hr/>	
LFD	Luz delantera con fibra óptica (lámpara de 40 W)
LFT	Luz trasera con fibra óptica (lámpara de 30 W)
SF1	Salida de fibra óptica luz lateral de posición trasera derecha
SF2	Salida de fibra óptica luz lateral de posición delantera derecha
SF5	Salida de fibra óptica luz lateral de posición trasera izquierda
SF6	Salida de fibra óptica luz lateral de posición delantera izquierda
SF9	Salida de fibra óptica luz de contorno delantera derecha
SF10	Salida de fibra óptica luces de identificación delanteras
SF11	Salida de fibra óptica luz de contorno delantera izquierda
SF12	Salida de fibra óptica luz del letrero
SF17	Salida de fibra óptica cuarto delantero izquierdo
SF18	Salida de fibra óptica cuarto delantero derecho
SF19	Salida de fibra óptica luz de contorno trasera izquierda
SF20	Salida de fibra óptica luces de identificación traseras
SF21	Salida de fibra óptica luz de contorno trasera derecha
SF28	Salida de fibra óptica cuarto trasero izquierdo
SF29	Salida de fibra óptica cuarto trasero derecho
SF30	Salida de fibra óptica luz de placa
<hr/>	
Li13	Lámpara direccional delantera derecha (lámpara incandescente de 18 W)
Li15	Lámpara direccional delantera izquierda (lámpara incandescente de 18 W)
Li22	Lámpara direccional trasera derecha (lámpara incandescente de 18 W)
Li25	Lámpara direccional trasera izquierda (lámpara incandescente de 18 W)
Li3	Lámpara direccional lateral trasera derecha (lámpara incandescente de 18 W)

- Li4 Lámpara direccional lateral delantera derecha (lámpara incandescente de 18 W)
- Li7 Lámpara direccional lateral trasera izquierda (lámpara incandescente de 18 W)
- Li8 Lámpara direccional lateral delantera izquierda (lámpara incandescente de 18 W)
- Li26 Lámpara de frenado trasera derecha (lámpara incandescente de 18 W)
- Li23 Lámpara de frenado trasera izquierda (lámpara incandescente de 18 W)
- Li27 Lámpara de reversa trasera derecha (lámpara incandescente de 18 W)
- Li24 Lámpara de reversa trasera izquierda (lámpara incandescente de 18 W)
- Li*6 Lámpara de direccional delantera y direccional lateral delantera izquierda (lámpara incandescente de 18 W)
- Li*7 Lámpara de direccional delantera y direccional lateral delantera izquierda (lámpara incandescente de 18 W)
- Li*13 Lámpara de direccional trasera y direccional lateral trasera izquierda (lámpara incandescente de 18 W)
- Li*14 Lámpara de direccional trasera y direccional lateral trasera derecha (lámpara incandescente de 18 W)

LISTA DE BALÁSTRAS ELECTRÓNICAS

BE1-BE21 Balástra electrónica AICEMEX ó LUN modelo CD 2040

LISTA DE COMPONENTES VARIOS

- K1 Relevador de luces.
- J Destellador
- B1 Bomba de frenado
- B2 Bomba de agua
- R Radio
- M1 Motor del limpiaparabrisas
- C1 Claxon

Básicamente, se demostró que es posible conseguir ahorros de energía importantes en los sistemas de iluminación, con respecto al consumo de energía de estos equipos en los minibuses de combustión interna, mediante un diseño de iluminación cuidadoso y una selección de lámparas más eficientes y la aplicación de técnicas novedosas como uso de lámparas fluorescentes en las luces exteriores ó de concentración de fuentes de luz y su distribución mediante fibra óptica.

Como referencia para evaluar las propuestas de ahorro de energía presentadas en este trabajo se obtuvo el consumo de energía por iluminación de un peor caso, que consiste en suponer el uso de todas las luces externas propuestas por SAE y DDF y que la iluminación interna se realiza con lámparas incandescentes y con un alto nivel de iluminación. Se observó que el consumo del peor caso es significativamente alto, el peso de la batería auxiliar equivalente que sería necesario para proveer dicho consumo (de 90 kg al menos) es bastante más grande que el peso promedio de un pasajero (70 kg). Una de las razones, de que esto ocurra es que los vehículos de combustión interna no cuentan con un diseño de alumbrado eficiente, al no tener problemas graves con su fuente de energía ya que la gasolina tiene una muy alta energía específica.

Una de las primeras tareas para economizar energía fue realizar un diseño de alumbrado general para el interior del minibús, ajustado al mínimo permitido y usando lámparas fluorescentes, más eficientes que las incandescentes, lo cual da como resultado un considerable ahorro de energía. Con el diseño realizado se requieren sólo 6 lámparas de 4 W contra 6 de 20 W del caso de vehículo de combustión interna, lo que da un consumo de

242 Wh, que en relación con los 644.5 Wh del peor caso implica un ahorro del 62.4 % para la iluminación interna.

En cuanto al alumbrado exterior, que es la parte de mayor consumo, con 2.09 kWh en el peor caso, se aplicó, como una primera propuesta, la idea de agrupar elementos o luces en una sola lámpara, esta unión de elementos se realiza en luces que tienen una misma finalidad, como por ejemplo las direccionales y las luces de posición, respetando las normas de la SAE; con esto se logró reducir el consumo total de energía a 1.65 kWh, lo que equivale en conjunto con la reducción debida al uso de lámparas fluorescentes a un ahorro en todo el consumo por iluminación de 40% y a una reducción del 32 % sólo en este rubro.

Una segunda propuesta para la iluminación exterior consiste en el uso de lámparas fluorescentes, excepto en las luces intermitentes y los fanales sellados. Con esta idea se redujo el consumo total de energía a 1.5 kWh lo que equivale a un 45 % de ahorro del consumo total y específicamente en este rubro a un ahorro de 43 % con respecto al peor caso en ambos casos.

La tercer propuesta, también para la iluminación externa no intermitente, está basada en la idea de tener sólo dos lámparas fluorescentes con una distribución de luz con base en fibra óptica. Con esta propuesta se tiene un consumo total de 1.46 kWh, que con relación al consumo del peor caso, proporciona un ahorro en el consumo total del 46.5% y un ahorro en este rubro específico de 36 %. Como se observa esta propuesta supera en ahorro a la anterior sólo ligeramente

La ultima propuesta en torno a la iluminación externa, propone el uso de lámparas fluorescentes en toda la iluminación. Con lo anterior se consigue un consumo de energía de 1.13 kWh, que equivale a una reducción del 59% en el consumo total y un 44% en el consumo de luces exteriores. Nótese que a pesar de que son pocas las unidades de luces intermitentes, comparadas con las fijas, el ahorro es importante debido a que las lámparas incandescentes que se sustituyen son de mayor capacidad (18 W). Por la misma razón en este caso las lámparas fluorescente seleccionadas no están tan sobradas en capacidad como en el caso de las luces fijas.

Las propuestas mencionadas presentan ahorros de energía significativos para el minibus eléctrico UNAM, pues se reflejan en una reducción considerable del banco de baterías auxiliar equivalente, que llega a reducirse de 91 a 46 kg para la batería Powersonic, de 128 a

64 kg para la batería Cronos-Celtik y de 90 a 60 a kg para la GNB y, en general, con capacidad de sobra en la baterías.

Las balastras electrónicas comerciales de fabricación nacional que se propone utilizar son un excelente producto nacional para las necesidades normales de los autobuses de combustión interna, sin embargo deberán adaptarse para su aplicación en vehículos eléctricos, ya que están diseñadas para manejar lámparas de al menos 25 W, y se desea utilizarlas para manejar unidades de muy baja potencia (4 W) que son las que se requieren para disminuir el consumo de energía. Se midió la eficiencia de estas balastras electrónicas, para manejar lámparas de dicha capacidad, la que resultó relativamente baja, de 70 %, además estas balastras son relativamente grandes y pesadas para la poca potencia que se desea que manejen. Es posible, por supuesto, conectar varias lámparas a una sola balastro para aprovechar al máximo su capacidad, sin embargo hay que considerar que pueden presentarse problemas con el funcionamiento de dicho arreglo dadas las distancias tan grandes que existen entre las lámparas. Para la instalación del sistema de iluminación se consultará al fabricante de la balastro que finalmente se seleccione para el minibús, a fin de que recomiende la mejor conexión posible de su equipo. Por otro lado, se realizaron pruebas de funcionamiento de lámparas fluorescentes en operación intermitente, con dichas balastras electrónicas, una lámpara fluorescente de 4 W y un destellador comercial de automóvil. Se encontró que la lámpara fluorescente con balastro electrónica de alta frecuencia funciona tan bien como una lámpara incandescente en operación intermitente, ya que con dichas balastras la lámpara tiene un encendido prácticamente instantáneo. El único defecto en dicha aplicación es que la vida de la lámpara disminuye drásticamente. Es necesario hacer pruebas más completas, para encontrar el tipo de lámpara fluorescente más adecuado para esta aplicación, como por ejemplo, de cátodo frío (estas lámparas por su diseño tienen menos deterioro por calor) o lámparas de neón, las que se llegan a utilizar actualmente como adorno alrededor de la placa trasera y que tradicionalmente se usan para anuncios intermitentes, además es importante el uso de balastras avanzadas como las mencionadas en el apéndice "C". Desafortunadamente no fue posible construir estos circuitos para el minibús UNAM por cuestiones de tiempo.

La recomendación más importante que puede hacerse es quizá la relacionada con la mejora de la balastro electrónica, pues mucho del funcionamiento de la lámpara depende de ella. Se considera, que éstas pueden mejorarse, esto es que sean más eficientes (lo que tal vez podría lograrse aumentando su frecuencia de operación a unos 40 kHz), que mejoren su circuito de encendido para alargar su vida útil en operación intermitente y que el diseño de la balastro se adapte para manejar lámparas de muy baja potencia (lo que facilitaría su aplicación en la

ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

iluminación externa). Por ello, se plantea como un tema interesante para un trabajo futuro de tesis de licenciatura, el diseño y construcción de manejadores de lámparas de alta frecuencia y baja potencia para aplicación en autos eléctricos. En el apéndice C se muestran diseños recomendables de balastros [ref. 7], como por ejemplo los circuitos de tipo *push pull* que pueden fácilmente operar las lámparas hasta 100 kHz [ref 7] y reguladores de intensidad de luz (que pueden usarse para ajustar la demanda de luz de las lámparas al mínimo requerido). Los esfuerzos que se hagan para mejorar estas balastros deberán realizarse en conjunto con otras instituciones que tienen una mayor experiencia en el desarrollo de la electrónica de potencia como es el caso del Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET) y vincularse con los fabricantes de las balastros electrónicas aquí mencionadas.

Afortunadamente, la tecnología de fabricación de las lámparas fluorescentes muestra recientemente un gran avance, después de haber sido una de las tecnologías relativamente abandonadas, ahora se plantean ideas tales como lámparas con el gas a mayor presión, con el control de la resistencia negativa en los electrodos de la lámpara [ref. 16], así como la construcción de lámparas de menor potencia. Esto para el caso del minibus UNAM sería de gran utilidad, pues casi toda la iluminación externa con lámpara fluorescente está sobrada en capacidad lumínica, según las normas de SAE, aún considerando las lámparas fluorescentes mas pequeñas que hay en el mercado.

En cuanto al uso de la fibra óptica en la iluminación del vehículo cabe comentar que no es una idea nueva, ya en la ref.[18] se escribe: *"El sistema de iluminación de un automóvil moderno es bastante complicado. Para disminuir la cantidad de lámparas, portalámparas, longitud de cables, se emplea la óptica de fibras en los modelos experimentales ultramodernos en forma de conexiones en paralelo de haces flexibles. Una sola lámpara de todo de 100 W de potencia, de la cual parten a distintos lugares los conductores de luz flexible distribuyendo así la luz por diferentes puntos, sustituye un sinnúmero de lámparas en el automóvil. Sólo quedan los faros principales, para los cuales es necesario un fuerte flujo de luz"*. Sin embargo, con el creciente interés por los autos eléctricos esta idea vuelve a cobra mayor importancia. Ahora bien, según el análisis presentado aquí se encontró que el desempeño (en cuanto a eficiencia) por el uso de fibra óptica, comparada con el del uso de lámparas fluorescentes es sólo marginalmente superior, esto se debió a la baja eficiencia de transmisión de luz por fibra óptica considerada y en menor medida a que no se consideró el incremento en eficiencia que se consigue al usar lámparas de mayor potencia.




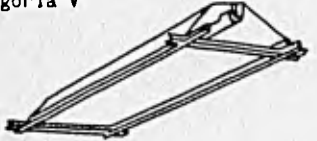
Resulta también que la idea de usar lámparas fluorescentes en la iluminación exterior está siendo ya aplicada. Al término del trabajo escrito de esta tesis se descubrió en la Revista Siemens [ref. 19] de junio de 95, en el artículo "Uniando fuerzas en el mercado estadounidense de la luminotecnia" (pags. 8 y 9), que la compañía OSRAM SYLVANA tiene la intención de construir luces traseras de neón para automóviles, así como reducir las fuentes de luz y distribuir la misma por fibra óptica así como utilizar lámparas más eficientes para los faros delanteros (lámparas de descarga con alta intensidad ó HID por sus siglas en inglés).

En cuanto a la viabilidad de la aplicación de LEDs en la iluminación exterior, ésta depende de que mejore sustancialmente su tecnología y se vuelvan más eficientes o de que se permita una intensidad luminosa menor para las luces exteriores.

Cabe mencionar que en este trabajo no se han considerado los aspectos de costo de los diferentes sistemas de iluminación. Sin embargo se considera que dado el relativamente bajo costo de las balastras electrónicas, su costo inicial puede fácilmente amortizarse con los ahorros de energía. Lo anterior no es evidente para el caso de uso de fibra óptica pues ésta es muy costosa, además de que es difícil de obtener una guía de luz de gran intensidad, en general en el mercado es posible obtener fibra óptica pero para aplicación de transmisión de información y la que se encuentra para iluminación está hecha para baja intensidad (apenas para iluminar el campo de observación de un microscopio, por ejemplo) y son de muy corta longitud (apenas de una decenas de centímetros).

Finalmente, se considera que la mejor opción en este momento para la iluminación del minibús UNAM es la de luces fluorescentes en la iluminación interna en conjunto con la segunda propuesta para la iluminación exterior presentada en esta trabajo (luces agrupadas con uso de lámparas fluorescentes). Sin embargo, debido al ahorro tan importante que podría lograrse con el uso de lámparas fluorescentes en las luces intermitentes se recomienda hacer un esfuerzo para encontrar en el corto plazo un diseño de balastro y una lámpara fluorescente idóneas para esta aplicación.

COEFICIENTES DE UTILIZACIÓN
(Tomado del Manual de Alumbrado Westinghouse 1985)

Separación no superior a: "h" por altura de montaje.		Reflectancias									
		Techo	80%			70%			50%		
		Pared	50%	30%	10%	50%	30%	10%	50%	30%	10%
Categoría V  2 lámparas T-12 430 mA. Envoltura prismática 30 cm ancha.	h = 1.2	RCL*									
	1	0.68	0.65	0.63	0.65	0.63	0.61	0.61	0.60	0.58	
	2	0.60	0.56	0.53	0.58	0.55	0.52	0.55	0.52	0.49	
	3	0.54	0.49	0.45	0.52	0.48	0.45	0.50	0.46	0.43	
	4	0.49	0.43	0.40	0.47	0.43	0.39	0.45	0.41	0.38	
	5	0.44	0.38	0.34	0.43	0.38	0.34	0.40	0.36	0.33	
	6	0.40	0.34	0.30	0.39	0.34	0.30	0.37	0.32	0.29	
	7	0.36	0.31	0.27	0.35	0.30	0.26	0.33	0.29	0.26	
	8	0.32	0.27	0.24	0.32	0.27	0.23	0.30	0.26	0.23	
	9	0.29	0.24	0.21	0.29	0.24	0.20	0.27	0.23	0.20	
10	0.27	0.22	0.18	0.26	0.21	0.18	0.25	0.21	0.18		
Categoría V  4 lámparas T-12 430 mA. Envoltura prismática 60 cm ancha.	h = 1.2	RCL*									
	1	0.66	0.64	0.61	0.64	0.62	0.60	0.61	0.59	0.57	
	2	0.59	0.55	0.52	0.57	0.54	0.51	0.55	0.52	0.49	
	3	0.53	0.48	0.45	0.52	0.48	0.44	0.49	0.46	0.43	
	4	0.48	0.43	0.39	0.47	0.42	0.39	0.45	0.41	0.38	
	5	0.43	0.38	0.34	0.42	0.37	0.34	0.40	0.36	0.33	
	6	0.39	0.34	0.30	0.38	0.34	0.30	0.36	0.32	0.29	
	7	0.35	0.30	0.26	0.34	0.30	0.26	0.33	0.29	0.26	
	8	0.32	0.27	0.23	0.31	0.26	0.23	0.30	0.26	0.23	
	9	0.28	0.24	0.20	0.28	0.23	0.20	0.27	0.23	0.20	
10	0.26	0.21	0.18	0.25	0.21	0.18	0.25	0.20	0.17		
Categoría I  2 lámparas desnudas cualquier carga	h = 1.6	RCL*									
	1	0.83	0.79	0.75	0.79	0.76	0.72	0.73	0.70	0.67	
	2	0.71	0.65	0.60	0.68	0.62	0.57	0.62	0.58	0.54	
	3	0.62	0.55	0.49	0.59	0.53	0.47	0.55	0.49	0.44	
	4	0.55	0.47	0.41	0.52	0.45	0.39	0.48	0.42	0.37	
	5	0.48	0.40	0.34	0.46	0.38	0.33	0.42	0.36	0.31	
	6	0.43	0.35	0.29	0.41	0.33	0.28	0.38	0.31	0.26	
	7	0.38	0.30	0.25	0.36	0.29	0.24	0.34	0.27	0.23	
	8	0.34	0.26	0.21	0.33	0.25	0.21	0.30	0.24	0.19	
	9	0.30	0.23	0.18	0.30	0.23	0.18	0.27	0.21	0.17	
10	0.28	0.21	0.16	0.27	0.20	0.15	0.25	0.19	0.15		
Categoría V  1 lámpara cualquier carga. Lente prismática 60 cm ancha y 30 cm alta.	h = 1.2	RCL*									
	1	0.64	0.62	0.60	0.63	0.61	0.59	0.60	0.59	0.57	
	2	0.58	0.55	0.52	0.57	0.54	0.51	0.55	0.52	0.50	
	3	0.52	0.48	0.45	0.51	0.47	0.44	0.49	0.46	0.44	
	4	0.47	0.42	0.39	0.46	0.42	0.39	0.45	0.41	0.38	
	5	0.42	0.37	0.30	0.42	0.37	0.34	0.40	0.36	0.34	
	6	0.38	0.33	0.30	0.38	0.33	0.30	0.37	0.32	0.30	
	7	0.35	0.30	0.26	0.34	0.30	0.26	0.33	0.29	0.26	
	8	0.31	0.26	0.23	0.31	0.26	0.23	0.30	0.26	0.23	
	9	0.28	0.23	0.20	0.28	0.23	0.20	0.27	0.23	0.20	
10	0.26	0.21	0.18	0.25	0.21	0.18	0.25	0.21	0.18		

APÉNDICE B

**HOJAS DE DATOS DE LAS BALASTRAS
COMERCIALES**

Balastro Electrónica AICEMEX	81
Balastro Electrónica LUN modelo CD 2040	82-83

BALASTRO ELECTRONICO AICEMEX

PARA LAMPARA FLUORECENTE
ALIMENTACION 12V C. D.

CATALOGO
ER-2040W



PRECAUCION:

INSTALECE EN LUGAR VENTILADO Y SECO
NO MANIPULE BALASTRO ENERGIAS

NOM 89/11/18607

PATENTE EN TRAMITE

BALASTRO ELECTRONICO AICEMEX

PARA LAMPARA FLUORECENTE
ALIMENTACION 12V C. D.

CATALOGO
ER-2040W



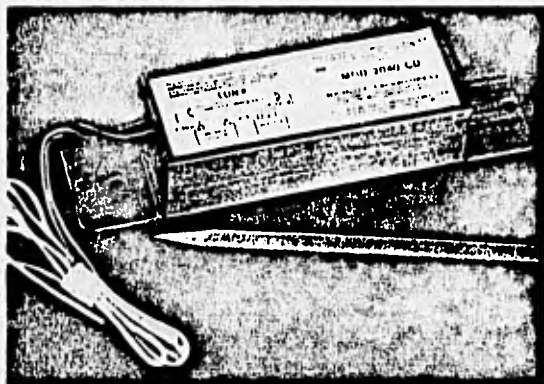
PRECAUCION:

INSTALECE EN LUGAR VENTILADO Y SECO
NO MANIPULE BALASTRO ENERGIZADO

NOM 89/11/18607

PATENTE EN TRAMITE

MODELO CD 20 40



BALASTRA ELECTRONICA DE ALTA EFICIENCIA PARA ILUMINACION FLUORESCENTE, (ESTADO SOLIDO) PARA ENCENDER UN TUBO FLUORESCENTE HASTA 40 WATTS, VOLTAJE NOMINAL 12 VOLTS CORRIENTE DIRECTA

DESCRIPCION

Al cabo de 20 años de servir a la industria del transporte con una experiencia de más de 20,000 autobuses utilizando nuestras balastras en el país. Hemos desarrollada la balastro modelo 2040 transistorizada en estado sólido de alta confiabilidad, duración y baja consumo para la operación de un tubo fluorescente del tipo comercial hasta de 40 Watts, a un voltaje nominal de 12 volts de corriente directa, presentada en caja de aluminio y aislada con resina para soportar humedad y alta impacta.

APLICACION

Este modelo de balastro está diseñado para iluminación fluorescente en sistemas de transporte colectiva como autobuses, trenes, barcos, etc., y por su bajo consumo también puede ser utilizada en sistemas de iluminación fluorescente de emergencia por baterías en: hospitales, casas, oficinas, tiendas, etc., y en lugares donde no exista alimentación de energía eléctrica.

LEN[®]
REACTORES ELECTRONICOS
MEXICANOS, S. A.

VENTAJAS

Por su bajo consumo de corriente esta balastro prolonga la vida del tubo fluorescente, alargando también la vida de alternadores, baterías y reguladores de voltaje.

Por ejemplo:

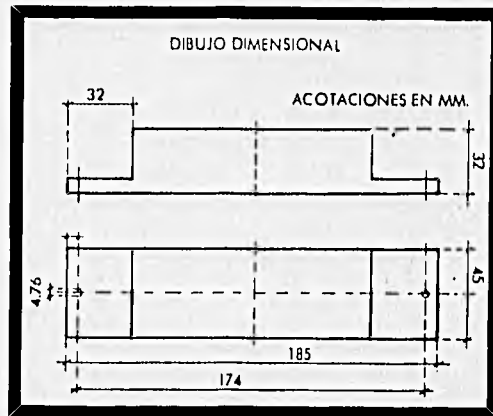
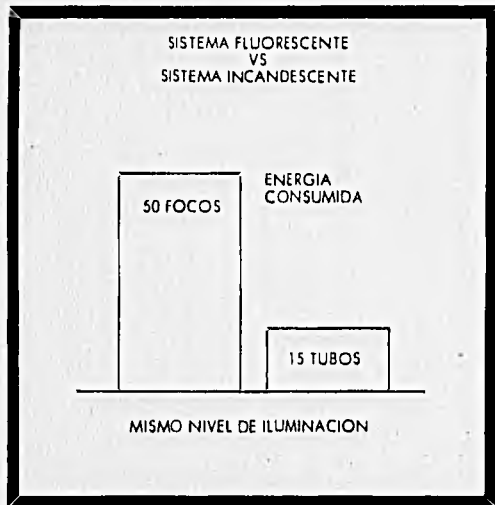
Para iluminar un autobús convencional de pasajeros de 11 metros de largo son necesarios 50 focos incandescentes de 1.5 amperes de consumo cada uno dando un total de 75 amperes.

Para conseguir este mismo nivel de iluminación son necesarios 15 tubos fluorescentes de 40 Watts alimentados con 15 de nuestras balastras, con un consumo de 1.7 amperes por tubo, lo cual representa un consumo total de 26 amperes.

Ofreciendo un ahorro de energía de 65%, a la vez que para lograr ese mismo nivel de iluminación el tubo fluorescente no queda operando a toda su intensidad lo que alarga su vida en forma muy considerable, requiriendo de bajo mantenimiento.

Este modelo de balastro está especialmente diseñado para que en todo caso de colisión del vehículo o por propia vibración las terminales de la balastro que alimentan al tubo fluorescente llegaran a tocar algún panel metálico estas se bloquean evitando descargas eléctricas a los pasajeros que llegaran a tocarla, ya que a pesar de que el motor del vehículo permaneciera parada la energía de la batería no se interrumpe.

Con este sistema el vehículo puede permanecer con el motor parado y su iluminación interior encendida por varias horas sin que las baterías se afecten, ofreciendo muchas ventajas en las terminales en donde existe movimiento de pasajeros sin contaminación ni ruidos.



ESTE SISTEMA LE OFRECE

- Gran ahorro de energía eléctrica.
- Poco mantenimiento.
- Elimina el efecto estroboscópica.
- Mejor distribución del flujo luminosa.
- Sistema silencioso.
- Fácil instalación.
- Tubo fluorescente comercial.
- Luz fría.

ESPECIFICACIONES

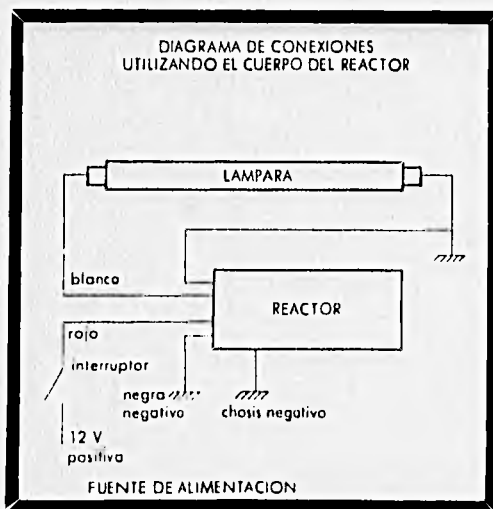
- 25%
+ 30%
- Voltaje de alimentación 12 VCD
- Corriente de alimentación 2 AMP. C.D. Max.
- Frecuencia de operación 20 Kilo-hertz apróx.
- Temperatura de operación -40°C a + 60°C ambiente.
- Fijación: Sobre superficie plana y metálica de preferencia.
- Peso: 330 gms.
- Tamaño: 185 mm. x 45 mm. x 32 mm.

RECOMENDACIONES

La balastro debe estar situada lo más cerca posible del tubo fluorescente.

IMPORTANTE: La terminal roja se debe conectar a positivo y la terminal negra se debe conectar a negativo.

Na se inviertan estas conexiones, se pueden dañar los transistores de la balastro.



REACTORES ELECTRONICOS MEXICANOS, S.A.

Santo Domingo No. 42, Azc. Ahuizotl No. 44, Azc.
México D.F. C.P. 02460
Tel. 561-8823 / Fax. 352-0740
HECHO EN MEXICO
SICDGE 8188 NOM 1 ATC 40110-A FORMA 20980
86 Patente E.U. 4276496, 4434457 CANADA 1111901, 1176705
MEXICO 143143 151478 y otras en trámite

HOJAS DE DATOS DE BATERÍAS

Powersonic modelo PS-12800	88-89
Cronos-Celtik modelo 27C	90
GND modelo 12-EVB-1180	91

Model	Nominal Voltage V	Nominal Capacity @ 20 hr. rate A.H.	Discharge Current @ 20 hr. rate mA	DIMENSIONS							
				Length		Width		Height		Height Over Terminals	
				in.	mm	in.	mm	in.	mm	in.	mm
PS-445	4	4.5	225	1.93	49	2.09	53	3.70	94	3.86	98
PS-490	4	9.0	450	4.02	102	1.73	44	3.70	94	3.86	98
PS-605	6	0.5	25	2.24	57	0.55	14	1.97	50	1.97	50
PS-610	6	1.0	50	2.00	51	1.65	42	2.00	51	2.20	56
PS-612	6	1.2	60	3.82	97	0.94	24	2.00	51	2.13	54
PS-618	6	2.0	100	2.95	75	2.00	51	2.09	53	2.28	58
PS-626	6	3.0	150	5.28	134	1.34	34	2.35	60	2.56	65
PS-630	6	3.0	150	2.60	66	1.30	33	4.64	123	5.00	127
PS-640	6	4.0	200	2.76	70	1.89	48	4.02	102	4.02	102
PS-660	6	6.5	325	5.95	151	1.34	34	3.70	94	3.86	98
PS-665	6	6.5	325	3.86	98	2.20	56	4.05	103	4.05	103
PS-682	6	8.0	400	3.86	98	2.20	56	4.65	118	4.65	118
PS-6100	6	10.0	500	5.95	151	2.00	51	3.70	94	3.86	98
PS-6105	6	10.0	500	4.25	108	2.75	70	5.51	140	5.51	140
PS-6120	6	12.0	600	4.25	108	2.75	70	5.51	140	5.51	140
PS-6200	6	20.0	1000	6.18	157	3.27	83	4.92	125	4.92	125
PS-1207	12	0.7	35	3.78	96	0.98	25	2.42	62	2.42	62
PS-1212	12	1.2	60	3.82	97	1.65	42	2.00	51	2.13	54
PS-1219	12	1.9	95	7.01	178	1.34	34	2.36	60	2.56	65
PS-1228	12	3.0	150	7.63	195	1.85	47	2.76	70	2.95	75
PS-1230	12	3.0	150	5.23	134	2.64	67	2.36	60	2.60	66
PS-1240	12	4.0	200	5.94	151	2.56	65	3.70	94	3.86	98
PS-1242	12	4.0	200	3.54	90	2.76	70	3.98	101	4.13	105
PS-1245	12	5.0	250	5.94	151	2.56	65	3.70	94	3.86	98
PS-1265	12	6.5	325	5.95	151	2.56	65	3.70	94	3.86	98
PS-1289	12	8.0	400	4.40	112	3.86	98	4.65	118	4.65	118
PS-1282L	12	8.0	400	7.72	196	2.20	56	4.65	118	4.65	118
PS-12100	12	10.0	500	5.95	151	4.00	102	3.70	94	3.86	98
PS-12120	12	12.0	600	4.25	108	5.50	140	5.51	140	5.51	140
PS-12150	12	15.0	750	7.13	181	2.99	76	6.57	167	6.57	167
PS-12200	12	20.0	1000	6.89	175	6.54	166	4.92	125	4.92	125
PS-12240	12	24.0	1200	6.52	166	4.92	125	6.89	175	6.89	175
PS-12260	12	26.0	1300	6.89	175	6.54	166	4.92	125	4.92	125
PS-12300	12	30.0	1500	7.75	197	5.19	132	6.12	156	6.12	156
PS-12400	12	40.0	2000	7.64	194	6.65	174	6.85	174	6.85	174
PS-12600	12	60.0	3000	10.25	260	8.60	218	8.20	208	8.20	208
PS-12800	12	80.0	4000	12.00	305	6.60	168	8.20	208	8.20	208

SPECIFICATIONS

S.S. 7-70

TOLERANCES Length and Width: ±0.04 in. (1mm) - Height: ±0.04 in. (2mm)

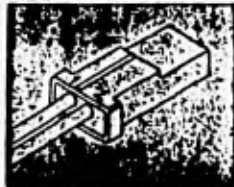
TERMINAL CONFIGURATIONS

FIGURE A



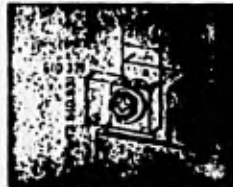
FASTON tab 167 x 032 male with AMP INC "167" series receptacles or equivalent

FIGURE B



AMP INC Male-N-Lock connector housing P/N 1-480318-0 and female P/N 60619-1. Males with P/N 1-480319 and male pin P/N 61116-1

FIGURE C



Threaded terminal post with nut and bolt terminal both in 5mm and 6mm diameter

FIGURE D



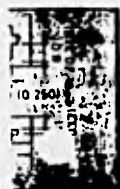
"250" FASTON with AMP IN receptacles or eq

Energy density wh/in ³	Specific Energy wh/lb	Approx. Internal Resistance milliohms	Maximum Discharge Current		Maximum Charge Current amps	Final Charge Current mA*	Terminal Type Fig.	Weight	
			Std. Terminals amps	Short Duration amps				lbs.	kg.
1.21	11.7	40	40	135	0.90	45	D	1.5	0.7
1.40	14.9	20	80	270	2.25	90	D	2.4	1.1
1.24	15.0	360	5	10	0.10	5	Solder Tabs	20	09
0.91	9.7	180	10	30	0.25	10	A	0.6	0.3
0.93	11.3	150	12	36	0.30	12	A	0.6	0.3
0.97	10.9	90	20	60	0.50	20	A	1.1	0.5
1.08	12.0	65	30	90	0.75	30	A	1.5	0.7
1.10	11.7	55	30	90	0.75	30	A	1.5	0.7
1.14	13.3	45	16	120	1.00	40	A or B	1.8	0.8
1.19	13.8	30	40	180	1.50	60	A	3.0	1.4
1.14	13.0	32	40	195	1.65	65	E	3.0	1.4
1.21	14.5	27	40	240	2.00	80	A or F	3.3	1.5
1.35	13.0	15	40	300	2.50	100	A or D	4.6	2.1
0.93	14.3	14	40	300	2.50	100	E	4.3	2.0
1.12	16.4	14	40	300	3.00	120	E	4.6	2.1
1.21	14.7	12	100	400	5.00	200	C	8.2	3.7
0.94	10.9	480	7	14	0.17	7	B	0.8	0.35
0.93	11.3	300	12	36	0.30	12	A	1.3	0.6
1.03	11.0	200	19	57	0.48	19	A	1.9	0.8
0.91	11.8	130	30	90	0.75	30	A	3.1	1.4
1.10	13.8	60	30	40	0.75	30	A	2.6	1.2
0.84	10.7	75	40	150	1.00	40	A	4.6	2.0
1.11	12.8	35	40	100	1.20	40	A	3.8	1.7
1.11	11.7	75	40	150	1.25	50	A	5.0	2.3
1.38	13.6	60	40	195	1.65	65	A	5.7	2.6
1.22	14.3	45	40	240	2.00	80	A	6.7	3.0
1.22	14.3	45	40	240	2.00	80	A	8.7	3.9
1.35	13.0	30	40	200	2.50	100	A or D	10.0	4.5
1.11	16.4	28	40	300	3.00	120	E	8.8	4.0
1.29	14.1	24	80	300	3.75	150	C or D	12.0	5.4
1.08	13.6	24	80	400	5.00	200	D	17.6	8.0
1.30	14.5	24	120	400	6.00	240	C	19.4	8.8
1.40	16.7	10	104	520	6.50	260	C or D	18.7	8.5
1.48	16.6	12	140	500	7.50	300	D	21.6	9.8
1.24	16.8	12	200	500	10.00	400	C	28.7	13.0
1.30	18.1	8	700	700	15.00	600	C	30.0	13.6
1.47	19.2	8	800	800	20.00	800	G	50.0	22.7

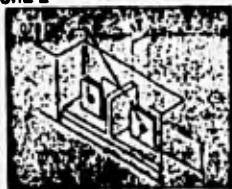
* @ 2.45V/cell charge voltage

15-12-12

FIGURE E

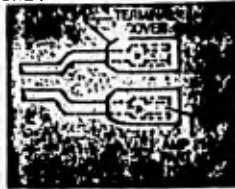


10" x 0.032" male
0" series recep-
tacle



Polarized positive 250" x 0.032"
negative 187" x 0.032"

FIGURE F



CU insulated stranded wire leads
terminated with "250" female
FASTON connector

FIGURE G



Heavy duty Bag terminals



LISTA DE PRECIOS MARCAS CRONOS - CELTIK
ENTREGANDO ACUMULADOR USADO A CAMBIO

CELTIK

GRUPO BCI (1)	TIPO CRONOS CELTIK	DIMENSION (CM)			ELECTROLITO (LT)	PLACAS/ CELDA	PESO EN KG		MATERIAL DE CAVA Y TAPA (3)	CONDUCTIVIDAD (4)	RESISTENCIA (5)	CAPACIDAD (6)	ANCHO DE ALACAN (7)	ALTO (8)	FOTOCOPIA (9)	UNIDADES PALLET (5)	PRECIO SIN IVA	PRECIO N°	PRECIO + 10% IVA
		LARGO	ANCHO	ALTO (2)			SECO	HUMEDO											
6 VOLTIOS																			
1(15)	15	22.8	17.2	22.3	2.6	15	12.6	15.9	HD	210	510	NA	84			\$ 91.300 00	N\$ 91.30	\$ 100.430 00	
2(17)	17	26.1	17.1	22.3	3.0	17	15.8	19.8	HD	220	595	NA	75			\$ 97.900 00	N\$ 97.90	\$ 107.690 00	
2E(17)	17B	48.8	10.0	22.5	4.8	17	14.8	20.4	HD	230	640	NA	72			\$ 105.200 00	N\$ 105.20	\$ 115.720 00	
4(21)	21	31.0	17.3	22.3	4.5	21	17.7	23.2	HD	255	650	NA	42			\$ 129.700 00	N\$ 129.70	\$ 142.670 00	
8 VOLTIOS																			
5T(23)	23.4	48.6	18.5	26.7	5.4	23	29.2	41.0	HD	360	710	NA	36			\$ 341.900 00	N\$ 341.90	\$ 376.090 00	
12 VOLTIOS																			
22NF(9)	09F	23.2	13.7	21.6	2.1	8	6.4	12.0	P	60	330	40	105			\$ 93.400 00	N\$ 93.40	\$ 102.740 00	
22F(9)	09N	23.5	17.2	21.0	3.2	9	12.5	16.5	P	70	400	NA	84			\$ 93.400 00	N\$ 93.40	\$ 102.740 00	
42(1)	07VWS	24.5	18.0	17.3	2.3	7			P				84			\$ 80.600 00	N\$ 80.60	\$ 88.660 00	
42(9)	09VW	24.5	18.0	17.3	2.3	8	10.1	13.0	P	60	330	NA	84			\$ 93.400 00	N\$ 93.40	\$ 102.740 00	
42(12)	12FVW	24.5	18.0	16.3	1.9	12	11.8	14.2	P	75	500	NA	84			\$ 121.500 00	N\$ 121.50	\$ 133.150 00	
41(15)	15VW	26.1	16.5	17.5	2.5	15	14.1	17.2	P	95	500	NA	60			\$ 157.800 00	N\$ 157.80	\$ 173.580 00	
24(9)	08A	26.0	16.6	22.4	4.5	6	10.7	16.4	P	50	360	NA	75			\$ 90.000 00	N\$ 90.00	\$ 99.000 00	
24(9)	09A	26.0	17.2	22.5	4.8	9	11.2	17.0	P	70	420	NA	75			\$ 104.800 00	N\$ 104.80	\$ 115.280 00	
22E(11)	11D	49.0	11.0	22.5	4.8	11	17.7	23.7	HD	110	400	NA	84			\$ 150.100 00	N\$ 150.10	\$ 165.110 00	
31(13)	13JD	34.5	17.5	20.1	4.7	13	21.6	27.5	PHD	130	570	65	51			\$ 152.000 00	N\$ 152.00	\$ 167.200 00	
27F(11)	11FF	31.5	17.2	22.5	4.6	11	15.8	21.5	P	100	550	50	83			\$ 125.500 00	N\$ 125.50	\$ 138.050 00	
22F(11)	11FF	26.0	17.2	22.5	4.1	11	10.1	18.0	P	80	540	50	75			\$ 125.500 00	N\$ 125.50	\$ 138.050 00	
22NF(11)	11N	31.6	13.8	20.6	4.7	11	13.9	19.8	PHD	84	360	NA	70			\$ 135.300 00	N\$ 135.30	\$ 148.830 00	
32NF(13)	13F	36.4	14.0	22.5	5.2	13	16.0	22.8	PHD	125	300	NA	NA			\$ 151.500 00	N\$ 151.50	\$ 166.650 00	
40(23)	23A	51.7	22.1	24.0	11.1	23	37.5	51.4	PHD	330	665	NA	30			\$ 304.500 00	N\$ 304.50	\$ 334.950 00	
40(17)	23E	51.9	21.0	24.4	11.1	23	36.2	43.6	PHD	235	760	135	20			\$ 299.200 00	N\$ 299.20	\$ 329.120 00	
60(21)	23B	51.9	25.0	24.5	12.8	23	41.0	56.3	PHD	330	750	NA	14			\$ 317.200 00	N\$ 317.20	\$ 348.920 00	
80(27)	27C	51.9	27.9	24.5	11.4	27	49.7	64.0	PHD	335	980	185	12			\$ 359.700 00	N\$ 359.70	\$ 395.670 00	

1: EL NUMERO ENTRE PARENTESIS INDICA EL NO DE PLACAS
2: LA ALTURA INCLUYE EL POSTE
3: HD = HULE DURO
P = POLIPROPILENO
4: CAPACIDAD A 20 HORAS
5: TARIMA DE 40" X 48"

NA NO APLICABLE

LAS CAPACIDADES ESTAN BASADAS EN ACUMULADORES A PLENA CARGA Y CON UNA DENSIDAD DE 1.265 GR/M.

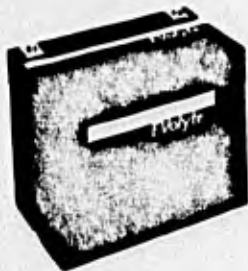
NOV. 10. DE 1992

ACCESSORIES
G|N|B BATTERIES



**HIGH ENERGY DENSITY - DEEP CYCLE - VALVE REGULATED
 BATTERY FOR ELECTRIC VEHICLES / TRACTION APPLICATIONS**

- 6 Cell, 12 Volt Electric Vehicle Battery
- 1180 Watt-Hours at 3-Hour Discharge Rate
- Valve Regulated Lead Acid (VRLA) Technology
- Oxygen Recombination Cycle
- Can be Configured in Series and Parallel Strings to Match Any Vehicle System Voltage



INNOVATIVE FEATURES

- VRLA Operation
 - ▶ Never requires watering
 - ▶ Spill-proof
 - ▶ Tested for leak tightness
 - ▶ Operates at low internal pressure
 - ▶ Minimal gas evolution on charge
- Immobilized Electrolyte
 - ▶ Installation upright or on the side
 - ▶ Absorbent glass mat design
 - ▶ Low resistance construction
 - ▶ Survives freezing
- Proprietary Positive Grid Alloy
 - ▶ Deep cycle capability
 - ▶ Low self-discharge rate
 - ▶ Long life

SPECIFICATIONS

Container and Cover:.....	Polypropylene	Positive Plate:.....	Proprietary Low Antimony
Separators:.....	Spun Glass, Microporous Matrix	Negative Plate:.....	Lead Calcium
Safety Vent:.....	3-8 psi, Self Resealing	Self Discharge:.....	0.5-1.0% per week maximum
Terminals:.....	Threaded Heavy Duty Copper	Estimated Cycle Life:.....	750 to 80% DOD
Power Density:.....	170 W/kg	Energy Density:.....	39.2 Wh/kg
(@ 80% DOD):.....	435 W/liter	(@ C/3 Rate):.....	101 Wh/liter

PHYSICAL CHARACTERISTICS

Type	Overall Dimensions						Weight	
	Length		Width		Height		Net Each	
	in	mm	in	mm	in	mm	lbs	kg
12-EVB-1180	12.1	308	6.9	175	8.7	221	66	30

ELECTRICAL PERFORMANCE (PRELIMINARY)

Type	Cells Per Module	VDC Per Module	Ah Capacity To 1.70 VPC @ Discharge Rate (Hrs)				
			1	2	3	5	8
12-EVB-1180	6	12	75	90	100	105	110

Note: Design and/or specifications subject to change without notice. If questions arise, contact GNB for clarification.

▶ **CALL YOUR ORDER TO 1-407-254-4773 OR FAX 1-407-254-2997 ▶ SEE ORDER FORM PAGE 50**

▶ **SOLAR CAR CORPORATION ▶ 1300 LAKE WASHINGTON ROAD ▶ MELBOURNE, FLORIDA 32935**

LÁMPARAS FLUORESCENTES

D.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LÁMPARAS FLUORESCENTES.

El contenido de esta sección es un resumen elaborado a partir de las referencias [4, 5, y 16]

Una lámpara fluorescente consiste básicamente en un tubo recubierto en su parte interior con un material fluorescente llamado fósforo; el tubo está relleno con una mezcla de gases (argón y neón), o únicamente argón, además de una pequeña cantidad de mercurio. El arco de corriente en el vapor de mercurio opera a baja presión, aproximadamente 1.07 pascales, produce energía ultravioleta a 253.7 nanómetros. Esta energía se cambia a luz visible por la acción de fósforo (fig .C1).

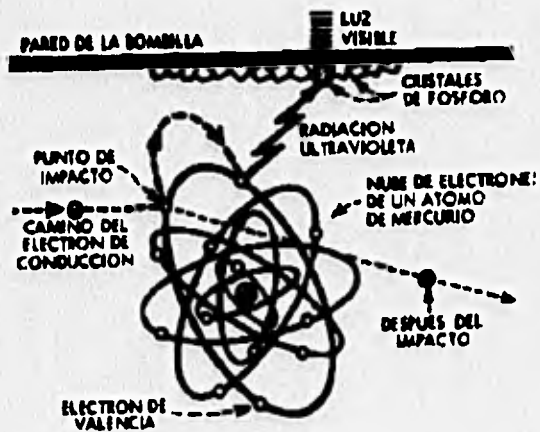


Fig.D1

Las partes fundamentales de una lámpara son :

Tubo: El tubo actúa como una envoltura hermética para la mezcla de gas y mercurio, sirve también de soporte a la cubierta interna de fósforo. Las lámparas fluorescentes son comúnmente construidas de bulbos tubulares de varios diámetros, desde aproximadamente

16 mm (5/8 pulgada), hasta 54 mm (17/8 pulgada) y en longitud desde 150 a 2440 mm (6 a 96 pulgadas). Las lámparas se construyen con un letrero que indica el máximo diámetro en pulgadas o pies. Por ejemplo "T-17" indica que el tubo es de 17/8 pulgadas de diámetro. También se construye lámparas en forma de "U" y circulares de diversos diámetros.

Base: La base conecta la lámpara al circuito y le sirve también de apoyo. Existen varios tipos de base.

Electrodos: Los electrodos proporcionan tanto los electrodos para establecer el arco, como la fuente de electrones; funcionan alternativamente como cátodo y como ánodo, se utilizan comúnmente dos tipos de electrodos:

Cátodo caliente. Consiste de una bobina arrollada o de una triple bobina de filamento de tungsteno cubierto con un material emisor de electrones. Al calentarse el filamento a unos 1000°C se desprenden electrones que producen o mantienen el arco.

Cátodo frío. El cátodo frío es un tubo de níquel o de hierro puro; su superficie interna está recubierta con material emisor de electrones. Los electrones se sujetan a voltajes mayores, dejando escapar electrones a temperaturas de alrededor de 150°C.

Relleno gaseoso. La lámpara fluorescente contiene gotitas de mercurio líquido, que durante la operación se vaporizan a presión muy baja (un cienmilésimo de atmósfera). Además de mercurio, la lámpara contiene una pequeña cantidad de argón o una mezcla de argón y neón. Este gas se ioniza fácilmente al aplicarse un voltaje a través del tubo, ayudando así al encendido.

Fosforos. Este recubrimiento transforma la energía a 253.7 nanómetros de luz. La lámpara fluorescente deriva su nombre de hecho de que éste fósforo fluoresce. La composición química del fósforo determina el color de la luz producida.

CLASIFICACIÓN DE LAMPARAS FLUORESCENTES.

Dentro de los sistemas fluorescentes existen diferentes tecnologías, en manejadores y en la propia lámpara; a partir de estas tecnologías se puede clasificar las lámparas de la siguiente manera:

Lámparas de precalentamiento

Esta lámpara fluorescente utiliza un circuito de arranque a fin de precalentar los electrodos. El sistema requiere de un reactor y un arrancador o botón manual de arranque. El proceso de precalentamiento requiere de unos cuantos segundos.

Arranque instantáneo.

La lámpara de arranque instantáneo se desarrolló para eliminar el inconveniente de utilizar un arrancador y reducir el largo tiempo de arranque del sistema de precalentamiento. El circuito de arranque se elimina al utilizar un reactor que proporciona un mayor voltaje de arranque que permite a los electrodos arrancar en frío. Dado a que no se requieren de precalentamiento las lámparas de arranque instantáneo tiene un sólo contacto en cada extremo de la lámpara.

Arranque rápido.

Las lámparas fluorescentes de arranque rápido combinan las mejores características de los sistemas de precalentamiento y el de arranque instantáneo. El precalentamiento se suministra por medio de un devanado interno en la balastro para calentar los electrodos. No se necesita arrancador, y sin embargo la lámpara enciende casi tan rápidamente como las de arranque instantáneo. Este tipo de lámparas son hoy en día las más populares e importantes en los sistemas de iluminación fluorescentes.

Cátodo frío.

Los tamaños de las lámparas de cátodo frío no están estandarizadas como en el caso de las lámparas de cátodo caliente. Se producen típicamente en envolturas de tipo T-8, y en longitudes de cuatro, seis y ocho pies. Pueden diseñarse a la orden de diferentes diámetros y con diversas formas. El tubo está limitado a densidades bajas de corriente, y su duración es considerable. Todas las lámparas de este tipo son de arranque instantáneo y requieren circuitos especiales de alto voltaje, dadas las condiciones iguales de tamaño de tubo, carga de corriente y fósforo, la producción en lúmenes y el que ésta se mantenga, se logra por igual tanto en lámparas de cátodo frío como caliente.

D.2 DISEÑO DE UNA BALÁSTRA ELECTRÓNICA

Desafortunadamente las lamparas fluorescentes tiene como característica una resistencia negativa y la necesidad de un nivel de alto voltaje para el encendido de la lampara. Los controladores del encendido de la lampara deben de ser simétricos para lograr una conducción de corriente igual en ambos catodos y con esto alargar la vida de la lampara.

Por lo anterior, los controladores de corriente de las lamparas tiene que cumplir tres requisitos muy importantes:

- a) El controlador de potencia de la lampara debe ser simétrico usando corriente alterna.
- b) Limitar la corriente en el tubo fluorescente, por el efecto de resistencia negativa de la lampara.
- c) Contar con un elemento que le proporcione las condiciones para el encendido de la lampara. Esto es que ionice el gas en el tubo de la misma.

Existe un controlador sencillo y barato, que funciona con base en, un bloque oscilador, en una configuración *push-pull*.

Desafortunadamente el problema de como limitar la corriente del tubo fluorescente persiste, por el efecto de la resistencia negativa. La solución clásica que se ha dado a este problema consiste en conectar un inductor en serie con el tubo fluorescente. Este inductor es conocido como balastro inductiva, y presenta una baja eficiencia. Una mejor solución es añadir un sistema de control de corriente realimentado.

El encendido se maneja con una técnica de semiresonancia. La frecuencia de operación del circuito manejador se propone que sea de 50 KHz, a fin de obtener un tubo fluorescente con mayor luminiscencia y eliminar el alto nivel de flameado en los electrodos.

A continuación se muestra un circuito manejador y se presentan el modelo del circuito.

En la siguiente figura se muestra el diagrama de bloques del circuito manejador del tubo fluorescente (fig. D1)

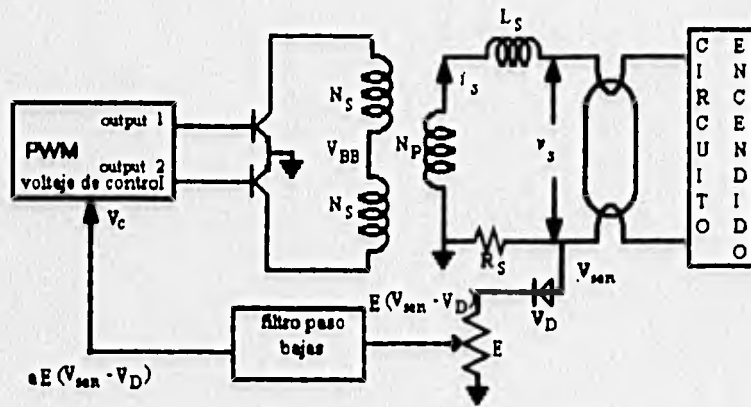


Fig D1. Manejador de lámpara fluorescente.

Este es un sistema de retroalimentación negativa, donde el valor promedio de la potencia del tubo es controlada por un modulador de ancho de pulso (PWM). La salida del PWM maneja la etapa *push-pull*, a través de un tren de pulsos, cuyo ancho de pulso (τ) es proporcional al voltaje de control V_c . Los pulsos generados en el transformador de ambas polaridades tiene una amplitud igual y constante $N_s V_{BB}/N_p$, y la potencia media del tubo es proporcional al producto del ancho de pulso τ , las amplitudes de la corriente y el voltaje.

Por otro lado, el voltaje control es generado por una muestra de la corriente del tubo sensado en la resistencia R_s , la cual es filtrada y rectificada por un filtro paso bajas. Por lo tanto, el voltaje de control v_c es proporcional a la potencia media del tubo cuando el voltaje del transformador tiene una amplitud constante $N_s V_{BB}/N_p$. Es decir, las últimas condiciones se cumplen si el suministro de voltaje se mantiene constante.

1.1 Modelo de la lámpara fluorescente.

El tubo fluorescente es un dispositivo simétrico no lineal. Cuando se le aplica una tensión se convierte en una fuente de luz. La relación que presenta entre voltaje y corriente $v_s = f(i_s)$, cuando una lámpara fluorescente está operada, tiene una forma hiperbólica característica, en ambas direcciones como se muestra en la figura D2

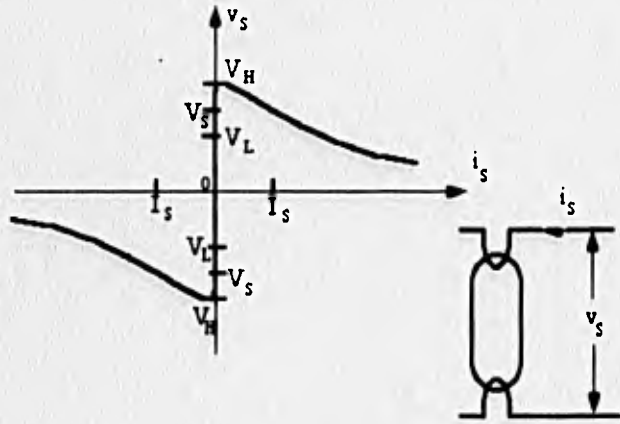


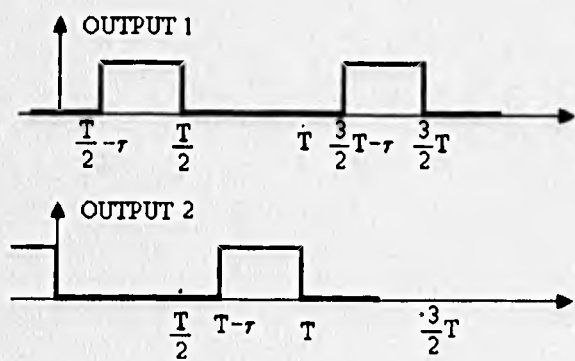
Fig. D2

Estas características se obtienen cuando hay una descarga en el tubo y solo puede ser medido cuando la lámpara está en operación. Durante el encendido la lámpara tiene una corriente pequeña, porque el gas no ha sido ionizado. La ionización puede iniciarse aplicando un alto voltaje, el cual produce un campo eléctrico en el tubo. La ionización se mejora substancialmente cuando en los cátodos hay una alta temperatura, porque hay una mayor emisión de electrones desde los electrodos y el número de colisiones se incrementa. El modelo matemático de la operación de la lámpara se puede obtener mediante la figura 2, usando una aproximación de la característica estática para una hipérbola

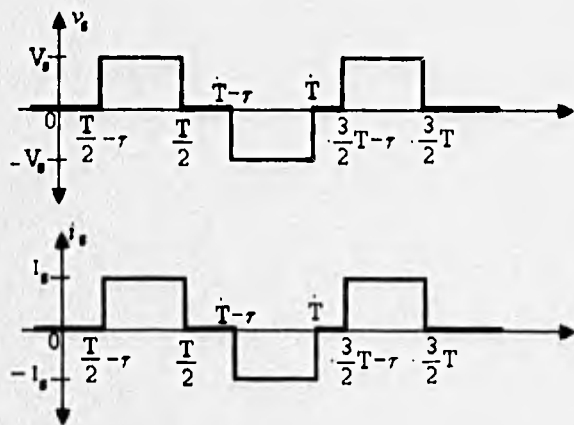
$$v_s = V_{11} \frac{1 + b_{11} V_L / V_{11}}{1 + b_{11} i_s} \quad (1)$$

en donde las constantes V_{11} y V_1 son picos y valles del voltaje, como se muestra en la fig. B2. El factor de escala b es propio de cada lampara.

El análisis del manejador se hace a través del diagrama de tiempo de la salidas del PWM, la corriente del tubo, y la forma de onda del voltaje del tubo, como se muestra en la figura B3



(a)



(b)

Fig D3. Diagramas de tiempo: (a) Entradas del PWM; (b) voltaje y corriente en el tubo .

De las figuras B1 y B3, se tiene que el valor medio de la potencia de la lampara puede ser expresado de la forma

$$P_{FLmedia} = V_s I_s \frac{t}{T/2} \quad (2)$$

donde V_s y I_s son los valores pico del voltaje y corriente en al punto de operación, τ es el ancho de pulso de entrada y T es el periodo constante de operación. El voltaje de control del PWM, es generado por un filtro y un rectificador de corriente, y esta dado por

$$v_c = ae(\overline{V_{scn}} - V_D) = ae(R_s I_s - V_D) \frac{t}{T} \quad (3)$$

donde a es la ganancia del filtro, e es la atenuación del voltaje V_{scn} , debido a la resistencia R_s y V_D es el voltaje rectificado por el diodo.

Por otra parte, el voltaje de control genera un pulso en la salida del PWM, con un ciclo de trabajo τ/T , como se muestra en la figura 4

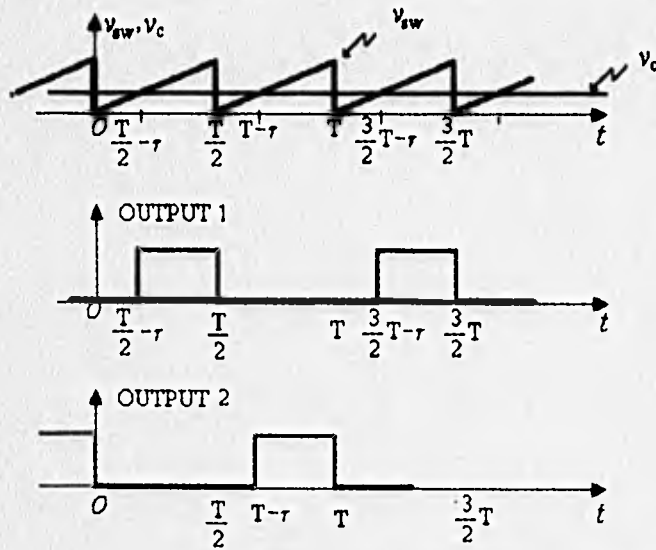


Fig. D4. Diagramas de entrada y salida del PWM.

La forma del onda de diente de sierra v_{sw} tiene un periodo de $T/2$ y una ganancia de k , es comparada con el voltaje de control v_c , y como consecuencia se generan pulsos de duración τ determinados por

$$v_c = k \frac{T}{2} - kt = \frac{kT}{2} \left(1 - \frac{t}{T/2} \right) \quad (4)$$

La realimentación de v_c se muestra en la fig. 1. igualando las ecuaciones (3) y (4) para determinar el ciclo de trabajo de los pulsos de salida del PWM, a través del voltaje de control

$$\frac{t}{T/2} = \frac{1}{1 + \frac{ae}{kT}(R_s I_s - V_D)} \quad (5)$$

Ahora usando las ecuaciones (2) y (5) se puede determinar la potencia media del tubo en términos del voltaje y corriente en el punto de operación (I_s, V_s) y en los parámetros del circuito manejador (α, e, k, R_s, T)

$$P_{FLM} = \frac{V_s I_s}{1 + \frac{ae}{kT}(R_s I_s - V_D)} \quad (6)$$

en la ecuación (6) se muestra el lazo cerrado del circuito manejador, también se muestra, que si la lámpara y el circuito manejador se encuentran en el punto de operación, existe una constante en la ecuación de la potencia media de la lámpara. El punto de operación del tubo es determinado por los voltajes del secundario V_{sek} y el voltaje existente en la resistencia R_s . El voltaje en el secundario esta en función de el valor del voltaje de la batería V_{BB} y la relación de transformación $n=N_s/N_p$. Para el encendido de la lámpara el voltaje del secundario del transformador V_{sek} , debe de ser más grande que el voltaje V_{II} (fig. 2.). La diferencia de los voltajes del secundario y el voltaje del punto de operación ($V_{sek}-V_s$), es el valor censado en la resistencia R_s , el cual debe de ser pequeño. Consecuentemente el valor

de la resistencia R_s es determinado por el cociente $(V_{scK}-V_s)/I_s$, donde I_s es la corriente de operación del tubo.

En el análisis previo, la potencia suministrada en el tubo es censado a través de la corriente rectificadora, asumiendo que esta en su punto de operación, genera una constante, lo cual suministra un voltaje constante al PWM. sin embargo en aplicaciones practicas el voltaje en la batería tiene pérdidas, lo cual lleva caídas a la potencia. Estas caídas de voltaje se pueden evitar usando un sensor de la potencia (voltaje, corriente y ancho del pulso). Obviamente esto implica un circuito manejador mas completo.

1.2 Encendido de la lámpara

El proceso de encendido de la lámpara se logra fácilmente aplicando un alto voltaje y un calentamiento en los catodos. El método que a continuación se describe para lograr el encendido del tubo, esta basado en una técnica de encendido por resonancia. Este método provee en ambos catodos un elevado calentamiento y un alto voltaje. El encendido de una lámpara depende del calentamiento producido por la corriente en los cátodos. Cuando la corriente de calentamiento es menor que un valor de umbral I_E , los cátodos no llegan a una temperatura suficientemente grande como para lograr la emisión de electrones, para este caso se tendría que aplicar un mayor voltaje en los catodos. Para valores de corriente de catodos mas grandes que I_E , el cátodo es calentado y alcanza la temperatura deseada, la emisión se lleva a cabo y la aplicación del voltaje de encendido es substituido por el voltaje de operación, existiendo ya en ese momento un arco en el tubo. Esto es lo llamado, encendido por semiresonancia.

El circuito de encendido esta constituido básicamente por un capacitor conectado en serie con ambos catodos del tubo y un inductor L_0 , conectado antes que el tubo, a la salida de secundaria del transformador. Cuando el tubo no es encendido la corriente del cátodo es controlado por el lazo de realimentación. La corriente rectificadora I_w es igual a la corriente rectificadora del punto de operación del tubo. Para asegurar el encendido de la lámpara, la corriente I_w debe de ser mayor que una corriente de umbral I_E , en los catodos. Después del encendido, el circuito resonante debe quedar altamente acoplado, debido a la baja impedancia que presenta la lámpara en operación. Esto da como resultado una reducción en la corriente del capacitor y previene de un sobre calentamiento de los catodos cuando la lámpara esta en operación. Para obtener una mayor eficiencia, la impedancia del capacitor

C_0 , debe de ser mas grande que la impedancia de el tubo en operación. Esto da una idea del valor máximo que puede tener la capacitancia. El valor mínimo esto determinado por la corriente de calentamiento del catodo, que es la requerida para tener un buen encendido en la lámpara $I_w > I_E$.

Si el encendido se realiza de una manera satisfactoria, es conveniente incrementar el voltaje por encima del valor que suministra el transformador al tubo. Esto se logra colocando el inductor L_0 , en serie con el capacitor de encendido C_0 , para tener un circuito resonante L_0, C_0 . Cuando la resistencia critica del circuito $R_c = \sqrt{L_0/C_0}$ es mayor que la resistencia total R_T que puede presentar el circuito, las posibles oscilaciones que pudiera presentar el voltaje del capacitor son amortiguadas, esto es reflejado en el secundario del transformador. Con esto se cumple sin problema, el proceso de elevar el voltaje pico para el tubo y tener un buen encendido en la lampara. Para cumplir esta condición se debe tener que $1 > R_c/R_T > 2$, de esta forma se podrá tener un sobrepaso en el voltaje del capacitor de entre 20 a 50 %. Este método de encendido es muy conveniente, pues prolonga la vida de la lampara, eliminando el chisporroteo en los catodos. Este tipo de encendido, de catodos calientes, es mas ventajosa que el encendido de catodos en frío.

1.3 Proceso de diseño

Por lo tanto, un voltaje grande en la batería genera una alta eficiencia en la potencia, esto es porque los valores que presenta el primario también son grandes. Con el voltaje de batería V_{BB} seleccionado, la razón de transformación se determina de la siguiente manera

$$n = \frac{V_{sek}}{V_p} \quad (7)$$

El voltaje en el secundario V_{sek} debe de ser mas grande que el voltaje pico V_H . La selección de la resistencia R_s es determinada por

$$L \quad R_s = (V_{sek} - V_s) / \quad (8)$$

La caída de voltaje en R_s debe ser mas grande que el voltaje de encendido del diodo, para que el voltaje de control sea positivo, obviamente la caída en R_s debe de ser menor que V_s para tener una buena eficiencia de potencia.

La frecuencia de manejo $1/T$ debe ser alta para obtener una luminiscencia alta en la lampara y eliminar el parpadeo en el tubo. La frecuencia de operación es determinada por las características comunes de los núcleos de ferrita. Es recomendado 50 kHz.

La constante k del PWM depende del circuito elegido para el control, tiene un valor constante. La ganancia a del filtro activo, paso bajos, depende del funcionamiento del circuito activo. El coeficiente de atenuación ϵ esta entre 0 y 1. Finalmente la potencia media de la lampara puede ser fácilmente ajustada con el producto $a \times \epsilon$.

El filtro paso bajos realiza la conversión descrita en la ecuación 3. Al extraer el valor medio de la corriente rectificada en el tubo, la frecuencia de corte en el filtro debe ser muy baja. Simultáneamente a la frecuencia baja, nos da una banda angosta en la malla de realimentación del filtro, lo cual entrega estabilidad al circuito controlador. Para los diseños del filtro paso bajos, del transformador y la designación de la lampara, son técnicas estándar, de manera similar, la operación del PWM es de lo mas conocido. El ultimo paso de diseño, es el relativo a el circuito de encendido del tubo. Como ya fue explicado, el valor del capacitor de encendido C_0 debe ser seleccionado para proveer una corriente I_w de calentamiento para el cátodo, mayor que la corriente de umbral I_E . Esta corriente (I_w) puede ser estimada mediante la respuesta del circuito L-C y la caída del voltaje generado por el secundario del transformador o determinar experimentalmente. Un valor muy alto de C_0 no es recomendable por que admite un sobre calentamiento en los cátodos y decrece la eficiencia de la potencia convertida. La inductancia L_0 tiene que se elegida en base al voltaje de sobre paso necesario en el capacitor para el encendido. Para un porcentaje de sobre paso de 30 al 50 %, L_0 debe satisfacer la siguiente condición

$$1 < \frac{\sqrt{L_0}}{R_T} < 2$$

los valores de L_0 son bajos y fácilmente alcanzados.

D.3 CONTROL DE LA INTENSIDAD DE LUZ DE LÁMPARAS FLUORESCENTES

Cierto tipo de lámparas fluorescente pueden ser controlada en intensidad luminosa con equipos dimming disponible comercialmente. El control de la intensidad de luz se realiza reduciendo la corriente efectiva a través de la lámpara, ya sea bajando el voltaje del primario del transformador, sumando impedancia en el circuito que da el arco, o acortando el tiempo del flujo de la corriente por cada medio ciclo de trabajo. Se tiene un mejor control de la intensidad de luz cuando el voltaje de circuito abierto del transformador de la balastro es alto con respecto al voltaje de operación de la lámpara. Esto permite que se pueda tener bajos niveles de iluminación, es decir, iniciar o llegar a niveles bajos de luz.

Las condiciones de voltaje pueden ser dadas mediante el uso de un transformador peaking incorporado dentro de la balastro dimming. Esto permite al dimming tener bajas intensidades con un voltaje constante para lograr el arco y excelentes condiciones de inicio, sin requerir voltajes de circuito abierto excesivamente altos.

El arreglo mas fácil de implementar para tener un control en la intensidad de luz en una lámpara fluorescente de cátodo frío es un arreglo en serie de las lámparas. Un arreglo típico para este fin es el mostrado en la figura D1a (algunos fabricantes producen unos monejadores de estado solido remplazando el auto transformador mostrado). Cuando se usa este tipo de equipo es recomendable que la lámpara se cargue con un 20% menos que lo recomendado para requerimientos de iluminación general. Con este arreglo es posible reducir la intensidad luminosa a un valor del 10% de su valor nominal de salida de luz.

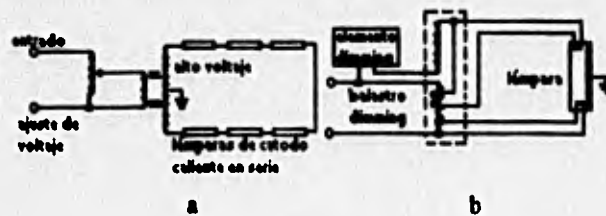


Fig. D1

La gran mayoría de los dimmer de lámparas fluorescentes son de elementos de estado sólido y son diseñados únicamente para lámparas de inicio rápido. Estos dimmer de estado sólido

son generalmente mas eficiente y menos voluminosos que aquellos que usan auto transformador . El rango de los dimmer de estado solido es comparable al que usa auto transformador.

Los dimmer de estado solido tipicamente operan generando un arco de corriente en la lámpara, para esta necesitan de una balastro dimming extra especial para operar (fig D1b) Este tipo de balastras son diferentes a las típicas, la diferencia esta en que el secundario es abierto para incorporar un conductor extra. Este conductor es el que provee la corriente de una manera controlada a la lámpara. Los dimmers para lamparas fluorescentes utilizan tiristores para lograr el flujo de corriente en la lámpara, este método es el que generalmente se usa en los dimmer de lámparas incandescentes. La mayoría de los sistemas dimmers fluorescentes operan en base a 3 elementos aunque se pueden encontrar algunos fabricantes que operan con 2, con la desventaja que tiene un rango limitado.

Existen muchos factores para poder lograr una buena instalación dimmer para lamparas fluorescentes. El factor mas importante es asegurar una buena selección en el equipo dimming para que funcione la balastro y la lámpara correctamente. Las balastras ordinarias no-dimming generalmente no pueden se usadas para estos propósitos, de igual forma cierto tipo de lámparas que ahorran energía, amenos que el fabricante lo especifique. Los fabricantes deben ser consultados para asegurar la adecuada coordinación de los 3 componentes (el equipo dimming, la balastro y la lámpara.

En lamparas de potencias bajas, es mas difícil contralor las descargas que producen el flameado en los electrodos, por eso, para estos casos es importante utilizar lámparas de recalentamiento. Es necesario mantener el catodo caliente a su máximo nivel de tal forma que se mantenga completa la capacidad de emisión para poder dar cualquier intensidad luminosa.

Para tener mejores resultados es recomendable utilizar sockets de muy buena calidad de preferencia de tipo knife-edge y leaf-spring. Esto asegura un buen contacto, necesario para suministrar un eficiente calentamiento en los electrodos. Es también recomendable evitar el contacto de la lámpara con las bajas temperaturas de medio ambiente, especialmente donde se desea un máximo rango de control. Debido a que la eficiencia de la lámpara esta en función de la temperatura de la pared del bulbo, cualquier enfriamiento en las luminarias causaría gran variación en la salida luz de luminaria a luminaria, Este efecto es mas pronunciado en intensidades de luz menores de 10% de su intensidad total.

Para los dimmer de lámparas fluorescentes no es posible llevar a niveles nulos de intensidad luminosa como la hacen los dimmer de lámparas incandescente. La intensidad mínima común que puede suministrar un dimmer de lámparas fluorescentes es generalmente de 0.5 a 1.0% del total de la salida de luz. Se puede concluir que en la mayoría de los dimmers de estado solido se puede tener un ahorro de energía igual al porcentaje de reducción de luz.

Intermitencia de lámparas fluorescentes.

Las lámparas de cátodo frío e inicio rápido ó de precalentamiento se pueden hacer funcionar intermitentemente. Las lámparas de cátodo frío pueden ser manejadas intermitentemente controlando el voltaje del transformador de la balastro ya sea del primario o del secundario. Las lámparas de cátodo caliente pueden ser intermitentes por medio de lámparas individuales especiales o con balastro diseñadas para controlar la corriente del arco de la lámpara y además que interrumpa el voltaje de los cátodos que manejen. En general para lograr la intermitencia en lámparas de cátodo caliente se requiere de un elemento externo de intermitencia en cada sistema, cuando se usa este elemento es recomendable usar contactos separados para cada balastro para prevenir corrientes circulantes entre ellas. El manejo de lámparas individuales es similar al circuito dimming de lámpara individual mostrado en la figura D2 excepto que es requerido un manejador de interrupciones en lugar del elemento dimming. La intermitencia de lámparas fluorescentes tiene gran aplicación en propaganda eléctrica.

REFERENCIAS

- [1] **Manual SAE**, Society of Automotive Engineers, Inc. 1967, Edición Internacional.
- [2] **Manual de Aspectos Técnicos de Confort y de Seguridad para el Diseño y Fabricación de Minibuses en la Ciudad de México**. Coordinación General de Transporte, Departamento del Distrito Federal.
- [3] **Manual de Alumbrado PHILIPS Centro de Ingeniería y Diseño de Alumbrado** Ed. Paraninfo, Madrid, 1988.
- [4] **Illuminating Engineering Society (I E S) Lighting Handbook**, N.Y, USA, 1981.
- [5] **Illuminating Engineering Society (I E S) Lighting Handbook**, N.Y, USA 1985.
- [6] Ned Mohan, Tore M. Undeland, William P. Robbins. **Power Electronics**, Ed. John Wiley & Son, N.Y, U.S.A. 1989.
- [7] E.E. Hamer and. T.K. McGowan "**Characteristics of various F40 Fluorescent Systems at 60 Hz and High Frequency**", IEEE/IAS Transactions Vol IA-21 No.1, 11-16 Ene/Feb 1985.

- [8] J.C. Bandres. *Circuitos eléctricos de automoviles*. Ed, Albatros, Argentina, 1986.
- [9] J.M. Alonso Perez. *La electricidad del automovil*, Ed. Paraninfo, España, 1980.
- [10] R. Chicurel, P. Lara, et al. *Diseño y Construcción de un Minibús Eléctrico de Baterías*, 1^{er} informe de avance, Instituto de Ingeniería, UNAM, México, 1993.
- [11] *Curso Basico de la Iluminación*. Sociedad Mexicana de Iluminación .
- [12] N. Brato, E. Campero, *Instalaciones electricas conceptos basicos y diseño*, México D.F, Ed. Alfaomega, 1992.
- [13] *Manual del alumbrado*, Westinghouse Ed. Dossat, 1989.
- [14] AND, *Display products Catalog 1991*, EUA, 1991.
- [15]. *Optoelectronics/fiber-optics applications*, Hewlett-Packard Company Optoelectronics Division, Ed. Mc. Graw-Hill USA, 1981.
- [16] D.M. Vasiljevic " *The design of battery-operated fluorecent lamp*", *IEEE transactions on Industrial Electronics*, Vol 36 No. 499-503 Nov. 1989
- [17] Bob Brant, " *Build your own Electric Vehicle* " Ed. Mc Graw Hill, USA, 1994
- [18] D. K. Sattárov, " *Fibroóptica* " Ed. Mir Moscú, URSS, 1977
- [19] Entrevista con Dean T. Langford y Henny A. Peters, "*Uniendo fuerzas en el mercado estadounidense de la luminotecnia*", Revista Siemens, Ed. Siemens Aktiengesellschaft, Berlin y Munich, Abril/Junio 2/25, pg 5-9.