



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

**ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN TELECOMUNICACIONES
Y REDES**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE CONTROL
PROGRAMABLE PARA LA ILUMINACIÓN DE ESPECTÁCULOS BASADO
EN EL PROTOCOLO DMX: CASO PRÁCTICO AUDITORIO DE LA ESPOCH**

Tesis de Grado previa obtención del título de:

Ingeniero en Electrónica y Computación

Autores:

Roberto Edison Valente Conya

Byron Santiago Chavarrea Ortega

RIOBAMBA – ECUADOR

2010

AGRADECIMIENTO

A Dios, a mis padres, mis hermanas, mis sobrinos quienes en todo momento Han demostrado su apoyo incondicional y forman parte del éxito de mi vida.

Roberto Valente

A Dios que me da siempre la fuerza suficiente para no rendirme ante mis miedos, a mis padres quienes con su dedicación, esfuerzo y amor incondicional supieron impulsar mis anhelos y ser la base que formó mi camino, a mis hermanos por quienes me esfuerzo y supero día a día, y para aquella persona que con su presencia hace mi camino más fácil y feliz.

Santiago Chavarrea

A nuestro Directo de Tesis Ing. Franklin Moreno, quien con sus consejos y ayuda fue un pilar importante en este proyecto

DEDICATORIA

A toda mi nuestra familia y amigos que siempre brindaron su apoyo incondicional.

NOMBRE

FIRMA

FECHA

Dr. Iván Meneses

**DECANO DE LA FACULTAD
INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**

.....

.....

Ing. José Guerra

DIRECTOR DE ESCUELA

.....

.....

Ing. Franklin Moreno

DIRECTOR DE TESIS

.....

.....

Ing. Hugo Moreno

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

.....

.....

Tlgo. Carlos Rodríguez

**DIRECTOR DPTO
DOCUMENTACIÓN**

.....

.....

NOTA DE LA TESIS

.....

“Nosotros: Roberto Edison Valente Conya, Byron Santiago Chavarrea Ortega, somos los responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta: Tesis, y el patrimonio intelectual de la misma pertenecen a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo”.

Roberto Edison Valente Conya

Byron Santiago Chavarrea Ortega

ÍNDICES DE ABREVIATURAS

CA	Corriente Alterna
CAD	Conversor Analógico a Digital
CAN	Controller Area Network
CDA	Conversor Digital a Analógico
CISC	Complex Instruction Set Computer
CPU	(Central Processor Unit)
DC	Corriente Directa
DMX	Multiplexor Digital
EEPROM	Electrical Erasable Programmable Read Only Memory
EPP	Enhanced Parallel Port
EPROM	Erasable Programmable Read Only Memory
E/S	Entrada/Salida
GUI	Graphic User Interface
HW	Hardware
IE	Interrupción Externa
ISR	Interrupt Service Routine
MAB	Mark After Break
MBB	Mark Before Break
MCU	Microcontrolador
OTP	One Time Programmable
PC	Personal Computer
PIC	Programmable Integrated Circuits
RAM	Random Access Memory
RISC	Reduced Instruction Set Computer
ROM	Read Only Memory

RSI	Rutina de Servicio a la Interrupción
SISC	Specific Instruction Set Computer
SW	Software
UART	Adaptador de comunicación serie asíncrona.
USART	Adaptador de comunicación serie síncrona y asíncrona
USB	Universal Serial Bus
UTP	Unshielded Twisted Pair

ÍNDICE GENERAL

PORTADA

AGRADECIMIENTO

DEDICATORIA

FIRMAS DE RESPONSABILIDAD

RESPONSABILIDAD DE AUTORES

INTRODUCCIÓN

JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO DE TESIS

CAPÍTULO I

MICROCONTROLADORES	- 20 -
1.1. Definición	- 21 -
1.2. Arquitectura Interna	- 23 -
1.3. El Procesador o CPU	- 24 -
1.4. Compuertas de Entrada y Salida	- 25 -
1.5. Reloj principal	- 26 -
1.6. Temporizadores o "Timers"	- 27 -
1.7. Perro guardián o "Watchdog"	- 27 -
1.8. Protección ante fallo de alimentación o "Brownout"	- 28 -
1.9. Estado de reposo ó de bajo consumo	- 28 -
1.10. Conversor A/D (CAD)	- 29 -
1.11. Conversor D/A (CDA)	- 29 -
1.12. Comparador analógico	- 29 -
1.13. Modulador de anchura de impulsos o PWM	- 29 -
1.14. Puertos de E/S digitales	- 29 -
1.15. Puertos de comunicación	- 30 -
1.16. Interrupciones	- 30 -
1.17. Memoria	- 34 -

CAPÍTULO II

2. ILUMINACIÓN ARTÍSTICA	- 37 -
2.1. Introducción	- 37 -
2.2. Iluminación de escenarios	- 39 -
2.3. Instrumentos de iluminación	- 43 -

2.4. Tipos de lámparas	- 45 -
2.5. Roboscan Pro 518	- 51 -
Funcionamiento Del Equipo Sin Un Controlador (Stand Alone)	- 53 -
Funcionamiento A Través De Un Controlador De Iluminación	- 54 -
Adaptación de un cable XLR de 5 a 3 pines	- 55 -
Seteo de una dirección DMX	- 56 -
Significado de Modos y canales DMX	- 58 -
2.6. Consolas de iluminación	- 61 -
Tipos de consolas de iluminación	- 62 -
<input type="checkbox"/> Consolas de control programado de dos escenas	- 62 -
<input type="checkbox"/> Consolas de memoria	- 63 -
<input type="checkbox"/> Consolas computarizadas	- 65 -
<input type="checkbox"/> Controladores de movimiento de luces	- 66 -
 CAPITULO III	
 PROTOCOLOS DE CONTROL DE ILUMINACIÓN	- 67 -
3.1 Protocolos de Iluminación existentes	- 73 -
Los Protocolos Analógicos	- 73 -
Los Protocolos Digitales	- 74 -
3.2 Protocolo DMX512	- 78 -
 CAPITULO IV	
 SISTEMAS ELECTRÓNICOS DE POTENCIA	- 91 -
4.1 Introducción	- 91 -
4.2 Dimmers diseñados con tiristores	- 93 -
4.3 Dimmer controlado remotamente por tiristor	- 95 -
4.4 Circuitos de dimmer	- 98 -
 CAPÍTULO V	- 100 -
 DESARROLLO DEL PROYECTO	- 100 -
5.1 DESARROLLO DE CONTROLADOR DMX	- 100 -
Fase 1. Especificación General del Sistema	- 100 -
Fase 2: Particionamiento Hw y Sw del controlador DMX	- 111 -
Fase 3. Iteración y desarrollo del controlador	- 115 -

Fase 4: Diseño paralelo Hw y Sw del controlador DMX	- 116 -
Fase 5: Integración Hw y Sw del controlador DMX	- 127 -
Fase 6: Verificación del controlador DMX	- 127 -
Fase 7: Mantenimiento y actualización del controlador DMX	- 128 -
5.2 DESARROLLO DEL PROGRAMA DE CONTROL	- 129 -
Descripción del proceso de control de iluminación de espectáculos	- 129 -
Requerimientos funcionales del programa de control de iluminación	- 129 -
Requerimientos no funcionales del programa de control de iluminación	- 130 -
Descripción general del sistema	- 131 -
Propósito del sistema	- 132 -
Objetivos del sistema	- 132 -
Alcances del sistema	- 132 -
Implementación	- 132 -
Casos de uso del programa de control	- 132 -
Flujo de eventos para el caso de uso: Controlar la intensidad de las luces	- 133 -
Flujo de eventos para el caso de uso: Emplear funciones de FADE	- 137 -
Implementación del programa de control	- 144 -
Descripción funcional del sistema	- 146 -
Ventana principal – Controlar la intensidad de las luces	- 146 -
5.3 DESARROLLO DEL RECEPTOR Y DIMMER	- 149 -
Fase 2: Particionando Hw y Sw del receptor DMX	- 149 -
Fase 3: Iteración y desarrollo del receptor DMX	- 152 -
Fase 4: Diseño paralelo Hw y Sw del receptor DMX.	- 153 -
Diseño Hw del receptor DMX	- 153 -
Diseño del Sw del receptor DMX	- 153 -
Estado: Configurando e inicializando recursos del MCU	- 155 -
Estado: Esperando interrupción	- 156 -
Estado: Recibiendo dato DMX	- 156 -
Estado: Actualizando valores de nivel deseado	- 162 -
Estado: Disparando Tiristor	- 164 -
Fase 5: Integración Hw y Sw del receptor DMX	- 169 -
Verificación del receptor DMX	- 170 -
Pruebas Y Resultados	- 171 -
CONCLUSIONES	
RECOMENDACIONES	
RESUMEN	
BIBLIOGRAFÍA	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla II.I	Seteo de Secuencias Aleatorias Robo Scan Pro 518...	53
Tabla II.II	Cable de 5 pines XLR a 3 pines XLR.....	56
Tabla II.III	Cable de 3 pines XLR a 5 pines XLR.....	56
Tabla II.IV	Valores Interruptores DIP.....	57
Tabla II.V	Modos de configuración DMX.....	58
Tabla II.VI	Descripciones de canales DMX.....	58
Tabla II.VII	Especificaciones Técnicas.....	61
Tabla V.VIII	División del diseño del controlador del Sistema.....	112
Tabla V.IX	Función para cada pin de los puertos del MCU.....	117
Tabla V.X	Mapa de memoria de los registros del MCU del controlador DMX.....	117
Tabla V.XI	Descripción de los estados del controlador.....	118
Tabla V.XII	Estímulos del programa del controlador.....	119
Tabla V.XIII	Versiones de actualización del controlador durante su desarrollo.....	128
Tabla V.XIV	Controles para regular la intensidad de las luces.....	134
Tabla V.XV	Botones para las funciones FADE IN y FADE OUT..	138
Tabla V.XVI	División del diseño del receptor DMX en sus componentes Hw y Sw.....	150
Tabla V.XVII	Descripción de los estados del programa del receptor DMX.....	154
Tabla V.XVIII	Estímulos del programa del receptor DMX.....	155
Tabla V.XIX	Nombre de los registros empleados en el estado <i>Actualizando valores</i>	164

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig I.01	Gráfica de un Microprocesador.....	22
Fig I.02	Gráfica de un Microcontrolador.....	22
Fig I.03	Arquitectura Von Neumann.....	23
Fig I.04	Arquitectura Harvard.....	24
Fig I.05	Diagrama de Diferentes Dispositivos conectados al Microcontrolador.....	31
Fig I.06	Proceso de Atención a Interrupción.....	33
Fig.II.07	Iluminación de un escenario.....	38
Fig. II.08	Diferentes proyecciones de la luz en un escenario.....	39
Fig.II.09	Instrumentos de iluminación.....	43
Fig.II.10	Posición de luces en escenarios.....	51
Fig. II.11	Robo Scan Pro 518.....	52
Fig. II.12	Consola Preset 11 de la firma Artistic License.....	63
Fig. II.13	Consolade memoria.....	65
Fig. III.14	Interfaz entre Operador y el Sistema de Iluminación.....	68
Fig.III.15	Diagrama de bloques de un sistema de control de iluminación.....	70
Fig. III.16	Áreas aplicadas en el diseño de un sistema de control de iluminación.....	72
Fig.III.17	Conexiones en XLR para DMX512.....	81
Fig.III.18	El último eslabón de la cadena finaliza con una resistencia de 120 ohm.....	84
Fig III.19	La distribución de las señales de control se efectúa con splitters.....	85
Fig.III.20	En líneas largas se utilizan los buffers para amplificar la señal.....	86
Fig.III.21	Trama DMX.....	89
Fig. IV.22	Dimmers: a) Resistivos, b) Autotransformadores.....	92
Fig. IV.23.	Esquemático de un dimmer analógico.....	95
Fig. IV.24	Diagrama de bloques de un dimmer controlado remotamente por tiristores.....	97
Fig.IV.25	Diagrama de bloques de un dimmer profesional.....	99
Fig V.26.	Casos de uso del Sistema.....	101
Fig V.27	Diagrama de secuencia: Controlar intensidad de luces.....	104

Fig. V.29	Diagrama a bloques de un Sistema DMX512.....	107
Fig. V.30	Interfaz del programa de control.....	108
Fig. V.31	Diagrama de despliegue del sistema de control de iluminación DMX.....	110
Fig. V.32	División de las fases de desarrollo del sistema.....	111
Fig. V.33	Casos de uso del controlador DMX.....	112
Fig. V.34	Diagrama de Bloques del controlador DMX.....	113
Fig V.35	Diagrama de estados del programa del controlador del sistema.....	118
Fig V.36	Diagrama de flujo de la subrutina configurar E/S del MCU.....	120
Fig. V.37	Diagrama de flujo de la subrutina de inicialización de memoria SRAM.....	121
Fig V.38	Esquemático del controlador DMX.....	122
Fig V.39	Diagrama de flujo para la generación de la señal DMX...	124
Fig V.40	Diagrama de Flujo de envío general de datos DMX.....	125
Fig V.41	Diagrama de flujo para el estado <i>Recibiendo dato o dirección DMX de la PC</i>	126
Fig V.42	Diagrama de tiempos para el ciclo de recepción de datos desde la PC.....	127
Fig V.43	Casos de uso del programa de control DMX512.....	133
Fig V.44	Esquema de las funciones de <i>fade in</i> y <i>fade out</i>	139
Fig. V.45	Ventana principal Programa de control.....	147
Fig V.46	Casos de uso del receptor DMX.....	150
Fig V.47	Diagrama a bloques del receptor DMX.....	151
Fig V.48	Diagrama eléctrico del receptor DMX.....	153
Fig V.49	Diagrama de máquinas de estados del programa del receptor DMX.....	154
Fig V.50	Diagrama de flujo del programa principal del receptor del sistema.....	158
Fig V.51	Muestreo de un carácter recibido en el pin de la USART..	159
Fig V.52	Diagrama de flujo para el estado <i>Recibiendo dato DMX</i> ..	161
Fig V.53	Diagrama eléctrico del detector de cruce por cero y fuente de alimentación.....	163

Fig V.54	Diagrama de flujo para el estado <i>Actualizando valores de nivel de estado</i>	164
Fig V.55	Diagrama eléctrico de la etapa de potencia del dimmer...	165
Fig V.56	Principio de control por ángulo de fase.....	166
Fig V.57	Diagrama de tiempos del dimmer.....	167
Fig V.58	Diagrama de flujo para el estado <i>Disparando tiristor</i>	169

INTRODUCCIÓN

La iluminación en teatros, museos, galerías, conciertos, salas de baile y eventos corporativos (conferencias, reuniones, etc.) no es tan simple como encender luces en un escenario sino por el contrario es un proceso complejo que implica una correcta disposición de los dispositivos de iluminación, ángulos correctos de enfoque, iluminación posterior, frontal y lateral del escenario y un equilibrio de colores; todo esto con el propósito de lograr que el público pueda ver en todo momento a los actores y apreciar volúmenes en la escena. Para la iluminación de escenarios se emplean dos tipos básicos de dispositivos: focos, los cuales iluminan una amplia zona del escenario y los proyectores, que iluminan intensamente áreas pequeñas. Los dispositivos de iluminación tiene cuatro propiedades controlables: la intensidad, el color, la distribución y el movimiento. Estas propiedades son llamadas parámetros estáticos, ya que permanecen constantes, sobre un periodo de tiempo y se utilizan para otorgar una determinada apariencia al contorno y al volumen de un intérprete o un objeto determinado.

Los operadores de la iluminación controlan las luces de un escenario a través de dispositivos unidireccionales llamados consolas de iluminación que son interfaces entre el operador y luces proyectadas. En su versión más básica, una consola se reduce a controlar los dimmers para controlar la intensidad de las lámparas en los escenarios. Los dimmers son dispositivos capaces de cambiar gradualmente la intensidad de las lámparas, de tal manera que para ejecutar una determinada secuencia de luces y sombras, la consola transmite determinada información basada en un protocolo de

comunicación, el dimmer recibe esta información, la demultiplexa y ejecuta la función apropiada sobre el dispositivo de iluminación seleccionado, otras consolas más sofisticadas permiten el control de mas parámetros tales como el pandeo/tildeo, color, enfoque, forma de rayos, etc.

Sin embargo a pesar de todos estos adelantos tecnológicos, la industria del entretenimiento sigue teniendo grandes dificultades para iluminar sus escenarios. Cuando un operador de una consola de iluminación crea la programación de su espectáculo, trata frecuentemente con detalles de muy bajo nivel que no tienen relación sobre la iluminación en si misma como:

- Extender cables específicos para conectar una instalación de luz en la consola.
- Validar en la consola el tipo de iluminación utilizada en el espectáculo, ya que cada fabricante tiene su propio mapeo de parámetros. Un mapeo de parámetros es la codificación de parámetros que el usuario realiza en cada evento.
- Especificar manualmente cuantas luces incluye la instalación conectada en la consola, y la forma en que ésta enviará un paquete de bytes para determinar uno de los parámetros a controlar de las luces.
- Asignar a cada dispositivo de iluminación una dirección para realizar el mapeo.

En la actualidad muchas instituciones cuentan con sus respectivos auditorios, los cuales ya han sido implementados con un determinado sistema de iluminación, uno de ellos es el auditorio de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, conformado por diferentes dispositivos de iluminación utilizados de acuerdo a la ocasión, éstos son

programables por el operador sin embargo existen algunos que no permiten realizar el mismo, debido a la carencia de un software y hardware requerido para que puedan ser utilizadas las funciones de estos dispositivos en su totalidad.

JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO DE TESIS

En la industria del entretenimiento existe una gran demanda en los sistemas de control para iluminación de escenarios ya que las herramientas existentes son limitadas e inapropiadas para interactuar con el usuario.

En Ecuador esta problemática se acentúa aún mas; la industria del espectáculo no tiene desarrollos tecnológicos propios y depende completamente del exterior para satisfacer sus demandas; en consecuencia los equipos de iluminación son extremadamente caros lo que representa una gran desventaja para las empresas del entretenimiento nacional sobre todo para las pequeñas, quienes organizan sus eventos de manera manual y exponiéndose a situaciones de riesgo ya que:

- Los operarios realizan muchas conexiones del equipo de iluminación con cables grandes, pesados y peligrosos (se manejan corrientes de aproximadamente 60 amperios).
- Las plantas de energía eléctrica están cerca del escenario generando ruido acústico no grato para los espectadores.
- Las conexiones que hacen los operadores toman demasiado tiempo.

La problemática a la cual nos enfrentamos es la siguiente: La industria del entretenimiento nacional, necesitan sistemas de control que les permitan definir, predecir, probar y validar sus diseños de iluminación, por otra parte, a pesar de que el auditorio de la ESPOCH cuenta con estos sistemas de control, existen algunos dispositivos cuya función de programación no está siendo utilizada, convirtiéndose en

un problema, ya que el operador no tiene el control total sobre el funcionamiento de estos dispositivos.

Atendiendo a estas demandas se consideró la posibilidad de diseñar e implementar un prototipo de sistema de control programable utilizando el protocolo DMX con el propósito de automatizar la iluminación existente dentro del auditorio de la ESPOCH.

CAPÍTULO I

MICROCONTROLADORES

Un controlador es un dispositivo que se emplea para el gobierno de uno o varios procesos. Por ejemplo, el controlador que regula el funcionamiento de un horno dispone de un sensor que mide constantemente su temperatura interna y, cuando traspasa los límites prefijados, genera las señales adecuadas que accionan los efectores que intentan llevar el valor de la temperatura dentro del rango estipulado.

Aunque el concepto de controlador ha permanecido invariable a través del tiempo, su implementación física ha variado frecuentemente. Hace tres décadas, los controladores se construían exclusivamente con componentes de lógica discreta, posteriormente se emplearon los microprocesadores, que se rodeaban con chips de memoria y E/S sobre

una tarjeta de circuito impreso. En la actualidad, todos los elementos del controlador se han podido incluir en un chip, el cual recibe el nombre de microcontrolador. Realmente consiste en un sencillo pero completo computador contenido en el chip de un circuito integrado.

Los circuitos integrados programables (Programmable Integrated Circuits) son componentes sumamente útiles en la Electrónica de Consumo. Aún cuando son conocidos desde hace más de veinte años, existen en la actualidad nuevos tipos que cumplen con una serie de requisitos y características sumamente útiles.

Como una primera aproximación se puede definir a un PIC como “un chip que permite obtener un circuito integrado a medida”, es decir, se puede hacer que el PIC se comporte como un procesador de luminancia o un temporizador o cualquier otro sistema mediante un programa grabado en una memoria ROM interna.

1.1. Definición

En realidad un microprocesador y un microcontrolador no poseen la misma definición. Los PICs son microcontroladores, es decir, una unidad que posee en su interior al microprocesador y a los elementos indispensables para que pueda funcionar como una minicomputadora en un solo chip.

Un microprocesador, en cambio, es solamente la unidad central de procesos o CPU, la memoria, los puertos y todos los demás periféricos son exteriores. La programación de un microprocesador es, por lo tanto, una tarea compleja porque deben controlarse todos estos dispositivos externos.

Un microcontrolador integra al CPU y todos los periféricos en un mismo chip. El programador se desentiende de una gran cantidad de dispositivos y se concentra en el programa de trabajo. Esto se ilustra en las figuras I.01 y I.02.

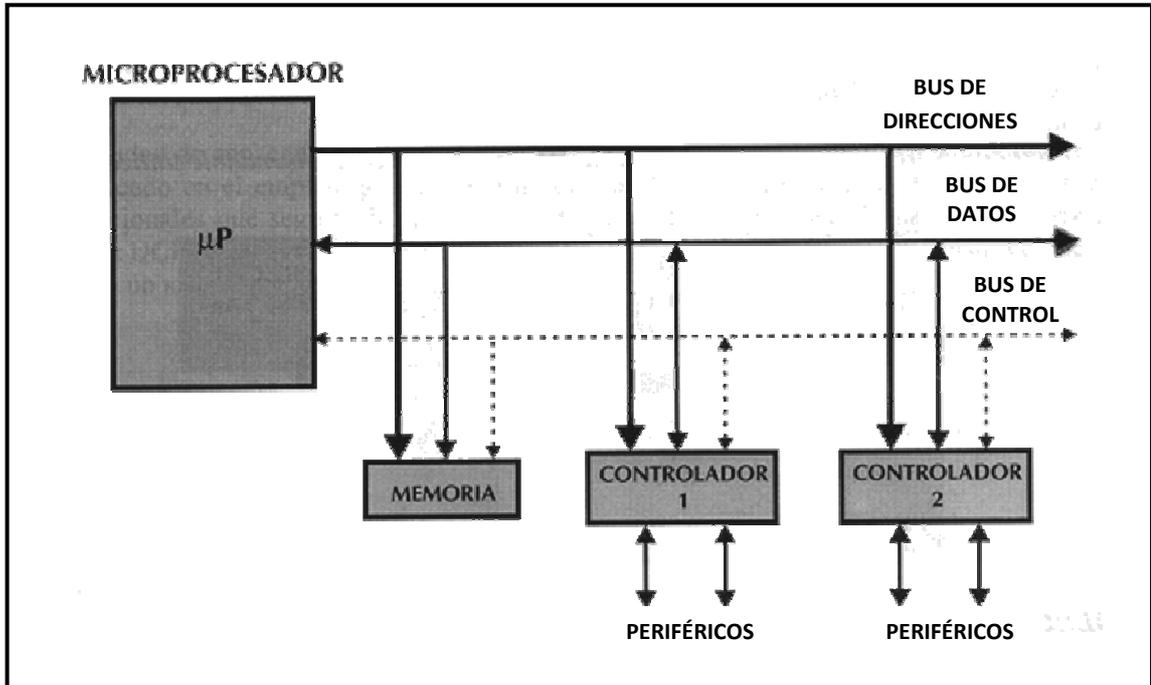


Fig I.01 Gráfica de un Microprocesador

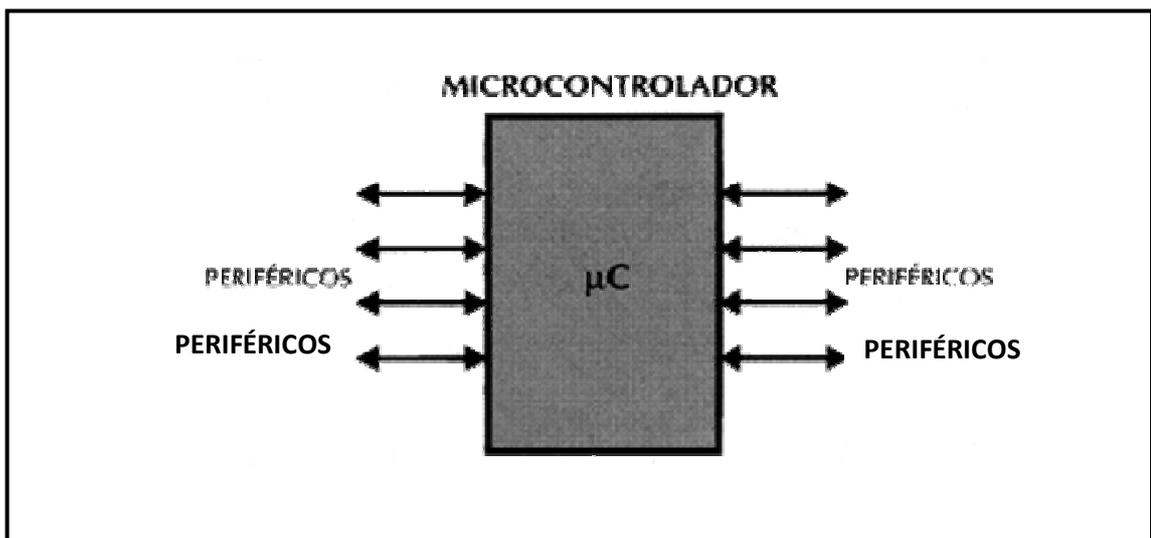


Fig I.02. Gráfica de un Microcontrolador

Para fines prácticos se hará referencia a los microcontroladores como bloques que poseen una memoria de programa que es el lugar donde deben alojarse los datos que le indiquen al chip qué es lo que debe hacer; una memoria de datos donde ingresen las señales que debe procesar el programa, una unidad aritmética y lógica donde se desarrollen todas las tareas, una unidad de control que se encargue de supervisar todos los procesos y puertos de entrada y salida para que el PIC tenga contacto con el exterior.

1.2. Arquitectura Interna

Aunque inicialmente todos los microcontroladores adoptaron la arquitectura clásica de von Neumann, en el momento presente se impone la arquitectura Harvard.¹

La arquitectura de Von Neumann se caracteriza por disponer de una sola memoria principal donde se almacenan datos e instrucciones de forma indistinta. A dicha memoria se accede a través de un sistema de buses único (direcciones, datos y control).

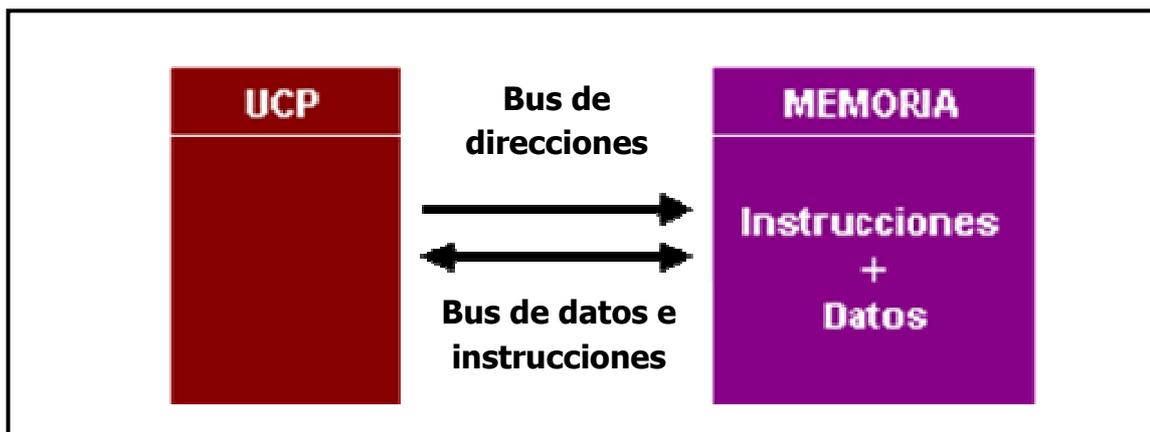


Fig I.03 Arquitectura Von Neumann

¹ P. Dasiewicz, "Microcontroller Based Multichannel Light Dimmer", 2006

La arquitectura Harvard dispone de dos memorias independientes una, que contiene sólo instrucciones y otra, sólo datos. Ambas disponen de sus respectivos sistemas de buses de acceso y es posible realizar operaciones de acceso (lectura o escritura) simultáneamente en ambas memorias. Figura I.04.

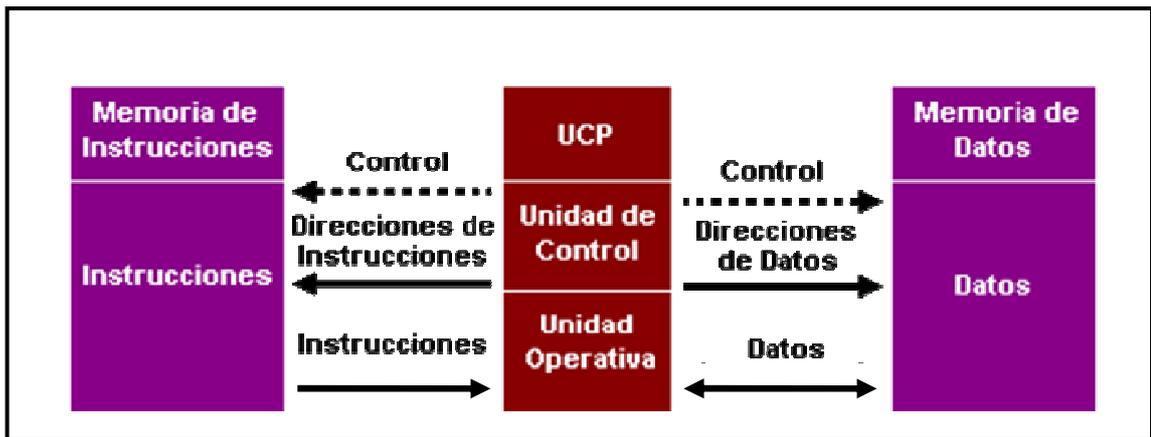


Fig I.04 Arquitectura Harvard

1.3. El Procesador o CPU

Es el elemento más importante del microcontrolador y determina sus principales características, tanto a nivel hardware como software.

Se encarga de direccionar la memoria de instrucciones, recibir el código de la instrucción en curso, su decodificación y la ejecución de la operación que implica la instrucción, así como la búsqueda de los operandos y el almacenamiento del resultado.

Existen tres orientaciones en cuanto a la arquitectura y funcionalidad de los procesadores actuales.²

² P. Dasiewicz, "Microcontroller Based Multichannel Light Dimmer", 2006

CISC: Un gran número de procesadores usados en los microcontroladores están basados en la filosofía CISC. Disponen de más de 80 instrucciones máquina en su repertorio, algunas de las cuales son muy sofisticadas y potentes, requiriendo muchos ciclos para su ejecución.

Una ventaja de los procesadores CISC es que ofrecen al programador instrucciones complejas que actúan como macros.

RISC: Tanto la industria de los computadores comerciales como la de los microcontroladores están decantándose hacia la filosofía RISC. En estos procesadores el repertorio de instrucciones máquina es muy reducido y las instrucciones son simples y, generalmente, se ejecutan en un ciclo.

La sencillez y rapidez de las instrucciones permiten optimizar el hardware y el software del procesador.

SISC: En los microcontroladores destinados a aplicaciones muy concretas, el juego de instrucciones, además de ser reducido, es "específico", es decir, las instrucciones se adaptan a las necesidades de la aplicación prevista. Esta filosofía se ha bautizado con el nombre de SISC.

1.4. Puertas de Entrada y Salida

La principal utilidad de los pines que posee la cápsula que contiene un microcontrolador es soportar las líneas de E/S que comunican al computador interno con los periféricos exteriores.

Según los controladores de periféricos que posea cada modelo de microcontrolador, las líneas de E/S se destinan a proporcionar el soporte a las señales de entrada, salida y control.

1.5. Reloj principal

Todos los microcontroladores disponen de un circuito oscilador que genera una onda cuadrada de alta frecuencia, que configura los impulsos de reloj usados en la sincronización de todas las operaciones del sistema.

Generalmente, el circuito de reloj está incorporado en el microcontrolador y sólo se necesitan unos pocos componentes exteriores para seleccionar y estabilizar la frecuencia de trabajo. Dichos componentes suelen consistir en un cristal de cuarzo junto a elementos pasivos o bien un resonador cerámico o una red R-C.

Aumentar la frecuencia de reloj supone disminuir el tiempo en que se ejecutan las instrucciones pero esto conlleva un incremento del consumo de energía.

Cada fabricante oferta numerosas versiones de una arquitectura básica de microcontrolador. En algunas amplían las capacidades de las memorias, en otras incorporan nuevos recursos, en otras reducen las prestaciones al mínimo para aplicaciones muy simples, etc. La labor del diseñador es encontrar el modelo mínimo que satisfaga todos los requerimientos de su aplicación. De esta forma, minimizará el coste, el hardware y el software.

Los principales recursos específicos que incorporan los microcontroladores son:

- Temporizadores o "Timers".
- Perro guardián o "Watchdog".

- Protección ante fallo de alimentación o "Brownout".
- Estado de reposo o de bajo consumo.
- Conversor A/D.
- Conversor D/A.
- Comparador analógico.
- Modulador de anchura de impulsos o PWM.
- Puertas de E/S digitales.
- Puertas de comunicación.

1.6. Temporizadores o "Timers"

Se emplean para controlar periodos de tiempo y para llevar la cuenta de acontecimientos que suceden en el exterior.

Para la medida de tiempos se carga un registro con el valor adecuado y a continuación dicho valor se va incrementando o decrementando al ritmo de los impulsos de reloj o algún múltiplo hasta que se desborde y llegue a 0, momento en el que se produce un aviso.

Cuando se desean contar acontecimientos que se materializan por cambios de nivel o flancos en algunos de los pines del microcontrolador, el mencionado registro se va incrementando o decrementando al ritmo de dichos impulsos.

1.7. Perro guardián o "Watchdog"

Cuando el computador personal se bloquea por un fallo del software u otra causa, se pulsa el botón del reset y se reinicializa el sistema. Pero un microcontrolador funciona

sin el control de un supervisor y de forma continua las 24 horas del día. El Perro guardián consiste en un temporizador que, cuando se desborda y pasa por 0, provoca un reset automáticamente en el sistema.

Se debe diseñar el programa de trabajo que controla la tarea de forma que refresque o inicialice al Perro guardián antes de que provoque el reset. Si falla el programa o se bloquea, no se refrescará al Perro guardián y, al completar su temporización, provocará el reset.

1.8. Protección ante fallo de alimentación o "Brownout"

Se trata de un circuito que resetea al microcontrolador cuando el voltaje de alimentación (VDD) es inferior a un voltaje mínimo ("brownout"). Mientras el voltaje de alimentación sea inferior al de brownout el dispositivo se mantiene reseteado, comenzando a funcionar normalmente cuando sobrepasa dicho valor.

1.9. Estado de reposo ó de bajo consumo

Son abundantes las situaciones reales de trabajo en que el microcontrolador debe esperar, sin hacer nada, a que se produzca algún acontecimiento externo que le ponga de nuevo en funcionamiento. Para ahorrar energía, (factor clave en los aparatos portátiles), los microcontroladores disponen de una instrucción especial (SLEEP en los PIC), que les pasa al estado de reposo o de bajo consumo, en el cual los requerimientos de potencia son mínimos. En dicho estado se detiene el reloj principal y se "congelan" sus circuitos asociados, quedando sumido en un profundo "sueño" el microcontrolador. Al activarse una interrupción ocasionada por el acontecimiento esperado, el microcontrolador se despierta y reanuda su trabajo.

1.10. Conversor A/D (CAD)

Los microcontroladores que incorporan un Conversor A/D (Analógico/Digital) pueden procesar señales analógicas, tan abundantes en las aplicaciones. Suelen disponer de un multiplexor que permite aplicar a la entrada del CAD diversas señales analógicas desde las patitas del circuito integrado.

1.11. Conversor D/A (CDA)

Transforma los datos digitales obtenidos del procesamiento del computador en su correspondiente señal analógica que saca al exterior por una de las patitas de la cápsula. Existen muchos efectores que trabajan con señales analógicas.

1.12. Comparador analógico

Algunos modelos de microcontroladores disponen internamente de un Amplificador Operacional que actúa como comparador entre una señal fija de referencia y otra variable que se aplica por una de las patitas de la cápsula. La salida del comparador proporciona un nivel lógico 1 ó 0 según una señal sea mayor o menor que la otra.

También hay modelos de microcontroladores con un módulo de tensión de referencia que proporciona diversas tensiones de referencia que se pueden aplicar en los comparadores.

1.13. Modulador de anchura de impulsos o PWM

Son circuitos que proporcionan en su salida impulsos de anchura variable, que se ofrecen al exterior a través de los pines del encapsulado.

1.14. Puertos de E/S digitales

Todos los microcontroladores destinan algunos de sus pines a soportar líneas de E/S digitales. Por lo general, estas líneas se agrupan de ocho en ocho formando Puertos.

Las líneas digitales de los Puertos pueden configurarse como Entrada o como Salida cargando un 1 ó un 0 en el bit correspondiente de un registro destinado a su configuración.

1.15. Puertos de comunicación

Con objeto de dotar al microcontrolador de la posibilidad de comunicarse con otros dispositivos externos, otros buses de microprocesadores, buses de sistemas, buses de redes y poder adaptarlos con otros elementos bajo otras normas y protocolos. Algunos modelos disponen de recursos que permiten directamente esta tarea, entre los que destacan:

- **UART:** Adaptador de comunicación serie asíncrona.
- **USART:** Adaptador de comunicación serie síncrona y asíncrona
- Puerta paralela esclava para poder conectarse con los buses de otros microprocesadores.
- **USB:** que es un moderno bus serie para los PC.
- **Bus I2C:** que es un interfaz serie de dos hilos desarrollado por Philips.
- **CAN:** Para permitir la adaptación con redes de conexión multiplexada, desarrollado conjuntamente por Bosch e Intel para el cableado de dispositivos en automóviles. En EE.UU.

1.16. Interrupciones

Las interrupciones juegan un papel de suma importancia dentro de cualquier sistema basado en microprocesador o microcontrolador, pues estos deben habitualmente

gestionar y controlar distintos periféricos asociados que, de forma continua, requieren una dedicación para llevar a buen término las tareas que tienen asignadas.

Una interrupción la realiza de forma asíncrona un periférico o un dispositivo conectado físicamente al microcontrolador, como en la Fig I.05, cuando requiere el desvío del flujo de ejecución del programa para gestionar y controlar los diversos sucesos que no se encuentran bajo su supervisión directa. De esta manera se mejora la eficiencia de la CPU, ya que ésta no tiene que estar continuamente pendiente de si acontece o no un suceso en un instante de tiempo determinado, y puede realizar otras tareas de mayor interés, atendiendo a los sucesos tan sólo cuando éstos se producen. Los sucesos acontecidos pueden ser externos al sistema, como la activación de un nivel lógico o un flanco en un terminal del microcontrolador, por parte de un periférico, o bien internos, como el desbordamiento de un temporizador interno del microcontrolador al llegar éste a su máxima capacidad de cuenta.

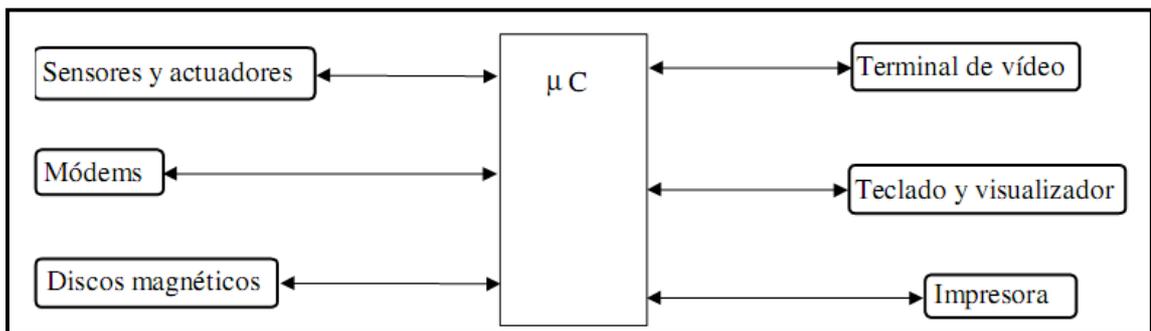


Fig I.05. Diagrama de Diferentes Dispositivos conectados al Microcontrolador

Cuando se produce una interrupción el microcontrolador ejecuta un proceso de atención a la interrupción (Figura I.06). En este proceso el microcontrolador deja de ejecutar la secuencia de instrucciones en la que se encuentra y pasa a ejecutar la rutina de servicio

a la interrupción (RSI), que se encarga de efectuar la gestión del periférico. Una vez terminada esta rutina, el microcontrolador regresa a la secuencia donde se produjo la interrupción, y sigue con el rumbo que tenía. En el proceso de atención a la interrupción se realizan los siguientes pasos:

1. Termina de ejecutar la instrucción en curso.
2. Salva el valor del contador de programa, PC, en la pila, de manera que la CPU, al terminar el proceso, pueda seguir ejecutando el programa a partir de la instrucción siguiente a la última ejecutada.
3. El microcontrolador salta a la dirección donde está almacenada la RSI y ejecuta esta rutina, que tiene como finalidad atender al periférico o dispositivo que ha generado la interrupción.
4. La rutina RSI debe terminar con una instrucción de retorno de interrupción. El microcontrolador al ejecutar esta instrucción lee la dirección almacenada en la pila y la asigna al contador de programa, de manera que éste reanuda la ejecución del programa a partir de la instrucción siguiente a la instrucción donde se produjo la interrupción.

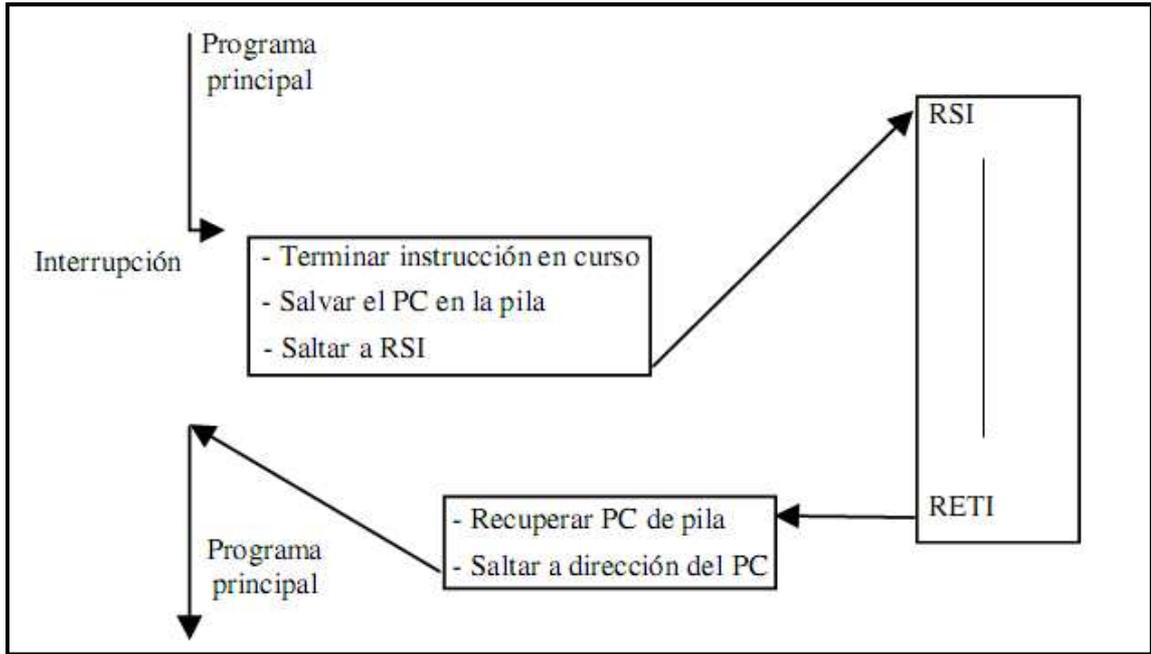


Fig I.06 Proceso de Atención a Interrupción

A la dirección de salto a partir de la cual se almacena la rutina de RSI se la denomina vector de interrupción. Según el tipo de microcontrolador o microprocesador, las direcciones del vector de interrupción pueden ser fijas, es decir, especificadas por el fabricante, o bien pueden ser definidas por el programador. Los vectores de interrupción de las familias MCS-51 y MCS-251 son fijos y su valor viene predeterminado por el fabricante. Otro factor importante que se debe considerar en el proceso de interrupciones consiste en la habilitación de máscaras y en el establecimiento de prioridades. Una máscara no es más que un indicador de tipo bit que gobierna el estado de una puerta de transmisión conectada entre la entrada en interrupción y la CPU. Al bit que realiza la función de máscara se le denomina bit de habilitación.

1.17. Memoria

En los microcontroladores la memoria de instrucciones y datos está integrada en el propio chip. Una parte debe ser no volátil, tipo ROM, y se destina a contener el programa de instrucciones que gobierna la aplicación. Otra parte de memoria será tipo RAM, volátil, y se destina a guardar las variables y los datos.

La RAM en estos dispositivos es de poca capacidad pues sólo debe contener las variables y los cambios de información que se produzcan en el transcurso del programa. Por otra parte, como sólo existe un programa activo, no se requiere guardar una copia del mismo en la RAM pues se ejecuta directamente desde la ROM.

MEMORIA DE INSTRUCCIONES – ROM

Según el tipo de memoria ROM que dispongan los microcontroladores, la aplicación y utilización de los mismos es diferente. Se describen las cinco versiones de memoria no volátil que se pueden encontrar en los microcontroladores del mercado:

- 1. ROM con máscara:** Es una memoria no volátil de sólo lectura cuyo contenido se graba durante la fabricación del chip. El elevado coste del diseño de la máscara sólo hace aconsejable el empleo de los microcontroladores con este tipo de memoria cuando se precisan cantidades superiores a varios miles de unidades.
- 2. OTP:** El microcontrolador contiene una memoria no volátil de sólo lectura "programable una sola vez" por el usuario. Es el usuario quien puede escribir el

programa en el chip mediante un sencillo grabador controlado por un programa desde un PC.

La versión OTP es recomendable cuando es muy corto el ciclo de diseño del producto, o bien, en la construcción de prototipos y series muy pequeñas. Tanto en este tipo de memoria como en la EPROM, se suele usar la encriptación mediante fusibles para proteger el código contenido.

3. EPROM: Los microcontroladores que disponen de memoria EPROM pueden borrarse y grabarse muchas veces. La grabación se realiza, como en el caso de los OTP, con un grabador gobernado desde un PC. Si, posteriormente, se desea borrar el contenido, disponen de una ventana de cristal en su superficie por la que se somete a la EPROM a rayos ultravioleta durante varios minutos. Las cápsulas son de material cerámico y son más caros que los microcontroladores con memoria OTP que están hechos con material plástico.

4. EEPROM: Se trata de memorias de sólo lectura, programables y borrables eléctricamente. Tanto la programación como el borrado, se realizan eléctricamente desde el propio grabador y bajo el control programado de un PC. Es muy cómoda y rápida la operación de grabado y la de borrado. No disponen de ventana de cristal en la superficie.

Los microcontroladores dotados de memoria EEPROM una vez instalados en el circuito, pueden grabarse y borrarse cuantas veces se quiera sin ser retirados de dicho circuito. Para ello se usan "grabadores en circuito" que confieren una gran flexibilidad y rapidez a la hora de realizar modificaciones en el programa de trabajo.

El número de veces que puede grabarse y borrarse una memoria EEPROM es finito, por lo que no es recomendable una reprogramación continua. Son muy idóneos para la enseñanza y la Ingeniería de diseño.

Se va extendiendo en los fabricantes la tendencia de incluir una pequeña zona de memoria EEPROM en los circuitos programables para guardar y modificar cómodamente una serie de parámetros que adecuan el dispositivo a las condiciones del entorno. Este tipo de memoria es relativamente lenta.

5. **FLASH:** Se trata de una memoria no volátil, de bajo consumo, que se puede escribir y borrar. Funciona como una ROM y una RAM pero consume menos y es más pequeña.

A diferencia de la ROM, la memoria FLASH es programable en el circuito. Es más rápida y de mayor densidad que la EEPROM.

La alternativa FLASH está recomendada frente a la EEPROM cuando se precisa gran cantidad de memoria de programa no volátil. Es más veloz y tolera más ciclos de escritura/borrado.

MEMORIA DE DATOS – RAM

Tiene dos zonas diferentes:

1. **RAM estática ó SRAM:** donde residen los Registros Específicos (SFR) con 24 posiciones de tamaño byte, aunque dos de ellas no son operativas y los Registros de Propósito General (GPR) con 68 posiciones.
2. **EEPROM:** de 64 bytes donde, opcionalmente, se pueden almacenar datos que no se pierden al desconectar la alimentación.

CAPÍTULO II

ILUMINACIÓN ARTÍSTICA

2.1. Introducción

La iluminación en los escenarios de teatros, auditorios, museos, discotecas y televisión, es el elemento primordial que determina en gran medida el éxito o fracaso de una producción; ya que usando los efectos de la luz se afectan los sentidos de la audiencia y de esta manera se evocan sus emociones. La luz es la materia prima para crear efectos visuales que condiciona psicológicamente al espectador, de esta manera se puede pensar en la luz no como un elemento extra que se incluye solamente en algunas ocasiones, sino como un elemento fundamental en todo tipo de producción visual. La iluminación de un escenario junto con otros elementos de la producción permiten al actor

comunicarse con la audiencia, de esta manera se podría asegurar que la iluminación está estrechamente relacionada con el sonido. Los actores son difíciles de observar, también son difíciles de escuchar, por lo tanto la principal función de la luz en el escenario es iluminar a los actores, de tal manera que ellos sean completamente visibles para la audiencia en todas partes del auditorio.

La cantidad de luz requerida en un escenario varía con respecto a la intensidad que refleja lo que se desea mostrar, Fig.II.07, por ejemplo en una escena hablada, los ojos así como el resto de las expresiones faciales del actor son muy importantes al momento de proyectar la luz³. Mientras que en una presentación de baile o danza, la iluminación de todo el cuerpo es de principal importancia. En la Fig.II.02, se presentan proyecciones distintas de iluminación en el escenario.

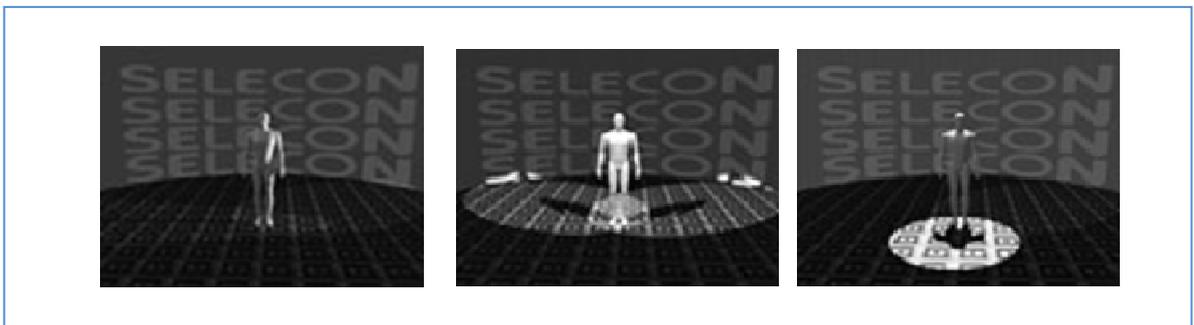


Fig.II.07 Iluminación de un escenario

Por otra parte es inevitable considerar que la luz impone algún grado de selectividad en la visión de la audiencia. Así, su influencia puede ser mínima o puede jugar un papel importante, en la medida que la imaginación visual de la audiencia sea usada para asistir

³ Reid, 1998

a los actores para comunicar el trabajo de los escritores y compositores⁴. Con el prendido y apagado de luces o con movimientos continuos de rayos de luz, la concentración de la audiencia es dirigida hacia diferentes áreas del escenario y de un actor a otro. Estos movimientos deben ser tan sutiles que no lastimen la visibilidad de la audiencia y al mismo tiempo, deben ser tan fuertes que dirijan los ojos de los espectadores hacia las áreas deseadas, es decir, las luces actúan como controles de movimiento.



Fig. II.08. Diferentes proyecciones de la luz en un escenario: a) la proyección de la luz se centra en los rasgos faciales de los actores. b) la proyección de la luz se centra en todo el cuerpo

2.2. Iluminación de escenarios

La función principal de la iluminación teatral es garantizar que el cuadro del escenario resulta visible: no obstante, el modo en que se ilumine el escenario tendrá un efecto de gran importancia sobre la forma en que el público perciba el escenario y, por tanto, el espectáculo. Una vez se ha satisfecho el objetivo básico de la visibilidad, el objetivo del diseñador de iluminación radica en reforzar el efecto dramático global de la producción.

⁴ Reid, 1998.

Las cuatro funciones generales de la iluminación de escenarios son: visibilidad, motivación, composición y atmósfera.

Visibilidad: La función de ofrecer visibilidad no requiere demasiadas explicaciones, excepto apuntar que implica asimismo mantener en oscuridad partes del escenario que no deban verse.

Motivación: Una parte del trabajo del diseñador de iluminación consiste en hacer que la luz parezca natural para el escenario concreto; por ejemplo, en una escena interior nocturna y realista la luz debería parecer venir de los candelabros, las lámparas o los practicables del escenario. Esta motivación debe mantenerse aunque el decorado no sea realista. En este tipo de producciones, la luz debe ser apropiada para el contexto de la obra.

Composición: Esta función de la iluminación también forma parte del diseño escénico. La composición consiste en el intento del Diseñador de Iluminación de mejorar las posibilidades ofrecidas por el Diseñador Escénico y que el Director ha proporcionado en la puesta en escena. Dicho de otro modo, iluminar los actores y el decorado de forma proporcionada y en los lugares y momentos necesarios.

Atmósfera: A pesar de ser una función independiente, la optimización de la atmósfera también forma parte de las otras tres funciones. La composición, motivación, cantidad de luz y tipo de visibilidad afectarán a la atmósfera de una producción.

Al satisfacer las cuatro funciones de la iluminación de escenarios, el Diseñador trabaja con cuatro propiedades manipulables básicas de la luz: la intensidad, el color, la distribución y el movimiento.

Intensidad: Se refiere simplemente al brillo de la luz.

Distribución: No solo incluye la forma en que se distribuye la luz en torno al escenario, sino también la dirección desde la que la luz accede al mismo.

Color: Aunque el color puede modificarse fácilmente con tan solo colocar un trozo de plástico de color en el haz, el uso eficaz del color constituye uno de los aspectos más estimulante de la iluminación espectacular.

Movimiento: Implica el movimiento físico de un haz de luz o un cambio en cualquiera de los otros tres factores.

Aunque existe toda una serie de formas de iluminar el escenario, todas ellas se basan en los principios generales de la iluminación:

- Debe haber suficiente luz para percibir el color, la textura y cierto nivel de detalle
- La luz debe ser tan direccional como sea necesario para percibir las formas
- Los objetos de mayor interés deben diferenciarse claramente y ser algo más brillantes que el fondo sobre el que se vean.

Normalmente, los diseñadores de iluminación tratan la iluminación de actores de forma independiente a la del decorado. El actor es el centro de interés. Incluso en escenas

trágicas o de elevado dramatismo, el actor debería diferenciarse del fondo, de forma que todos los aspectos de su forma sean visibles con total claridad.

A fin de garantizar una buena iluminación del actor, la mayor parte de la iluminación se diseña como un grupo de zonas de actuación. Las luminarias que iluminan la zona de iluminación se distribuyen para conseguir la visibilidad deseada, revelar de forma adecuada la forma del actor y garantizar que éste aparece de forma independiente y diferenciada del fondo escénico.

Cada zona puede iluminarse mediante una combinación de:⁵

Luces cenitales: Denominadas iluminación central o luminarias de base. Proceden de las partes superior y delantera, con un ángulo aproximado de 45°.

Luz de relleno: Desde la parte delantera, luces para ojos y dientes. Hace que los objetos parezcan planos.

Luces oblicuas: Utilizadas para esculpir el cuerpo. Se utilizan sobre todo en danzas o musicales. Las luces oblicuas altas se colocan en barras de iluminación, escaleras o pértigas. Las luces oblicuas bajas suelen colocarse en el suelo.

Iluminación trasera: Desde arriba y la parte trasera. Otorga dimensión a los objetos. Puede cerrarse su ángulo desde el lateral para proporcionar motivación u obtener efectos de sombras de color sobre el suelo del escenario.

Iluminación del actor: Normalmente se realiza con dos o más luminarias para cada zona, desde la parte delantera. La visibilidad es el objetivo principal.

⁵ BROWN, Blain. Motion Picture and Video Lighting. Londres: Focal Press, Boston, 1992. pág. 1.

2.3. Instrumentos de iluminación

En la actualidad existe una gran variedad de instrumentos de iluminación utilizados en la industria del espectáculo llamados luminarias, las cuales tienen cuatro parámetros estáticos controlables que son: el color, la intensidad, la distribución y el movimiento, estos parámetros permiten al diseñador controlar las emisiones de las fuentes para crear el ambiente visual, emocional y temático de la escena.

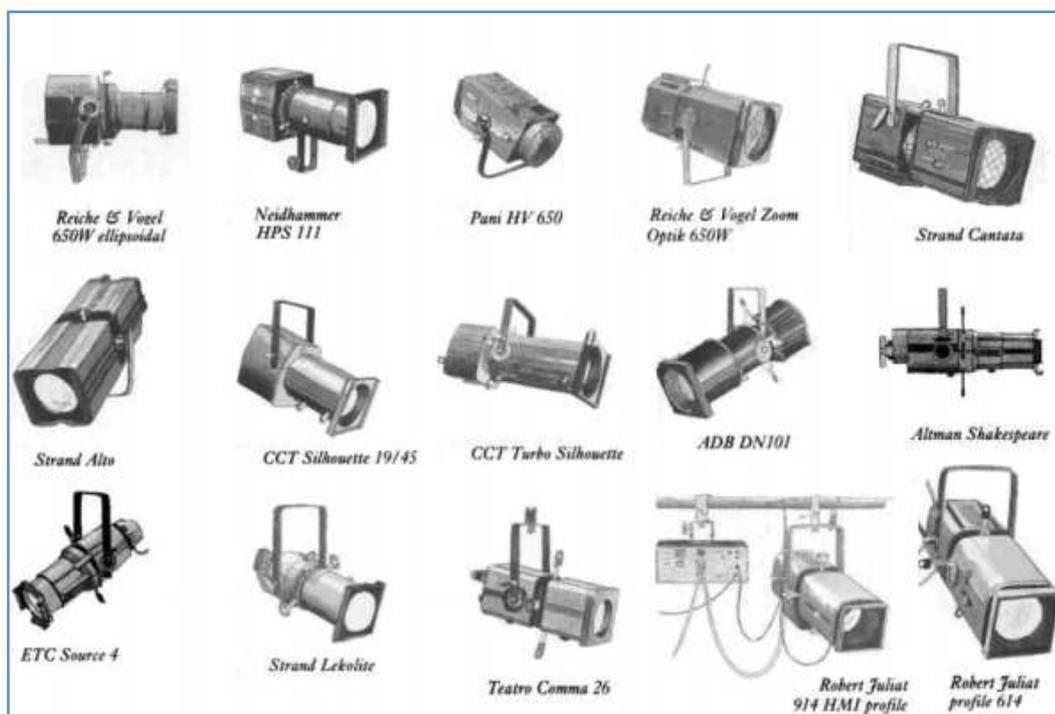


Fig.II.09 Instrumentos de iluminación.

También existen instrumentos de iluminación sofisticados llamados luces inteligentes, que incluyen además de los parámetros estáticos, algunos otros atributos tales como: *la selección y rotación de gobos, paneo (movimiento vertical) y tildeo (movimiento horizontal), focos, cambios de color, rayos y otros efectos especiales*. Estas funciones dependen del modelo de luces y del fabricante; en la Fig. II.09, se muestran solo algunos de los diferentes modelos de instrumentos de iluminación que existen en el

mercado, la gran mayoría de ellos se construyen sobre la base de las lámparas de tungsteno, por tener buenas características para reflejar la luz y para regular su intensidad⁶.

En la iluminación de escenarios son usados diferentes sistemas de iluminación para producir los niveles adecuados, contándose generalmente con tres categorías de iluminación:⁷

- **Iluminación suave:** Esta consiste en iluminación difusa con niveles no definidos, se utiliza esta para definir efectos de sombra.
- **Iluminación Intermedia:** Esta clase de iluminación posee niveles definidos, se utiliza solo para producir efectos de sombra en los bordes o márgenes del escenario.
- **Iluminación Fuerte:** Es utilizada para producir efectos de sombra de figuras geométricas bien marcadas.

A continuación se definen los principales sistemas de iluminación para escenarios:

Proyector Tipo Fresnel

Los proyectores de este tipo, son luminarias compuestas por un reflector del tipo esférico detrás de la lámpara, un lente tipo Fresnel y generalmente es equipado con un reflector del tipo esférico detrás de la lámpara y la lente, esta acción es determinada por el enfoque que se desee.

Los proyectores de tipo Fresnel son diseñados en un número de configuraciones relacionado con el vatiaje, tamaño del lente y el tipo de contenedor. Los lentes varían

⁶ Reid, 1998.

⁷ Fernandez Luis, Técnicas y Aplicaciones de la Iluminación, 2005

desde 3'' a 24'', rangos de vatiaje de 75 a 10 000 vatios. Algunos tipos de proyectores Fresnel son equipados con lámparas de dos filamentos e interruptores que permiten una unión entre por ejemplo 2 ½ a 5 Kilovatios. Mecánicamente los proyectores Fresnel pueden ser controlados manualmente o por mecanismo automático.

Proyectores Elipsoidales

El proyector elipsoidal produce un agudo y bien definido haz de luz controlado dentro de niveles establecidos. El haz de luz puede tomar una forma y color definido insertando un patrón en la abertura de haz y enfoque, para producir una imagen aguda o dura mediante el ajuste de lentes.

Algunos de los proyectores elipsoidales son equipados con juegos duales de obturadores unos que producen bordes duros y los otros para alguna condición fijada. Correctamente ajustados, estos obturadores duales proyectan un haz de iluminación con más dureza o suavidad del borde.

2.4. Tipos de lámparas

Las dos grandes fuentes de luz existentes actualmente son las incandescentes (luz producida por termo-radiación) y las de descarga (luz producida por luminiscencia) las lámparas que funcionan por incandescencia se conectan directamente a la red eléctrica, sin necesidad de equipos auxiliares de conexión o encendido.⁸

⁸ Westing House, Iluminación Artificial, 2007

Las lámparas de descarga tienen una característica de resistencia negativa, es decir, que disminuye a medida que aumenta la corriente que circula por ella. Debido a esto, es necesario un elemento limitador de dicha corriente de arco para su conexión a la red.

De igual manera algunas lámparas de descarga necesitan para su encendido tensiones superiores a la de la red, por lo que necesitan equipos arrancadores que suministren ese pico de tensión para el encendido.

Los tipos de lámparas utilizadas actualmente pueden clasificarse de la siguiente manera:

- Lámparas Incandescentes
 - Par
 - Reflectoras
 - Halógenas
- Lámparas de Descarga
 - Fluorescentes convencionales
 - Fluorescentes especiales
- Vapor de Mercurio de alta Presión
 - Halogenuros metálicos
- Especiales
 - Neón
 - Xenón

A continuación se describen las más importantes:

Lámparas Incandescentes Par

Las lámparas generan luz como consecuencia del paso de corriente a través de un filamento conductor de modo que su temperatura se eleva dando origen a la emisión por termo-radiación. Gran parte de la energía eléctrica absorbida por ella se pierde en calor lo que da lugar a una eficiencia luminosa muy reducida.

Funcionan a cualquier tensión de la red, aunque lógicamente sólo ofrecen sus prestaciones nominales cuando se conectan a tensión nominal. No precisan de equipos auxiliares, ni para el encendido ni durante su funcionamiento, tanto el encendido como el reencendido son instantáneos. Presentan una sobre intensidad de encendido del orden de 10 – 15 veces la intensidad nominal, en relación de la diferencia de resistividad del tungsteno en frío y en caliente. Sin embargo, esta sobre intensidad es prácticamente instantánea y no suele considerarse a efectos de sobre dimensionamiento del circuito de alimentación.⁹

EL filamento que tienen en su interior es fabricado de tungsteno, tiene un punto de fusión de 3653 grados Kelvin, sin embargo, su temperatura de funcionamiento es bastante más reducida, generalmente inferior a 3000° K, para asegurar una duración adecuada. El factor que condiciona la duración del filamento es la evaporación que se produce degradando sus condiciones iniciales, además el tungsteno volatilizado se deposita sobre pared interna de la ampolla ennegreciéndola, lo que reduce el flujo luminoso emitido.

El filamento es formado de un hilo en espiral y de doble espiral con el fin de incrementar la superficie de radiación.

⁹ Illuminating Engineering Society, Lighting Handbook, 2000

Lámparas con Reflector

El reflector puede ser normal o dicróico, es decir, refleja la luz y la radiación infrarroja hacia la parte superior de la lámpara. Las características de las lámparas reflectoras varían según el ángulo de apertura del haz y generalmente los valores del flujo luminoso se refieren al flujo emitido dentro del ángulo de media proyección (ángulo de apertura), siendo el dato más significativo en estos casos.

Lámparas Incandescentes de Tungsteno – Halógenas

Esencialmente, son lámparas incandescentes que contienen un aditivo de halógeno o compuesto halogenado, generalmente yodo. La acción del compuesto consiste en combinarse con el tungsteno vaporizado del filamento en las proximidades de la ampolla, a temperaturas superiores de 250°C, formando un yoduro de tungsteno, que se distancia al aproximarse al filamento.

Esta doble reacción química tiene un triple efecto restaurador:

- Retorno del tungsteno vaporizado al filamento.
- Limpieza interior de la ampolla al evitar el depósito de partículas de tungsteno.
- Incremento de la duración de la lámpara.

El filamento trabaja a mayor temperatura que en las lámparas convencionales, lo que se traduce en una mayor emisión de luminosidad, con una mejora sustancial de la eficacia y una mayor temperatura de color.

Lámparas de Halogenuros Metálicos

Son lámparas derivadas de las de vapor de mercurio de alta presión, en las que el tubo de descarga contiene diversos aditivos metálicos, generalmente en forma de yoduros, de modo que las líneas de emisión de estos metales cubran las zonas apropiadas del espectro visible, con el objetivo de potenciar la eficiencia luminosa, el rendimiento de color o ambas características simultáneamente.

Los elementos utilizados son tales como disprosio, galio, indio, escandio, sodio, talio, torio y otros, combinados con el halógeno (yodo) dado que la mayoría de estos metales en estado libre atacan el cuarzo del tubo de descarga. Así, el halógeno experimenta un ciclo similar al descrito en las lámparas halógenas, de modo que en las descargas se produce vaporización del halógeno: el vapor penetra en la región del arco cuya temperatura 6000° K es suficiente para separar el metal del yodo.

Lámparas de Xenón

Las lámparas de xenón de alta presión son también lámparas de descarga de gas. El recipiente donde se produce la descarga es de cristal de cuarzo, lleno de gas noble xenón a la presión de algunas atmósferas. Las lámparas de xenón de arco corto se alimentan generalmente con tensión continua, para el encendido es necesario un aparato especial de alta frecuencia.

Estas lámparas se diferencian de otras, como por ejemplo las de vapor de mercurio a alta presión por:

- Un gradiente de tensión más débil a la misma presión lo que trae como consecuencia una corriente más elevada.

- Un espectro más continuo y completo cercano a la del cuerpo negro a 5000 - 6000° K (apariencia de luz del día) con emisiones en ultravioleta e infrarrojo.
- Están rellenas únicamente de xenón que permite una eficacia luminosa elevada.
- Su encendido es instantáneo, emitiendo desde el primer momento su flujo luminoso, lo cual exige una tensión de arranque muy elevada (10 – 40 Kv) que se consigue mediante equipos auxiliares especiales.

La cantidad de luminarias necesarias en un escenario varía en función directa con el tamaño del mismo y con el tipo de la atmósfera y textura que se desea recrear. Cada una de estas luces tiene una función especial en la escena y por lo tanto debe prenderse con la intensidad adecuada y en el momento preciso, de no ser así, se deteriora la participación de los actores, e inclusive se podría generar confusión entre los mismos quienes estarían expuestos a juegos aleatorios de luces y sombras, sin ningún significado temático

Para controlar la visibilidad en todas las partes del escenario, se colocan luces individuales en puntos estratégicos del mismo, como se muestra en la figura II.10. Anteriormente había un operador para cada posición, pero se necesitaban muchos operarios y constantemente se producían errores humanos. Cada lámpara o grupo de lámparas se controlaba por separado ya que se necesitaba balancear la iluminación para dar la vista global, requerida en la escena¹⁰.

¹⁰ Kopel et al, 2000.

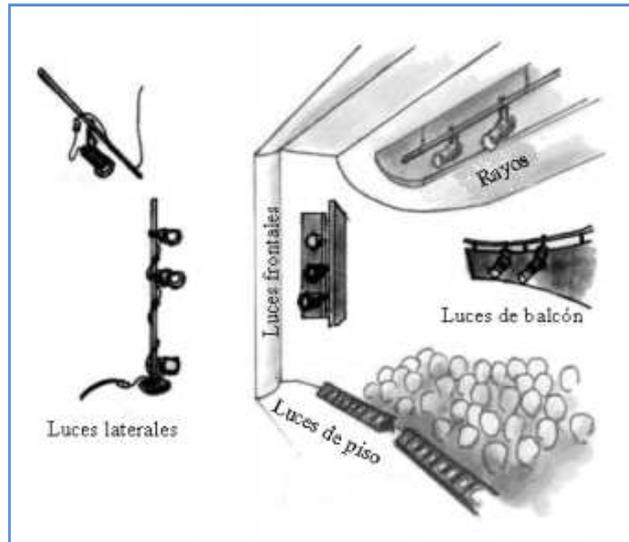


Fig.II.10 Posición de luces en escenarios.

2.5. Roboscan Pro 518

El Roboscan Pro 518 es un proyector de iluminación inteligente de alto funcionamiento, el cual presenta las siguientes características:

- Lámpara de descarga de larga vida de 200 Watt -Philips MSD 200.
- 17 colores dicroicos más blanco (combinable con filtro modificador de temperatura color, para otras 17 tonalidades)
- 5 gobos rotativos.
- Movimiento de paneo y cabeceo con precisión de micropaso.
- Dimerización de 0 a 100%.
- Obturador de alta velocidad para black out instantáneo y stroboscópico rápido.
- Prisma de tres facetas, filtro frost y modificador de temperatura color.
- Rotación continua de la rueda de colores en ambas direcciones.

- Control de velocidad variable y seguimiento en todas las funciones (dependiendo del protocolo).
- Mezcla de colores.
- Óptica de precisión con foco ajustable.
- Puede ser controlado vía Martin o usando un controlador DMX 512.
- Programas incorporados, o seguimientos aleatorios por avance, con o sin audio.
- Factor de potencia corregido, para permitir un bajo consumo de corriente.
- Ventilador refrigerante y protección al recalentamiento.
- Velocidad del ventilador reducible vía controlador, cuando se necesite un funcionamiento con bajo ruido.



Fig. II.11 Robo Scan Pro 518

El Robo Scan Pro 518 puede soportar varios modos de funcionamiento además de que soporta el protocolo DMX 512, cada modo se describe a continuación:

Funcionamiento Del Equipo Sin Un Controlador (Stand Alone)

El Roboscan PRO 518 ahora puede manejarse en el modo llamado Stand Alone (Por sí solo), lo que significa que el Roboscan ejecutará una secuencia aleatoria por sí solo, de acuerdo con el siguiente procedimiento:

- 1 Usar el interruptor-DIP, localizado en la parte inferior del frente del aparato, para seleccionar una secuencia (programa) a ejecutarse en el modo Stand Alone.

La siguiente tabla muestra los diferentes interruptores-DIP, seteados para secuencias ejecutables por sí solas. Las secuencias descritas como “disparo de música” (music trig), usarán el ritmo de la música tomado de un micrófono incorporado, para accionar la secuencia. Las secuencias descritas como “auto disparo” (auto trig) correrán a una velocidad pre-seteada, usando una fuente de disparo interno.
- 2 Encender el aparato, el que entonces ejecutará la secuencia elegida.

Tabla II.I Seteo de Secuencias Aleatorias Robo Scan Pro 518

Descripción	Pin (s) encendido (s) [ON]
Auto-detectar Protocolo (DMX 512/Martin Rs-485)	Todos los pins encendidos
Autodisparo aleatorio con amplitud	2,10
Disparo aleatorio por audio con amplitud	1,2,10
Autodisparo aleatorio concentrado	2,3,10
Disparo aleatorio por audio concentrado	1,2,3,10
Encendido de lámpara	8, 10
Apagado de lámpara	7,10
Ajuste de secuencia (para servicio de mantenimiento solamente)	(1),5,10
Ajuste de secuencia (para servicio de mantenimiento solamente)	(1),2,5,10
L.E.D. Seguimiento de autodisparo (para servicio de mantenimiento solamente)	4,10
L.E.D. Seguimiento de disparo por audio (para servicio de mantenimiento solamente)	1,4,10

FUENTE: www.martinpro.com.ar - Martin Professional Argentina S.A.

Funcionamiento A Través De Un Controlador De Iluminación

El Roboscan PRO 518 acepta dos diferentes protocolos -Martin RS 485 y DMX 512. Todas las instrucciones van desde el controlador, a través de un cable estándar balanceado de micrófono, a la ficha de entrada de información (3 pines macho XLR) del Roboscan. La ficha de salida (3 pines hembra XLR) del Roboscan permite establecer un enlace de información en serie con más aparatos.

Las siguientes instrucciones describen cómo establecer un apropiado enlace de información en serie:

- 1 Conectar la ficha de salida de información del controlador a la ficha de entrada de información del Roboscan 518. Si se está operando con un controlador de iluminación Martin, usar entonces el cable XLR-XLR/DSUB-XLB. Caso contrario, usar un cable a fin con su controlador DMX 512 y el Roboscan Pro 518. Debe ser un cable adaptable de 5 a 3 pines XLR.
Tener en cuenta que los cables (+) y (-) cambian de la salida DMX a la entrada del Roboscan Pro 518.
- 2 Si se está usando solamente un Roboscan Pro 518, insertar la ficha terminal XLR en el enchufe de salida libre del Roboscan. Si se está usando un controlador Martin, insertar entonces la ficha terminal (120 Ohm Macho-XLR). Caso contrario usar una ficha terminal, como se especifica en el manual del controlador DMX.
- 3 Si se está usando más de un aparato de iluminación con el controlador, conectar la ficha de salida de información de cada aparato, a la ficha de entrada del aparato siguiente, usando cables XLR-XLR. El orden en que los aparatos son

conectados no es importante, y no tiene influencia alguna sobre los canales, por lo que al controlador se refiere. Usar un orden cuyo recorrido del cable resulte el más corto y fácil. Para asegurar una apropiada transmisión en el enlace de la información, es muy importante insertar la ficha terminal XLR en el último aparato del enlace.

- 4 Usar el interruptor DIP para seleccionar el controlador deseado para el o los canales, en cada uno de los Roboscans. Asegurarse de que ninguno de los Roboscans esté en modo Stand Alone (aleatorio).
- 5 Encender y configurar el controlador. Luego encender los Roboscans.
- 6 Se ejecutará un corto arranque y rutina de testeo, y los Roboscans esperarán recibir la información transmitida desde el controlador.
- 7 Se podrá entonces comenzar a operar los Roboscans. Tan pronto como los aparatos reciban la información del controlador, podrán determinar si el lenguaje que está siendo enviado es de un controlador Martin o de un controlador DMX. Es posible reactivar la función de auto detector de protocolo, encendiendo todos los interruptores DIP, y luego seleccionar nuevamente la dirección.

Adaptación de un cable XLR de 5 a 3 pines

Es posible insertar otros aparatos DMX (con 5 pines XLR entrada y salida) al enlace. En ese caso se necesitará un cable que se adapte desde la ficha de salida 3 pines hembra del aparato Martin, a la ficha de entrada 5 pines al siguiente aparato DMX. Este cable se muestra con el número 2 en las siguientes tablas.

Tabla II.II Cable de 5 pines XLR a 3 pines XLR

Descripción	5 Pines Macho XLR (Salida)	3 Pines Hembra XLR (Entrada)
A tierra (pantalla)	1	1
Signo (-)	2	3
Signo (+)	3	2
No usado	4	
No usado	5	

FUENTE: www.martinpro.com.ar - Martin Professional Argentina S.A.

Esta tabla muestra las conexiones apropiadas para los adaptadores de 5 a 3 pines XLR

Tabla II.III Cable de 3 pines XLR a 5 pines XLR

Descripción	5 Pines Macho XLR (Salida)	3 Pines Hembra XLR (Entrada)
A tierra (pantalla)	1	1
Signo (-)	3	2
Signo (+)	2	3
No usado		4
No usado		5

FUENTE: www.martinpro.com.ar - Martin Professional Argentina S.A.

Esta tabla muestra las conexiones apropiadas para los adaptadores de 3 a 5 pines XLR

Seteo de una dirección DMX

El interruptor DIP localizado en la parte inferior del frente del aparato, permite setear el primer canal DMX, entre 1 y 551, al cual el Roboscan responderá desde el controlador. Tener en cuenta que el Roboscan necesita 7 canales DMX cuando el modo 1 se encuentra seleccionado y 9 canales DMX si se selecciona el modo 2 o 3. se puede cambiar entre los 3 modos a través de un jumper en la PCB, ubicado dentro del Roboscan Pro 518. El procedimiento se detalla más adelante.

El jumper viene configurado en el modo 3 DMX por defecto (16 bits en paneo y cabeceo). Setear el interruptor DIP al canal 1, significa que el Roboscan usará los números de canales DMX 1 al 9 para operar en el modo 3 DMX. Los ramales del canal DMX listados en el protocolo, son agregados al canal del interruptor DIP. El número del canal se selecciona encendiendo uno o más de los pines interruptores DIP.

A cada pin que se encienda se le asignará un valor escrito en el interruptor DIP, ubicado debajo del mismo. Estos valores se listan en la siguiente tabla.

Tabla II.IV. Valores Interruptores DIP

Nº PIN	VALOR
1	1
2	2
3	4
4	8
5	16
6	32
7	64
8	128
9	256
10	Siempre apagado para setear dirección

FUENTE: Martin Professional Argentina S.A.
www.martinpro.com.ar

A los pines apagados se les asignará el valor 0. El número de canal se determina entonces agregando los valores desde el pin 1 al 9. Tener en cuenta que el pin 10 debe estar apagado para poder setear la dirección del equipo.

Por ejemplo si deseáramos setear la dirección 198, deberíamos mantener encendidos los pines 2, 3, 7 y 8.

$$\mathbf{DMX= 0+2+4+0+0+0+64+128+0=198}$$

Significado de Modos y canales DMX

Tabla II.V Modos de configuración DMX

MODO	REQUISITOS DMX	UBICACIÓN DEL JUMPER
Modo 1 8 bits Pan/Tilt	7 canales	Sin jumper
Modo 2 8 bits Pan/Tilt	9 canales	Jumper pines 5 y 6
Modo 3 16 bits Pan/Tilt	9 canales	Jumper pines 4 y 5

FUENTE: Martin Professional Argentina S.A. - www.martinpro.com.ar

Tabla II.VI Descripciones de canales DMX

Ramal canal DMX	Valores DMX	Efecto
1	0-10 11-138 139-170 171-202 203-235 236-255	Obturador/Flash/Aleación/Reseteo del Aparato Default Flash Rápido→Lento Autodisparo remoto aleatorio Disparo por audio remoto aleatorio Reseteo del aparato Encendido de lámpara
2	0-10 11-168 169-255	Dimmer (Regulador) Dimmer encendido al máximo (sin luz) Dimmer (Encendido→Apagado) Dimmer apagado total (Luz)
3	0-3 4-7 8-11 12-15 16-19 20-23 24-27 28-31 32-35 36-39 40-43 44-47 48-51 52-55 56-59 60-63 64-67 68-71	Color Blanco Blanco/Rosa Rosa Rosa – Magenta Magenta Magenta/Rojo Primario Rojo Primario Rojo Primario/Rojo Fuego Rojo Fuego Rojo fuego/Naranja Oscuro Naranja Oscuro Naranja Oscuro/Naranja Naranja Naranja/Amarillo Amarillo Amarillo/Verde Claro Verde Claro Verde Claro/Verde Helecho

	72-75 76-79 80-83 84-87 88-91 92-95 96-99 100-103 104-107 108-111 112-115 116-119 120-123 124-127 128-131 132-135 136-139 140-197 198-255	Verde Helecho Verde Helecho/Verde Turquesa Turquesa Turquesa/Cyan Cyan Cyan/Azul Claro Azul Claro Azul Claro/Lavanda Oscuro Lavanda Oscuro Lavanda Oscuro/Azul Oscuro Azul Oscuro Azul Oscuro/Paso UV Paso UV Paso UV/Multicolor 1 Multicolor 1 Multicolor 1/Multicolor 2 Multicolor 2 Rotación cont.CW Rápida→Lenta Rotación cont.CCW Lenta→Rápida
4	0 1-24 25-27 28-51 52-75 76-78 79-102 103-126 127-129 130-153 154-177 178-180 181-204 205-228 229-231 232-255	Gobo rotativo Abierto Gobo 1, Rot.CW, Rápido-.Lento Gobo 1, No Rot. Gobo 1, Rot.CCW, Lento->Rápido Gobo 2, Rot.CW, Rápido-> Lento Gobo 2, No Rot. Gobo 2, Rot.CCW, Lento->Rápido Gobo 3, Rot.CW, Rápido ->Lento Gobo 3, No Rot. Gobo 3, Rot.CCW, Lento->Rápido Gobo 4, Rot.CW, Rápido ->Lento Gobo 4, No Rot. Gobo 4, Rot.CCW, Lento->Rápido Gobo 5, Rot.CW, Rápido->Lento Gobo 5, No Rot. Gobo 5, Rot.CCW, Lento->Rápido
5	0-63 64-127 128-191 192-255	Efecto Rueda Abierto Modificador de color 5500-3400K Congelado 3 Prismas facetados
MODO 1 Y 2 SOLAMENTE		
6	0 127 255	Paneo Máximo hacia izquierda Neutro Máximo hacia derecha
7	0	Cabeceo (Tilt) Máximo hacia arriba

	127 255	Neutro Máximo hacia abajo
MODO 2 SOLAMENTE		
8	0 1-250 251-255	Velocidad de Movimiento de Paneo/cabeceo Tracking Velocidad (rápido -> lento) Black-out mientras cambia
9	0-251 252-255	Velocidad de Dimmer/Color Velocidad rápido -> lento Black-out mientras cambia
	0-255	Velocidad de dimmer (regulador) Velocidad rápido-> lento
MODO 3 SOLAMENTE		
6	0 127 255	Paneo MSB Máximo a izquierda Neutro Máximo a derecha
7	0 127 255	Paneo LSB Máximo hacia arriba Neutro Máximo hacia abajo
8	0 127 255	Cabeceo (Tilt) MSB Máximo hacia arriba Neutro Máximo hacia abajo
9	0 127 255	Cabeceo (Tilt) LSB Máximo hacia arriba Neutro Máximo hacia abajo

FUENTE: Martin Professional Argentina S.A. - www.martinpro.com.ar

Tabla II.VII Especificaciones Técnicas

Dimensiones	
Altura sin montaje del soporte	185 mm (7.3")
Altura con montaje del soporte	321 mm (12.6")
Largo	560 mm (22.0")
Ancho	281 mm (11.1")
Peso	14 Kg (31 lb)
Consumo de energía y corriente	
Modelo EU	280 W, 1.4 A a 230 V /50 Hz
Modelo US	280 W, 2.8 A a 120 V/60 Hz
Voltaje y frecuencia AC	
Modelo EU:	210 V a 260 V, 50 Hz
Modelo US:	95 V a 125 V, 50 Hz/60 Hz
Fusible	
Modelo EU:	T 3.15 A
Modelo US:	T 6.3 A
Tipo de lámpara:	Philips MSD 200 W
Ángulo haz de luz estándar	12.5 grados
Ángulo haz de luz-módulo ancho	17 grados

FUENTE: Martin Professional Argentina S.A. - www.martinpro.com.ar

2.6. Consolas de iluminación

Una consola de iluminación es un dispositivo electrónico usado para controlar varias luces a la vez, en teatros, clubes, discotecas, auditorios, museos, etc. Muchas de las consolas modernas incluyen comandos específicos para controlar luces automáticas (es decir, luces que se mueven y cambian de color), máquinas de niebla y otros dispositivos de efectos especiales. Las consolas varían en tamaño, precio y complejidad, que van desde un pequeño tablero programado hasta consolas sofisticadas que mueven luces de diferentes colores. Sin embargo, el propósito de todas ellas es el mismo: *Consolidar un sistema de control de luces organizado y de fácil uso, de tal manera que el diseñador de*

la iluminación se pueda concentrar en producir un buen espectáculo. El protocolo de comunicación más ampliamente utilizado en la industria del entretenimiento en la actualidad es DMX-512.

Tipos de consolas de iluminación

En la actualidad existen diferentes tipos de consolas y métodos de trabajo que sería imposible describirlas a todas ellas, sin embargo las consolas pueden clasificarse en cuatro grandes grupos: consolas de control programado de dos escenas (*preset board*), consolas de memoria, consolas computarizadas también conocidas como controladores basados en PC y controladores de movimiento de luz¹¹.

A continuación se describe de manera breve cada uno de estos tipos de consolas:

- **Consolas de control programado de dos escenas**

Es el tipo de consolas más básico de consolas de iluminación e introducen el concepto de pre-programación de las luces del escenario. Cada canal tiene dos conjuntos de controles (slider). El conjunto A se usa para poner la primera escena y el conjunto B es usado para poner la segunda escena. Moviendo el control maestro A hasta el 100% se establece la escena 1. Cuando la escena 2 es requerida el control maestro B se mueve hasta el 100% y el control A es atenuado hasta cero; es decir, una escena se está programando mientras que otra se está controlando las luces de la escena en ese momento y así sucesivamente.

En este tipo de consolas el operador desconoce el efecto de las operaciones en los controles A o B, por lo cual la iluminación de las escenas debe ensayarse

¹¹ Huntington,2000.

previamente. Un ejemplo de este tipo de consola se muestra en la Fig.II.12; en ella se observa la consola *Preset 11* de la firma *Artistic License*, la cual se puede usar también como una consola de 24 canales. El Preset A es la salida de los canales DMX 11 a 24 y el Preset B es la salida de los canales DMX 25 a 36; el máster fader determina el nivel de salida de los canales DMX 13 a 36. La consola Preset 12 se alimenta con voltaje de 9v de corriente continua (9 VDC)

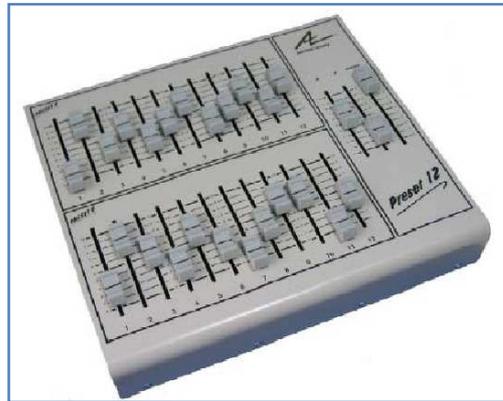


Fig. II.12 Consola Preset 11 de la firma Artistic License

- **Consolas de memoria**

Las consolas de iluminación de memoria se utilizan ampliamente en instalaciones grandes y en teatros, preferente en producciones donde las escenas no cambian de un espectáculo a otro, tales como obras de teatro, ya que las escenas son diseñadas digitalmente, así que es menor la probabilidad de error humano y se requiere menos tiempo para producir el mismo resultado entre las secuencias de luces (o cues). Estas consolas han reemplazado a las consolas de control programado. Muchas de las consolas de memoria tienen un banco de

*faders*¹² frecuentemente llamados submaster, los cuales se pueden programar para controlar un canal o múltiples canales.

Un canal es un número o nombre que el diseñador utiliza para referirse a los dimmers o grupos de dimmers. Algunas de las consolas con memoria más sofisticadas, pueden usar a los submaster para controlar los efectos especiales y movimiento de las luces. Las consolas con memoria están diseñadas con un microcontrolador o microprocesador, obteniendo de esta manera los siguientes beneficios:

- La posibilidad de tener un software de operación en lenguaje de alto nivel; que en muchas ocasiones permite la introducción de nuevas características del producto de una manera muy versátil.
- La habilidad de respaldar datos del show en dispositivos de almacenamiento externo y desplegar el estado de iluminación sobre pantallas estándar.

Las consolas de memoria son computadoras personales con un teclado alfanumérico estándar, en donde todos los datos y la información operativa se introducen por medio del teclado. Estas consolas están disponibles en un amplio rango de tamaños con diferentes sistemas operativos. Si las instalaciones de iluminación inteligente se programan en una consola de memoria, el operador únicamente tiene que preocuparse por controlar la intensidad de la luz en los dimmers, sin embargo, no debemos olvidar que cada luz tiene un número

¹² Fader: Botón deslizante.

diferente de atributos que necesitan ser coordinados por la consola con la habilidad del operador¹³.



Fig. II.13 Consola de memoria

- **Consolas computarizadas**

Las consolas computarizadas son relativamente nuevas y se basan en una combinación de Hw (computadora personal, PC) y Sw para poder controlar la secuencia de luces; son excelentes para controlar eventos bien definidos de naturaleza secuencial como las producciones teatrales o eventos corporativos. Cada secuencia se pre programa y se almacena con el tiempo límite de transmisión para la siguiente secuencia y así sucesivamente todas las secuencias, de esta manera la iluminación del evento se ejecuta exactamente igual cada noche, permitiendo al operador y al director del escenario ejecutar la secuencia de luces en los momentos y puntos apropiados una y otra vez.

¹³ Simpson, 2003.

Estas consolas generalmente cuentan con algunos controles manuales para funciones de fading (desvanecimiento de luces) de tal manera que el operador puede manipular la intensidad de las luces en la escena¹⁴.

Los dimmers, las instalaciones automatizadas de luces y otros dispositivos de iluminación generalmente no tiene interfaces estándar para computadoras, en su lugar se utilizan conectores seriales del tipo USB, puertos serie e inclusive puertos paralelos para conectarse a dispositivos llamados controladores DMZ-512 y paneles de sub-maestros a la computadora; de esta manera el sistema permite construir sistemas de iluminación adecuados para el presupuesto y necesidades del usuario final con posibilidades de incrementar el número de salidas DMX o adicionar paneles de control de iluminación.

- **Controladores de movimiento de luces**

Los controladores de movimiento de luz representan una modalidad sofisticada de las consolas de memoria. Estas son capaces de controlar instalaciones ordinarias de luz hasta instalaciones de luces inteligentes, las cuales tienen más parámetros a controlar que las luces convencionales, estos parámetros incluyen: tildeo, paneo, intensidad, color, obturadores, focos y gobos. los controladores incluyen un arreglo de botones que permiten al operador seleccionar la instalación de luz que se desea controlar y un joystick, o encoders rotacionales para controlar los atributos de las instalaciones tales como la orientación (paneo y tildeo), focos, color, gobos, etc., encontrados en este tipo de luz. Escritorios más avanzados tienen típicamente una o más pantallas tipo touch screen y presentan un GUI.

¹⁴ Simpson, 2003.

CAPITULO III

PROTOCOLOS DE CONTROL DE ILUMINACIÓN

La parte central de toda instalación de iluminación en los escenarios es el sistema de control o consola de iluminación, por medio de ésta se logra la regulación de los dimmers que a su vez regulan la intensidad de las luminarias para obtener un cierto nivel de brillantez y de esta manera producir el efecto visual deseado en el escenario. Todas las consolas estudiadas con anterioridad tienen como función principal la de regular o balancear la intensidad de la luz en diferentes niveles que son determinados por el operador de luces. Por lo que es posible indicar que la consola es un sistema de

control que proporciona una interfaz entre el operador y los dimmers. El estado de cada uno de los dimmers se establece por el operador desde la consola, los dimmers a su vez regulan la intensidad de las luces dando así el efecto deseado en el escenario.

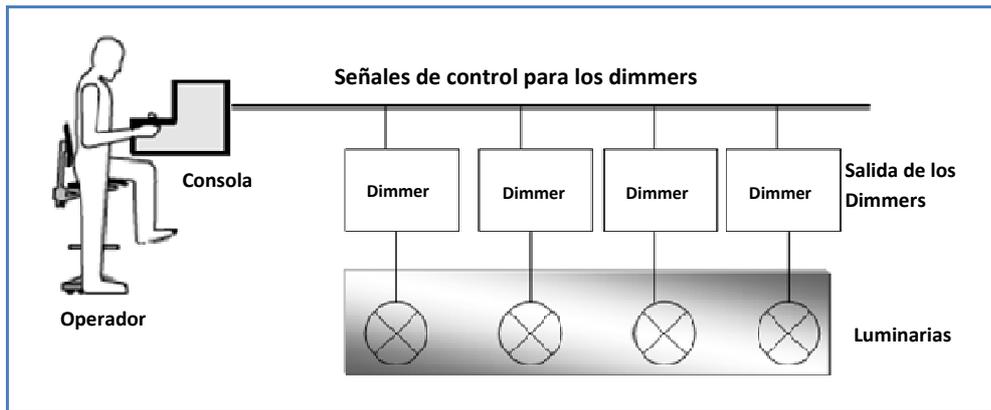


Fig. III.14 Interfaz entre Operador y el Sistema de Iluminación

Existen una gran cantidad de protocolos tanto analógicos como digitales utilizados para la comunicación entre la consola y los dimmers. Los protocolos analógicos casi ya no son utilizados, son llamados controles analógicos lineales y estaban formados por una consola que enviaba voltaje o corriente directa (CD) a cada uno de los dimmers a través de cables, los cuales a su vez proporcionan un voltaje variable a las luminarias. Estos sistemas eran voluminosos, obstaculizantes y costosos, con múltiples cables desde la consola de control hacia los dimmers; ya que cada dimmer necesitaba de un canal. Por ejemplo si se necesitaba controlar 24 dimmers se necesitaba una consola con 24 canales.

Frecuentemente los controles analógicos requerían de adaptadores de cables, debido a los diferentes tipos de contactos y enchufes utilizados por los fabricantes; además era

muy común que las consolas y dimmers analógicos trabajaran a voltajes de control y polaridad diferentes, por lo que era necesario incluir inversores de voltajes y amplificadores para hacerlos compatibles¹⁵.

Debido a todos estos problemas, las compañías de renta de estos equipos apoyaron la investigación de métodos alternativos para controlar las luminarias, que pudieren reducir el tiempo de conexión, la cantidad de equipo necesario y la rentabilidad del sistema. Por lo que a principios de 1980, los fabricantes empezaron a desarrollar sus propias soluciones para reducir el número de cables, de esta manera surgió la idea de utilizar *Protocolos Multiplexados Digitales*, los cuales pueden transmitir señales eléctricas que representan valores numéricos digitales en lugar de niveles de voltaje. En estos protocolos un solo transmisor envía paquetes de valores numéricos para múltiples receptores conectados en una sola línea.

En la actualidad las lámparas se regulan electrónicamente por medio de sistemas modernos de control constituidos por dos partes principales: una “consola” y dimmers. Los dimmers son válvulas de estado sólido que permiten el control de la intensidad de las luces. La consola dispone de uno o más botones deslizantes que se programan en dos puntos diferentes: “establecer” y “desvanecer”. El operador mueve manualmente el deslizador hacia estas dos posiciones dependiendo del efecto de luz que desee realizar. En la Fig. III.15, se muestra el diagrama de bloques de un sistema de control moderno de luces¹⁶.

¹⁵ Simpson, 2003.

¹⁶ Huntington, 2000.

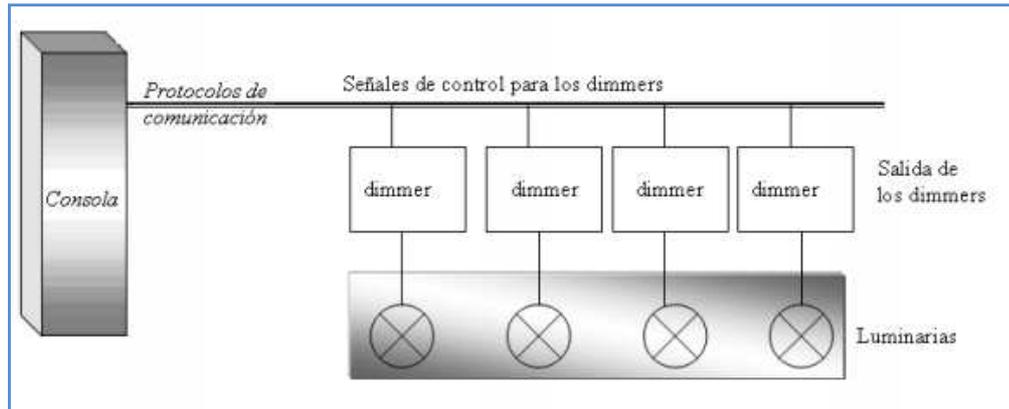


Fig.III.15 Diagrama de bloques de un sistema de control de iluminación

A cada dispositivo de iluminación se le asigna una dirección para realizar el mapeo desde la consola. Cada dirección controla un parámetro de la luminaria, pero los dispositivos con funciones múltiples como las luces inteligentes requieren hasta 20 o más direcciones para realizar este mapeo de parámetros y atributos. Todas las consolas se comunican con los dimmers y con otros dispositivos de iluminación a través del protocolo de comunicación. Estos protocolos o códigos de información se envían a todos los dimmers, de los cuales sólo uno se activa y ejecuta la acción correspondiente. Un buen protocolo de comunicación debe ser capaz de soportar la gran mayoría de funciones de los dispositivos de iluminación. Los dimmers, se colocan en una localidad apartada de las luces por consideraciones ambientales tales como el ruido o la temperatura.

Los modernos dispositivos de iluminación requieren de sistemas de control computarizado para regular a los parámetros estáticos y a los atributos. Muchos proveedores de consolas tienen software o editores “offline” para sus consolas que sirven para programar, almacenar y simular secuencias de luces para eventos. Sin

embargo, los costos de estas consolas se elevan y requieren de un operador o técnico profesional para su operación, lo cual no es redituable para muchos grupos musicales sobre todo de nuestro país. La gran mayoría de estos grupos manipulan las luces casi de forma manual, poniendo en riesgo la vida de los operarios, por las altas corrientes que se manejan, además para cada presentación operadores deben conectar una gran cantidad de carretes de cables gruesos, que en muchas ocasiones sufren torceduras o rotura de pines y distorsionan la señal produciendo prendidos aleatorios de las lámparas.

Sin embargo, a pesar de los grandes progresos que se han alcanzado, en materia de iluminación para espectáculos, la modelación conceptual de los recursos y habilidades de las consolas modernas aún no están bien desarrollados. En su lugar, estas consolas han sido consideradas como una colección variable de dispositivos de iluminación cuyos parámetros deben ser controlados. Cuando un programador crea su programación para una presentación, frecuentemente necesita tratar con detalles engorrosos, como por ejemplo, extender grandes cantidades de cables desde la consola hasta las luminarias, asignar canales a las lámparas multi-funcionales y determinar como todas y cada una de ellas se mapearán desde la consola. Por lo tanto se podría afirmar que las modernas consolas computarizadas operan al mismo nivel que las computadoras de los años 70's

¹⁷.

Un sistema de control de iluminación requiere de métodos holísticos que incluyan los conceptos de diseño de hardware, software y teoría de control de sistemas, comunicaciones y electrónica de una manera consistente, en la Fig.III.16 se muestran

¹⁷ Von, 2001

las diferentes áreas involucradas en el diseño de un sistema de control de iluminación. Un sistema de control de iluminación es un sistema empotrado cuya función principal es controlar la brillantez de las lámparas eléctricas utilizadas en un escenario¹⁸.

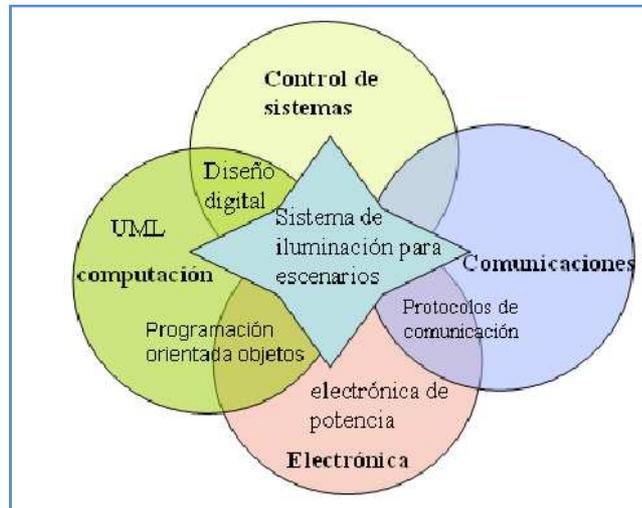


Fig. III.16 Áreas aplicadas en el diseño de un sistema de control de iluminación.

Cuando se diseña un sistema empotrado para el control de iluminación en escenarios, es necesario solucionar problemas de *Sw* y *Hw*; ya que por una parte el *Sw* debe incluir una serie de controles y arreglos que permitan al diseñador acceder de manera fácil a los parámetros y a los atributos del dispositivo de iluminación y por otra parte, el *Hw* del sistema debe incluir una arquitectura heterogénea compuesta por procesadores y circuitos integrados específicos que implementen de manera efectiva los algoritmos que soportan la interface con el usuario, para la ejecución de controles de luces sencillos y sofisticados. Además el *Hw* también debe ser capaz de controlar de manera individual o en grupo algunos dispositivos de iluminación para iluminar sectores del escenario de manera independiente.

¹⁸ Sperbe, 2001.

3.1 Protocolos de Iluminación existentes

Para diseñar un sistema de control de iluminación es necesario desarrollar un hardware (el sistema eléctrico que soporta las operaciones deseadas por el diseñador) y un software formado por un conjunto de instrucciones dadas al hardware para ejecutar el diseño; el sistema eléctrico y electrónico debe responder de manera efectiva a éstas instrucciones; las cuales se transmiten a los dispositivos de iluminación a través de protocolos de comunicación. Las características de estos protocolos determinan el diseño estructural del hardware y la forma en la cual el software dirige a éste hardware.

Un buen protocolo de comunicación debe soportar todas o al menos la gran mayoría de las funciones de los dispositivos de iluminación [Von, 2001]. La industria de la iluminación ha creado una gran variedad de protocolos analógicos y digitales.

Los Protocolos Analógicos

son simples y se aplican al control de un solo parámetro: la intensidad de la luz; con una pequeña corriente se controla un voltaje de salida para disparar a los dimmers. Estos protocolos se pueden conectar a una instalación de iluminación de dos formas distintas:

Por medio de arreglos de mapeo completo: utilizando por separado una línea para cada circuito, es decir para colocar una instalación de iluminación con 48 dispositivos de luz, es necesario colocar 48 líneas conectadas desde la consola de iluminación hasta la instalación eléctrica.

Por medio de arreglos multiplexados: Periódicamente se transmiten diversas señales analógicas en una sucesión rápida, para formar paquetes de valores de intensidad. Esto

requiere únicamente una sola línea. La instalación eléctrica debe demultiplexar la señal en los dimmers. Un arreglo multiplexado es muy recomendable cuando el número de dispositivos de iluminación excede de cierto número. Sin embargo, se incrementan las demandas en la calidad de la línea utilizada.

Los Protocolos Digitales

Funcionan de manera similar a los protocolos analógicos, con la diferencia que los paquetes transmitidos representan valores numéricos digitales en lugar de valores que indican niveles de voltajes. Los paquetes transmitidos no tienen una estructura intrínseca (interna) y solamente representan secuencias de números. Su funcionamiento es el siguiente: Un transmisor envía paquetes con valores numéricos a múltiples receptores conectados a una línea, cada receptor demultiplexa el paquete y toma solamente el byte correspondiente a la dirección asignada. El sistema de control retransmite el paquete periódicamente para actualizar cualquier cambio del operador.

Los protocolos digitales más difundidos en iluminación son:

- CMX (COLORTRAN 156), MICRO 2 (LMI 250 kbps.), KLIEGL, SOWN, K96, ELECTROCONTROLS , etc. Todos a extinguir.
- AMX 192 / CD 80 (Analógicos Multiplexados): De la firma Rank Strand, con capacidad hasta 192 canales. Emplean señal no balanceada 0+5 V. Sobre un hilo va multiplexado el valor analógico de control y sobre el otro/s va el reloj para sincronizar los pulsos. Es muy susceptible a ruido y bucles de masa y su cargabilidad máxima oscila entre 4 y 16 (según circuitos). Utiliza conectores

XLR: 1 (común), 2 (clock+), 3 (nivel), 4 (clock-). También puede utilizar un miniconector específico: 1 (clock-), 2 (común), 3 (clock+), 4 (nivel). AMX incorpora la señal de reloj en un solo hilo (en el clock+).

- D 54: También de Rank Strand, surge en el año 1983 con capacidad hasta 384 canales. Es similar a AMX, pero nivel y clock van por un mismo hilo y malla según un procedimiento llamado DMX (no confundir con el standard) y de forma similar a una señal de vídeo. A la cabeza de cada grupo de niveles de dimmers, la línea DMX cae a -5V.; este nivel "sync" debe permanecer al menos 35µs., indicando el final del grupo. Al finalizar este impulso, la línea vuelve a 0 V.; entonces otro pulso negativo más corto (máx. 10 µs.) es enviado para indicar que el siguiente voltaje positivo en la línea será el nivel de control para el primer dimmer. Los rangos de voltaje son de 0 a + 5 V., proporcionales a la tensión del dimmer.
- AVAB: De la firma Avab, surge en 1982 y permite controlar hasta 256 canales. Se basa en RS-485 a 153,6 Kbps. y está constituido por 8 data bits y 2 bits de stop; no paridad. 2 FF bytes semandan al principio para establecer la sincronía y después el valor hexadecimal para cada nivel de canal (pero entre 00 y FE; no hasta FF). Utiliza un conector DIN de 8 pines y todos los aparatos llevan hembra; así que los cables son todos macho-macho. También se envía por la línea (desde el control) una alimentación de ±12 V. para uso de periféricos de la casa (normalmente demultiplexores para dimmer analógicos).

Pines: 1 (data+), 2 (ground), 3, 5, 7 (nc), 4 (data-), 6 (-12V DC), 8 (+12V DC).

Tiende a usarse cada vez menos.

- ETC: De la firma ETC (Entertainment Lighting Company). Utiliza Ethernet; el resultado es ETC-Net y se transmite por cable coaxial. El uso de Ethernet implica que corre en CSMA/CD, lo que otorga seguridad, tiempo real y ancho de banda (que resulta exitoso para esta simple aplicación).
- SMX: Lo implementan al menos 36 fabricantes, entre ellos Rank Strand. Data de 1991, se basa en RS-485 y emplea conectores Canon. Cada mensaje consta de 1 bit Start, 8 de datos, 1 framing y 1 de Stop. Permite diversos modos de conexión: maestro/esclavo, múltiples unidades bidireccionales (retornos de dimmers, control-control), punto a punto, Broadcast y grupos de direcciones (una información se puede mandar a todas las estaciones o a un grupo de ellas). Y también permite dos modos de operación:

Clase 0 (similar a DMX; unidireccional, sin detección de errores ni comunicación bidireccional y hasta 250 canales de control)

Clase 1 (con detección de errores y hasta 32.767 direcciones posibles con mensajes de hasta 255 bytes de longitud. Los bytes con errores son retransmitidos y hay contestación de los esclavos).

- SDX. Surge en 1992 de la mano del fabricante R.A. Gray, que permite la licencia del protocolo abiertamente. Cuenta con corrección de errores y transmisión Manchester II, siendo simétrica y diferencial. Cada receptor emplea un transformador de acoplamiento para aislar cada elemento del sistema (todo esto evita el uso de buffers intermedios y aminora interferencias). Corre a 192 Kb. mediante una referencia de reloj que se transmite de forma síncrona (no hay datos de longitud variable como en DMX) y utiliza conectores Canon con código y cable compatible con el standard audio. El voltaje es entre 5 y 10 V con una impedancia de 20 ohmios. Los equipos devuelven una respuesta tras el envío de un paquete de bytes, una vez que ha llegado completo y correcto.
- DMX 512 (Multiplexado Digital): Es el sistema más difundido y standard en la actualidad. Se basa en RS-485, diferencial y asíncrono a 250 Kb. Emplea conectores canon de 5 pines: 1(común), 2 (data-), 3 (data+), 4 (opcional link), 5 (opcional link true).

Permite manejar hasta 512 canales en su versión más evolucionada (1990) y permite una longitud máxima de 200 metros para todo el recorrido de la línea. Para montajes críticos o largas distancias es recomendable utilizar Buffers intermedios optoaislados para evitar que una avería o una interferencia eche abajo toda la línea. También es recomendable el uso de un terminador de 120_ al final de la línea. Como protocolo más standard, todo equipo relacionado con iluminación cuenta con él; además existen todo tipo de accesorios (procesadores, patch, testers, interfaces, etc.).

Muchos de estos protocolos son incompatibles entre ellos, ya que la señal que manejan y los conectores que utilizan son diferentes, requiriendo de cajas convertidoras e inversores de voltaje para hacerlos compatibles, lo que constituye un gran problema, por este motivo éstos protocolos han sido reemplazados por el protocolo de comunicación DMX512.

3.2 Protocolo DMX512

3.2.1 Antecedentes

Hasta hace pocos años existía una proliferación de los sistemas de control proyectados de las casas productoras. El más difundido era el control analógico lineal, sistema con el cual cada uno de los dimmers necesitaba de un control con un conductor proveniente de la consola. Por ejemplo, una consola de 48 canales tenía que tener uno o más conectores multipolares con un mínimo complessivo de 48 contactos, además del generador común (masa). Obviamente, cuanto más aumentaba el número de canales, también lo hacían el número de contactos y de conectores. Los cables y los conectores multipolares eran pesados, obstaculizantes y costosos. Los problemas eran frecuentes y la incompatibilidad estaba asegurada. Cada casa productora utilizaba diferentes conectores e identificaciones de los pines. Los voltajes y las corrientes de control eran diversos y frecuentemente con polaridades diferentes. Con la llegada de las consolas a memoria, basadas en microprocesadores, la conexión entre ellas y el dimmer raramente fue digital, todos los dimmers fueron analógicos y era preferible distribuir las señales a través de conectores multipolares. Algunas fábricas a la vanguardia iniciaron el empleo

de sistemas de transmisión más eficientes, como el múltiplex analógico o digital. Esto creó más confusión porque se crearon nuevas incompatibilidades además de las ya existentes. Se trataba de protocolos propietarios, incompatibles entre ellos, y ninguna de las casas productoras de la competencia podía soñar con utilizar productos de la otra para no favorecerla.

El DMX512 fue desarrollado en a pedido de la USITT (Instituto americano de tecnologías teatrales) para convertir el sistema de comunicación entre consolas y dimmers en un estándar eficiente. El DMX512 es un protocolo de transmisión de datos que se basa en el estándar internacional EIA RS485. Esta definición se refiere no tanto al tipo de datos transmitidos, sino al hardware, en otras palabras, concierne a los circuitos utilizados para la transmisión y recepción, las características eléctricas, etc. La RS485 se emplea en todas aquellas aplicaciones donde se necesita una transmisión serial fiable y simple. La misma es muy utilizada en la industria, en la automatización y en el enlace de computadoras. A diferencia de la más conocida RS232, la RS485 permite cubrir distancias superiores. La RS485 transfiere la información a través de una pareja de conductores y no a través de un solo conductor. La señal presente en la pareja de alambres se compara a la del micrófono de audio, definido como balanceado, o mejor dicho constituido por dos conductores, además del enlace de masa.

La definición correcta de este tipo de línea es diferencial. Su característica es la elevada inmunidad a los disturbios eléctricos y electromagnéticos comunes (referidos a masa). Esto se debe a las características intrínsecas de los amplificadores diferenciales,

dispositivos que, tanto en las aplicaciones analógicas como digitales, eliminan todas las señales no deseadas de signo igual, presentes al mismo tiempo en los dos conductores, mientras amplifican las señales diferenciales (de polaridad opuesta). La señal que nos interesa es la relativa a los niveles del dimmer y de los otros dispositivos conectados a la línea. Estas señales son transmitidas voluntariamente de modo diferencial y entonces son amplificadas sin aumentar el ruido (disturbios eléctricos y electromagnéticos) que se presenta generalmente de modo común (con la misma polaridad respecto a la masa). Los amplificadores diferenciales utilizados actualmente en el DMX512 son en realidad pequeños circuitos integrados que son llamados line driver y line receiver. El primero es aquél que está instalado en la consola y tiene la tarea de transmitir y el segundo es el que recibe y está instalado en el dimmer o en el decodificador.

3.2.2 Cables

El DMX512 utiliza un cable con dos conductores llamado en inglés Twisted pair (par trenzado). Como ya se describió anteriormente, si las señales transmitidas son diferenciales (de polaridad opuesta), tal pareja aumenta notablemente la inmunidad a los disturbios. La elección del cable no debe ser descuidada. Existen en el mercado varios tipos diferentes en dimensiones generales, en secciones, con aislamiento y con revestimiento externo. Para las aplicaciones live se aconseja utilizar un cable con un revestimiento robusto pero bastante blando. En cambio para las instalaciones fijas es posible utilizar un cable un poco rígido; lo importante es que corresponda a las características indicadas por el estándar EIA RS485. El cable de un par debe tener una baja capacidad por metro, una impedancia entre 100 y 150 ohm, una defensa externa

con una funda metálica integral, una defensa interna con hoja de mylar y una sección mínima de 24AWG (f 0,5 mm). Normalmente este grupo de línea es lo suficientemente inmune a los disturbios. Muchos usuarios sostienen que funciona bien hasta con un cable micrófono pero realmente esto no es cierto. La línea DMX puede funcionar bien hasta con un par trenzado telefónico pero esto no garantiza el que no pueda dejar de funcionar en cualquier momento. Las instalaciones y situaciones en las que cables no idóneos continúan funcionando por años pueden y seguramente darán problemas cuando uno menos se los espera, entonces nos daremos cuenta de que el cable convalidado cubre las posibles causas de interferencia que pueden verificarse hasta ocasionalmente y no sólo en determinadas circunstancias, mientras un cable idóneo no lo hace.

3.2.3 Conectores

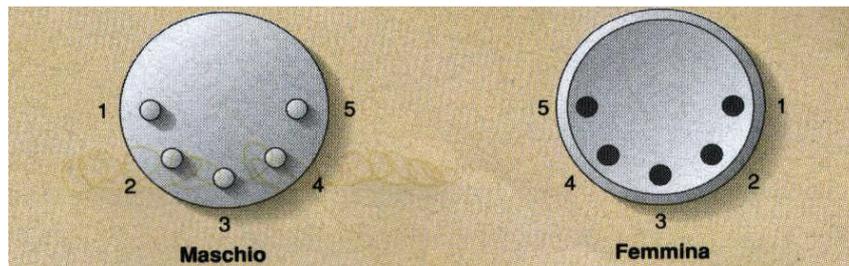


Fig.III.17 Conexiones en XLR para DMX512

El DMX512 emplea conectores XLR a 5 pin. Normalmente se utilizan sólo los pines 1, 2 y 3; las conexiones son extremadamente simples. El macho y la hembra son conexiones pin to pin (el pin 1 del macho al pin 1 de la hembra etc.). La funda defensiva está conectada al pin 1 y jamás se conecta al armazón metálico del conector porque esto

unificaría la masa técnica y la tierra, con la posibilidad de crear un anillo que podría afectar el correcto funcionamiento del sistema. Sin entrar al tema de los fenómenos causados por una equivocada conexión a tierra de la funda defensiva del cable de transmisión de datos, es importante decir que una eventual conexión a tierra de este conductor se puede realizar en un sólo punto de todo el sistema y normalmente este procedimiento se realiza sólo en las instalaciones fijas. Generalmente los anillos se crean cuando el dimmer y la consola son conectados a tierra en dos puntos diferentes, por ejemplo conectando la consola a un dispersor diverso al usado por el dimmer para la conexión a tierra. En ocasiones, en dos conexiones a tierra diversas se puede encontrar diferente potencial, en este caso se debe hacer transcurrir otra corriente a través del cable de los datos protegido que une la tierra del dimmer y la de la consola.

Se ha mencionado que el RS485 es un estándar físico de comunicación, en cambio, el DMX es un protocolo de comunicación que utiliza el RS485 como estándar físico. El desarrollo del software para poder utilizar el RS485 es tarea de los fabricantes. La USITT provee, además de los parámetros del protocolo, indicaciones y recomendaciones acerca del software.

El DMX512 transmite los datos de modo asincrónico, a 250Kb por segundo. Esto significa que las señales del transmisor (la consola) y del receptor no están en sincronía, pero que los receptores (dimmer, scanner, motorizados y decodificador) se sincronizan al mando de la consola cada vez que ésta envía un determinado mensaje. Sustancialmente es el transmisor el que suministra al receptor o a los receptores de las señales para sincronizarse.

Los niveles relativos a los canales, sean de dimmer o de otro, son transmitidos por la consola de modo serial, es decir, en rápida secuencia, uno después del otro. Los receptores (dimmers) están en la capacidad de memorizar la información que les es destinada y de esperar a que se envíen las informaciones relativas a los otros 511 canales.

Cuando las consolas han enviado la información a todos los 512 dimmers se transmite la señal que informa que pronto se realizará la transmisión del canal 1 y el ciclo reparte. El tiempo empleado del DMX512 para la repetición de todos los 512 canales es más o menos 22ms, un tiempo tan breve que permite cualquier variación del estado luminoso sin que se pueda advertir siquiera el retardo.

3.2.4 Distancias

El DMX512 puede llegar a 500m de distancia. Considerando que las características ya descritas de la línea RS485 se dan en condiciones de trabajo ideales y considerando también la cantidad variable del dimmer o de otras conexiones (máximo 32), personalmente aconsejo no superar los 250 metros que son suficientes para cualquier tipo de espectáculo. Obviamente estas distancias se pueden aumentar si es necesario, pero en tal caso se deben utilizar buffers o splitters.

3.2.5 Terminaciones

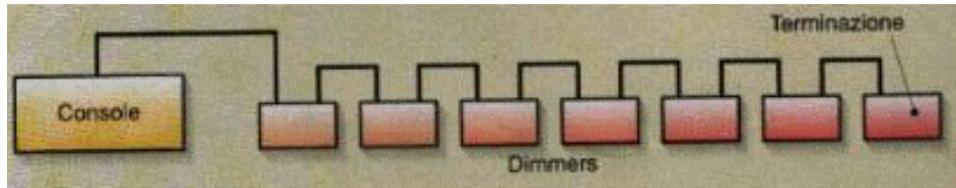


Fig.III.18 El último eslabón de la cadena finaliza con una resistencia de 120 ohm.

La terminación equivocada de la línea DMX es frecuentemente la causa más común del mal funcionamiento de todo el sistema. Es muy importante colocar una resistencia de terminal de línea al último equipo que compone la cadena. Sin este terminal la transmisión puede ser inestable y se pueden provocar inconvenientes. La terminación consiste en una resistencia de 120 ohm ó 0,25W que se coloca entre el pin 2 y el pin 3 del último conector hembra disponible en la instalación (el del último dimmer o del último scanner). El sistema más simple consiste en un conector XLR macho que tiene al interior la resistencia de 120 ohm. Este "tapón" de terminal puede fácilmente auto construirse. Muchos dimmers y scanners ya tienen un sistema de terminales con un pequeño interruptor cercano al conector DMX. Es importante recordar que el terminal se efectúa sólo en el último dispositivo de la cadena.

3.2.6 Splitter y Buffer

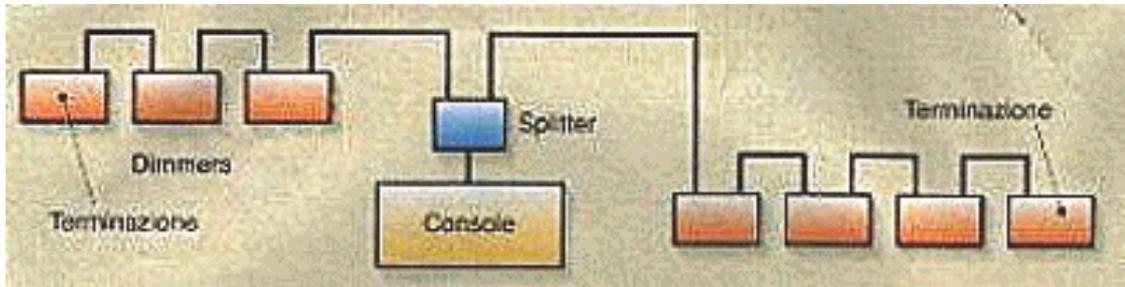


Fig III.19 La distribución de las señales de control se efectúa con splitters.

En la distribución de los cables DMX las ramificaciones tipo Y están prohibidas y son extremadamente peligrosas porque degradan notablemente la calidad de la señal y vuelven poco estable la transmisión. Para efectuar una ramificación de tipo Y es necesario utilizar un splitter. Los splitters son amplificadores múltiples que permiten efectuar una ramificación de tipo Y, además de ramificaciones con más salidas. Por otro lado, reacondicionan la señal permitiendo prolongar la distancia de utilización. Los buffers tienen una entrada y una salida y su función es amplificar y condicionar la señal para permitir un prolongamiento de la distancia de utilización sin la posibilidad de conexiones de tipo Y. Los splitters y los buffers pueden ser ópticamente aislados o no. Los ópticamente aislados son mejores porque además de sus características ya descritas permiten resolver el problema relativo a eventuales malos funcionamientos causados por los indeseables anillos a tierra. Por esto son muy utilizados para aislar entre ellas dos o más líneas.

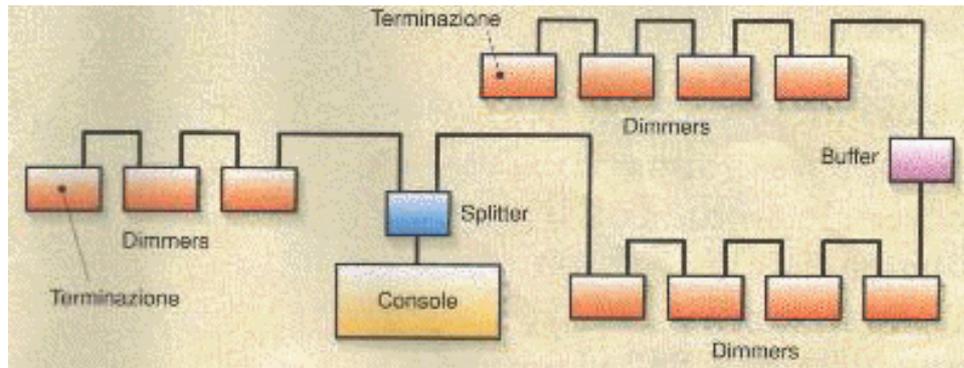


Fig.III.20 En líneas largas se utilizan los buffers para amplificar la señal.

3.2.7 DMX 1990

En 1990 la USITT hizo un ajuste sobre un parámetro de transmisión del protocolo DMX porque algunos equipos no estaban en posibilidad de funcionar correctamente. Para estos equipos existen adaptadores de protocolo de interponer en la línea DMX. En 1986 parecía realmente imposible que 512 canales pudieran ser insuficientes para un espectáculo. Con la llegada de las tecnologías de automatización y, por lo tanto, con la utilización del scanner y del motorizado, el número de circuitos utilizados aumentó de un modo representativo. Basta pensar que un scanner puede utilizar hasta sólo 30 canales. Entonces, es verdad que el DMX es más que suficiente para el dimmer, pero también es verdad que siempre lo es menos para el scanner. El DMX512 utiliza un protocolo a 8 bits, esto permite obtener una resolución de 256 puntos, con seguridades suficientes para el regulador de voltaje de un dimmer pero insuficientes para la resolución de 360° de un motorizado. Para aumentar esta resolución muchos motorizados y scanners utilizan dos canales adyacentes, esto reduce el número total de canales. Actualmente algunas fábricas han comenzado a utilizar la red Ethernet para la

distribución de las señales relativas a todas las periféricas establecidas en un espectáculo.

La red ethernet es la más difundida red LAN (local área network) que existe en el mundo. El DMX transfiere información a la velocidad de 250Kb por segundo (250.000 de bit por segundo) mientras que el sistema ethernet funciona con 10Mb por segundo (10.000.000 de bit por segundo) o con 100Mb (Fast ethernet). La red ethernet utiliza un único cable de conexión para todos los dispositivos del sistema, esto permite una gran flexibilidad en su utilización y una notable reducción de cables de control. Éstas son sus características principales: posee una velocidad de transmisión elevada de 10Mb y 100Mb, es bidireccional, usa cables económicos, usa conectores económicos, recorre largas distancias, muestra alta inmunidad a los disturbios, es expansiva y tiene dos tipos de conexión: 10 BASET y 10BASE2. Algunas fábricas ya la están implementando en las propias consolas pero todavía no se ha decidido un estándar como el existente para el DMX512.

DMX512 permite encadenar muchos dispositivos esclavos a un cable de sólo 3 hilos:

- DMX+
- DMX-
- GND

3.2.8 Trama DMX

La información se divide en 512 canales. Cada canal contiene un byte. Los dispositivos que están conectados al bus, están identificados con uno o más canales, y sólo atenderán a las instrucciones que les lleguen en esos canales. Lo habitual es que un dispositivo utilice varios de ellos, y se identifique físicamente con el código del canal de inicio. De esta manera, si un cabezal proyector utiliza, por ejemplo, 16 canales, y está identificado con el código 128, automáticamente reservará los canales 128 a 143 para sí mismo.

Una transmisión simple de todos los datos DMX512 es llamado un paquete. Un paquete típico está formado por un Start Code, seguido por los valores de cada canal. Un bit de inicio y dos bits de stop separan cada canal. Para analizar cada una de las partes que forman la señal DMX512, se considera la Figura III.21, en ella se puede observar que cuando inicia la transmisión de un paquete DMX, se envía una señal Break, que permite a los receptores reconocer el inicio de un nuevo paquete de datos, esta señal se mantiene en un nivel bajo por lo menos 88 us (tiempo de dos tramas). Inmediatamente después se envía un pulso alto por un periodo corto de tiempo entre 8 us y 1 segundo conocido como MAB (Mark After Break), el cual advierte a los receptores que la siguiente transición de alto a bajo será el inicio del dato, por esta razón esta señal es considerada como el pulso de sincronización. Después se envía la señal Start Code de ocho 0's que indican a los receptores que la siguiente información son niveles validos de intensidad.

Esta señal además incluye un bit de inicio representado como Bit Start, dos bits de paro o Stop, y un pulso alto Mark lo que significa que se necesitan 11 bits para generar esta

señal. Además aunque se permiten otros Start Codes, los receptores no deben actualizar sus valores sino se recibe un Start Code igual a 00h.

La información se transmite siguiendo este diagrama de tiempos:

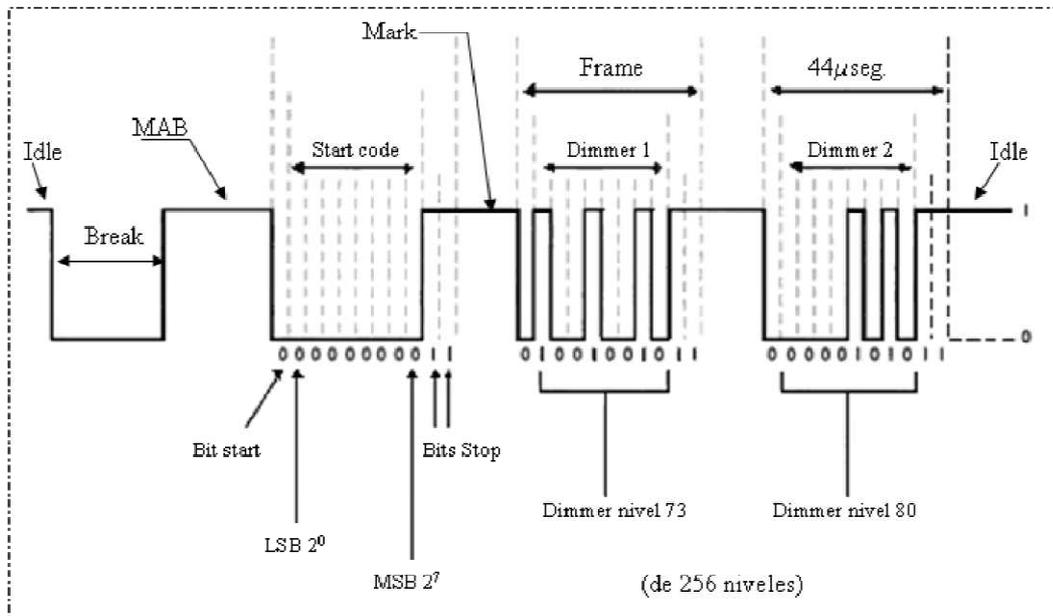


Fig.III.21 Trama DMX

Después de la señal Mark, se envían secuencialmente los niveles válidos de intensidad (Frames), los cuales deben estar entre 0 a 255 decimal (00h a FFh), por ejemplo el valor 0 representa una salida de dimmer apagada o mínima, y un valor de 255 representa una salida completa o del 100% de la intensidad. Un dimmer o un dispositivo DMX debe responder a los incrementos del valor de la señal DMX512 de 0 a 255, aumentando gradualmente del nivel mínimo (off) al nivel máximo (on) o respondiendo a las funciones programadas en los diferentes niveles como por ejemplo cambio de color o de

gobo. Cuando se ha terminado de enviar un paquete, la señal DMX envía un pulso alto llamada Idle que representa el estado inactivo de la señal.

En resumen, la trama completa tiene las siguientes partes:

- Señal IDLE: Es un pulso alto que representa el estado inactivo de la señal una vez que se ha terminado de enviar un paquete.
- Señal BREAK: es un nivel bajo con un mínimo de 88us
- Marca tras BREAK: nivel alto con un mínimo de 8us
- Byte Start: el byte Start siempre vale 0
- Tiempo entre bytes: es un nivel alto que puede llegar hasta 1 s
- Trama de 512 bytes: aquí aparecen los datos de los 512 canales

Cada byte se transmite con:

- Un bit de start a nivel bajo
- Los 8 bits de datos
- Dos bits de stop a nivel alto

De esta manera, algunas consideraciones de tiempo respecto al protocolo son las siguientes:

- Duración mínima para una trama completa: 22,7ms
- Máxima velocidad de refresco de la información: 44 veces por segundo

CAPITULO IV

SISTEMAS ELECTRÓNICOS DE POTENCIA

4.1 Introducción

Los dimmers son dispositivos electrónicos especializados capaces de regular la intensidad de fuentes eléctricas de luz utilizadas en teatros, conciertos, discotecas, eventos corporativos y de entretenimiento aplicando la técnica de conmutación. Los dimmers fueron inventados en 1890, por Glanville Woods para evitar los incendios en los teatros ya que los métodos utilizados para controlar la intensidad de las lámparas eran peligrosos y frecuentemente causaban incendios¹⁹. Woods buscó un método

¹⁹ Smith, 2005.

económico y efectivo para regular la intensidad de las luces y así se creó la primera versión del dimmer moderno; el cual fue de resistencia variable.

El principio de funcionamiento de los primeros dimmers era sencillo: una resistencia variable se conectaba en serie con la carga y se variaba con la corriente, de esta manera se regulaba la brillantez de las lámparas en los escenarios; pero existían varios inconvenientes en este tipo de dimmers:

- Ocupaban amplios espacios en los teatros.
- Disipaban grandes cantidades de calor en la carga, la cual alcanzaba un 30% aproximadamente²⁰.
- Eran fijos para una carga específica, de tal manera que un dimmer de 1000W sólo era adecuado para una lámpara de 1000W.

Para evitar grandes pérdidas de energía, se desarrollaron los dimmers de reactancia variable, sin embargo su construcción mecánica era costosa, lo que los hacía inaccesibles para muchas compañías de teatros. Posteriormente se desarrollaron los dimmers con autotransformadores los cuales tienen una salida sinusoidal, por lo que no introducían armónicos; sin embargo eran grandes, pesados y caros.

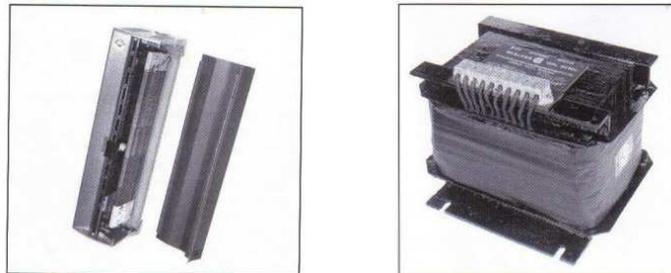


Fig. IV.22 Dimmers: a) Resistivos, b) Autotransformadores

²⁰ Simpson, 2003.

Con la invención del tiristor, los dimmers se transformaron en pequeños, económicos y eficientes. Los tiristores se usaron en el control de iluminación en la primera parte de la década de los 60's y durante 40 años han formado la base de control de iluminación profesional, ya que son más robustos y tienen la capacidad de soportar altas corrientes repentinas causadas por los fallos en el filamento de las lámparas de tungsteno. Los dimmers profesionales generalmente están contruidos sobre un principio modular. Cada módulo representa uno o dos canales de dimmer. Los módulos son independientes y están diseñados para ser reemplazados fácilmente, ya sea por conexión de enchufe o por terminales de fácil conexión. Los dimmers profesionales pueden resistir ciertas perturbaciones producidas por variaciones en la frecuencia de la fuente.

Todos los sistemas dimmers operan sobre la base de dos técnicas para limitar el flujo de corriente en las lámparas, los cuales son:

- Variación de voltaje.
- Variación en el intervalo de tiempo, en el cual la corriente fluye durante cada ciclo de la corriente alterna.

4.2 Dimmers diseñados con tiristores

Todos los circuitos dimmer sobre la base de tiristores requieren que el dispositivo se dispare en algún punto predeterminado después que la señal sinusoidal cruza por cero. La técnica es conocida como control por ángulo de fase, la cual consiste en controlar el tiempo de disparo o de conducción de tiristor, para regular la corriente que se entrega a una carga y de esta manera controlar la potencia que consume.

Un triac es una forma de tiristor que permite que ambos semiciclos de la corriente alterna (CA) fluyan a través de la carga. El triac es disparado cuando una señal de baja energía se aplica en su terminal G (Gate). El semiciclo positivo de la señal de CA pasará por el triac siempre que G sea activo, de esta manera la corriente circulará de arriba hacia abajo (terminal MT2) como se muestra en el circuito de la fig. IV.23, mientras que en el semiciclo negativo pasará por el triac siempre y cuando exista una señal de disparo en la entrada G, de esta manera la corriente circulará de abajo hacia arriba.

El dispositivo que proporciona la señal G en ambas direcciones de la corriente es conocido como diac. El diac es un diodo bidireccional que únicamente permite disparar el flujo de corriente o de voltaje cuando este ha encontrado un cierto nivel preestablecido. El diac controla el voltaje en la entrada G del triac y permite la transición de manera suave.

El intervalo de tiempo a partir del cruce por cero de la corriente alterna hasta el tiempo en el cual el triac se dispara se conoce como ángulo de disparo y se representa por α . Los rangos de α varían de 0° (máxima potencia) hasta 180° (mínima o nula potencia). Controlando el ángulo de disparo, el voltaje rms suministrado a la carga cambia y por lo tanto la intensidad de las luces también cambia; como se muestra en la fig. IV.23.

Cuando la corriente alterna cambia su dirección, el triac se apaga; esto hace que la corriente en la carga sea cero en cada semiciclo de CA. Por lo tanto, para que la lámpara se active continuamente, el triac necesita dispararse durante ambos semiciclos de la onda sinusoidal CA; para asegurar que la carga promedio de la corriente no sea cero.

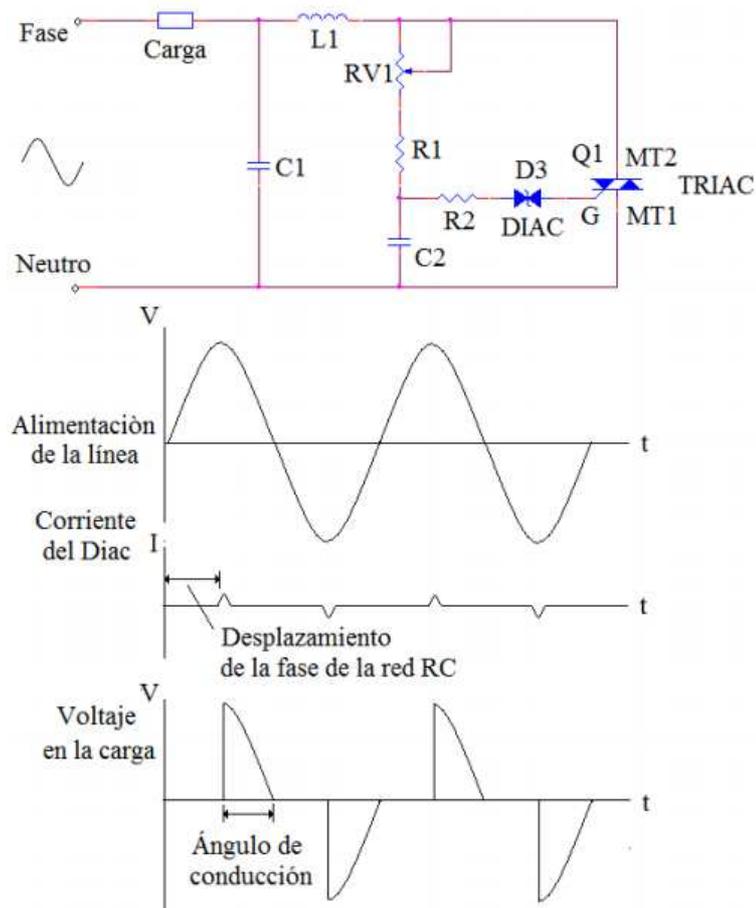


Fig. IV.23. Esquemático de un dimmer analógico.

4.3 Dimmer controlado remotamente por tiristor

La figura IV.24 muestra el diagrama de bloques de un dimmer controlado remotamente por tiristores. El diagrama es el mismo sin tener en cuenta si el circuito final es digital, analógico o híbrido. Los circuitos de control consisten de tres partes principales:

1. Un detector de cruce por cero, que detecta el momento en el cual la corriente alterna de la línea cruza por cero. Para controles de fase esto es la información de temporización esencial, ya que el disparo de los tiristores es medido desde este punto.

2. Un circuito de disparo, que compara el momento en que se detecta el cruce por cero con la señal de entrada y dispara los tiristores después del retardo de fase apropiado.
3. Un circuito de control. Este puede ser únicamente un circuito de voltaje de referencia, que permita al dimmer analógico ser controlado por una señal analógica de 0-10v. mientras que un dimmer analógico automático, el circuito incluye circuitos de tiempo tipo rampa para producir desvanecimientos automáticos a niveles programados.

Opcionalmente en la salida de los dimmers se pueden incluir sensores que detectan variaciones en la carga presentadas por fallas de las lámparas, corrientes o temperaturas elevadas; estas señales son enviadas al sistema de control para desactivar al dimmer correspondiente.

El aislamiento entre el circuito de disparo y el tiristor es logrado correctamente en el momento de disparo antes de la llegada de opto-aisladores confiables de voltaje alto. En la actualidad el disparo se realiza utilizando tiristores opto aislados (para disparo de tiristores) o triacs opto aislados (para disparo de triacs).

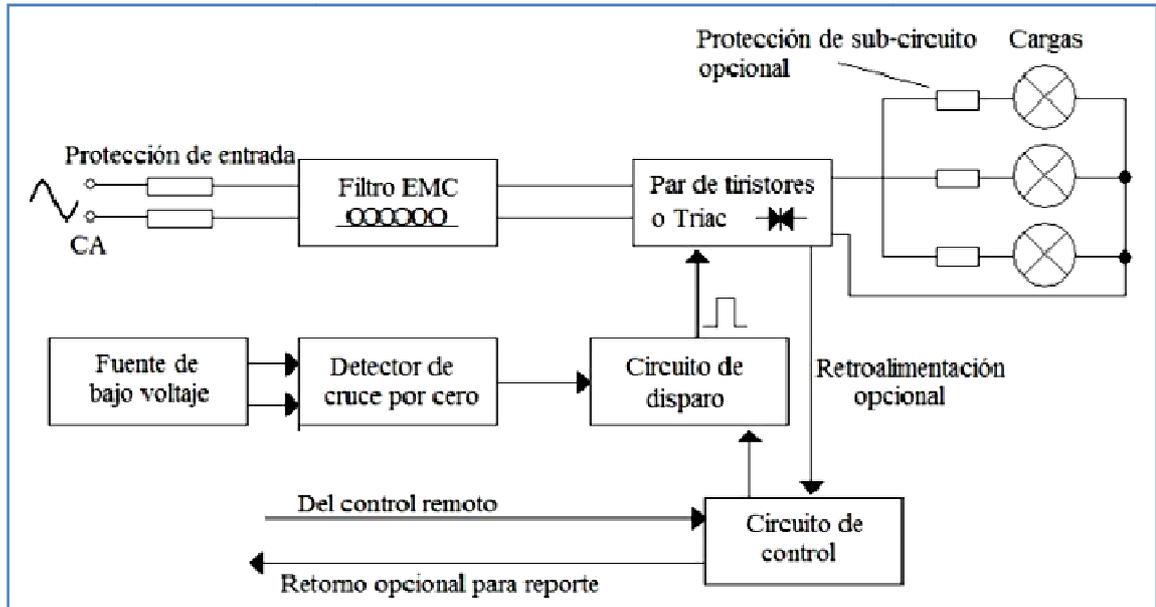


Fig. IV.24 Diagrama de bloques de un dimmer controlado remotamente por tiristores

Como con todos los circuitos de potencia, los problemas se incrementan cuando los voltajes o corrientes se conmutan a velocidades muy altas. Las altas velocidades de conmutación de la corriente y la anti simetría de los disparos del triac genera ruido, armónicos e interferencia electromagnética. El ruido del circuito dimmer podrá ser transmitido en circuitos de potencia y causar problemas en los circuitos de sonido y audio. Los armónicos pueden estar en la gama de los MHz dependiendo de los niveles de potencia del sistema y el número de fases en el mismo y puede causar calentamiento en los transformadores y conductores. Además si se usan microprocesadores para el control del circuito dimmer, las interferencias pueden afectar severamente el desempeño del sistema digital. Además el flujo del campo magnético también causa vibraciones en

la estructura del foco el cual se podría dañar. El circuito dimmer debe contener filtros de alta frecuencia para remover algunos armónicos y ruido en el circuito²¹.

4.4 Circuitos de dimmer

Un microcontrolador (MCU) proporciona un método sencillo y económico de implementar la funcionalidad de un dimmer. Este puede procesar casi simultáneamente las entradas de cualquiera de las señales de control requeridas en las luminarias y controla la potencia para cada uno de los canales individuales.

La tarea principal del MCU es controlar en tiempo real el ángulo de la fase, para ellos su firmware²² debe ejecutar dos tareas: calcular el retraso entre el cruce por cero y el encendido del triac, conectándolo en el punto apropiado en el ciclo de CA²³.

El funcionamiento digital del dimmer profesional introduce varios beneficios entre los que se encuentran:

- Asegura el rendimiento en un dimmer multi-canal, todos los dimmers tendrán un rendimiento equivalente.
- Simplifica la introducción de nuevas funciones especiales, como por ejemplo el cambio de temperatura en las luces.
- Permite la supervisión constante de la intensidad de la corriente y de otras señales de control de las luces.
- Simplifica el uso de un control tipo multiplex.

²¹ Simpson, 2003.

²² Firmware: Software ejecutable que está almacenado en la memoria ROM del MCU

²³ Microchip, 1997.

En la Fig. IV.25 se muestra el diagrama a bloques de un dimmer profesional. El diagrama es representativo y muestra una gama de funciones. No todos los dimmers incluyen todas las mostradas y algunos dimmers pueden incluir funciones que no se incluyen aquí.

Este diseño está basado en un microprocesador o microcontrolador. El dimmer en este diseño todavía requiere de tiristores y circuitos de disparo aislados y un detector de cruce por cero.

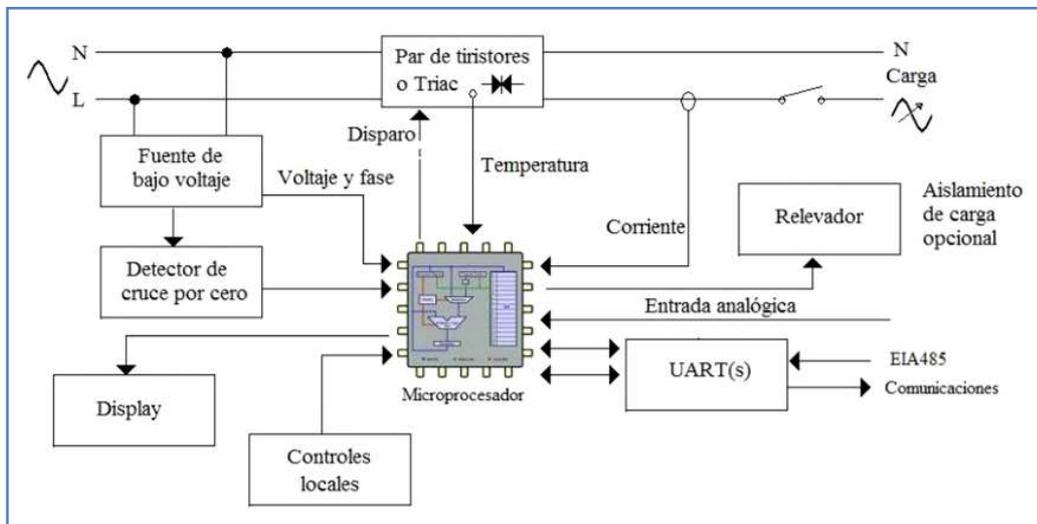


Fig.IV.25 Diagrama de bloques de un dimmer profesional.

CAPÍTULO V

DESARROLLO DEL PROYECTO

5.1 DESARROLLO DE CONTROLADOR DMX

En el presente capítulo se desarrolla el sistema de control de iluminación DMX basados en la metodología de desarrollo de sistemas empotrados, describiendo cómo se divide el desarrollo en módulos para terminar con el desarrollo del controlador y receptor DMX.

Fase 1. Especificación General del Sistema

Especificaciones del Sistema

El sistema tiene como principal objetivo permitir el control de iluminación de escenarios a distancia vía una consola de control, de manera que se pueda regular la

intensidad de las lámparas, la reproducción de secuencias de encendido-apagado de luces y el control sobre el Robocolor Pro518. Para definir la funcionalidad del sistema de control de iluminación, se utiliza un diagrama de casos de uso mostrado en la Fig. V.26, como casos de uso principales se identificaron cuatro, estos son: Controlar la intensidad de luces, control de las funcionalidades del Robocolor y reproducir secuencias Emplear funciones de FADE (atenuar/aumentar intensidad en un lapso de tiempo), . Como único actor se ha identificado al Operador. Las restricciones a considerar aparecen del lado derecho de la Fig. V.26.

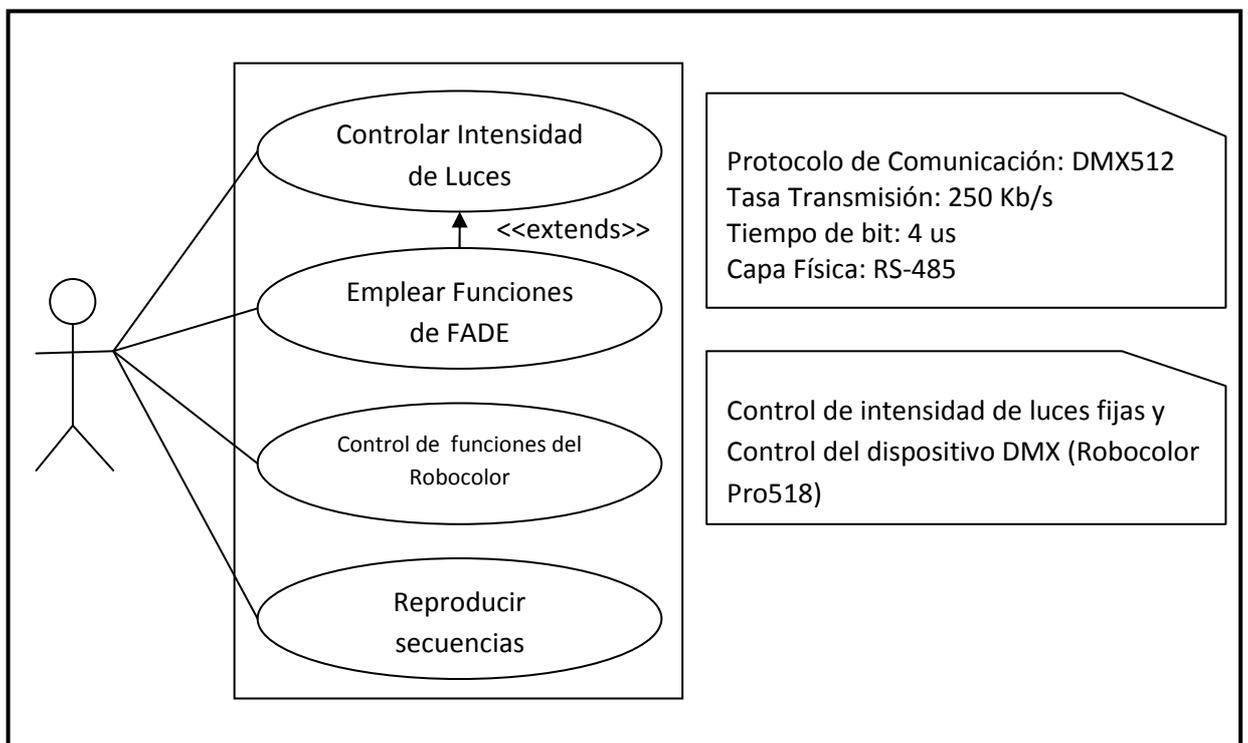


Fig V.26. Casos de uso del Sistema

A continuación se explican los dos casos de uso principales con ayuda de dos diagramas de secuencia.

Caso de uso: Controlar Intensidad de Luces

Este caso de uso permite al operador controlar de una forma manual la iluminación de un escenario por medio de una consola de control.

En la Fig V.27 se presenta el diagrama de secuencia para este caso de uso. Los objetos involucrados son: El usuario (operador), la consola, los dimmers (para efectos de demostración tiene asignados los canales 2 y 12) y dos luces conectadas una a cada dimmer. El estado de la consola inicialmente es Apagado y el estado de los dos dimmers es inactivo.

La interpretación del diagrama de secuencia es: El operador enciende la consola provocando que el estado de la consola cambie a Encendido, lo que logra que empiece a generar repetidamente la señal DMX (con valores de intensidad cero, luces apagadas) hacia los dimmers conectados y que estos cambien al estado Activo. Posteriormente el operador cambia en la consola la intensidad del canal 2 a la máxima intensidad (valor enviado 255) de esta manera la consola genera nuevamente la señal DMX con la que establece que la luz conectada al dimmer del canal 2 encienda al máximo mientras que la luz del canal 12 sigue apagada, estos cambios son observados en tiempo de ejecución por el operador y/o espectadores. Un tiempo después el operador cambia en la consola la intensidad del canal 12, a un nivel medio (valor enviado 128). La consola genera nuevamente la señal DMX, con la que establece que la luz conectada al dimmer del canal 12 cambie a una intensidad intermedia. Mientras que la luz conectada al dimmer del canal 2 mantiene una intensidad máxima. De esta manera los cambios que el operador realice consecuentemente se realizarán de forma parecida.

Caso de uso: Emplear funciones de FADE

Este caso de uso permite al operador encender (FADE IN) o apagar (FADE OUT) progresivamente las luces en un intervalo de tiempo, es decir, para el caso de FADE IN el operador tiene sobre la consola un control con el que puede variar el estado del canal seleccionado desde una intensidad mínima hasta una máxima paulatinamente, para el caso de FADE OUT la funcionalidad es similar con la diferencia de que las luces disminuyen su intensidad paulatinamente. Para este diagrama de secuencia los objetos son nuevamente: el operador, la consola, dos dimmers (canales 2 y 12) y dos luces conectadas una a cada dimmer.

La interpretación del diagrama de secuencia es el siguiente: el operador inicia el procedimiento estableciendo el tiempo de FADE a un valor en t milisegundos, posteriormente presiona el botón de FADE IN, lo que ocasiona que la consola empiece a generar la señal DMX hacia los dimmers conectados, estos en respuesta establecen el nivel de intensidad ($x1$) a cero en la luz correspondiente, de manera iterativa la consola incrementa el valor de intensidad $x1$ para todos los canales conectados y genera la nueva señal DMX hacia los dimmers, nuevamente estos en respuesta establecen el nivel de intensidad actual $x1$ en la luz correspondiente. Durante los t milisegundos la iteración se lleva a cabo de la misma manera hasta que el nivel de intensidad $x1$ llega al máximo valor (255) finalizando así con esto la función FADE.

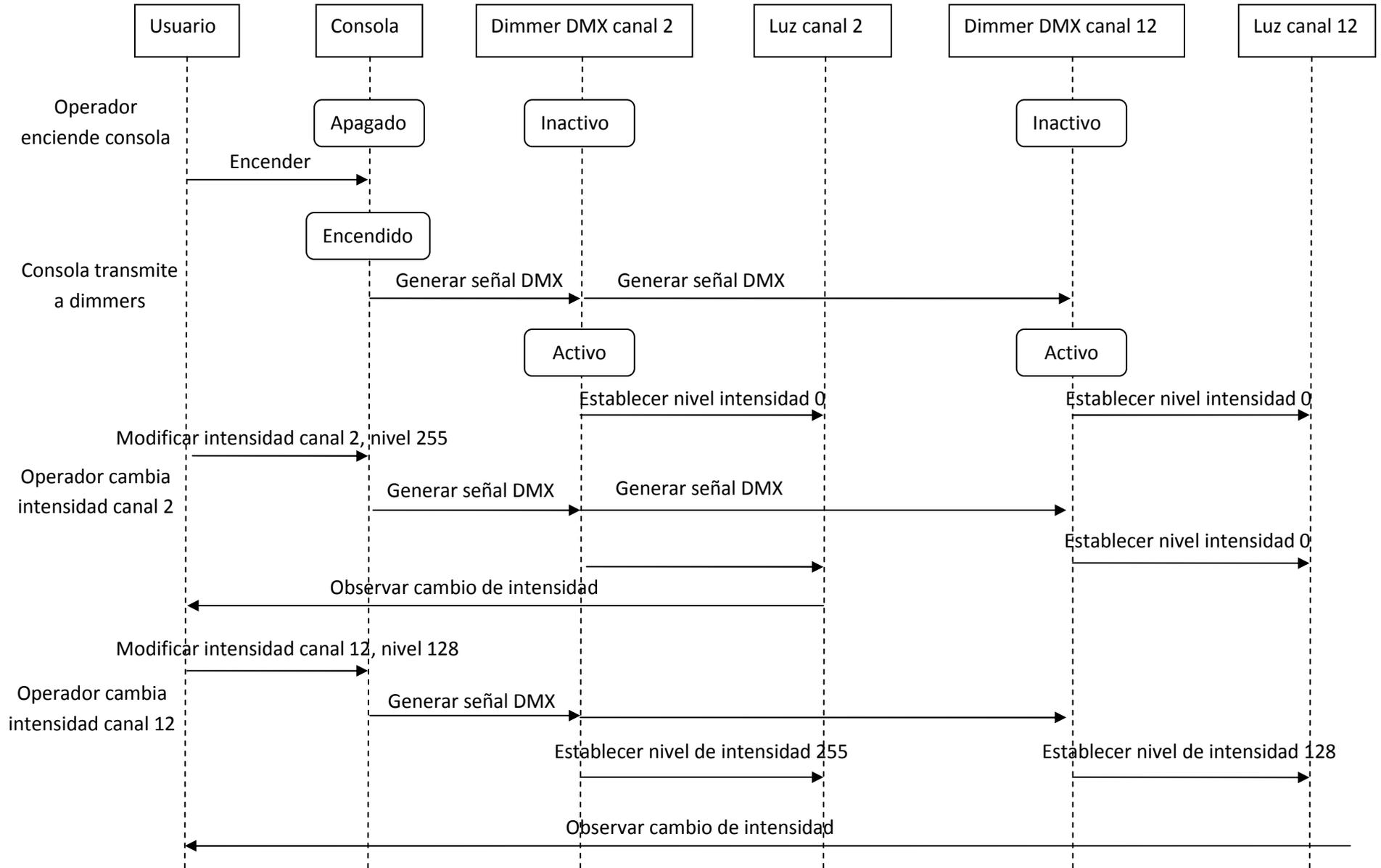


Fig V.27. Diagrama de secuencia: Controlar intensidad de luces

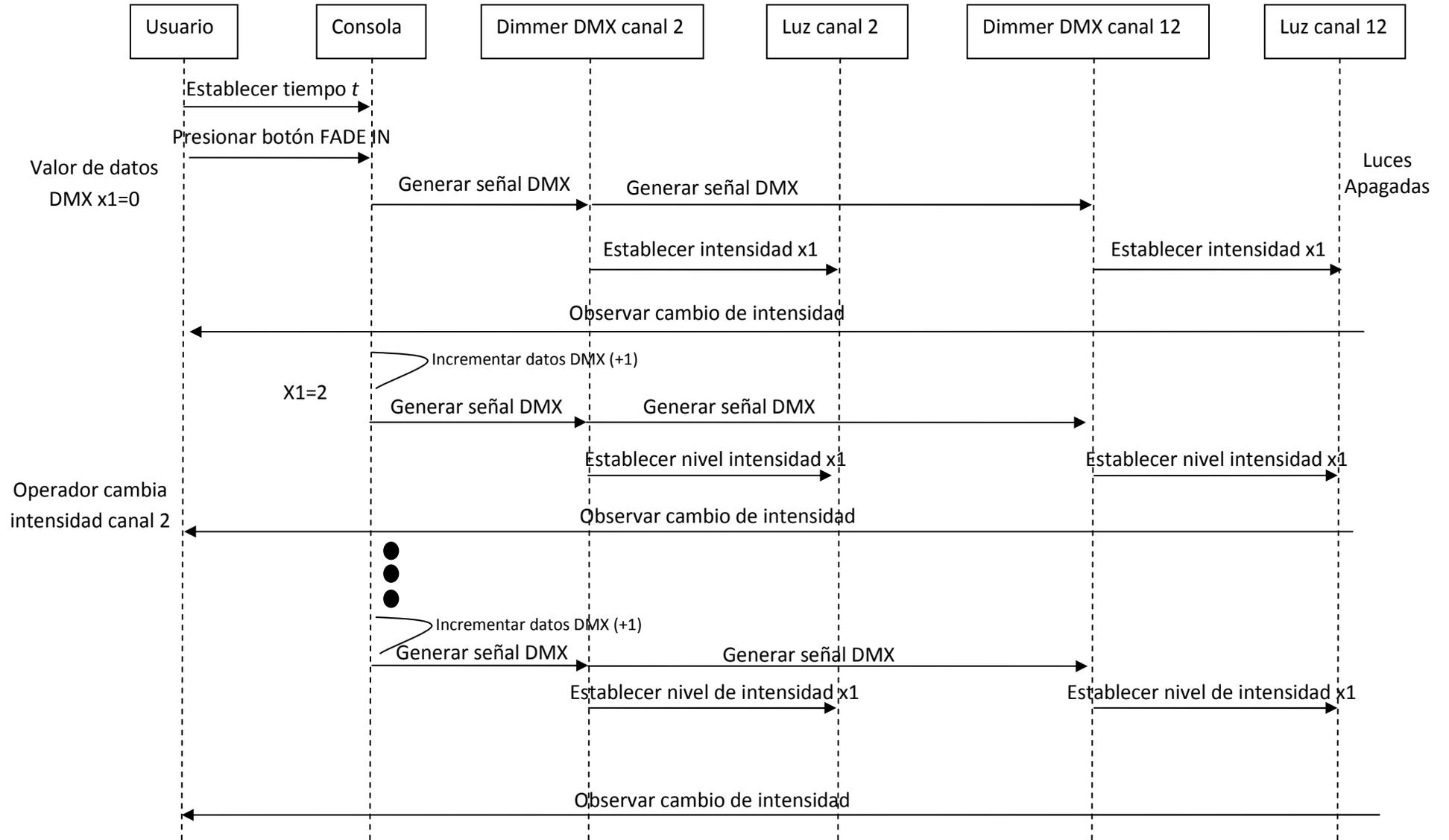


Fig V.28 Diagrama de secuencia: Emplear funciones de FADE IN

Caso de uso: Control de las funcionalidades del Robocolor

En este caso de uso el operador puede manipular las diferentes funciones del Robocolor Pro518, cada una de estas funciones reaccionan dependiendo los valores enviados y de los canales que se modifiquen. En la tabla II.VI se muestra las propiedades que pueden ser modificadas y los valores necesarios para que el operador pueda interactuar con el Robocolor.

Es necesario recalcar que tanto las funciones como el número de canales que se pueden manipular dependen específicamente del modo en el que el equipo se encuentre trabajando. Para el caso específico del presente proyecto el Robocolor se encuentra configurado en el modo 1, es decir, maneja únicamente 7 canales.

Caso de uso: Reproducir Secuencias

Para este caso de uso existe secuencias pre programadas tanto en el Robocolor como en las luces externas, dichas secuencias para que puedan ser ejecutadas únicamente es necesario dar un clic sobre el botón escogido que contiene la secuencia seleccionada.

División Del Sistema En Subsistemas

Una vez que se han presentado las especificaciones del Sistema a desarrollar, se inicia el particionamiento Hw y Sw.

Después del análisis de las especificaciones y de una revisión exhaustiva del protocolo DMX 512, se observó que la propia naturaleza de un sistema DMX hace que el diseño y

construcción esté formado por módulos o subsistemas como lo muestra el diagrama a bloques de la Fig. V.29.

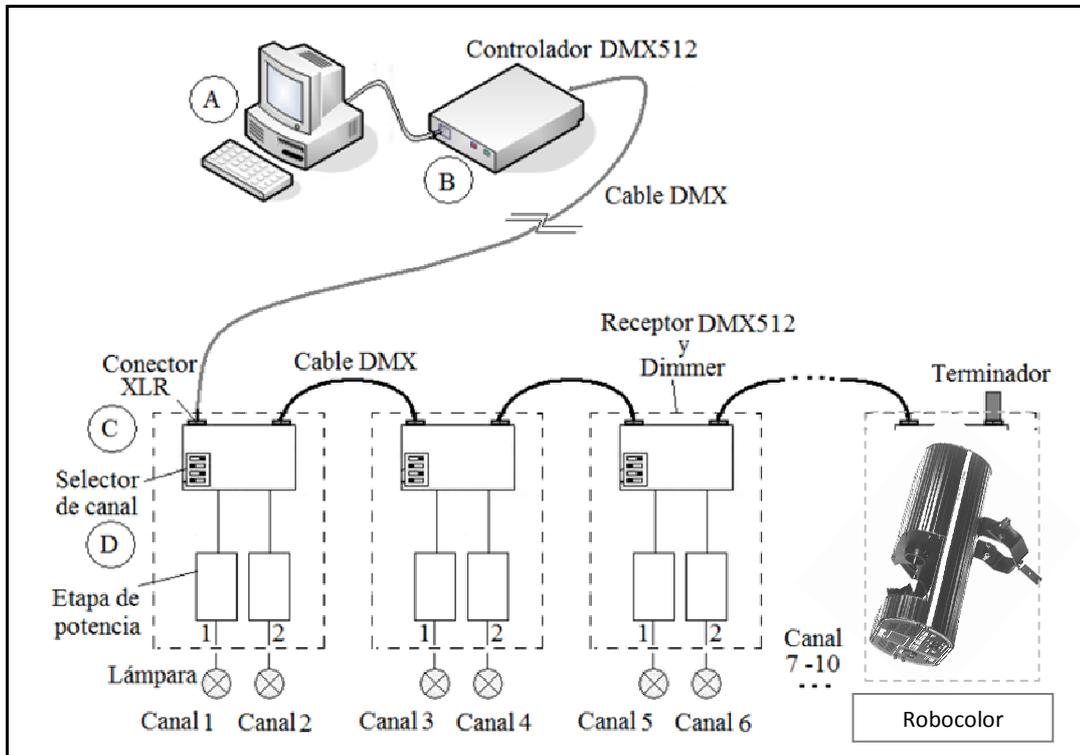


Fig. V.29. Diagrama a bloques de un Sistema DMX512

Los principales módulos de un sistema DMX son los siguientes:

- Una consola de control, representada por la PC y el controlador DMX, partes A y B respectivamente.
- Cable DMX
- Uno o más dispositivos DMX o dimmers pudiendo utilizar entre ambos un máximo de 512 canales, partes C y D.

Su descripción general es la siguiente:

Una consola de control o implementada en un programa de computadora, con una interfaz gráfica de usuario como se muestra en la Fig. V.30, la cual contiene principalmente barras de desplazamiento (llamados FADERS) y botones como medios de control. El primero de ellos permite al operador regular individualmente la intensidad de las luces así como manipular los valores de los canales asignados al Robocolor por ejemplo el canal 3 maneja los colores, el segundo sirve para realizar funciones específicas en el Robocolor, al igual que maneja el encendido (FADE IN) y apagado (FADE OUT) progresivo de las luces y la reproducción de secuencias. El programa de computadora y el controlador DMX se comunican a través del puerto paralelo.

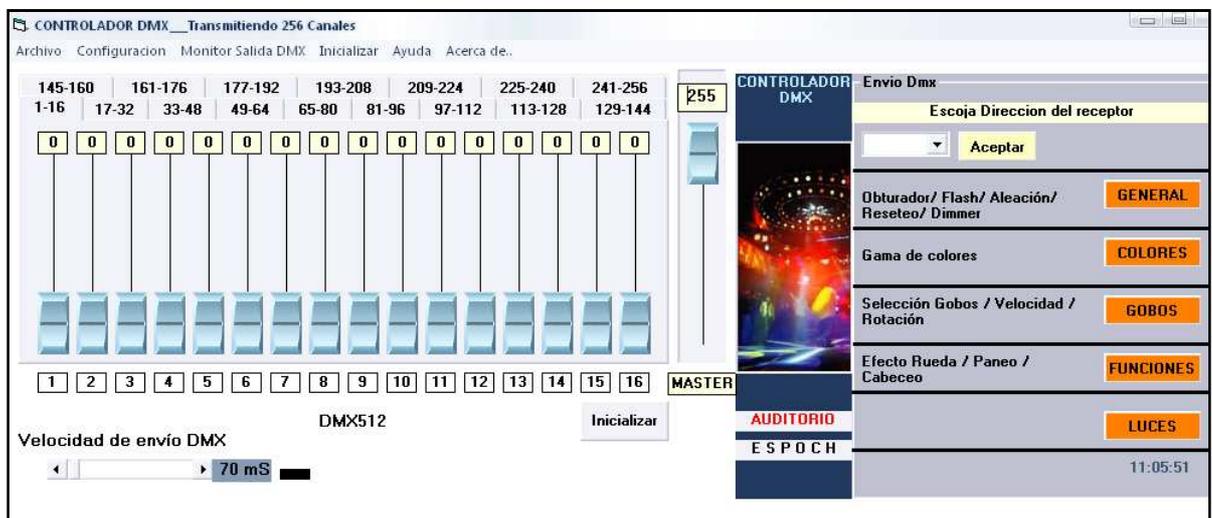


Fig. V.30 Interfaz del programa de control.

Un control (maestro) recibe de la PC los datos de intensidad deseados, posteriormente multiplexa dichos datos, en base al estándar DMX 512, generando así la señal DMX512 que es transmitida serialmente a los dispositivos DMX y a los dimmers.

El siguiente módulo a diseñar, es el dimmer (esclavo) de dos canales. Las dos funciones del dimmer son demultiplexar la señal DMX512 enviada por el controlador, obteniendo los dos datos DMX que le corresponden y la segunda función es que para cada canal debe controlar la intensidad en la lámpara, en función de los valores de los datos DMX recibidos. Para efectos de demostración se conecta el dimmer en una cadena tipo Daisy, con el Robocolor Pro 518. El controlador y los dispositivos DMX con los dimmers se comunican a través de un cable DMX. Los conectores utilizados son de tipo XLR de 3 pines y la impedancia del terminador es de 120Ω .

La Fig. V.31, muestra el diagrama de despliegue del sistema de control de iluminación a desarrollar, en este se pueden observar los siguientes nodos: PC, Controlador, Bus DMX y varios nodos dimmer.

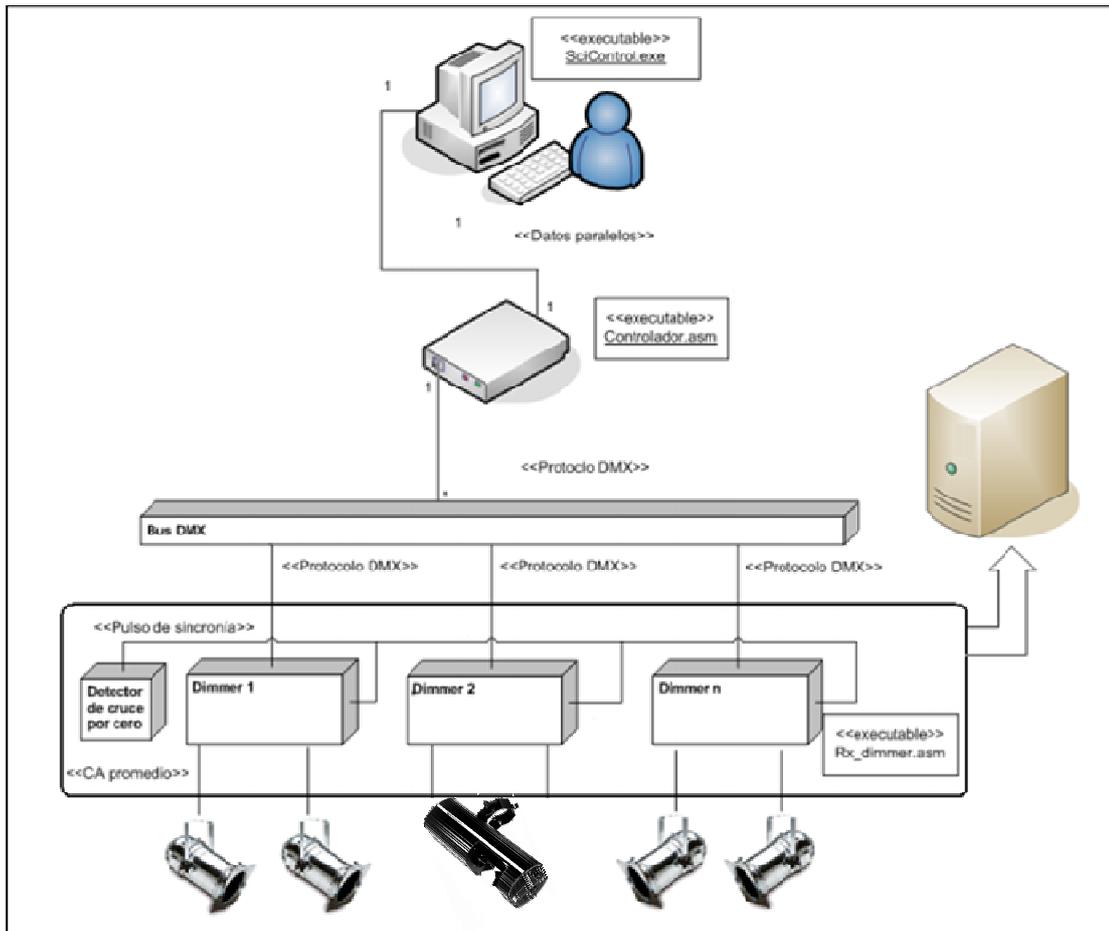


Fig. V.31 Diagrama de despliegue del sistema de control de iluminación DMX.

El diagrama de despliegue de la Fig. V.31 nuevamente enfatiza que el diseño y construcción del sistema debe ser modular, de esta manera siguiendo las siete fases de la metodología descrita, su desarrollo ha sido dividido de la siguiente manera:

Las fases 2, 3, 4 y 5 se han realizado tanto para el controlador DMX como para el dimmer, como se muestra en la Fig V.32., las fases 6 y 7 han sido desarrolladas de manera general para el Sistema de Iluminación.

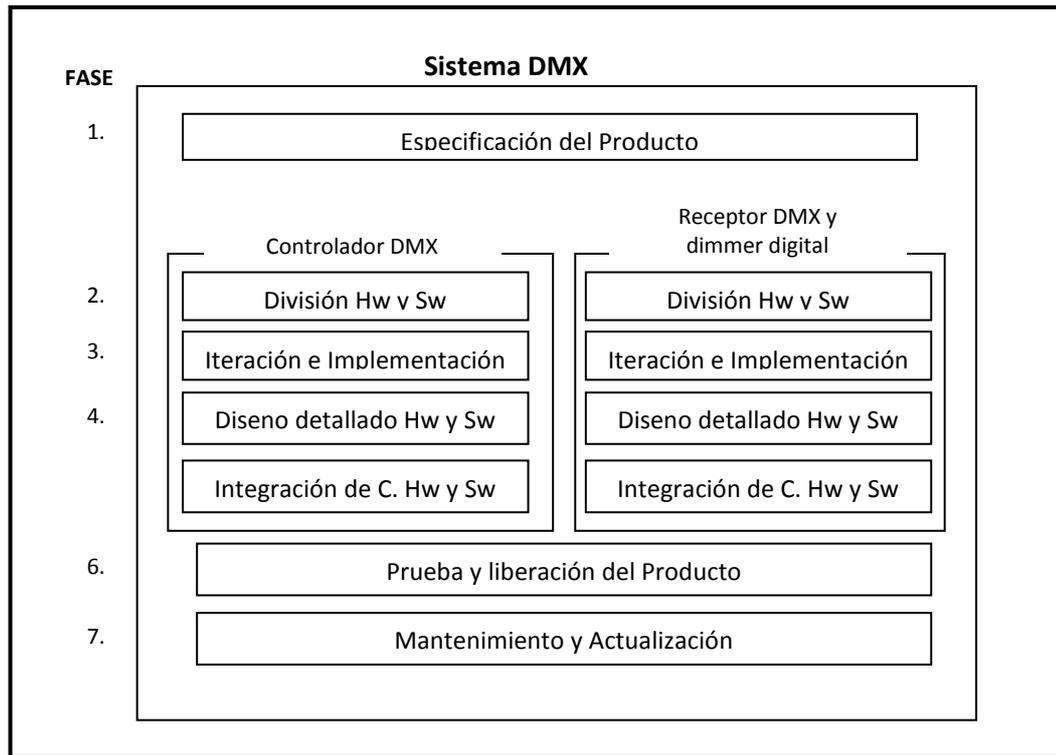


Fig. V.32 División de las fases de desarrollo del sistema

Fase 2: Particionamiento Hw y Sw del controlador DMX

Para la fase 2 correspondiente al controlador DMX se emplea un diagrama de casos de uso para definir sus requerimientos e identificar claramente los actores que interactúan con él. El diagrama es mostrado en la Fig. V.33.

Los casos de uso identificados para el control son dos: “Recibir datos DMX” de la PC y “Transmitir trama DMX512”. Como actores se han identificado a la “Computadora” y a los “Receptores DMX” en este caso estos receptores son los Robocolors y el dimmer..

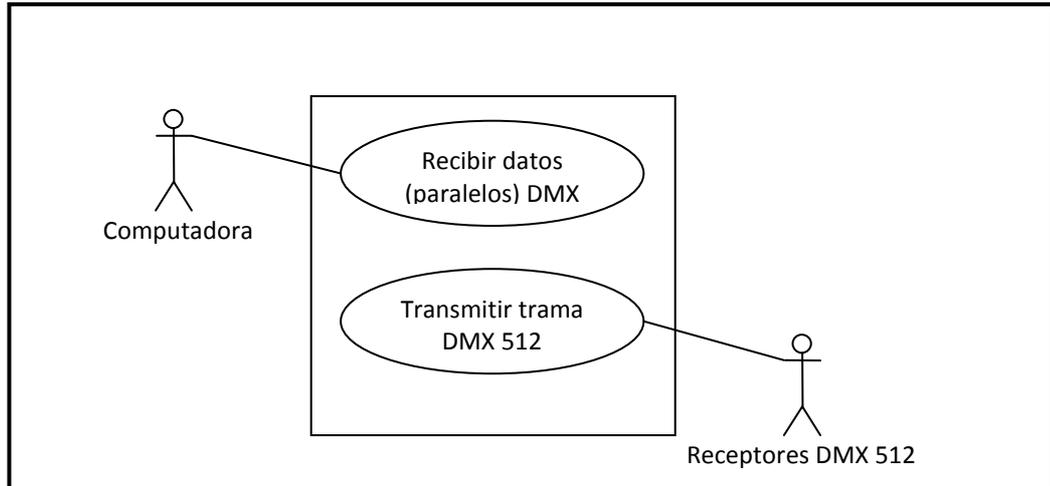


Fig. V.33. Casos de uso del controlador DMX

Con base en las especificaciones del Sistema y el diagrama de casos de uso anterior, la división del diseño del controlador en sus componentes Hw y Sw se realizó de acuerdo a la Tabla V.VIII.

Tabla V.VIII División del diseño del controlador del Sistema en sus componentes Hw y Sw.

Hw	Dispositivo	Sw	Dispositivo
Unión al medio físico	Transceptor	Recepción datos de la Pc	Microcontrolador
Conexión al PC	Cable Puerto Paralelo	Generación de la señal DMX512, que se envía a los receptores.	Microcontrolador

El Hw del controlador del Sistema de Iluminación, se compone de los siguientes dispositivos, Fig. V.34:

- MCU 16F88 marca Micropic
- Transceptor de bus diferencial SN75176 compatible con las características del protocolo RS485.
- Cable UTP (Unshielded Twisted Pair)

- Conector XLR hembra de 3 pines.
- Conector DB25 macho
- Fuente de alimentación lineal de +5v

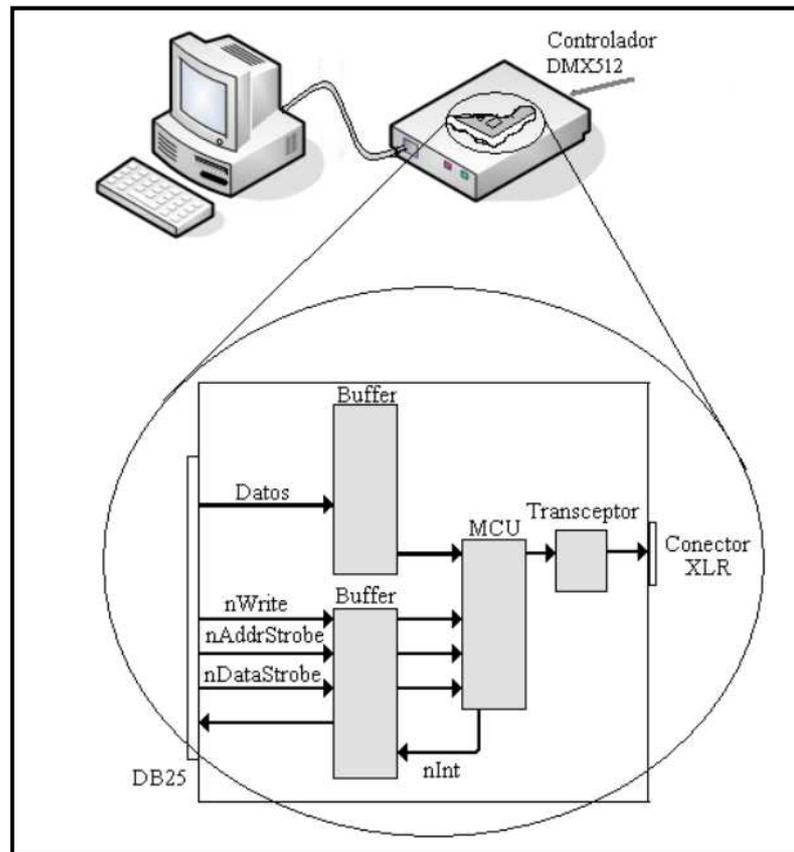


Fig. V.34 Diagrama de Bloques del controlador DMX

Las tareas del controlador son:

Recibir datos de entrada de 8 bits del Puerto paralelo de la PC, con los cuales generará la señal DMX512 cumplimiento con las especificaciones del estándar DMX512.

Selección Hw y Sw para el controlador DMX

Microcontrolador

Como controlador se seleccionó al MCU 16F88 por las siguientes razones:

- Su arquitectura es RISC
- Conjunto de instrucciones amplio
- El número de E/S es suficiente para la aplicación
- Velocidad de operación de hasta 20 Mhz, permitiendo la realización de sistemas óptimos de bajo consumo de energía frente a la velocidad de procesamiento.
- Disponible en el país
- Dispone de un mayor número de bancos de memoria.

Interfaz PC-controlador

El Puerto Paralelo se encuentra disponible universalmente sobre las PC's. es un puerto externo a la PC, por lo que no es necesario abrirla. Otro beneficio del puerto paralelo es que la IEEE continúa la mejora de las especificaciones del mismo. Durante los últimos años, los programadores cada vez más han favorecido al puerto paralelo como medio para conectar sistemas de seguridad de software (candados dongles), así como varios tipos de impresoras de alto rendimiento y quizá lo más importante para nuestro caso, el puerto paralelo permite mantener conexión de alta velocidad y bajo costo.

Uno de los modos avanzados de operación es conocido como EPP (Enhanced Parallel Port), puede proveer transferencias de datos bi-direccional de 8 bits a velocidades que exceden 1 MB/s.

El puerto paralelo es así una solución elegante y económica para sistemas de control de iluminación con una PC, por tal razón ha sido elegido para la interfaz entre el controlador y la PC.

Interfaz Controlador-Receptores DMX 512

Como interfaz física entre el controlador DMX y los dimmers, se seleccionó al transceptor de bus diferencial SN75176 debido a que cumple con la norma ISO 8482 (ANSI TIA/EIA-422-B y TIA/EIA-485-A), además de las siguientes características:

- La derivación amplificada puede tener hasta un máximo de 32 dispositivos EIA-485 conectados.
- Aumenta la distancia del circuito EIA-485 a 1200 metros.
- Permite conectar amplificaciones EIA-485 adicionales.
- Cada amplificador aumenta la señal EIA-485 en 32.
- Transceptor bidireccional (para cambios futuros).
- Alimentación +5v.
- Diseñado para transmisiones multipunto con líneas de bus largo en ambientes ruidosos.

Fase 3. Iteración y desarrollo del controlador

Las tareas que se realizaron para el desarrollo del controlador en el entorno Pic C Compiler son las siguientes:

- Escribir y depurar programas de prueba.
- Simular la lectura y escritura a direcciones de memoria externa, así como la configuración de los registros del MCU.

- Simular la escritura de bits en los registros de I/O.
- Verificar la ejecución de las subrutinas, **la activación de interrupciones** y el tiempo de ejecución de las mismas.
- Descargar el programa al MCU mediante el programador.
- Programar los bits internos del MCU para seleccionar las opciones de funcionamiento.
- Las tareas iterativas Hw y Sw, de corrección o ajuste son las siguientes:
 - Asignar direcciones de memoria interna en el MCU.
 - Asignar funciones a los puertos del MCU.
 - Configurar los registros del MCU.
 - Agregar y/o modificar las conexiones Hw necesarias.

Fase 4: Diseño paralelo Hw y Sw del controlador DMX

Una vez seleccionados los componentes Hw del controlador DMX del Sistema de Iluminación, se definen los siguientes aspectos:

- Asignación de funciones a los puertos del MCU del controlador del DMX512.
- Asignación de los registros del MCU a emplear.

Asignación de funciones de los puertos del MCU del controlador DMX

La Tabla V.IX muestra la asignación de los puertos y pines del MCU del controlador DMX.

Tabla V.IX Función para cada pin de los puertos del MCU

PUERTO	PIN	E/S	NOMBRE	FUNCIÓN
B	RB0-7	E	Datos del LPT	Bus de datos del LPT al MCU
	RA0	S	DMX512 (TTL)	Señal DMX generada
	RA1	E	Clock	Indica al MCU la escritura de un dato
	RA3	E	Start	Indica al MCU la escritura de una nueva trama DMX

Asignación de los registros del MCU a emplear para el controlador DMX

La Tabla V.X muestra la relación de los registros del MCU del controlador DMX.

Tabla V.X Mapa de memoria de los registros del MCU del controlador DMX

REGISTRO	NOMBRE
SPL	Apuntador de pila (bajo)
MCUCR	Control general del MCU
PORTB	Datos del puerto B

Diseño del Sw del controlador DMX

El diseño del Sw del controlador se basa en las especificaciones iniciales del sistema, considerando los siguientes factores:

- Interfaz del MCU con el puerto paralelo en el modo EPP.
- Asignación de puertos del MCU.
- Interfaz de la capa física hacia los receptores DMX.

En el Sw del controlador, el código de configuración del MCU se basó en una programación estructurada considerando la fase de mantenimiento y actualización. Éste está basado en el diagrama de estados de la Fig.V.35, en las Tablas V.XI Y V.XII se presentan la descripción de los estados y los estímulos del programa respectivamente.

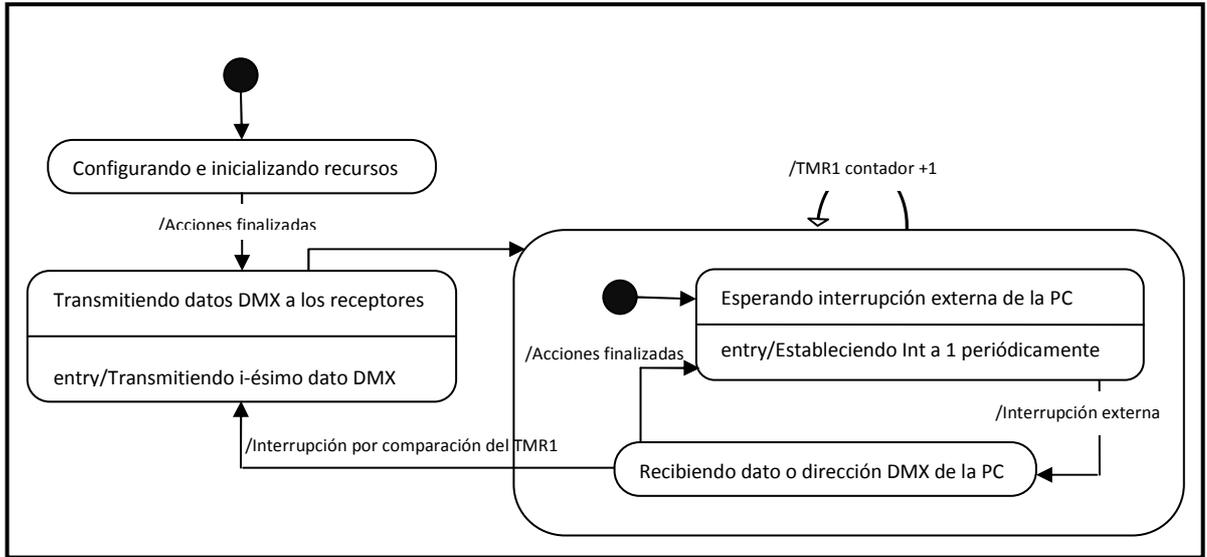


Fig V.35 Diagrama de estados del programa del controlador del sistema

Tabla V.XI Descripción de los estados del controlador

ESTADO	DESCRIPCIÓN
Configurando e inicializando recursos	El programa del MCU configura la pila, los puertos y los registros a utilizar. Además de inicializar la memoria SRAM.
Transmitiendo los datos DMX a los receptores.	El programa del MCU genera la señal DMX.
Actualizando datos de la PC.	El programa del MCU está listo para la actualización de los datos de la PC.
Esperando la señal Start de la PC.	El programa de la PC le indica a la MCU, que está listo para enviar actualizaciones de datos.
Recibiendo dato	El programa del MCU detecta por medio la señal clock la recepción de un dato DMX. El dato recibido se almacena en la dirección (memoria RAM) recibida previamente.

Tabla V.XII Estímulos del programa del controlador.

ESTÍMULO	DESCRIPCIÓN
Generación de una trama DMX finalizada	El programa del MCU ha terminado de generar una trama DMX.
Señal Start	La PC le indica al MCU, por medio de la señal start la actualización de los datos
Señal clock	La PC le indica al MCU, por medio de la señal start la escritura de un dato.
Acciones finalizadas	El conjunto de instrucción del estado han terminado.

Los detalles de cada uno de los estados se describen a continuación:

Estado: Configurando e inicializando recursos del MCU

Para el estado configurando e inicializando recursos del MCU, las subrutinas son: configurar E/S, e inicializar memoria RAM interna.

Configurar E/S del MCU

La subrutina de configuración de entradas y salidas se ejecuta después que se alimenta con 5v o después de un reinicio manual del MCU del controlador. La Fig. V.36 muestra el diagrama de flujo de la subrutina configurar E/S del MCU. La subrutina realiza lo siguiente:

Inicializar la pila del MCU: Para asignar la dirección de memoria que debe tener el apuntador de la pila del MCU.

Configurar los puertos B por medio de los bits de los registros TRISB y TRIS. Apara habilitar como entrada y salida.

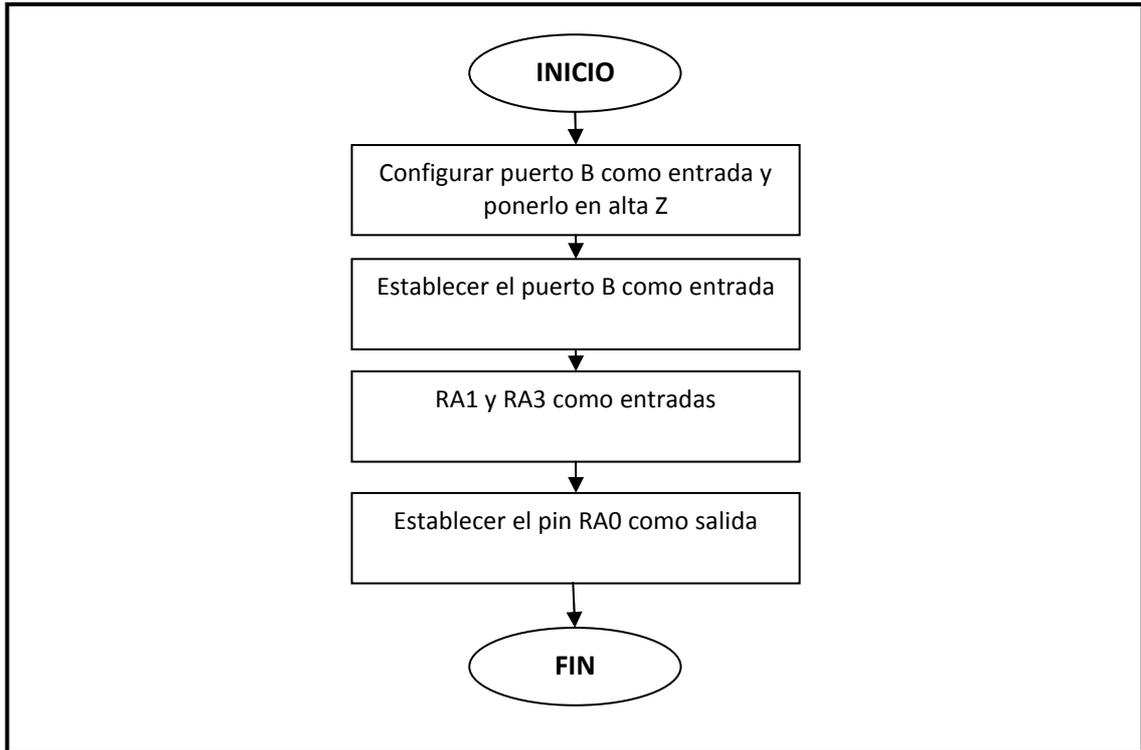


Fig V.36 Diagrama de flujo de la subrutina configurar E/S del MCU

Inicializar memoria SRAM interna

La subrutina de inicialización de memoria SRAM interna se ejecuta después de que las E/S han sido configuradas.

Esta subrutina se encarga de inicializar a cero las doce localidades que almacenarán posteriormente los datos que se reciben del Puerto Paralelo, con la intención de que si el controlador aún no ha sido conectado a la PC, pero este se encuentre alimentado, los datos que transmita a los receptores sean valores de intensidad nula.

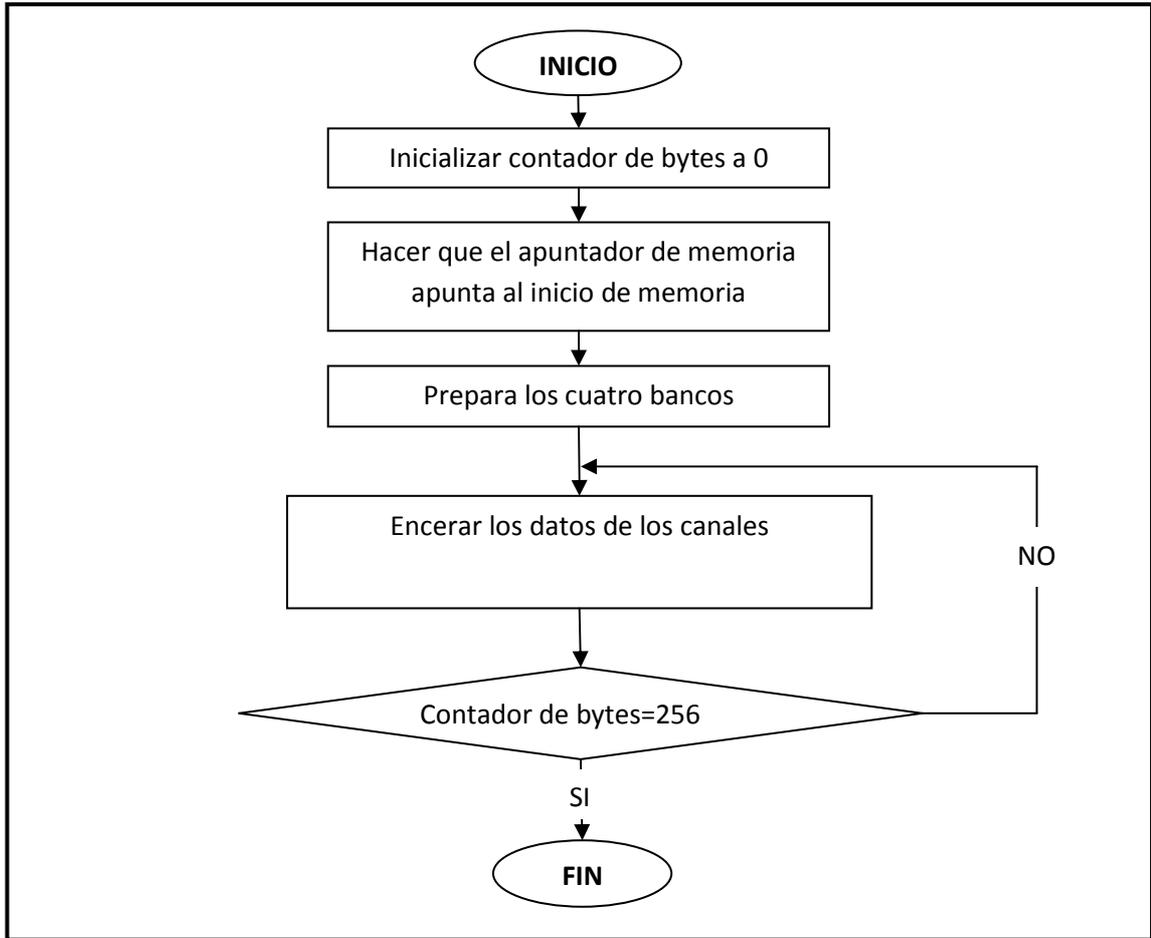


Fig. V.37 Diagrama de flujo de la subrutina de inicialización de memoria SRAM

Al finalizar las acciones del estado: configurando e inicializando recursos, el programa pasa inmediatamente al siguiente estado, el cual se encarga de generar y transmitir la señal DMX a los receptores.

Estado: Transmitiendo datos DMX a los receptores

La Fig. V.39 presenta el diagrama de flujo de la subrutina encargada de generar la señal DMX. Tal generación se lleva a cabo con los datos que se mantienen almacenados en memoria SRAM. La señal a transmitirse se genera en el pin RA0 del MCU,

denominado como línea de ahora en adelante. El esquemático del controlador DMX se presenta en la Fig V.38.

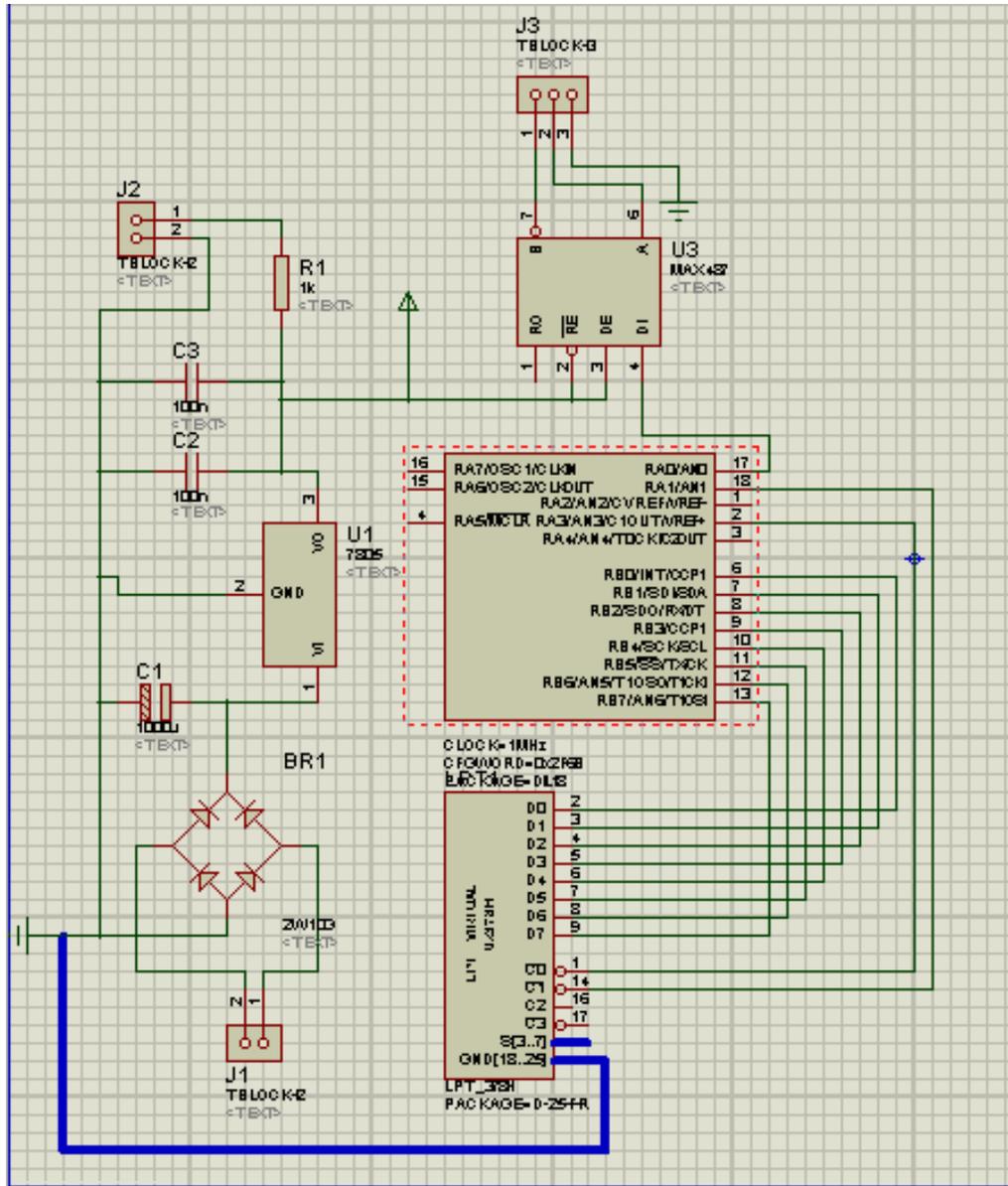


Fig V.38 Esquemático del controlador DMX

El funcionamiento del programa en este estado es el siguiente:

Inicialmente la línea permanece en alto, al entrar a este estado, se genera el Space for Break, el cual consiste en mantener en bajo a la línea durante $88\mu\text{s}$, para posteriormente producir la MAB, la cual mantiene la línea en alto durante $8\mu\text{s}$, para después generar la Slot Time, que no es más que enviar el código de inicio (START CODE) igual a 00h , con el bit de inicio en bajo y dos bits de stop (altos). Una vez terminado, la línea debe mantenerse en alto un intervalo entre 0 y 1 segundo, particularmente se selecciona $40\mu\text{s}$, que es el tiempo promedio que tarda un receptor en procesar la señal DMX.

Hasta esta parte se ha generado la parte inicial de una trama DMX, queda enviar cada uno de los 255 bytes de los datos almacenados en memoria SRAM. Para esto el programa se apoya en dos ciclos anidados, un ciclo cuenta los bytes y el segundo cuenta y procesa cada uno de los bits de cada uno de los bytes de los 255 datos.

El procesamiento de los bits a transmitir por la línea consiste en: enviar el bit de inicio (pulso bajo de $4\mu\text{s}$), posteriormente el dato del primer canal después se envía la señal Mark y así sucesivamente hasta completar los 255 canales, se envía por la línea (RA0)

La señal se genera en el pin RA0 del MCU, mediante la generación de retardos y transiciones de bajo a alto o viceversa, cumpliendo con el estándar DMX. La conexión del pin RA0 hacia el transceptor SN75176 se muestra en el esquemático de la Fig V.38.

Estado: Actualizando datos de la PC

El estímulo que permite entrar al súper estado *Actualizando datos de la PC* es cuando la generación de una trama DMX finaliza.

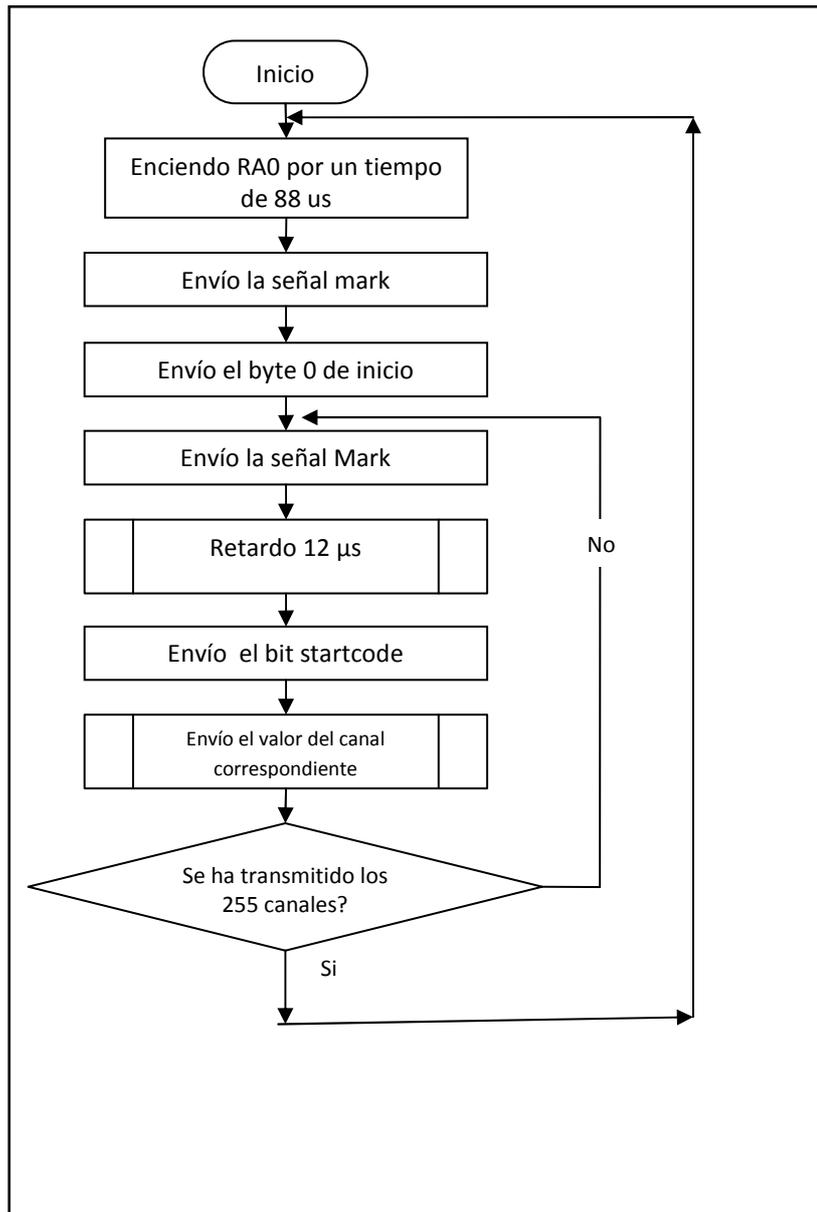


Fig V.39 Diagrama de flujo para la generación de la señal DMX

Cuando la generación de una trama DMX finaliza, el Pic se habilita dando oportunidad de actualizar los datos.

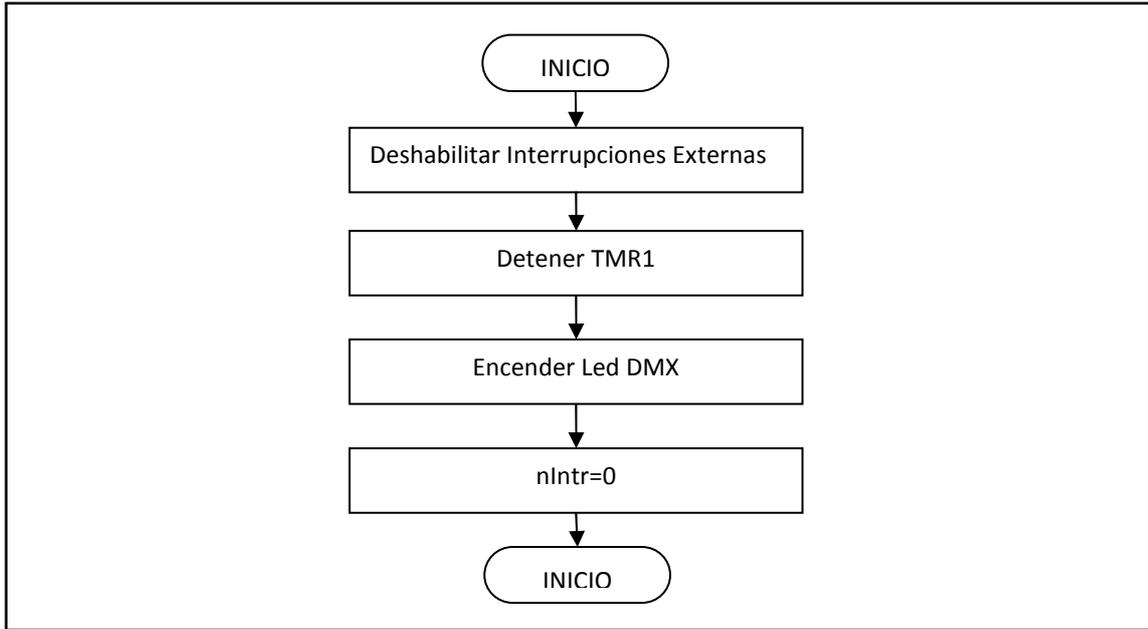


Fig V.40 Diagrama de Flujo del envío general de datos DMX

Estado: Recibiendo dato o dirección DMX de la PC

El programa cambia a este sub-estado cuando se han transmitido todos los 255 canales almacenados en los registros de propósito general. Si halla la señal de Start empieza a captar los nuevos valores de todos los canales caso contrario sigue enviando los datos anteriores. Los datos son enviados por el puerto paralelo. La Fig 5.17 muestra el diagrama de flujo que permite realizar esto.

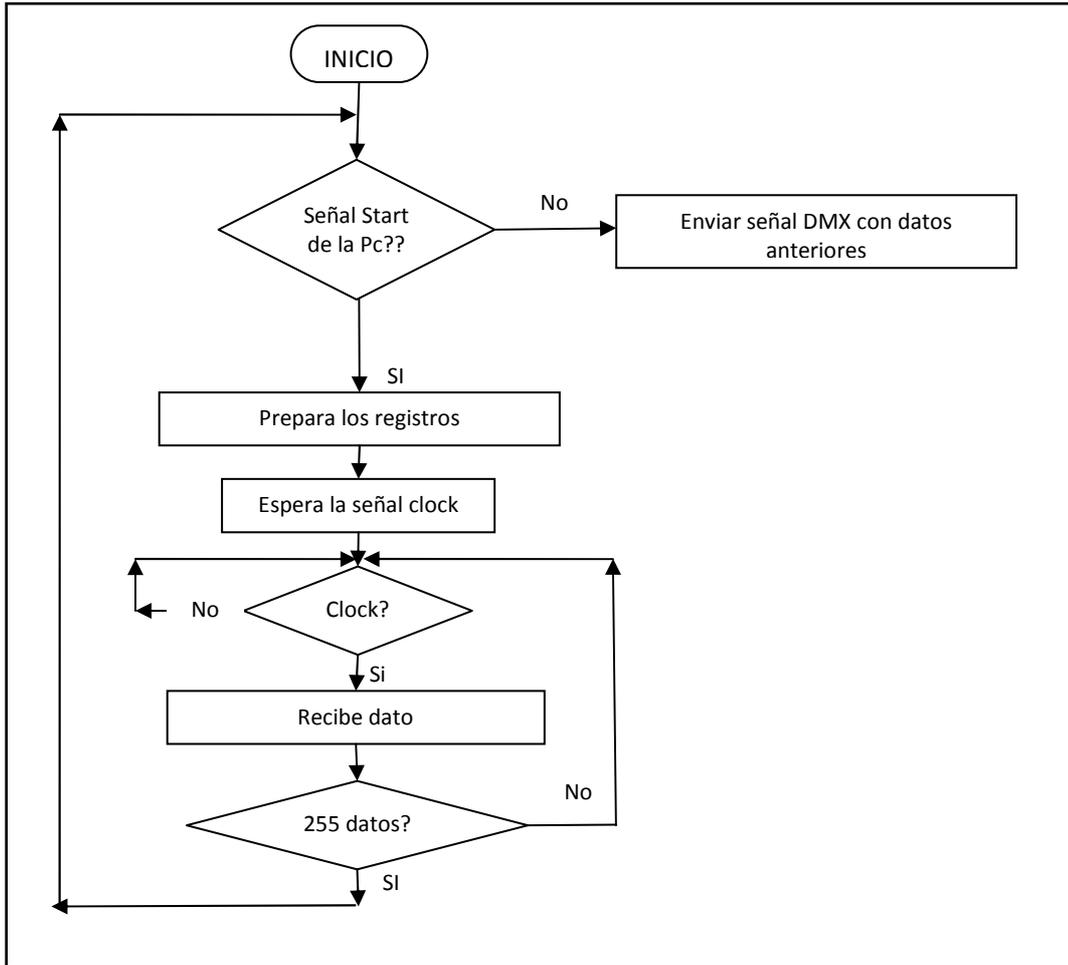


Fig V.41 Diagrama de flujo para el estado *Recibiendo dato o dirección DMX de la PC*

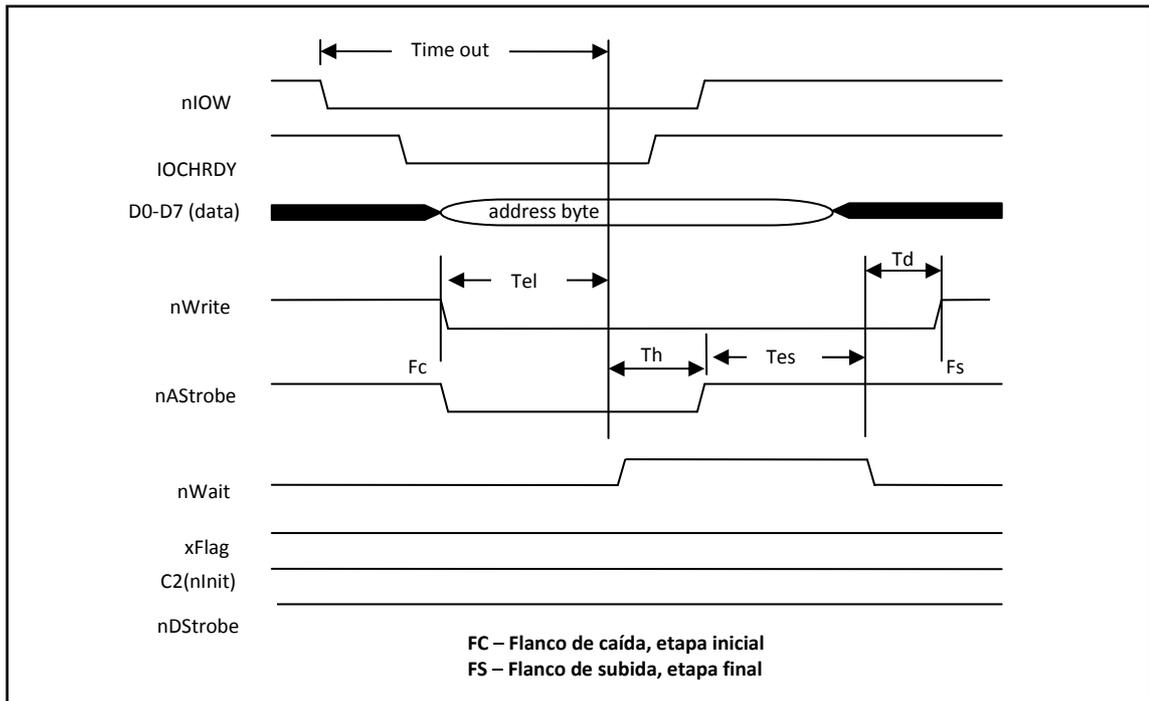


Fig V.42 Diagrama de tiempos para el ciclo de recepción de datos desde la PC

Fase 5: Integración Hw y Sw del controlador DMX

La integración Hw y Sw del controlador DMX consistió en realizar las siguientes tareas:

- Verificar las conexiones de los componentes Hw.
- Ejecutar programas de prueba a los periféricos (Puerto Paralelo, transceptor).
- Descargar el programa principal al MCU mediante el programador.
- Ejecutar el programa del MCU y validar su funcionamiento.

Fase 6: Verificación del controlador DMX

Para verificar el correcto funcionamiento del controlador DMX, se realizaron pruebas de la siguiente forma:

- Transmisión de tramas DMX con datos almacenados en memoria SRAM programados previamente en el programa de control, esto sin la conexión del Puerto Paralelo.
- Medición de los tiempos de BREAK, MAB, MBB, valor de dato (dato DMX) y los bits de stop, por medio del osciloscopio.
- Trasmisión de datos DMX de la PC al controlador DMX, por medio de una aplicación simple de escritura de dirección y de datos, realizada en Visual Basic.

Fase 7: Mantenimiento y actualización del controlador DMX

La Tabla V.XIII muestra las actualizaciones realizadas al controlador del sistema de iluminación durante su desarrollo.

Tabla V.XIII Versiones de actualización del controlador durante su desarrollo.

VERSIÓN	ACTUALIZACIONES
0.1	Configuración de registros del MCU para habilitar las funciones requeridas en las especificaciones iniciales. El Hw del controlador DMX contiene solo el MCU. Establecimiento de los retardos y transiciones para generar la señal DMX. Transmisión de doce datos DMX almacenados en memoria RAM del MCU. Medición (en el controlador) de los tiempos del BREAK, MAB, MBB, valor de dato (dato DMX) y los bits de stop por medio del osciloscopio. Ajuste de los tiempos por medio de retardos en el programa del MCU.
0.2	El Hw del controlador DMX contiene: MCU y un dip-switch, los cuales permiten cambiar en forma manual el valor de los datos DMX hacia el MCU. Configuración de la INT1 del MCU e implementación del handshake EPP, para dar soporte a la recepción de los datos DMX. Programación de las subrutinas e ISR's para modificar los datos DMX. Transmisión de datos establecidos mediante un dip-switch, emulando los datos provenientes del Puerto Paralelo, a una velocidad de transferencia de 250 Kbps.
0.3	Se agrega dos receptores SN75176 al Hw existente, uno como transmisor y otro como receptor, conectados vía un cable UTP de 60 metros. Comunicación DMX a 250 Kbps. Recepción exitosa de tramas en el transceptor que esta conectado como receptor. Medición (en el transceptor) de los tiempos de BREAK, MAB, MBB, valor de dato (dato DMX) y bits de stop, por medio del osciloscopio.

5.2 DESARROLLO DEL PROGRAMA DE CONTROL

El presente capítulo describe el diseño y desarrollo del programa de control de la PC, se presentan las consideraciones tomadas en el programa orientado a eventos realizados en Visual Basic.

La recolección de información del programa que controla la iluminación se realizó por medio de revisiones a programas comerciales que realizan las mismas funciones. Partiendo de estas revisiones se obtuvieron los requerimientos generales del programa de control, que se detallan en los casos de uso.

Descripción del proceso de control de iluminación de espectáculos

El proceso de control de iluminación se realiza con la finalidad de darle a un operador la facilidad y operabilidad de controlar la iluminación de las luces colocadas de manera estratégica dentro de un escenario para la iluminación de obras de teatro, espectáculos musicales, etc. El proceso inicia una vez que se han instalado y hecho las conexiones adecuadas de las luces a los receptores-dimmers, éstos al controlador DMX y éste último a la PC que contiene el programa para el control de iluminación. Mediante el programa, el operador podrá controlar directamente las luces durante todo el espectáculo, otra posibilidad que tiene el operador es programar secuencias de encendido-apagado que podrá reproducir (ejecutar) durante el espectáculo.

Requerimientos funcionales del programa de control de iluminación

Las revisiones realizadas a programas comerciales que realizan las mismas funciones dieron el panorama para conocer el proceso del control de iluminación espectacular y así determinar los requerimientos del programa. A continuación se describen los requerimientos funcionales:

- El operador indica el momento en que desea empezar a controlar las luces.
- El operador controla (incrementa/decrementa) la intensidad de luminosidad (función Dimmer) de las luces.
- El operador realiza las funciones de FADE IN (incremento progresivo de la intensidad de las luces) en un intervalo de tiempo seleccionado.
- El operador realiza funciones de FADE OUT (desvanecimiento progresivo de la intensidad de las luces) en un intervalo seleccionado.
- El operador establece el número de luces (canales) a controlar.
- El operador reproduce las secuencias de encendido/apagado de las luces.
- El operador controla la iluminación mediante Mouse.
- El programa despliega información tal como los niveles de intensidad por canal, valor del control maestro.
- El programa despliega ayuda para el operador.

Requerimientos no funcionales del programa de control de iluminación

- El sistema debe comunicarse con el controlador DMX por medio del Puerto Paralelo.
- El sistema debe ejecutarse en sistemas operativos de plataforma Microsoft Windows XP.

Descripción general del sistema

El sistema controla las diferentes funciones que se requieren en la realización de un espectáculo, realizándolo de la siguiente manera:

- Control de la intensidad de las luces en tiempo real.
- El operador da órdenes de incrementar/Decrementar el nivel de intensidad luminosa de cada una de las luces mediante un control asignado a estas. El sistema se comunica con el controlador DMX para indicarle el cambio en el nivel deseado por el operador, además de proporcionarle información en pantalla relativa a los datos DMX.
- Programación de secuencias de encendido/apagado de las luces.

El operador con ayuda de los controles establece una secuencia ya programada, en la cual las luces deben encenderse/apagarse cada vez que transcurre un tiempo establecido por medio de otro control. Al ejecutarse una secuencia, el sistema se comunicará con el controlador para indicarle los niveles que deben tomar cada una de las luces. De la misma manera el sistema proporcionará información en la pantalla de los datos DMX que se están transmitiendo en ese momento al controlador.

Propósito del sistema

Controlar el Robocolor Pro51, regular la intensidad de las luces conectadas al sistema de iluminación y reproducir secuencias de encendido/apagado de las mismas.

Objetivos del sistema

El objetivo es contar con una herramienta para el control de la iluminación y una automatización en el control de escenas para espectáculos, obras teatrales, etc. Lo cual incluye:

- Control directo de las luces individual y completamente.
- Observación rápida de las intensidades de luz proporcionadas en las lámparas.

Alcances del sistema

- Control de la intensidad de las luces.
- Programación y reproducción de secuencias de encendido/apagado de las luces.

Implementación

La arquitectura general del sistema es una arquitectura maestro-esclavo, en donde el operador interactúa con el maestro (programa), el cual envía ordenes al esclavo (controlador DMX), éste las recibe y genera la señal DMX hacia los receptores DMX512.

Casos de uso del programa de control

Para el programa que permite controlar las luces se identificaron cinco casos de uso, englobando en ellos los requisitos funcionales. En la Fig V.43 se muestra el diagrama de casos de uso para el programa, éste es muy similar al presentado como caso de uso del sistema de iluminación, hay que notar que aquí se identifica un nuevo actor: el

controlador DMX, el cual también además del operador interactúa con el programa de control.

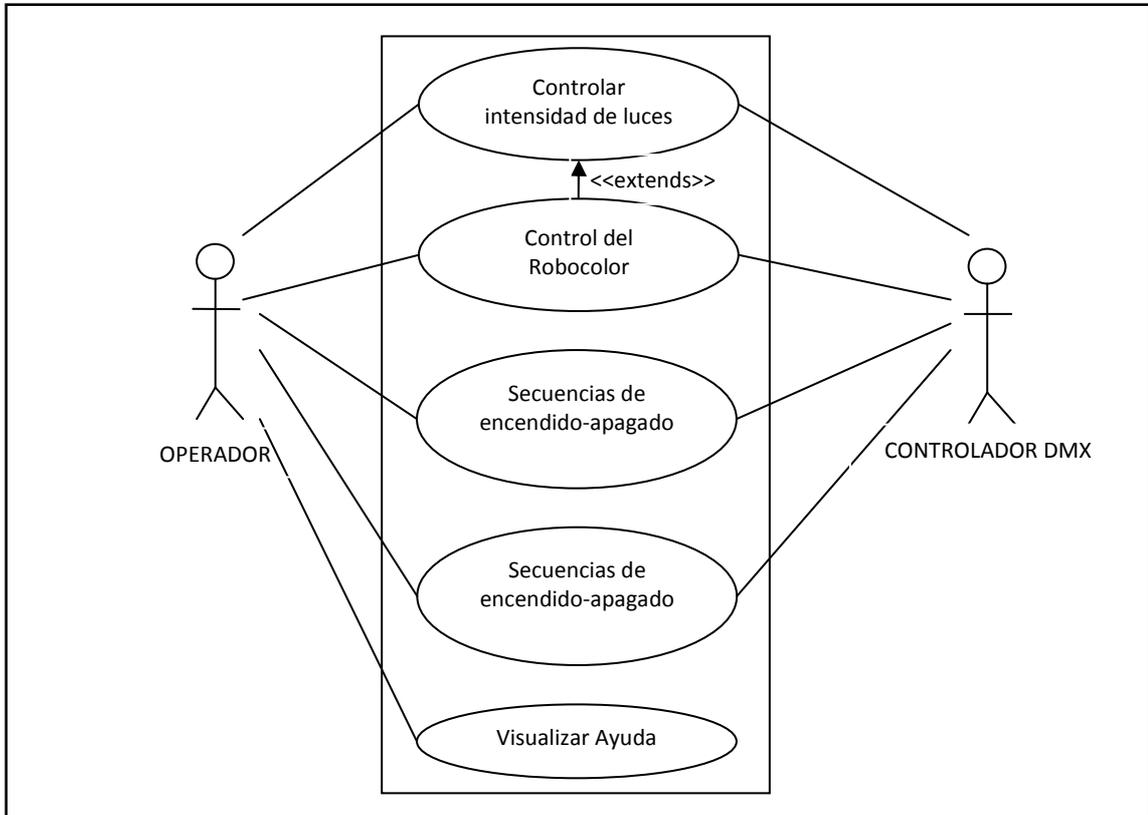


Fig V.43 Casos de uso del programa de control DMX512

Para hacer más clara la interacción del sistema con el operador y el controlador DMX, a continuación se presentan el flujo de eventos para cada uno de los cinco casos de uso:

Controlar la intensidad de las luces, emplear funciones de FADE, programar secuencias de encendido-apagado, reproducir secuencias de encendido-apagado y visualizar ayuda.

Flujo de eventos para el caso de uso: Controlar la intensidad de las luces

Precondiciones

Antes de iniciar este caso de uso, el operador debe estar visualizando la pantalla principal, donde puede acceder a los controles mostrados en la Tabla V.XIV:

Tabla V.XIV Controles para regular la intensidad de las luces

CONTROL	FUNCIÓN
N barras de desplazamiento (dependiendo del número de canales seleccionado)	Cada barra de desplazamiento regula la intensidad de la luz correspondiente, en función de la posición del indicador gráfico de valor (botón deslizante). Así, si el operador realiza cambios en cualquiera de las barras de desplazamiento de los dimmers, la actividad seleccionada es DIMMER.
Control maestro (barra de desplazamiento)	Establece la intensidad (0-100%) máxima que las luces pueden alcanzar. Si el operador establece el nivel del control maestro a 45% y posteriormente establece la intensidad de alguna de las luces con la barra de desplazamiento hasta su intensidad, sino el 45%. Esta función es útil cuando se desea limitar la intensidad máxima de las luces. Si el operador realiza cambios en este control, la actividad seleccionada es CM.
Botón Salir	En este caso la actividad seleccionada es SALIR.

Flujo principal

Este caso de uso inicia cuando el operador realiza algún cambio en uno de los controles anteriores (actividad deseada):

OPERADOR	SISTEMA
2. Realiza un cambio en los controles	<p>1. espera a que el operador realice algún cambio por medio del mouse, en alguno de los controles anteriores.</p> <p>3. Si la actividad seleccionada es DIMMER (el operador realizó cambios en cualquiera de las barras de desplazamiento de los dimmers) se lleva a cabo el sub-flujo C1: <i>Controlar intensidad de las luces</i>.</p> <p>Si la actividad seleccionada es CM (el</p>

	<p>operador modificó el control maestro) se lleva a cabo el sub-flujo C2: <i>Cambiar nivel de control maestro</i>.</p> <p>Si la actividad seleccionada es SALIR (el operador desea abandonar la aplicación) se lleva a cabo el sub-flujo C3: Salir de aplicación.</p>
--	---

Sub-flujos

C1 – Controlar la intensidad de las luces

OPERADOR	SISTEMA
	<ol style="list-style-type: none">1. Determina la nueva posición de la barra de desplazamiento que el operador movió, para determinar el valor del dato DMX en base al nivel del control maestro.2. Para el dimmer correspondiente despliega en pantalla: El nuevo tono del led indicador. El tono del led está en función del dato DMX. El nuevo valor del dato DMX.3. Envía los datos DMX al controlador DMX, en base al sub-flujo C6.
4. Visualiza en pantalla los cambios del dimmer correspondiente: el tono del led, el nuevo valor del dato DMX que se envió y el cambio de la luz correspondiente.	<ol style="list-style-type: none">5. El caso de uso inicia otra vez en el paso 1 del flujo principal.

C2 – Cambiar nivel de control maestro

OPERADOR	SISTEMA
4. Visualiza en pantalla los cambios de todos los dimmers, el tono de los leds, los nuevos valores de los datos DMX que se enviaron y el cambio en todas las luces.	1. Determina la nueva posición del control maestro que el operador movió y calcula los valores de los datos DMX para todas las luces. 2. Para cada dimmer se despliega en pantalla: Los nuevos tonos de los leds indicadores. El tono de cada led está en función del dato DMX correspondiente. Los nuevos valores de los datos DMX. 3. Envía los datos DMX al controlador DMX en base al sub-flujo C6. 5. El caso de uso inicia otra vez en el paso 1 del flujo principal.

C3 – Salir de la Aplicación

OPERADOR	SISTEMA
1. Visualiza el apagado de todas las luces.	1. Establece los valores de los datos DMX a 0. 2. Envía los datos DMX al controlador DMX, en base al sub-flujo C6. 4. El caso de uso termina.

C4 – Envío de los datos DMX al controlador DMX.

OPERADOR	SISTEMA
	<p>El envío de los datos al controlador DMX512 se lleva a cabo en dos pasos, primero se escribe a dirección del dato a enviar y después se escribe el dato, para esto se realiza lo siguiente:</p> <p>Es importante mencionar que al escribir al registro de dirección o de datos del puerto paralelo, el propio Hw genera automáticamente las señales del protocolo handshake.</p> <p>Escritura de la dirección:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Envía una señal de Start para que se prepare el microcontrolador a recibir nuevos datos. El primer dato corresponde a la primera dirección y así sucesivamente <p>Escritura del dato:</p> <ol style="list-style-type: none">1. El programa envía la señal de clock indicando al controlador la recepción de cada uno de los 255 datos2. Regresa el control al sub-flujo que lo llamo.

Flujo de eventos para el caso de uso: Emplear funciones de FADE

Precondiciones

Antes de iniciar este caso de uso, el operador debe estar visualizando la pantalla principal, donde puede acceder a los controles mostrados en la Tabla 3.9.

Tabla V.XV Botones para las funciones FADE IN y FADE OUT

BOTÓN	FUNCIÓN
FADE IN	Permite realizar el encendido progresivo de todas las luces en un tiempo de elección. Si el operador presiona el botón <i>fade in</i> , la actividad seleccionada es IN.
FADE OUT	Permite realizar el apagado progresivo de todas las luces en un tiempo de elección. Si el operador presiona el botón <i>fade out</i> , la actividad seleccionada es OUT.
Scroller Vertical	Permite establecer el lapso de tiempo en el que se realiza la función FADE (in, out).
Todas apagadas	Permite realiza el apagado inmediato de todas las luces. Si el operador presiona el botón <i>todas apagadas</i> , la actividad seleccionada es APAGADAS.
Todas encendidas	Permite realizar el encendido inmediato de todas las luces. Si el operador presiona el botón <i>todas encendidas</i> , la actividad seleccionada es ENCENDIDAS.

El tiempo que tarde en completarse la función Fade (in, out) está determinada por el valor seleccionado del scroller vertical, la cual el operador puede cambiar antes de presionar uno de los botones de Fade.

La ejecución de la función *fade in* se realiza de la siguiente manera: Suponiendo que existen 3 luces: L1, L2 y L3, si de estas tres al menos una de ellas, por ejemplo: L1 tiene una intensidad media y las luces L2 y L3 están apagadas, cuando se ejecute la función *fade in* las tres luces encenderán progresivamente hasta tener su máxima intensidad. La Fig V.44 (línea con círculos), muestra el cambio que sufren las luces L2 y L3 en un tiempo de *fade in* de 10 segundos.

De manera similar, la ejecución de la función *fade out* es como sigue: Teniendo ahora las tres luces de la siguiente forma: L1 sigue teniendo una intensidad media, en cambio las luces L2 y L3 ahora están encendidas, cuando se ejecute la función *fade out* éstas se apagarán progresivamente hasta apagarse por completo, L1 desde la media intensidad

que tien y las luces L2 y L3 desde su máxima intensidad hasta apagarse. La Fig V.44 (línea continua), muestra el cambio que sufren las luces L2 y L3 en un tiempo de *fade out* de 3 segundos.

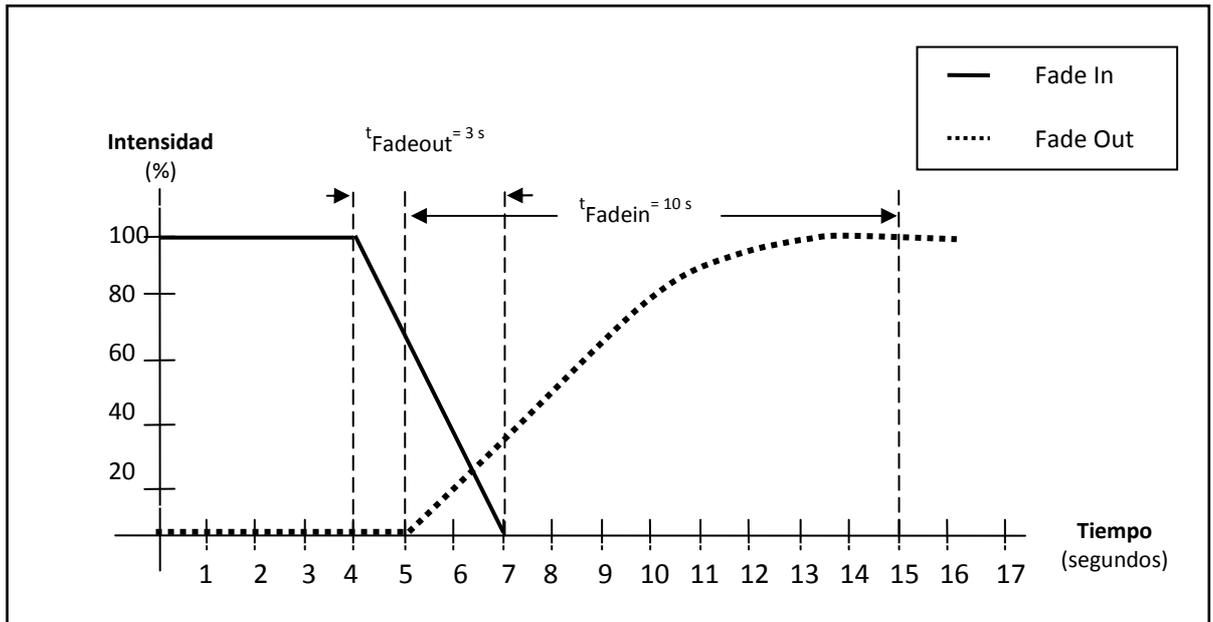


Fig V.44 Esquema de las funciones de *fade in* y *fade out*

Si el operador desea establecer el tiempo de fade, debe seleccionar un valor de tiempo en segundos de la lista desplegable, así la actividad seleccionada es ESTIEMPO, por lo que se lleva a cabo el sub-flujo F1: *Estiempo*.

Flujo Principal

Este caso de uso inicia cuando el operador presiona en uno de los botones anteriores.

OPERADOR	SISTEMA
<p>2. Selecciona una opción por medio de uno de los controles.</p>	<p>1. Espera a que el operador seleccione una de las actividades, haciendo clic con el mouse en alguno de los botones de la existentes.</p> <p>3. Evalúa que actividad se ha seleccionado:</p> <p>Si la actividad seleccionada es IN se lleva a cabo el sub-flujo F1: Fade in.</p> <p>Si la actividad seleccionada es OUT se lleva a cabo el sub-flujo F2: Fade out.</p> <p>Si la actividad seleccionada es APAGADAS se lleva a cabo el sub-flujo F3: Todas apagadas.</p> <p>Si la actividad seleccionada es ENCENDIDAS se lleva a cabo el sub-flujo F4: Todas encendidas.</p>

Sub-flujos

F1 – Fade In

OPERADOR	SISTEMA
<p>1. Cambia el tiempo de fade, por medio de la lista de valores posibles o deja el valor establecido por default (3 segundos).</p>	<p>2. Abre una nueva ventana titulada Fade en proceso, con un botón Cancelar, que permite detener en algún</p>

<p>7. Visualiza en pantalla los cambios de los tonos de los leds, los nuevos valores de los datos DMX que se envían y el encendido progresivo de los luces.</p>	<p>momento la función Fade, el nivel de intensidad de las luces se mantiene en el que se tenía antes de cancelar.</p> <ol style="list-style-type: none">3. Determinar el tiempo de incremento t_i, en base al tiempo de fade t_f ($t_i = t_f / 255$) elegido o toma por default los 3 segundos, inicializa el tiempo del reloj de interrupciones continuas y lo habilita para que se generen interrupciones cada t_i segundos, así en cada interrupción se realiza lo siguiente:4. Inicializa el dato DMX de los 3 dimmers a 0.5. Para cada dimmer despliega en pantalla: Los tonos colores de los leds indicadores (el tono de cada led está en función de cada dato DMX). Los nuevos valores de los datos DMX.6. Envía los datos DMX al CONTROLADOR DMX, en base al subflujo F5. <ol style="list-style-type: none">8. Incrementa en uno el dato DMX de cada uno de los tres dimmers.9. (Condición: if anidado) Si el dato DMX no ha llegado a 255 y el usuario no ha presionado el botón Cancelar, entonces: [Si el dato DMX no ha llegado a 255 volver al punto 5. Si el usuario presionó el botón Cancelar, cierra la ventana "Fade Activo", se mantiene la última intensidad de las luces y continúa en el paso 11], en otro caso continúa con el punto 10.
---	--

<p>datos DMX que se envían y el apagado progresivo de las luces.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 8. Decrementa en uno el dato DMX de cada uno de los tres dimmers. 9. (Condición: if anidado) Si el dato DMX no ha llegado a 0 y el usuario no ha presionado el botón Cancelar, entonces: [Si el dato DMX no ha llegado a 0 volver al punto 5. Si el usuario presionó el botón Cancelar, cierra la ventana “Fade Activo”, mantiene la última intensidad de las luces y continua en el paso 11], en otro caso continua con el punto10. 10. Cierra la ventana Fade en proceso. 11. El caso de uso inicia otra vez en el paso 1 del flujo principal.
--	---

F3 – Todas apagadas

OPERADOR	SISTEMA
<ol style="list-style-type: none"> 3. Visualiza los cambios de los dimmers. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Establece el valor del dato DMX de los dimmers a 0. 2. Envía los datos DMX al CONTROLADOR DMX, en base al subflujo F5. 4. El caso de uso inicia otra vez en el paso 1 del flujo principal.

F4 – Todas encendidas

OPERADOR	SISTEMA
3. Visualiza los cambios de los dimmers.	<ol style="list-style-type: none">1. Establece el valor del dato DMX de los dimmers a 255.2. Envía los datos DMX al controlador DMX, en base al subflujo F5.4. El caso de uso inicia otra vez en el paso 1 del flujo principal.

Implementación del programa de control

En la etapa de implementación, se llevó a cabo la codificación del sistema que controla el proceso de control de iluminación espectacular. El sistema se probó en el sistema operativo Windows XP.

El sistema se desarrolló en Visual Basic (VB) versión 6, por las siguientes razones:

- Vb es una herramienta de desarrollo de aplicaciones diseñada específicamente para la familia de sistemas operativos Microsoft Windows. VB proporciona un ambiente flexible y poderoso, permitiendo el desarrollo rápido de aplicaciones.
- VB emplea el uso de objetos como un componente de Sw, el cual encapsula sus propiedades. y métodos relacionados en una simple unidad reutilizable. Similar al módulo de código en aprovechamiento tradicional para programar, sólo múltiples instancias de objetos pueden ser creadas y manipuladas en nuevas formas.

Es importante notar que VB no sigue el modelo tradicional de iniciar la ejecución de la primera línea del programa y continúa secuencialmente hasta la última. En vez de esto, el código del programa está dividido en procedimientos, los cuales son ejecutados en respuesta a conjunto de eventos que son recibidos por el programa.

Los eventos son generados como un resultado de varios tipos de interacción con el usuario y otras acciones del sistema. El orden en el cual los procedimientos son ejecutados corresponde al orden en el cual la aplicación recibe esos eventos. Si no se reciben eventos, no se ejecuta nada. Los eventos que ocurren son cada uno asociados y manejados por un objeto particular. Cuando un objeto de VB recibe un evento, este ejecuta una pieza asociada de código llamada procedimiento de evento.

Es necesario indicar que los requerimientos del programa de control son mínimos, por mencionar algunos:

- Programación orientada a objetos.
- Eventos controlados por tiempo, temporizador.
- Interfaz visual.
- Generación de un programa ejecutable, basado en la compilación y no en la interpretación del código como se realiza en Java.

El programa pudo haberse desarrollado en un lenguaje de programación como Builder C++, Java, Delphi; cada uno de estos tan adecuado como VB versión 6. Sin embargo para propósitos del proyecto; se lo escogió por la familiaridad y experiencia que se tiene en dicho lenguaje.

Descripción funcional del sistema

El sistema que realiza el proceso de controlar la iluminación espectacular, se desarrolló a través de una aplicación que se ejecuta sobre la plataforma de Microsoft Windows.

Para explicar a mayor detalle el sistema, en las siguientes secciones se presentan las dos funciones que lo componen: Controlar la intensidad de las luces y Programar secuencias de encendido-apagado.

Ventana principal – Controlar la intensidad de las luces

La ventana principal presentada en la Fig V.45, como su nombre lo indica, es la primera página que el operador ve al ejecutar el programa y ésta es la que esencialmente permite controlar la intensidad de las luces o a su vez ejecutar alguna de las secuencias de control del Robocolor Pro 518. La ventana principal contiene un Tab Strip el cual permite seleccionar el rango de canales que se mostrarán en grupos de 16 (1-16, 17-32, 33-48, etc.) hasta llegar a 256, con esto fácilmente se puede direccionar cualquier receptor DMX que maneje máximo 16 canales, para este proyecto específicamente se manejará como máximo 12 canales que son los que dependiendo del modo de funcionamiento manejará en Robocolor Pro 518.

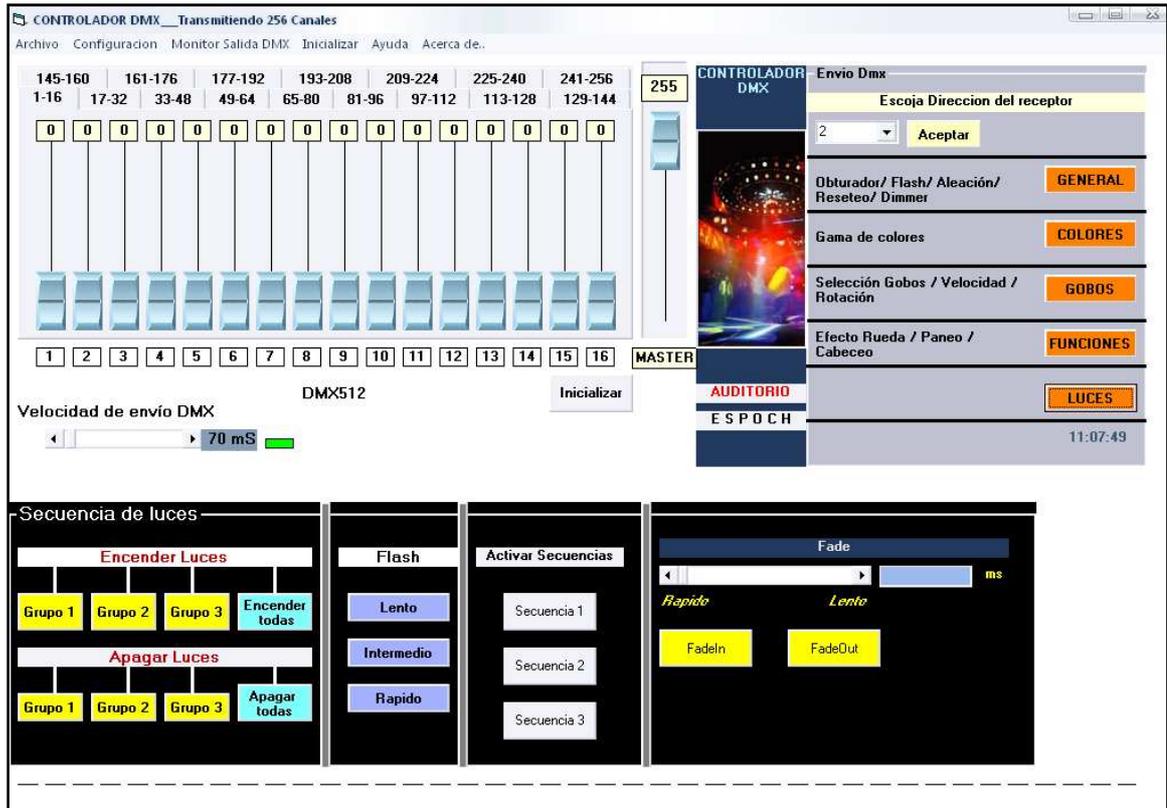


Fig. V.45 Ventana principal Programa de control

El Sw está diseñado para controlar 16 Robocolors que manejen como máximo 16 canales cada uno. Se dispone de un indicador de velocidad de envío, la cual especifica la velocidad en que se realiza la actualización y envío de los datos hacia el controlador DMX. En la parte derecha se encuentra un control máster el cual limita el nivel al que cada uno de los canales pueden llegar, de manera que todos los canales dependen de él.

En la parte superior derecha se encuentra una lista desplegable que muestra una serie de direcciones que se pueden escoger para el Robocolor Pro 518, una vez seleccionada esta dirección se debe configurar esa misma dirección en el Robocolor mediante los dip switches que dispone. Una vez seleccionada la dirección tanto en el Sw como en el Robocolor, se puede utilizar los botones de control que se encuentran en la parte derecha.

GENERAL: Este botón despliega una ventana en la parte inferior que presenta un grupo de botones que controla Función Por Defecto, Función De Reseteo, Encendido De Lámpara Blanca, Programar Con Funcionamiento Aleatorio, Función De Audio Ambiente, Dimmer De Máximo A Mínimo.

COLORES: Esta ventana secundaria permite controlar y escoger los diferentes colores de que dispone el Robocolor Pro 518, estos se encuentran especificados mediante una paleta de colores que al seleccionar envía el valor necesario del canal respectivo para que el Robocolor lo muestre.

GOBOS: Esta ventana permite seleccionar los Gobos que maneja el Robocolor además de su velocidad de rotación e incluso congelar a cualquiera de los mismos en una solo posición.

FUNCIONES: permite seleccionar y controlar las funciones de paneo, cabeceo y efecto rueda del rayo de luz desplegado.

LUCES: este botón es específicamente usado para controlar los efectos de las luces externas: Fade in, Fade out, secuencias. Cabe recalcar que esta función es únicamente usada para el canal 1 que es el que tiene conectado las luces externas.

Se cuenta dentro del programa un menú el cual se llama MONITOR, este monitor se encarga de mostrar el estado de todos y cada uno de los canales.

En el menú principal se encuentra la opción Archivo el cual muestra Salir que simplemente sale del programa deteniendo inmediatamente cualquier proceso que se encuentra realizando en ese momento.

Enviar el último dato dmx a diferencia de la opción Salir, permite terminar cualquier proceso que se encuentre realizando antes de salir del programa principal.

Se cuenta con una opción en el menú principal la “Ayuda” cual despliega una ayuda para el operador del programa. Además se muestra una opción de “Acerca de” que presenta los créditos del programa.

Con los controles anteriores, una vez que el operador realiza las configuraciones necesarias sobre el programa y el Robocolor, tiene el control de todas las funciones del Robocolor Pro 518.

5.3 DESARROLLO DEL RECEPTOR Y DIMMER

El presente capítulo continúa con el desarrollo del sistema siguiendo con la metodología de desarrollo de sistemas empotrados. El capítulo presenta las fases 2 a la 5 correspondientes al receptor y dimmer.

Fase 2: Particionando Hw y Sw del receptor DMX

Para la fase 2 correspondiente al receptor DMX, al igual que en el controlador DMX se utiliza un diagrama de casos de uso, para definir sus requerimientos e identificar los actores que interactúan con el dimmer. El diagrama es mostrado en la Fig V.46.

Los casos de uso identificados para el receptor DMX son cuatro: “Decodificar trama DMX512”, “Controlar Intensidad y Robocolors”, “Detectar cruce por cero de la señal alterna” y “Leer dirección DMX (canal) asignada”. Como actores se han identificado tres, estos son: “Controlador DMX”, circuito “Detector de cruce por cero”, “Dip-switch” (asigna la dirección DMX del receptor) y “Luces”.

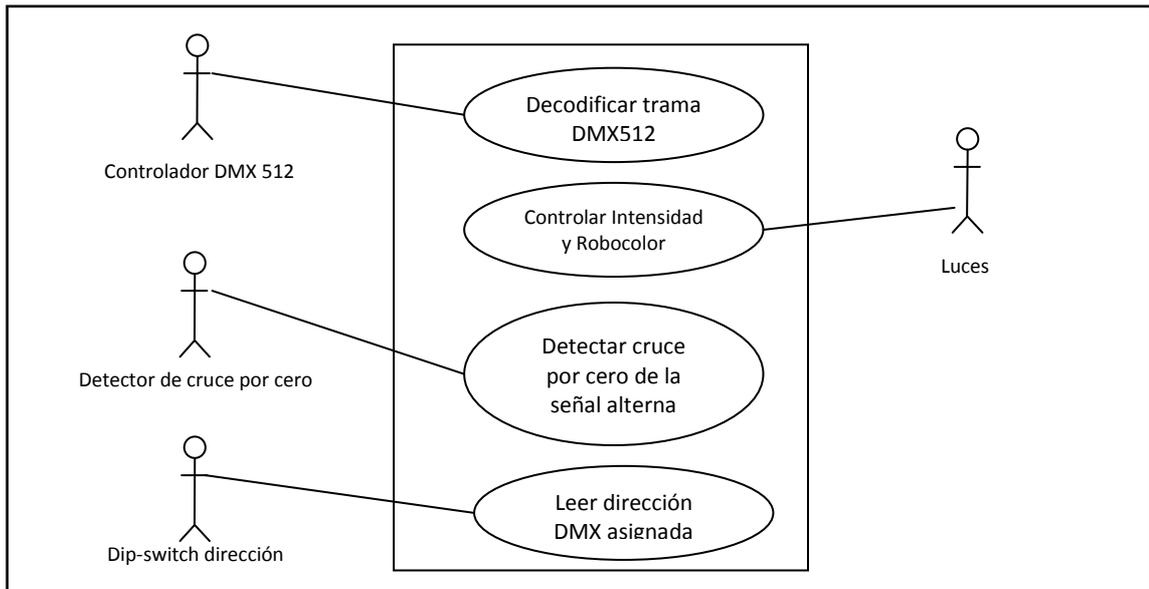


Fig V.46 Casos de uso del receptor DMX.

Con base en las especificaciones del sistema y el diagrama de casos de uso anterior, la división del diseño del receptor DMX se dividió en sus componentes Hw y Sw de acuerdo a la Tabla V.XVI.

Tabla V.XVI División del diseño del receptor DMX en sus componentes Hw y Sw.

HW	DISPOSITIVO	SW	DISPOSITIVO
Unión al medio físico	Transceptor	Lectura de la dirección DMX 512	Microcontrolador
Asignación de la dirección DMX512 del receptor	Dip-switch	Decodificación de la señal DMX512 proveniente del controlador	Microcontrolador
Detección de cruce por cero de la señal CA.	Circuito detector de cruce por cero.	Detección de la interrupción generada por el detector de cruce por cero.	Microcontrolador
		Controlador del disparo de los tiristores de la etapa de potencia del dimmer.	Microcontrolador

El Hw del receptor DMX se compone de los siguientes dispositivos, Fig V.48.

- MCU 18F2550.
- Transceptor de bus diferencial SN75176 compatible con las características del protocolo RS485.
- Dip-switch para establecer la dirección o canal DMX del receptor.
- Circuito detector de cruce por cero.
- Cable UTP.
- Conector XLR macho de 3 pines.
- Fuente de alimentación lineal de +5v.

Las dos tareas principales del receptor DMX son:

1. Demultiplexar la señal DMX512 proveniente del controlador DMX para obtener los datos DMX512 que le corresponden.
2. Controlar el Robocolor y funcionar como dimmer, controlando el disparo de los tiristores en sincronía con la corriente alterna.

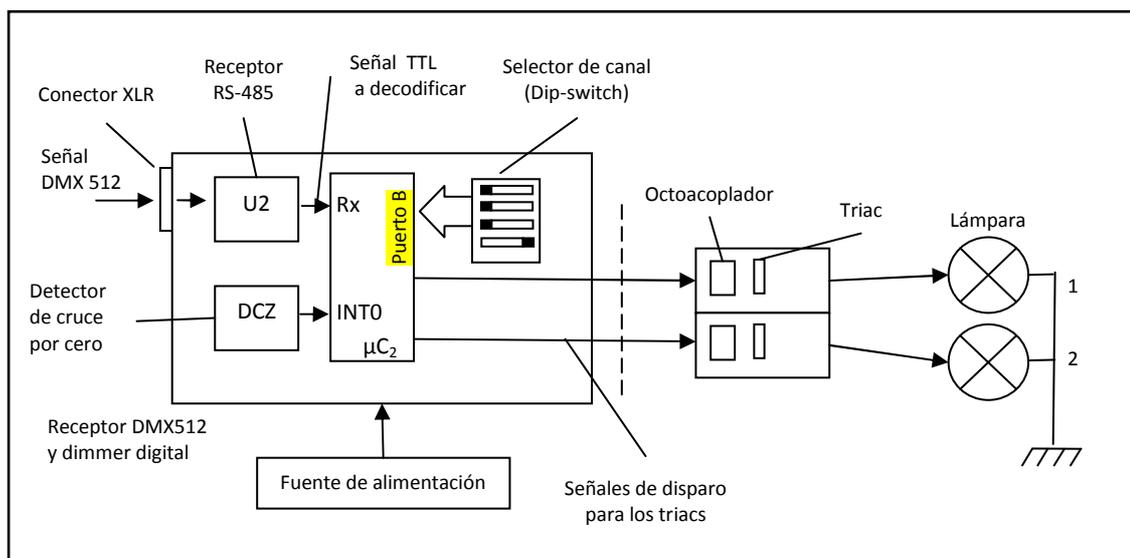


Fig V.47 Diagrama a bloques del receptor DMX

Herramientas de desarrollo para el diseño Hw y Sw

Las herramientas de desarrollo para el diseño Hw y Sw del receptor DMX se utilizó:

- Sw de aplicación PCI C Compiler
- Programador de IC Prog

Fase 3: Iteración y desarrollo del receptor DMX

Las tareas que se realizaron para el desarrollo del receptor en el entorno PCI C Compiler son las siguientes:

1. Escribir y depurar programas de prueba.
2. Simular la lectura y escritura a direcciones de memoria, así como la configuración de los registros del MCU.
3. Simular la escritura de bits en los registros de I/O.
4. Verificar la ejecución de las subrutinas, la activación de interrupciones y el tiempo de ejecución de las mismas.
5. Descargar el programa al MCU mediante el programador.
6. Programar los bits internos del MCU para seleccionar las opciones de funcionamiento.

Las tareas iterativas Hw y Sw, de corrección o de ajuste son las siguientes:

1. Asignar direcciones de memoria interna en el MCU.
2. Asignar funciones a los puertos del MCU.
3. Configurar los registros del MCU.
4. Agregar y/o modificar las conexiones Hw necesarias.

Fase 4: Diseño paralelo Hw y Sw del receptor DMX.

Diseño Hw del receptor DMX

Una vez seleccionados los componentes Hw del receptor DMX, se definen los siguientes pasos:

- Asignación de funciones a los puertos del MCU.
- Asignación de los registros del MCU utilizado.

En el diagrama eléctrico del receptor DMX, mostrado en la Fig V.48 puede apreciarse las conexiones de los pines del MCU con los demás dispositivos.

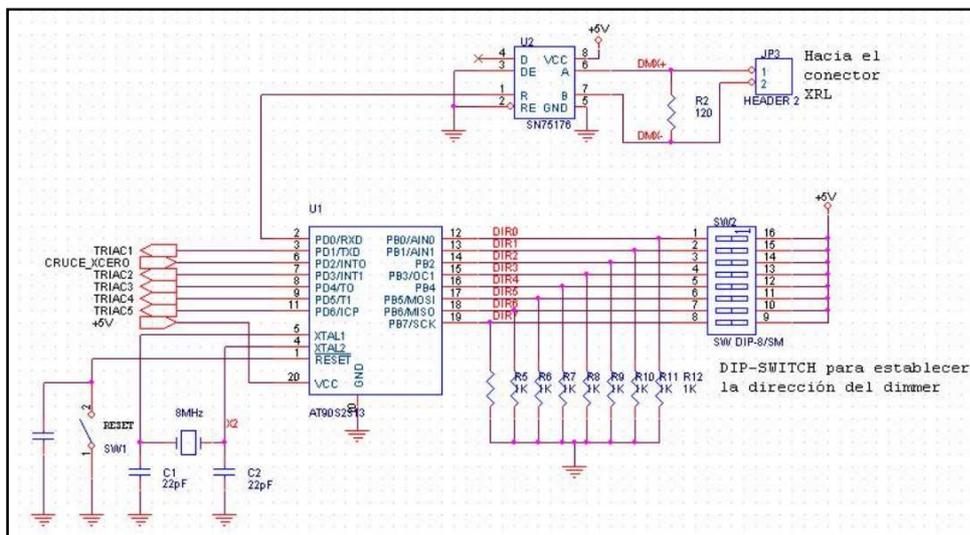


Fig V.48 Diagrama eléctrico del receptor DMX

Diseño del Sw del receptor DMX

El diseño del Sw del receptor se basa en las especificaciones iniciales del sistema, considerando los siguientes factores:

- Interfaz del MCU con la señal DMX proveniente del controlador.

- Dip-switch selector del canal del receptor.
- Circuito detector de cruce por cero.
- Señales de control hacia las dos etapas de potencia.
- Asignación de puertos del MCU.

Para describir el comportamiento, tanto del receptor DMX como del dimmer, se ha utilizado un diagrama de máquinas de estado, el cual es mostrado en la Fig V.49, en las Tablas V.XVII se presenta la descripción de los estados y los estímulos del programa, respectivamente.

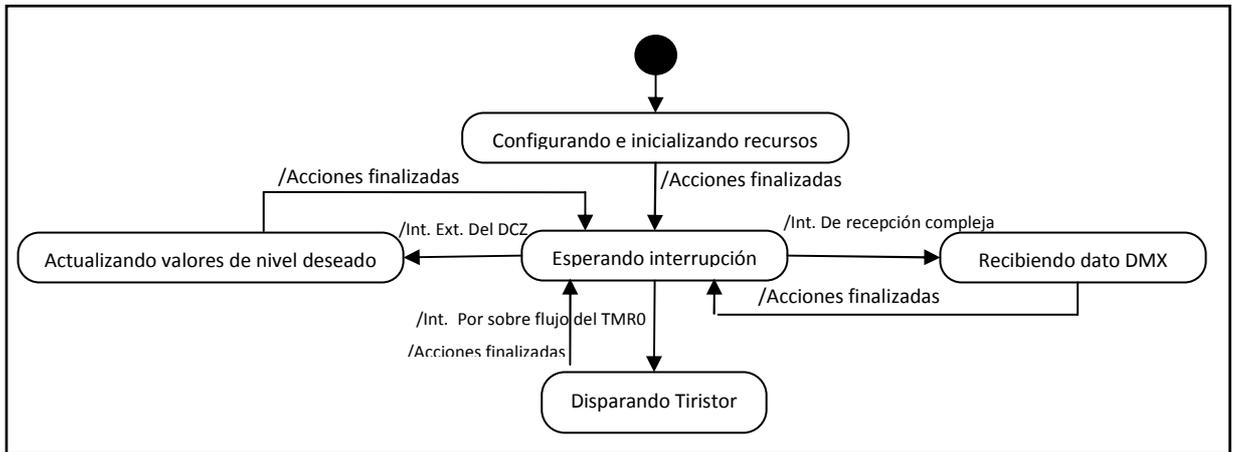


Fig V.49 Diagrama de máquinas de estados del programa del receptor DMX.

Tabla V.XVII Descripción de los estados del programa del receptor DMX

ESTADO	DESCRIPCIÓN
Configurando e inicializando recursos.	El programa del MCU configura: la pila, los puertos, y registros a utilizar.
Esperando interrupción	El programa del MCU está esperando alguna de las tres interrupciones.
Actualizando valores de nivel deseado.	En éste estado, en cada cruce por cero los valores de nivel deseados para los canales n y n+1, son leídos de la memoria SRAM.
Disparando tiristor	El programa del MCU, en este servicio a interrupción evalúa si debe disparar a alguno de los dos tiristores (canal n y canal n+1) o inclusive

	ambos.
Recibiendo dato DMX	En cada trama DMX, se transmiten hasta 512 bytes como datos DMX, de éstos el receptor sólo almacena los dos bytes que corresponden en su valor de posición al valor de las direcciones DMX n y n+1. Los bytes recibidos son datos DMX validos y son almacenados para su procesamiento en el estado <i>Actualizando valores de nivel deseado</i> .

Tabla V.XVIII Estímulos del programa del receptor DMX.

ESTÍMULO	DESCRIPCIÓN
Interrupción de recepción completa	La interrupción ha sido generada debido a que la recepción de un byte ha finalizado.
Interrupción de recepción completa	La interrupción ha sido generada debido a que la recepción de un byte ha finalizado.
Interrupción del DCZ	Una interrupción externa ha sido generada por el circuito DCZ, debido a que éste último generó un pulso al detectar el cruce por cero de la señal de CA que alimenta a las lámparas.
Acciones finalizadas	El conjunto de instrucciones del estado han terminado.

Los detalles de cada uno de los estados se describen a continuación.

Estado: Configurando e inicializando recursos del MCU

Las acciones realizadas en el estado *configurando e inicializando recursos* son:

- Inicializar la pila del MCU: configurar el registro de propósito general para asignar la dirección de memoria que debe tener el apuntador de la pila del MCU.
- Declara el vector de interrupciones del MCU: a la interrupción externa se le asigna su número de vector correspondiente, así como su etiqueta de identificación.

- Habilitar la interrupción INT1: se configura el registro GIMSK para habilitar la interrupción INT1., activación por flanco de subida de la interrupción INT1.
- Habilitar la interrupción global: se ejecuta la orden para habilitar las interrupciones que el circuito DCZ puede generar.
- Inicializar la memoria RAM interna, que es empleada para almacenar los valores de los datos DMX de los canales n y $n+1$.

Estado: Esperando interrupción

El programa cambia a este estado cuando las acciones del estado *Configurando e inicializando recursos del MCU han finalizado*. Este estado básicamente es un ciclo en el que se realizan solo dos cosas:

- Leer la dirección DMX512 asignada al receptor. Así, si el usuario cambia la dirección DMX con el dip-switch (SW2) en el momento de uso, no requerirá que el sistema se reinicie (volver a encender).
- Esperar la generación de alguna de las interrupciones para cambiar a uno de los otros tres estados del receptor. Las tres interrupciones posibles que el programa contempla son las mostradas en el Diagrama de estados de la Fig V.50.

Estado: Recibiendo dato DMX

El programa cambia al estado *Recibiendo dato DMX* cuando ocurre una interrupción por recepción completa de la USART del MCU. Esto significa que el control de la USART se hace por medio de interrupción y no por sondeo (Polling), con la intención de tener una continuación serial en segundo plano para que el MCU este dedicado a trabajar como dimmer.

Antes de explicar con mayor detalle el funcionamiento de este estado, es importante presentar el principio de operación general de una comunicación serial:

En una comunicación serial asíncrona, los datos son transmitidos secuencialmente por la línea (línea para transmitir), enviando bit por bit. Para informar al receptor que un nuevo byte está llegando, cada uno de estos es colocado entre un bit de inicio y un bit de stop, esta construcción es llamada marco (frame). El formato del marco es mostrado en la Fig V.51, el marco tiene un bit de inicio, ocho bits de datos y al menos un bit de stop.

La línea en el estado inactivo (Idle) es señalizada manteniendo la línea en “1” lógico. El bit de inicio es siempre un “0” y el receptor de la USART detectará el inicio de un marco con el primer flanco de caída, seguido del bit de inicio (nivel bajo) y de los bits de datos, finalizando con un bit de stop el cual siempre es “1” lógico. El valor del bit de stop es mantenido en “1” lógico, hasta que es enviado el siguiente bit de inicio.

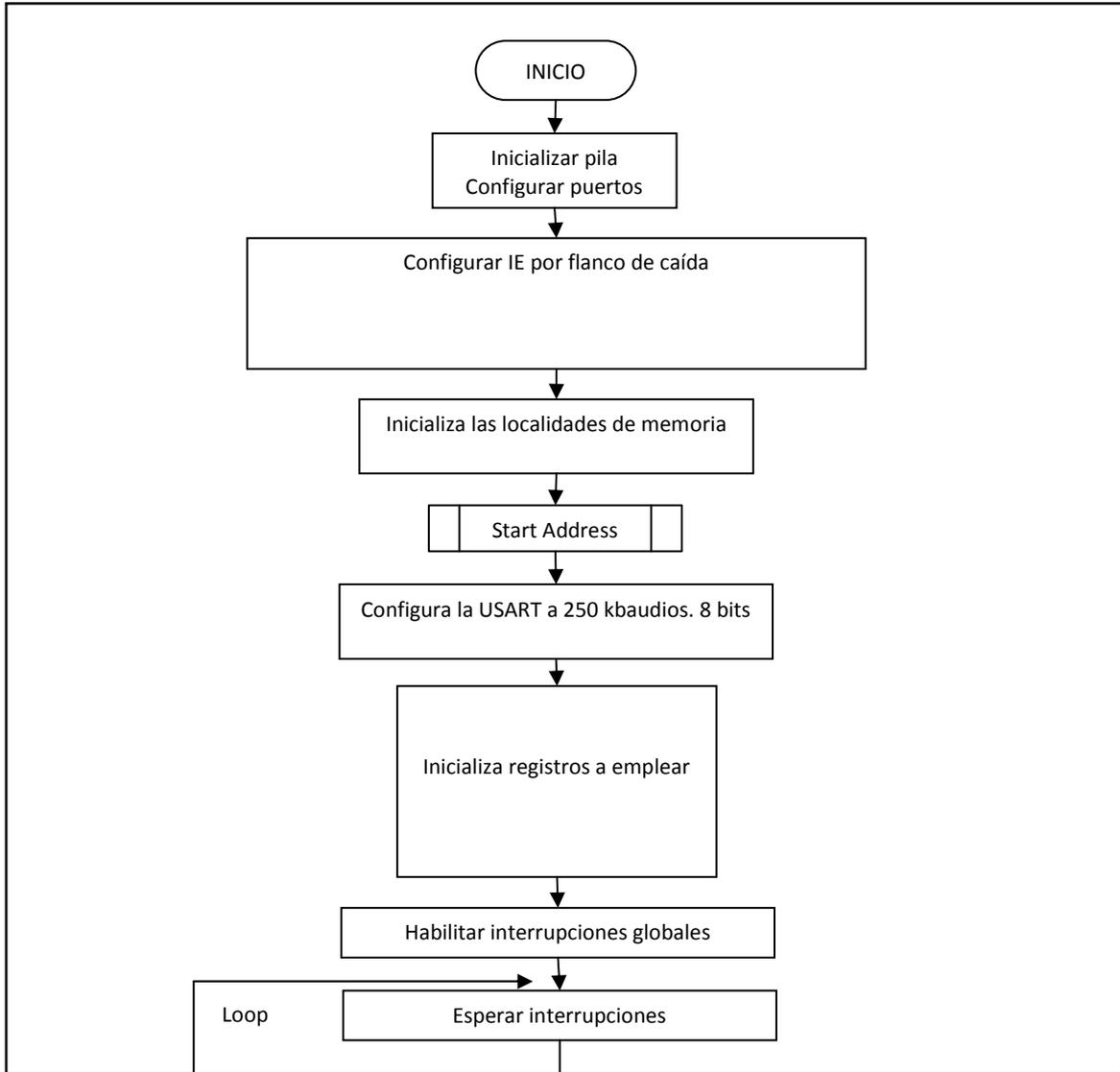


Fig V.50 Diagrama de flujo del programa principal del receptor del sistema.

La velocidad a la que se envían los datos en forma serial a través de una línea de comunicación, se denomina velocidad en baudios. La velocidad en baudios es expresada en unidades de bits por segundo. Así, si en una transmisión se pueden enviar 1200 bits en un segundo como máximo, el inverso de 1200 dará como resultado el tiempo de bit (período de bit).

Otro punto importante, es que en una transmisión asíncrona, no es proporcionada ninguna información de reloj por separado al receptor. La correcta recepción de los datos es garantizada manteniendo la misma velocidad de baudios entre el transmisor y receptor.

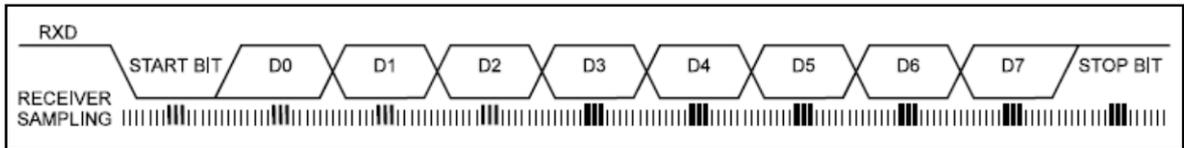


Fig V.51 Muestreo de un carácter recibido en el pin de la USART

Funcionamiento de la USART del MCU – Recepción de los datos.

El receptor de la USART del MCU muestrea la señal sobre el pin RXD a una frecuencia mayor (16 veces más) que la tasa de baudios establecida en la USART, Fig V.51 (muestreo del receptor). Cuando la línea está en el estado inactivo (puesta a 1), una muestra de un “0” lógico será interpretada como el flanco de caída de un bit de inicio, originando con esto, que la secuencia de detección del bit de inicio sea inicializada. Dada la muestra número 1, denotada como la primer muestra del “0”, seguida de la transición encuentra que dos o más de las tres muestras son “1’s” lógicos, el bit de inicio es rechazado, considerando que la transición de 1 a 0 se debe a disparos falsos ocasionados por una señal de ruido, lo que implica que el receptor deberá iniciar de nuevo la detección de la siguiente transición de 1 a 0.

Si un bit de inicio es detectado exitosamente, lo que sigue es el muestreo de los bits de datos. Esos bits son evaluados en las mismas muestras 8, 9 y 10. El valor lógico encontrado en al menos dos de las tres muestras son tomadas como el valor del bit. El

muestreo de un carácter (en nuestro caso, un dato DMX) es mostrado en la Fig V.51, como se puede observar el orden de muestreo de los ocho bits de un dato, es del bit menos significativo al bit más significativo y es así como éstos se van recorriendo en el registro de desplazamiento del receptor de la USART del MCU.

Una vez que los ocho bits de datos son muestreados y recorridos en el registro de desplazamiento del transmisor, solo queda muestrear el bit de stop que llega al receptor para completar la recepción de un carácter. El valor del bit de stop debe ser 1, para aceptar el bit de stop la mayor parte de las tres muestras deben ser 1. Si dos o más muestras son 0 lógicos, el bit de stop es incorrecto y la manera en que la USART del MCU lo indica automáticamente es poniendo a 1 la bandera FE de error de marca (Framing Error) del registro de estado, ASR. Es importante señalar que esta condición se dará en la recepción de una trama DMX cada vez que se reciba el *espacio para el break*, recordar que ésta última permanece en bajo durante 88 μ s por lo que el receptor de la USART al detectar la transición de 1 a 0, muestrea el bit de inicio, los 8 bits como ceros y finalmente los bits de stop los censa como ceros, por tanto la bandera FE será puesta a 1, de esta manera es posible que el MCU determine el espacio para el break, sincronizándose así con el controlador DMX, lo que implica que los siguientes datos que reciba son datos DMX válidos.

Es importante recordar que el estímulo que permite cambiar a este estado, es un interrupción de recepción completa de la USART, realmente éste estado es un servicio a dicha interrupción. La Fig V.52 muestra el diagrama de flujo correspondiente.

Para describir el funcionamiento del estado, supongamos que el receptor DMX tiene la dirección DMX igual a 1. Inicialmente al entrar al estado, se lee el valor del registro

Con la siguiente vez (tercera) que se entre a este estado, es decir, se reciba un nuevo dato, éste será el primer dato DMX o el valor para el canal 1. Como el valor de `dmx_countL` y la dirección DMX (`dmx_adrL`) del receptor son iguales, es decir 1, esto causa que se entre a la sección *First byte DMX* indicada en el diagrama de flujo de la Fig V.52, con esto el valor de `dmx_count_in` es incrementado en uno y el valor de `dmx_Byte` leído inicialmente al entrar al estado es almacenado apuntado por Z (el valor del apuntador Z es incrementado automáticamente). Análogamente, el dato DMX del canal 2 es almacenado en memoria con `dmx_count_in` igual a 2. Los canales 3 a 512 serán omitidos por el receptor con dirección DMX igual a 1, un receptor con dirección DMX igual a 5, aceptará los datos de los canales 5 y 6. De esta manera los datos DMX de los canales 1 y 2 han sido almacenados en memoria SRAM, para su procesamiento en el siguiente estado.

Estado: Actualizando valores de nivel deseado

El estímulo que permite cambiarse a este estado es cuando se recibe el flanco de subida de un pulso de circuito DCZ, el flanco de este pulso permite sincronizar al MCU con la corriente alterna. El diagrama eléctrico del DCZ se muestra en la Fig V.53.

El circuito DCZ está formado por un comparador de nivel que utiliza un amplificador operacional, sus dos señales de entrada y su salida se describen a continuación.

La señal de corriente alterna, llamada Sen 1 es tomada del divisor de voltaje formado por los resistores R13 y R14, la cual está conectada a la entrada inversora del amplificador operacional U5A, el resistor R13 está conectado al puente rectificador de diodos de onda completa.

La señal de corriente directa, llamada Vref1 es aplicada a la entrada no inversora del amplificador operacional U5A, ésta es tomada del potenciómetro R1 y es la que determina la anchura del pulso generado por el DCZ. La salida CRUCE_XCERO es un pulso de anchura de $5\mu\text{s}$, con un período de 8.33 ms.

En la Fig V.53 también se muestra la fuente de alimentación lineal, en base al regulador LM7805. El diodo D4 aísla la señal de corriente alterna de onda completa del capacitor C1.

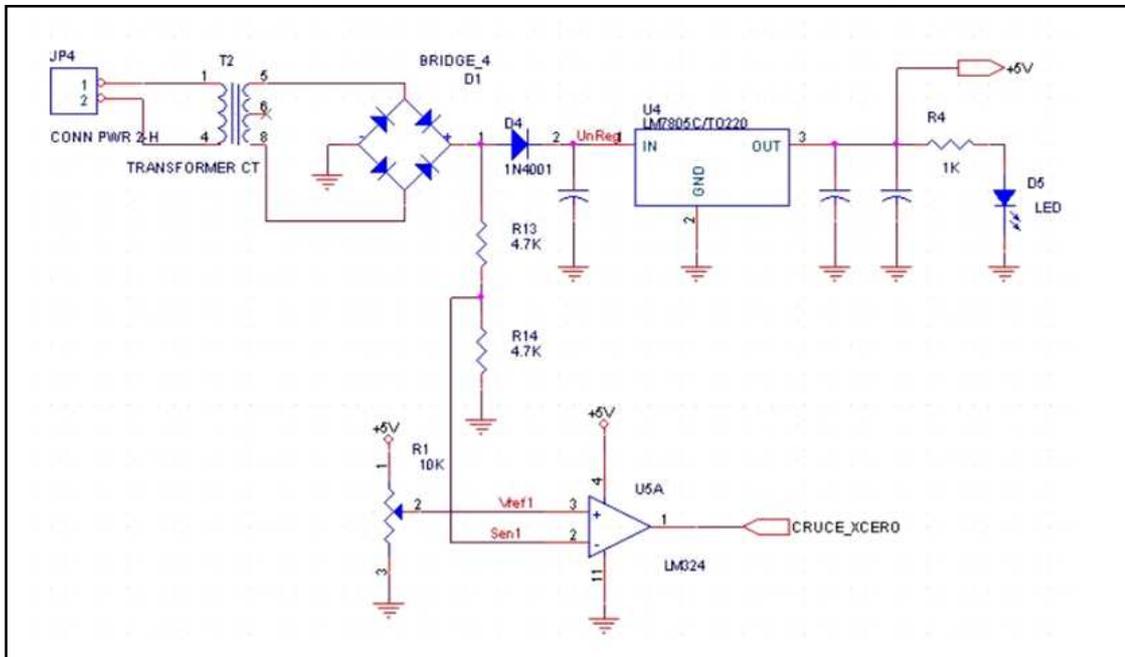


Fig V.53 Diagrama eléctrico del detector de cruce por cero y fuente de alimentación

La Tabla V.XIX muestra el nombre y la descripción de los registros de propósito general empleados en el estado *Actualizando valores de nivel deseado*.

Tabla V.XIX Nombre de los registros empleados en el estado *Actualizando valores*.

REGISTROS	DESCRIPCIÓN
CH_COUNT1 CH_COUNT2	Registros que contienen el valor del dato DMX del canal 1 y 2, respectivamente, que fueron almacenados en el estado <i>Recibiendo dato DMX</i> .
BAND_p1 BAND_p2	Banderas BAND_p1 y BAND_p2 asociadas a los registros CH_COUNT1 y CH_COUNT2, respectivamente. Permiten establecer y determinar si el triac correspondiente al canal ya fue disparado, durante el semiciclo actual de la corriente alterna.

Como se ha mencionado, el estímulo que permite cambiar a este estado, es una interrupción externa generada por el pulso DCZ, por tanto, este estado es realmente un servicio a la interrupción de INT0 del MCU. La Fig V.54 muestra el diagrama de flujo correspondiente a éste dato.

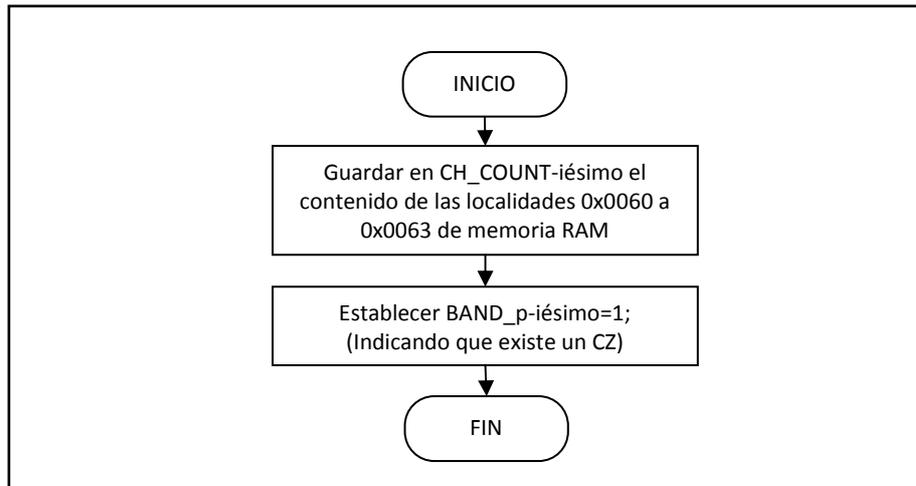


Fig V.54 Diagrama de flujo para el estado *Actualizando valores de nivel de estado*

Estado: Disparando Tiristor

El programa cambia al estado *Disparando tiristor* cada que ocurre un sobre flujo en el TMR0 del MCU, el intervalo o período en el cual ocurre el sobre flujo es calculado tomando en cuenta algunas consideraciones que se explicarán más adelante.

El estado *Disparando tiristor*, es el estado donde se controla el disparo del tiristor de la etapa de potencia. Cada módulo receptor-dimmer es de dos canales DMX512, a su vez cada canal contiene una etapa de potencia, es decir cada receptor-dimmer tiene dos etapas de potencia como la que se muestra en el esquemático de la Fig V.55.

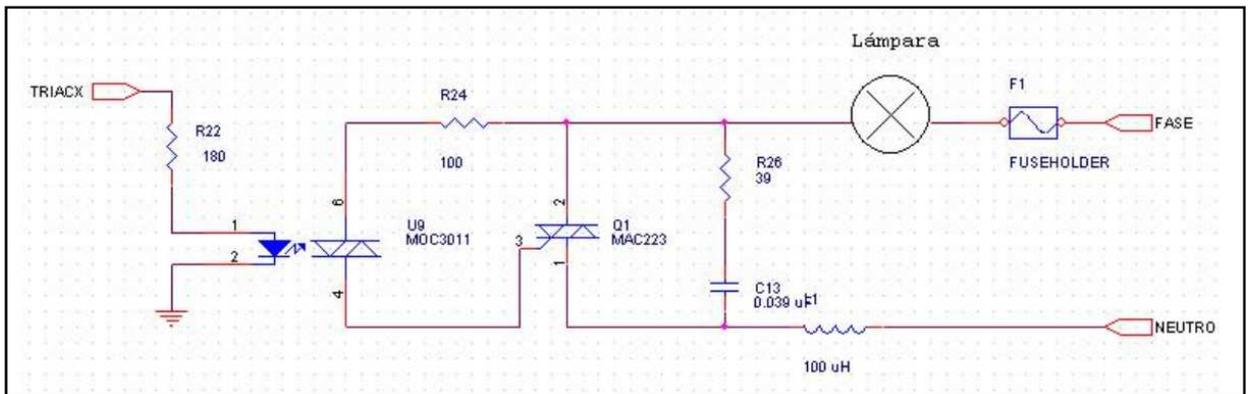


Fig V.55 Diagrama eléctrico de la etapa de potencia del dimmer.

Cada etapa de potencia, está formada por una red de optoacoplamiento, un tiristor, una red de protección (snubber) del tiristor, un inductor choke para suavizar los cambios repentinos de corriente en la red eléctrica, los contactos para conectar la lámpara a controlar y un fusible de protección. La entrada de control para el disparo del triac es la señal llamada TRIACX. Las terminales de entrada de CA, llamadas FASE y NEUTRO son conectadas a la red eléctrica.

Para poder describir la funcionalidad del estado, es necesario presentar las consideraciones:

Un dato DMX tiene una longitud de 8 bits, es decir $2^8=256$ (0 a 255) posibles valores, lo que se traduce a tener 255 niveles de intensidad en la luz correspondiente. La frecuencia del suministro de energía de corriente alterna en Ecuador es de 60 Hz, con un período de 16.66 ms.

Uno de los requerimientos del sistema es que éste debe controlar la intensidad de las luces, para esto se utiliza la técnica de control por ángulo de fase. El principio consiste en que el flujo de potencia hacia la carga queda en función del retardo del ángulo de disparo α del tiristor, como se muestra en la Fig 5.32.

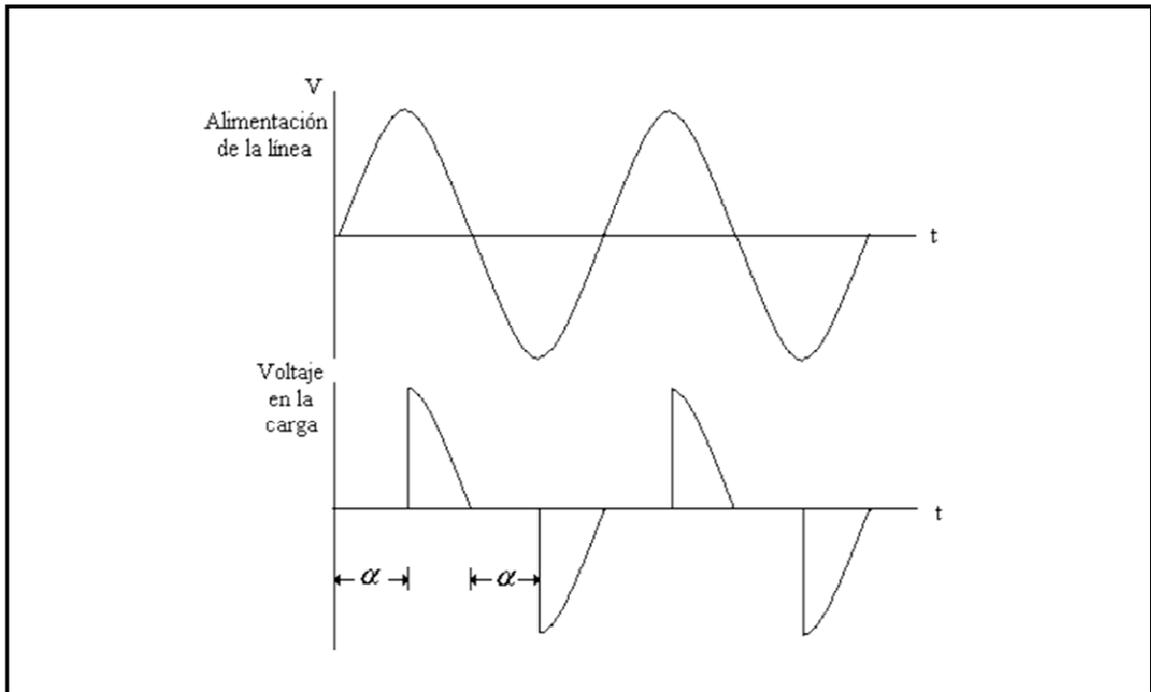


Fig V.56 Principio de control por ángulo de fase

Con lo anterior es posible determinar que el diseño del dimmer requiere que los 8.33 ms de un semiciclo se dividan en 255 posiciones y posteriormente comparar con el nivel de intensidad deseado, cuando ambos valores sean iguales debe dispararse el triac, con lo anterior se logrará atrasar el pulso de disparo (respecto al cruce por cero) dependiendo del valor DMX recibido por el receptor.

Así el lapso de tiempo en que debe ocurrir una interrupción del TMR0 del MCU, para entrar a este estado esta dado por:

Lo anterior permite dividir un semiciclo de 8.33 ms en 255 niveles de intensidad, de esta manera tenemos 255 posibles incrementos de tiempo para α .

En la Fig V.57, se presenta el diagrama de tiempos del dimmer, Fig V.57-A muestra los pulsos del cruce por cero (DCZ) de la señal de corriente alterna, la Fig V.57-C presenta los dos pulsos de disparo para un ciclo completo de la señal de corriente alterna, finalmente, la Fig V.57-D muestra el voltaje eficaz (zona oscura) que alimenta la lámpara.

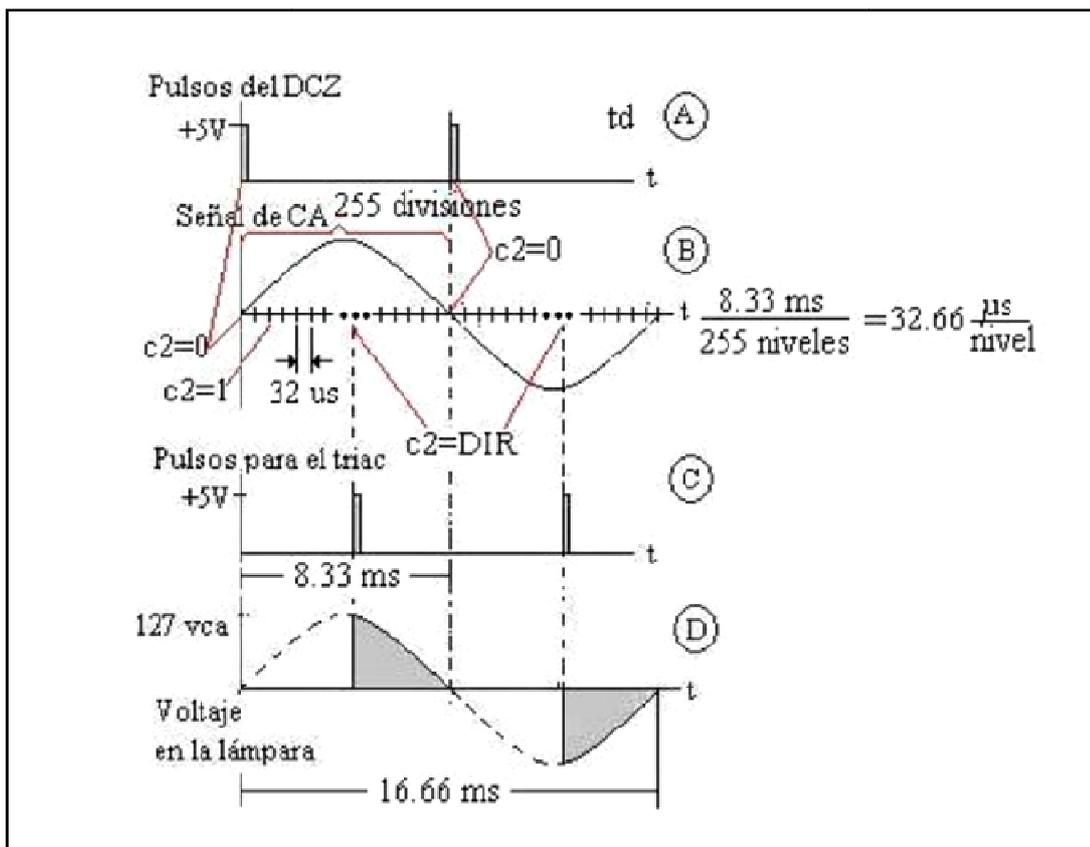


Fig V.57 Diagrama de tiempos del dimmer

Con las consideraciones anteriores, se está en posibilidades de describir el funcionamiento del presente estado mediante el ejemplo siguiendo el diagrama de flujo de la Fig V.58.

Como se ha mencionado, en el momento en que el receptor detecta un cruce por cero actualiza el valor de los registros CH_COUNT1 y CH_COUNT2, leyendo el contenido que les corresponde de la memoria RAM del MCU; hasta ahí mantienen su valor intacto, pero una vez que entran a este estado incrementan su valor conforme lo siguiente.

Suponiendo que el valor del registro CH_COUNT1 tiene un valor de 128, esto significa que se desea que la lámpara mantenga una intensidad media. Al entrar al estado lo primero que se hace es reiniciar el Timer 1 para que se genere otra interrupción en los siguientes 32.66 μ s, posteriormente el valor de CH_COUNT1 es comparado con el valor de 255, si es igual se revisa la bandera BAND_p1 que indica si en una interrupción anterior ya se ha disparado al triac, si la bandera permanece en 0, el triac es disparado y dicha bandera es puesta a 1, indicando que para ese semiciclo de la corriente alterna el triac ya ha sido disparado y se debe esperar el siguiente semiciclo para el disparo correspondiente. En caso de que CH_COUNT1 no es igual a 255, su valor es incremento en uno, dando oportunidad que se revise lo mismo para CH_COUNT2. Posteriormente el servicio a la interrupción es finalizado y el control del programa regresa al estado *Esperando interrupción*. Con lo anterior es posible hacer que el disparo del triac correspondiente se retrase un tiempo proporcional al dato DMX recibido.

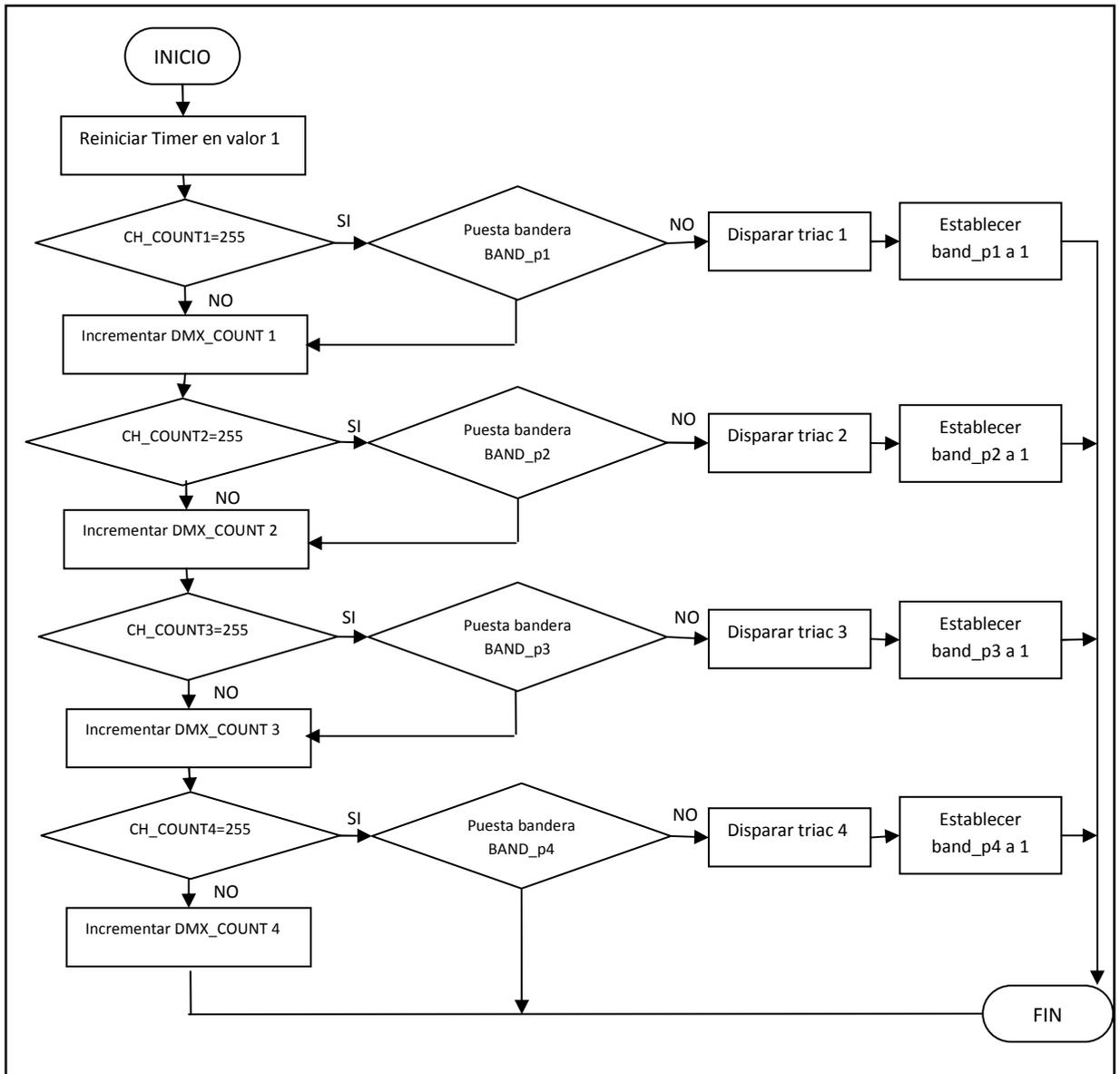


Fig V.58 Diagrama de flujo para el estado *Disparando tiristor*

Fase 5: Integración Hw y Sw del receptor DMX

La integración Hw y Sw del receptor DMX consistió en realizar las siguientes tareas:

- Verificar las conexiones de los componentes Hw.
- Ejecutar programas de prueba a los periféricos (USART del MCU).

- Descargar el programa principal al MCU del receptor DMX mediante el programador.
- Ejecutar el programa principal y validar su funcionamiento.

Verificación del receptor DMX

Para verificar el correcto funcionamiento del sistema final, se realizaron pruebas de la siguiente forma:

- Recepción de tramas DMX e indicación de un dato DMX en particular por medio de leds.
- Medición del voltaje en la lámpara con diferentes niveles de intensidad.

Pruebas Y Resultados

Una vez realizado el sistema de manejo de Robocolors Pro518 y luces a través del protocolo dmx512, se realizó las pruebas, primero etapa por etapa y después con la integración de las mismas, como se describe a continuación:

Software de PC

Elegir la dirección correcta del puerto paralelo.

Control de los canales deslizantes los cuales manejan 255 niveles cada uno.

Pruebas de funciones FadeIn FaderOut y secuencias sobre las luces.

Funcionalides sobre el Robocolor PRO518 por ejemplo reacción aleatoria o por audio ambiental.

Pruebas de envíos de datos correctos del puerto paralelo al controlador.

Controlador DMX

En esta etapa se realizó la medición del tiempo en los segmentos de la señal DMX enviada por el controlador: Break, MAB (Mark After Break), Start Code, Mark y datos Dmx enviados, con esta medición se comprobó que la señal DMX cumple con lo establecido en el estándar Dmx512. La señal se midió utilizando un osciloscopio de la Escuela de Ingeniería Electrónica de la ESPOCH.

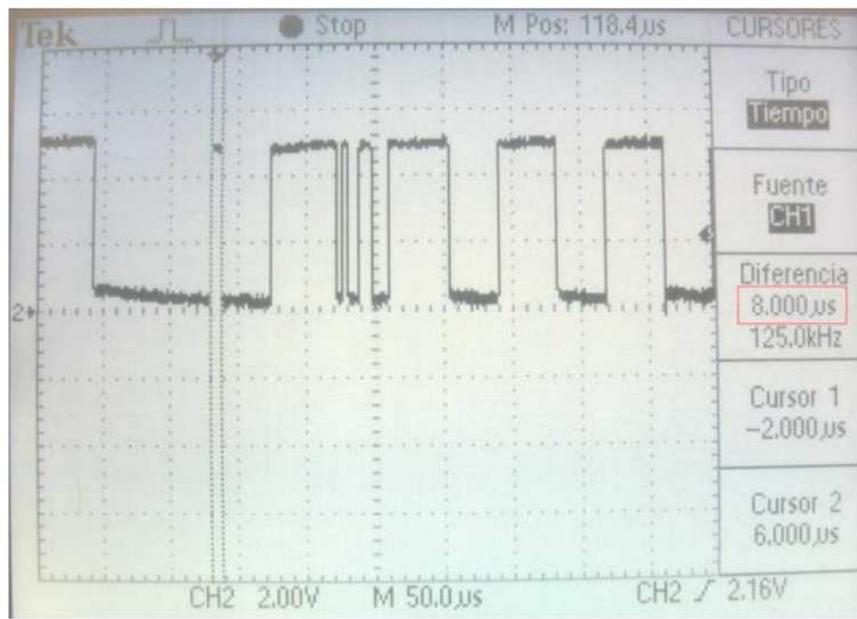


Diagrama de tiempos de la señal DMX

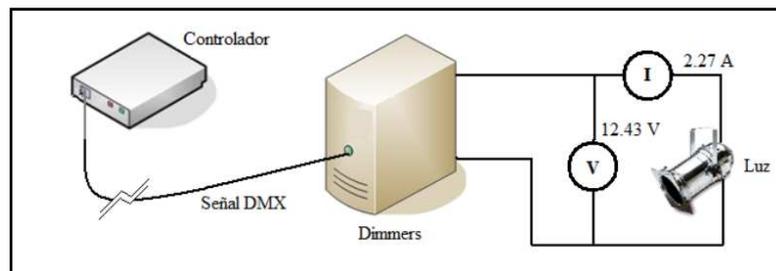


Controlador DMX desarrollado

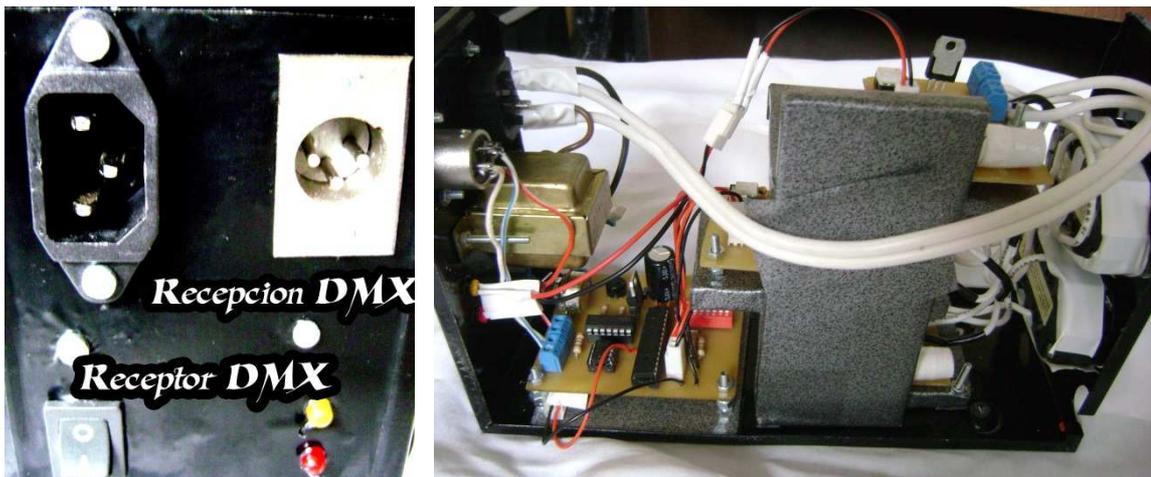
Receptor DMX

De igual manera que el controlador se comprobó la señal Dmx decodificada en el receptor, gracias al osciloscopio se pudo comprobar la exitosa recepción de todos los canales con sus respectivos niveles Dmx deseado.

Se procedió también en esta etapa a medir el voltaje en una de las lámparas con el fin de ver la reacción con los niveles enviados desde el software de la PC, esta prueba se realizó con éxito. Cada dato dmx enviado respondía a un nivel de intensidad o generaba una secuencia de luces.



Conexion para la medición de voltaje y corriente en una luz con un dato DMX



Receptor DMX desarrollado

CONCLUSIONES

El trabajo presentado proporciona las bases teóricas suficientes para hacer frente a las nuevas tendencias e investigaciones, realizadas en el campo de control de iluminación de eventos y espectáculos. La arquitectura del sistema está formada por una combinación de software y de hardware de bajo costo tales como: microcontroladores y dispositivos de electrónica de potencia. Debido a la facilidad con la cual el sistema se puede instalar, programar y reproducir; este sistema se puede considerar como una *arquitectura base* que permitirá realizar trabajos de investigación para ayudar a estudiar y comprender los protocolos emergentes.

La funcionalidad del sistema se modeló mediante diagramas UML, utilizando diagramas de casos de uso, diagramas de despliegue y diagramas de actividad, al momento de unir tanto la parte Hw como Sw se observó una buena integración, de tal manera que no se encontraron errores críticos en el diseño, además la aplicación del lenguaje UML tanto para el diseño del programa de control de la PC como para el diseño del sistema empujado, favoreció el desarrollo exitoso del proyecto.

La falta de un software que maneje el protocolo DMX512 permitió que los equipos pertenecientes al Auditorio de ESPOCH y que tienen la capacidad de receptor tramas DMX no puedan ser utilizados al 100% de sus capacidades, el presente proyecto

permite el control de todas las funciones de los Robocolor Pro 518 de manera que sea una tarea fácil y bastante intuitiva para el operador.

Mediante el protocolo DMX512 y el desarrollo de este proyecto, se determina la forma en que se pueden implementar las funciones FADE IN y FADE OUT para un determinado grupo de luces que se encuentran seteados con un canal específico de la trama DMX.

Dmx512 es un protocolo de comunicación asíncrono simplex, con una tasa de transmisión de 250 Kbit/s. Es inmune al ruido, ya que transfiere la información a través de una conexión balanceada. Puede controlar la iluminación de espectáculos a gran escala (hasta 512 canales), cada canal genera un valor de 8 bits para controlar un dispositivo determinado.

La señal DMX512 puede ser transmitida confiablemente a una distancia de hasta 1500 pies (457.2m), lo cual es mucho más de lo que se necesita en un auditorio, teatro o museo. No corrige errores y por lo tanto, no debe ser utilizado para controlar efectos pirotécnicos, de sonido.

RECOMENDACIONES

Cuando conectamos nuestros aparatos mediante DMX, damos por hecho que toda la transmisión va a funcionar perfectamente; y así debe de ser. Pero quizás olvidemos que DMX es una transmisión de datos digitales y que está sujeta a unas normas de uso.

Apantallado y de par trenzado. Para algunas instalaciones, se requiere doble línea y en ese caso se emplea cable con sendos pares trenzados y pantalla.

El grosor mínimo de los conductores depende de la distancia: 24 AWG hasta 300 metros, 22 AWG hasta 500 metros. Aunque teóricamente se podrían duplicar estas distancias, por las condiciones habituales de uso, no es recomendable.

Conectores XLR de 5 pines (1: pantalla, 2: data-, 3: data+, 4: data'-, 5: data'+). Los pines 4 y 5 sólo se emplean en caso de utilizar cable con doble par. Lo normal es utilizar únicamente los pines 1, 2 y 3.

El uso de "cable de micrófono" está absolutamente desaconsejado.

Conexión del tipo "daisy-chain", donde los periféricos se conectan en cadena unos con otros. Todo receptor dispone de una entrada DMX y de un Link / Thru / Out DMX para permitir continuar la cadena hacia el resto de periféricos.

Los periféricos pueden conectarse en cualquier punto de la línea, independientemente de la dirección establecida para la recepción DMX.

Evitar largas tiradas de cables DMX transcurriendo paralelamente a líneas de carga o red eléctrica.

Una línea DMX no debe exceder nunca de 500 metros de longitud y en condiciones favorables de uso. De ser necesario, existen Repetidores, Mezcladores, Repartidores (Splitter), emisores inalámbricos, etc. para conseguir distancias mayores.

Una línea DMX soporta un máximo de 32 periféricos conectados a la misma.

Está absolutamente desaconsejado el empleo de cables "bífidos" / "T" / "Y"; es decir, dividir o multiplicar una línea mediante conexiones en paralelo (eso no es una conexión encadenada).

Uso de Terminadores. Cuando tenemos una cadena de periféricos conectada, el final de la misma se encuentra "al aire", al conector de enlace del último periférico no conectamos nada. Esto puede provocar un efecto de rebote en la línea. Para evitarlo, se le conecta un Terminador. Un terminador consiste en una resistencia de 120 (entre 90-150) ohmios (1/4 w.) entre los pines 2 y 3 del conector XLR de 5 pines (entre data+y data-). Para un uso cómodo de este terminador, se suele construir partiendo de un conector macho XLR de 5 pines que lleva soldada dicha resistencia en su interior. De este modo, podemos utilizar este conector- terminador libremente sobre cualquier periférico que se nos quede en último lugar de la cadena.

Cada línea DMX sólo puede tener conectado un único terminador y siempre al final de la cadena de periféricos. Hay aparatos que incorporan un terminador en su interior y que suele ser conectable / desconectable. Hay que tenerlo en cuenta, pues a partir de un terminador, la comunicación DMX se pierde.

Para instalaciones simples no es necesario el uso de terminador, pero resulta imprescindible para instalaciones complejas. (el grado de simple y compleja es muy relativo e intervienen factores como la distancia, número de periféricos y su construcción interna, trazado de las líneas, tipo de cable empleado, etc..)

Si deseamos dividir una línea en diferentes direcciones, estamos obligados al uso de aparatos Repartidores

Con el empleo de Repetidores, Repartidores (Splitter), etc., cada línea DMX generada por los mismos, es considerada como una línea nueva en todos los sentidos, acepta 32 nuevos periféricos, otros 500 metros de longitud, etc. Además, si el aparato hace uso de elementos optoacopladores, como suele ser habitual, estamos separando eléctricamente el conjunto de las líneas entre sí, evitando posibles problemas de bucles entre masas. La independencia de líneas es tal, que problemas en una de ellas, no afectan en absoluto al resto. Por tanto, el empleo de estos dispositivos confiere una gran seguridad a la instalación, sobre todo a partir de montajes "medianos".

RESUMEN

Se diseñó e implementó un sistema de control programable para la iluminación de espectáculos basado en el protocolo DMX aplicado en el auditorio de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo para mejorar la funcionalidad de los equipos de iluminación.

Se desarrolló un Software en Visual Basic 6.0 para controlar dispositivos DMX, la intensidad y accionar efectos de las lámparas, además se implementó un controlador DMX programado para recibir datos de la PC, codificar trama DMX y transmitirla, se diseñó un receptor DMX cuya función fué decodificar la trama DMX y obtener los valores de cada canal para realizar operaciones determinadas.

Como resultado se logró mejorar la utilización de los equipos de iluminación del auditorio a la vez que se incrementó la funcionalidad de los mismos.

Se concluyó que la implementación del sistema permite a un bajo costo recuperar el control sobre equipos DMX y diferentes tipos de luces.

Es recomendable que la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, implemente de manera permanente el sistema desarrollado para mantener un control técnico sobre la iluminación de sus escenarios.

SUMMARY

A programmable control system was designed and implemented for lighting stages in the auditorium of the Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, based on the DMX protocol for improving the functioning of all the lighting equipments.

A Software in Visual Basic 6.0 was developed for controlling the DMX devices the power intensity and the effects of the lamp; a controller DMX programmed was also implemented for receiving data from the PC, coding and transmitting frame of the DMX. A DMX receiver was designed whose function is for decoding the frame DMX and for obtaining the values of each channel for performing certain operations.

As results it was gotten a better use of the lighting equipments from the auditorium at the time that increased its own functionality.

It was concluded that implementing this systems, it allows to a low cost have control over the DMX equipments and the different types of lights.

It is recommended to the Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, to regularly use this system for maintaining a technical control over the stage lighting.

BIBLIOGRAFÍA

- **BOYLESTAD**, Robert. Análisis Introductorio de Circuitos. 8ª Ed. México, Prentice Hall, 2002. Pp. 558-724.
- **PALLAS ARENY**, Ramón. Fundamentos y Aplicaciones con Pic. 6ª Ed. Madrid-España, McGraw-Hill Interamericana, 2007. 750 p.
- **PALMA BEHNKE**, Rodrigo. Los Sistemas Eléctricos de Potencia. Madrid-España, Pearson, 2008. Pp. 472.
- **PIATTINI VELTHUIS**, Mario Gerardo. Fábricas de Software: Experiencias, Tecnología y Organización. Madrid-España, Ra-Ma, 2007. 555p.
- **PRESSMAN**, Roger. Ingeniería del Software: Un enfoque práctico. 6ª Ed. P Madrid-España, McGraw-Hill Interamericana, 2005. Pp. 343-573.
- **RASHID**, Muhammad. Electrónica de Potencia: circuitos, dispositivos y Aplicaciones. 3ª Ed. México, Pearson, 2004. Pp. 1-39; 304-345.
- **SAVANT**, Junior y **CARPENTER** Gotdon. Diseño Electrónico: Circuitos y Sistemas. 3ª Ed. México, Prentice Hall, 2000. Pp. 125-238.
- **STEVENS**, Perdita. Utilización de UML en Ingeniería del Software con Objetos y Componentes. Madrid-España, Pearson, 2002. 277p.
- **VALDÉS PÉREZ**, Fernando. Microcontroladores: Fundamentos y Aplicaciones con Pic. España, 3Q-Editorial, 2007. Pp. 11-51; 149-153.

INTERNET

- **ANATOMÍA DEL PROTOCOLO DMX512**

<http://www.euro-pa.be/dmx.html>

(2010 - 03 – 09)

- **COMUNICACIÓN A TRAVÉS DE DMX512 USANDO PIC**

<http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/01076A.pdf>

(2010 - 05 – 13)

- **CONTROL DE FASE**

<http://www3.fi.mdp.edu.ar/control403/ControlFase.pdf>

(2010 - 10 – 05)

- **DIMMER OPTOACOPLADO DE CONTROL DE POTENCIA**

<http://members.fortunecity.es/obiwankenobi2000/docs/ee641/>

[optoacoplado.htm](#)

(2010 - 10 – 12)

- **DISEÑOS Y PROYECTOS DMX512**

<http://www.todopic.com.ar/foros/index.php?board=61.0>

(2010 - 08 – 19)

- **ESPECIFICACIONES DE LA NORMA EIA RS-485**

http://alciro.org/alciro/RS-485_16/EIA-RS-485-especificaciones-

[n norma_328.htm](#)

(2010 - 06 – 17)

- **ILUMINACIÓN DIGITAL**

<http://www.digital-enlightenment.de/faq.htm>

(2010 – 03 – 20)

- **INTERFACES DMX**

<http://www.freedmx.com/>

(2010 - 04 – 15)

- **MANUAL DE USUARIO DEL ROBOCOLOR PRO518**

http://www.martinpro.com.ar/manuales_pdf

(2010 - 07 – 20)

- **PROTOCOLO DMX512**

<http://www.dmx512.com/web/light/dmx512/intro>

(2010 – 03 – 17)

- **PROYECTOS DE CÓDIGO ABIERTO DMX512**

<http://www.hackchina.com/dlpre.php?lang=en&id=33929>

(2010 - 09 – 28)

- **PROYECTOS DMX**

<http://users.skynet.be/kristofnys/dongle.htm>

(2010 - 04 – 26)

- **RECEPTORES DMX**

<http://www.micropic.es>

(2010 - 03 – 25)

- **REGULACIÓN DE POTENCIA ELÉCTRICA**

<http://www.scribd.com/doc/7795275/Pic-Dimmer>

(2010 - 10 – 07)

- **USITT DMX512, DMX512/1990, DMX512-A**

<http://www.usitt.org/DMX512.aspx>

(2010 - 05 – 31)