

Universidad Nacional de Quilmes

Departamento de Ciencia y Tecnología
Ingeniería en Automatización y Control Industrial

CONTROL AUTOMÁTICO DEL EQUIPO UPDOWN

Olivieri, Ian Paulo

Director:

Pernia, Eric Nicolás

Co-director:

x

Jurado:

Safar, Felix

Juarez, José

y

z

Presentación: Septiembre de 2017
Quilmes, Buenos Aires, Argentina.

Resumen

Resumen del proyecto (1 carilla)

Índice de contenidos

1	Introducción	6
1.1	Marco temático	6
1.1.1	Esculturas cinéticas	6
1.1.1.1	Definición	6
1.1.1.2	Aplicaciones y estado actual del arte	7
1.1.2	Sistemas de iluminación	8
1.1.2.1	Equipos de luces	8
1.1.2.2	Consolas de control de luminaria	9
1.2	DMX	10
1.2.1	Definición e historia	10
1.2.2	Capa física	10
1.2.2.1	Cableado y conectores	10
1.2.2.2	Topología	11
1.2.2.3	Señal	11
1.2.3	Capa de enlace de datos	11
1.2.3.1	Subcapa de control de enlace lógico	11
1.2.3.2	Subcapa de control de acceso al medio	13
1.3	Updown	13
1.3.1	Definición	13
1.3.2	Descripción del sistema	14
1.3.2.1	Fuente de alimentación	14
1.3.2.2	Entrada y salida DMX	14
1.3.2.3	Dip-switch	15
1.3.2.4	Freno	15
1.3.2.5	Fin de carrera	15

1.3.2.6	Sistema motor	15
1.3.2.7	Placa de control	16
1.3.3	Resumen de entradas y salidas del sistema	16
1.3.3.1	Entradas	16
1.3.3.2	Salidas	16
1.4	Justificación del proyecto	17
1.5	Objetivos	17
1.5.1	REQ-01	17
1.5.2	REQ-02	17
1.5.3	REQ-03	17
1.5.4	REQ-04	18
1.5.5	REQ-05	18
1.5.6	Otros	18
2	Diseño	19
2.1	Análisis de los requerimientos a resolver	19
2.1.1	REQ-01	19
2.1.1.1	Análisis	19
2.1.1.2	Diagrama de módulos	19
2.1.2	REQ-02	20
2.1.3	REQ-03	20
2.1.4	REQ-04	20
2.1.5	REQ-05	20
2.2	Hardware	20
2.3	Firmware	20
2.4	Controlador	20
3	Desarrollo	21

3.1 d1	21
3.1.1 d11	21
3.1.2 d12	22
4 Implementación	23
4.1 i1	23
4.1.1 i11	23
4.1.2 i12	24
5 Conclusiones	25
5.1 c1	25

Índice de figuras

1.1	Ejemplo de escultura cinética movida por aire, por Anthony Howe. Fuente: LINK al video	6
1.2	Escultura cinética en el museo BMW. Fuente: LINK al video	7
1.3	Escultura cinética por parte de Build Up. Fuente: LINK al video	8
1.4	Shapeshifter, de High End Systems. Fuente: LINK al video	8
1.5	Consola Hog4, de High End Systems. Fuente: LINK a la imagen	9
1.6	Cable DMX con conector XLR5. Fuente: wikipedia	10
1.7	Conexionado en una red DMX. Fuente: wikipedia	11
1.8	Formato de la trama DMX. Fuente: LINK	12
1.9	Imagen del Updown, desarrollado por la empresa Blackout	13
1.10	Diagrama conceptual del equipo Updown	14
1.11	Diagrama del sistema motor	15
1.12	Diagrama del sistema motor	16

Introducción

1.1 Marco temático

1.1.1 Esculturas cinéticas

1.1.1.1 Definición

Las esculturas cinéticas (kinetic sculpture en inglés) son estructuras tridimensionales en donde el movimiento es una parte fundamental del conjunto. Para lograr el efecto de movimiento en el espacio estos sistemas se construyen con partes móviles que pueden cambiar de posición ya sea naturalmente por acción del viento, como se ve en la figura 1.1, o de manera forzada.



Figura 1.1: Ejemplo de escultura cinética movida por aire, por Anthony Howe. Fuente: [LINK al video](#)

1.1.1.2 Aplicaciones y estado actual del arte

Al ser obras que caen dentro del campo artístico suelen presentarse en museos y utilizarse para fines decorativos ya sea en parques o eventos. Sin embargo, el nivel de ingeniería y diseño que algunas de ellas requieren las tornan un interesante desafío intelectual y creativo.

Las aplicaciones puntuales de estructuras cinéticas a las que se hará foco en este informe, debido a la naturaleza del proyecto final, son aquellas en donde el efecto espacial se logra a través del movimiento en el eje vertical de objetos esféricos mediante motores.

Un ejemplo de aplicación de estas características se puede ver en la figura 1.2. Allí se muestra una escultura presentada en el Museo de BMW, en Munich, Alemania, en donde 714 esferas metálicas son coordinadas para formas figuras como olas, gotas, y hasta la silueta de un auto

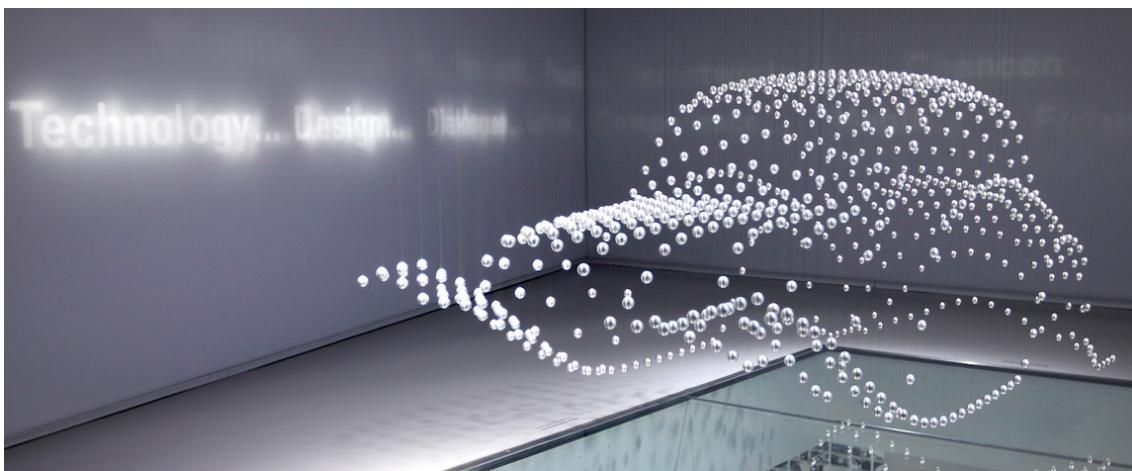


Figura 1.2: Escultura cinética en el museo BMW. Fuente: [LINK al video](#)

Otro ejemplo de aplicación se puede ver en la figura 1.3, en una obra presentada por la empresa Build Up en un centro comercial en Fukuoka, Japón. Allí se instalaron 1000 luminarias esféricas RGB dispuestas en una matriz de 25x40 para generar figuras tridimensionales como planos y gausseanas, entre otras. En este caso los efectos espaciales se logran coordinando el movimiento de cada esfera independientemente, cada una manejada por un equipo motorizado.

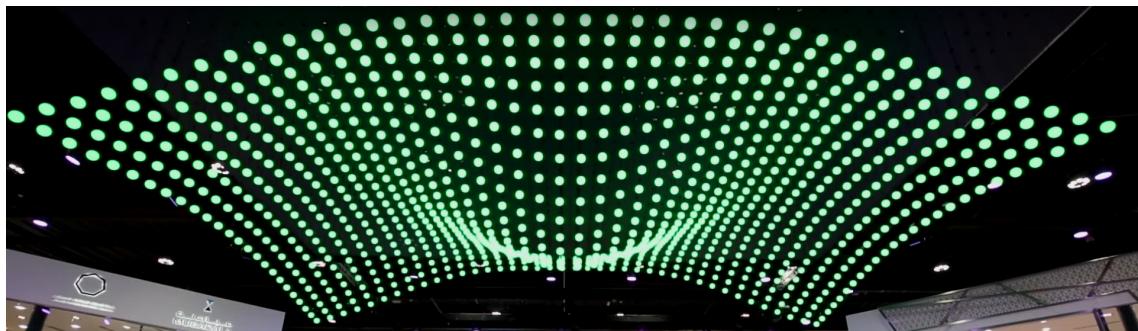


Figura 1.3: Escultura cinética por parte de Build Up. Fuente: [LINK al video](#)

1.1.2 Sistemas de iluminación

1.1.2.1 Equipos de luces

En cualquier espectáculo o evento la iluminación es una parte vital del show, y a medida que estos fueron evolucionando también lo hicieron los equipos de luces. Partiendo de aparatos fijos en donde solo se podía variar la intensidad de luz, se pueden conseguir hoy en día dispositivos complejos con decenas de parámetros controlables.

Un notable ejemplo es el **Shapeshifter**, figura 1.4, que cuenta con 7 módulos leds que pueden ser manejados independientemente.



Figura 1.4: Shapeshifter, de High End Systems. Fuente: [LINK al video](#)

En el caso del sistema visto en la figura 1.3, los parámetros controlables de los equipos son la posición, velocidad y colores de cada esfera.

1.1.2.2 Consolas de control de luminaria

Para controlar los sistemas de luces es necesario utilizar unas consolas especiales. Estas se comunican con las luminarias utilizando el estándar **DMX** y le indican a cada equipo el valor de sus parámetros en todo momento.

La manera más común para generar un efecto es indicando la progresión de uno o más parámetros desde un tiempo inicial a uno final. Al cambio de los parámetros entre 2 instantes de tiempo se las llama *cues*, o entradas, y cuyo conjunto forma los efectos. Dentro de las consolas que hay en el mercado para este tipo de control de equipos se pueden destacar las **consolas hog 4** de High End Systems, como la que se muestra en la figura 1.5

Otra manera generarlos es a partir de equipos y softwares, como el **Madrix**, que tienen la capacidad de convertir videos a variaciones de parámetros, lo cual lo hace especialmente útil cuando se quieren crear **efectos lumínicos complejos**.



Figura 1.5: Consola Hog4, de High End Systems. Fuente: [LINK a la imagen](#)

1.2 DMX

1.2.1 Definición e historia

DMX, de *Digital MultipleX*, es un estándar de comunicación digital ampliamente utilizado para el control de sistemas de iluminación.

El estándar DMX512, donde 512 significa que se envían 512 piezas de información, fue creado por la *United States Institute for Theatre Technology* (USITT) en 1986 y transformado en DMX512/1990 tras una revisión de la USITT. En 1998 la *Entertainment Services and Technology Association* (ESTA) cuadró DMX dentro de los estándares ANSI, modificación que fue aprobada por el instituto (ANSI) en 2004. Finalmente, en 2008 DMX tuvo una nueva revisión y se llegó a la versión actual llamada "E1.11 – 2008, USITT DMX512-A", o simplemente DMX512-A. A pesar de esto, el nombre comúnmente conocido del estándar es simplemente DMX, aunque no es indistinto ya que hay diferencia de compatibilidad entre las diferentes versiones.

1.2.2 Capa física

1.2.2.1 Cableado y conectores

DMX emplea el estándar EIA-485 como capa física, por lo que emplea por lo menos 3 líneas; A, B y C, en donde A y B son los datos que se transmiten, y C es masa. Los conectores utilizados son los XLR, tanto de 5 como de 3 pinos. Un ejemplo del cable se puede ver en la figura 1.6



Figura 1.6: Cable DMX con conector XLR5. Fuente: wikipedia

1.2.2.2 Topología

La red de DMX consiste en un maestro y varios esclavos, conectados con una topología de bus multidrop (MDB) con nodos conectados entre sí, lo que normalmente se denomina como topología *daisy chain*. En otras palabras, todos los equipos a controlar tienen una entrada y una salida conectadas entre sí, de manera tal de que se puede conectar un equipo y apartir de este equipo conectar el siguiente, y así sucesivamente, como se ve en la figura 1.7. Esto permite que el conexionado sea simple y que la red pueda ser fácilmente extendida.

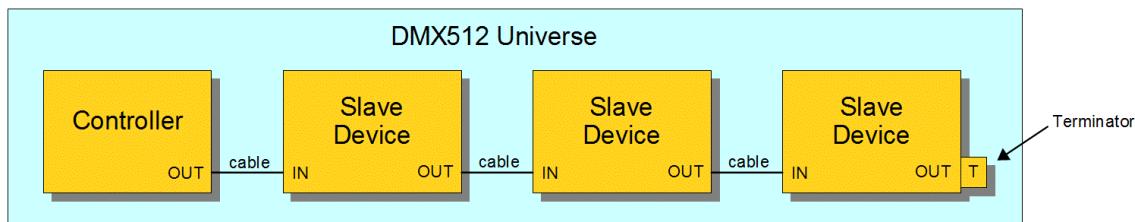


Figura 1.7: Conexión en una red DMX. Fuente: wikipedia

1.2.2.3 Señal

La señal de DMX es de tipo diferencial, como es indicado en EIA-485, de 5 Volts de pico, y los datos se envían asincrónicamente de manera serie con una tasa de transmisión de 250Kbits por segundo que equivale a una duración de bit de $4\mu s$.

1.2.3 Capa de enlace de datos

1.2.3.1 Subcapa de control de enlace lógico

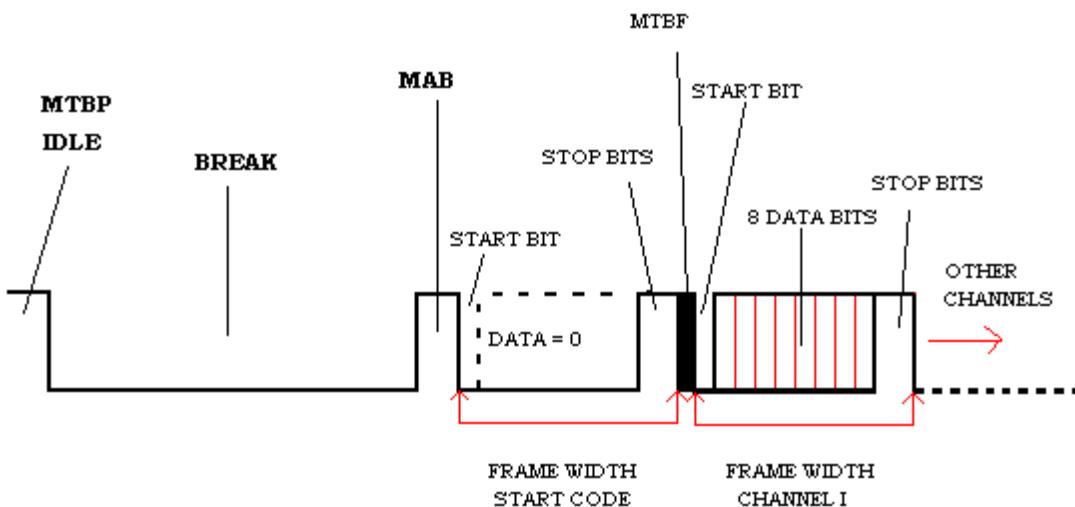
La trama DMX, visible en la figura 1.8 consta de las siguientes partes:

- **Idle** y **MTBP** (Mark Time Between Packets): estado de HIGH en la línea que indica la ausencia de señal de DMX. En caso de que se supere el tiempo máximo de 1 segundo sin datos, se considera que hubo una pérdida en la conexión.
- **Break**: estado de LOW en la línea utilizado para separar las tramas entre sí.
- **MAB** (Mark After Break): estado en HIGH enviado luego de un Break. Este estado suele traer problemas de compatibilidad ya que fue cambiado de una duración de $4\mu s$ a $8\mu s$ en la versión de DMX512 de 1990.

- **Slots:** son datos con formato 8N2 (un bit de start (LOW), 8 bits de datos, 2 bits de stop (HIGH) y sin paridad), y pueden ser:
 - **SC** (Start Code): es el Slot 0, enviado luego de un MAB, para indicar el principio del payload. Todos los bits de datos equivalen a LOW en este estado.
 - **Channels:** contienen la información que quiere ser enviada a los equipos de DMX. El conjunto de los 8 bits de datos pueden tomar un valor de 0 a 255. En total pueden haber un máximo de 512 canales enviados.
- **MTBF** (Mark Time Between Frames): estado opcional de HIGH en la linea que puede agregarse antes del bit de start de cada canal.

Señal	Mínima	Máxima	Típica
Idle/MTBP	0	1 seg	No especificada
Break	88μs	1seg	88μs
MAB	-	-	8μs
Bit	-	-	1/250KHz = 4μs
Slot (11 bits)	-	-	44μs
MTBF	0	1 seg	No especificada

Table 1.1: Duración de las señales que componen la trama de DMX

Figura 1.8: Formato de la trama DMX. Fuente: [LINK](#)

A cada trama con 512 canales se la llama "universo de DMX". Si se necesitan enviar más de 512 canales se utilizan más universos.

1.2.3.2 Subcapa de control de acceso al medio

DMX no implemente ningún mecanismo de control de acceso al medio debido a que el único transmisor es la red es el maestro y todos los esclavos reciben la misma información.

1.3 Updown

1.3.1 Definición

El **Updown**, que se puede ver en la figura 1.9, es básicamente una grúa que sube y baja una carga conforme a comandos recibidos por una equipo que utilice el protocolo DMX, como puede ser una consola de control de luminaria.

Este producto fue concebido en **Blackout**, una empresa productora y proveedora de tecnología cuyo objetivo es generar contenido audiovisual para grandes eventos. Blackout tomó interés en esculturas cinéticas como la de la figura 1.3 pero se encontró con el problema que el costo de importación de los equipos utilizados para tales fines, sumado a su precio unitario, era muy elevado. Por este motivo, decidió comenzar el desarrollo de un producto propio y nacional para alcanzar su objetivo.

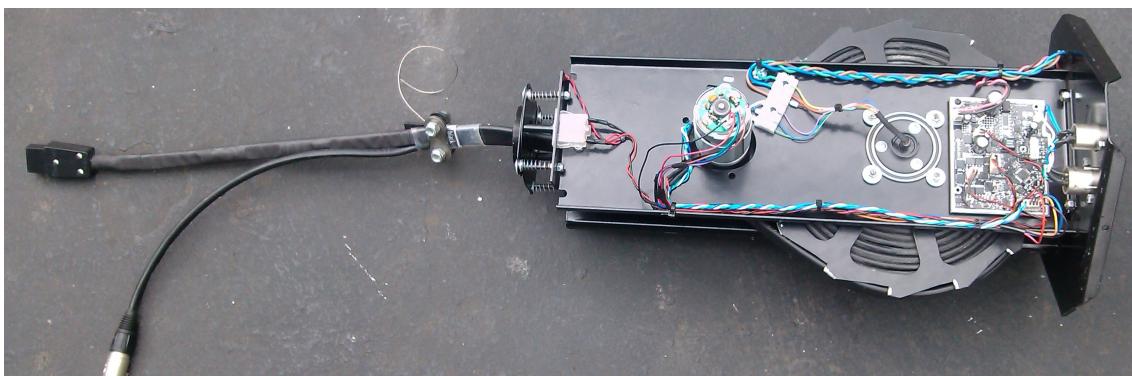


Figura 1.9: Imagen del Updown, desarrollado por la empresa Blackout

1.3.2 Descripción del sistema

En la figura 1.10 se presenta el diagrama general del equipo updown. Allí se pueden identificar todos elementos electrónicos y mecánicos que conforman el sistema, los agentes externos del sistema, y la comunicación entre ellos.

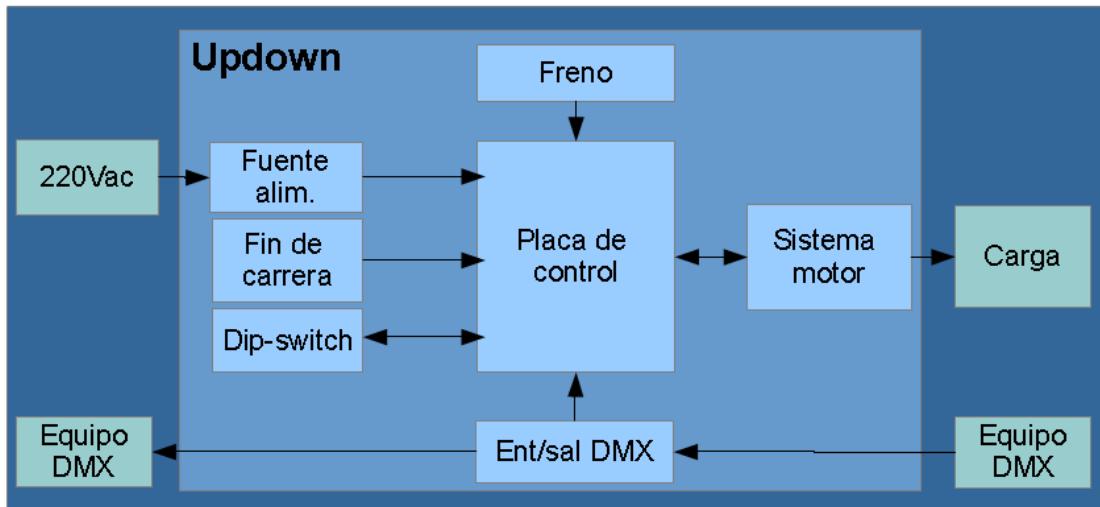


Figura 1.10: Diagrama conceptual del equipo Updown

1.3.2.1 Fuente de alimentación

La fuente de alimentación es la encargada de proveer la potencia necesaria para el funcionamiento del sistema motor, y de placa de control junto con sus periféricos. Esto lo logra convirtiendo la tensión de red de 220Vac a una señal continua de 24Vcc, entregando 4.5A máximo.

1.3.2.2 Entrada y salida DMX

La señal DMX proveniente del master de la red, otro Updown, o cualquier otro equipo esclavo dentro del mismo universo DMX ingresa al sistema para ser procesada por la placa de control. Su función es indicarle al equipo la referencia de posición y velocidad, y los parámetros que correspondan a la carga.

Además, para cumplir con el estándar DMX, la señal de entrada se replica mediante un puente a una salida para que otro equipo pueda ser conectado a la red.

1.3.2.3 Dip-switch

El dipswitch consta con varios divisores resistivos, 10 switchs y un led indicador. Su función es seleccionar el canal inicial de DMX con el que el equipo trabajará.

1.3.2.4 Freno

El freno consta de una bobina, desactivada por defecto, que mueve una varilla metálica que traba el carrete que contiene la polea. Al activar la bobina la varilla libera al carrete, permitiendo el libre movimiento de la carga.

1.3.2.5 Fin de carrera

El fin de carrera consta de un par de pulsadores en la base del equipo. Eventos como enrollar completamente la polea activa alguno de los pulsadores, dandole aviso a la placa de control.

1.3.2.6 Sistema motor

El elemento principal del sistema motor es un motor de continua de 24V con un encoder AB en su eje. Este motor mueve un carrete en donde se enrolla la polea que sostiene la carga. El carrete, llamado disco, tiene unas marcas que son sensadas por un encoder en la placa de control para tener una segunda referencia de posición.

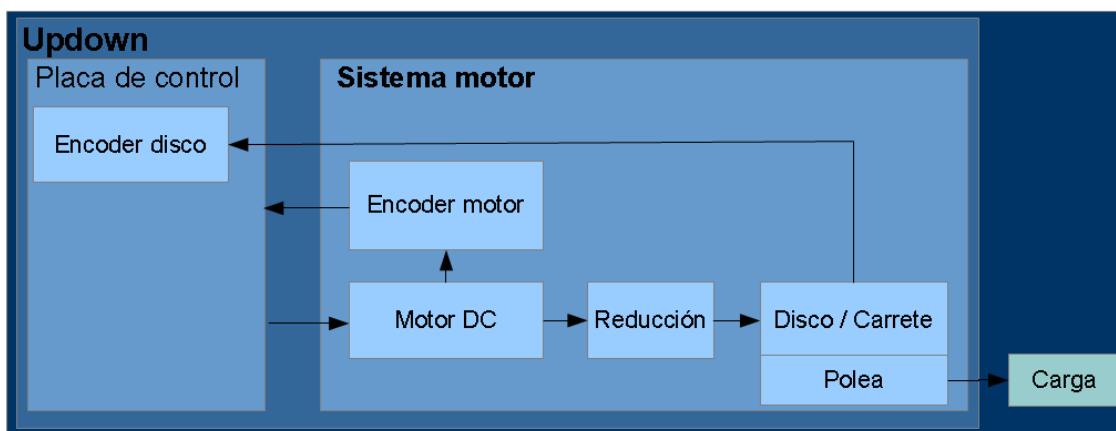


Figura 1.11: Diagrama del sistema motor

1.3.2.7 Placa de control

La placa de control contiene electrónica para el manejo de las entradas y salidas del sistema, y un controlador para manejar todos los periféricos siguiendo la lógica deseada.

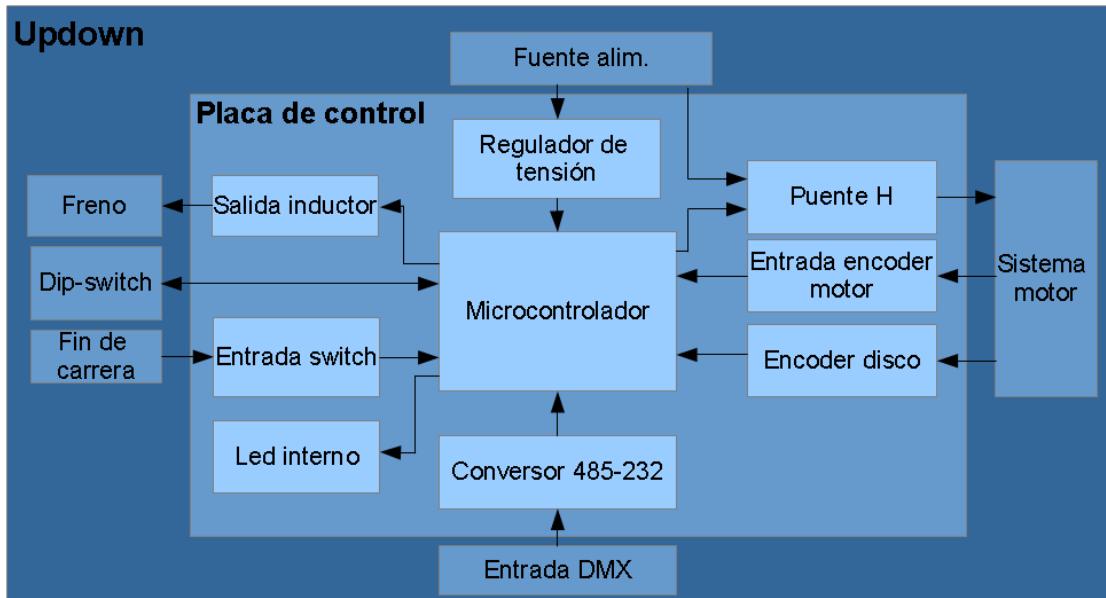


Figura 1.12: Diagrama del sistema motor

1.3.3 Resumen de entradas y salidas del sistema

1.3.3.1 Entradas

Señal de DMX, Fin de carrera, Dip-switch, Encoder de disco, Encoder de motor.

1.3.3.2 Salidas

Freno, Motor, Led interno (led indicador de la Placa de control), Led externo (led indicador del Dipswitch).

1.4 Justificación del proyecto

Durante el desarrollo del updown la empresa se dió cuenta que con los recursos que contaban, tiempo en particular, no podían concretar los requerimientos que buscaban que el updown tuviera. En esta instancia la mayoría de la mecánica y la electrónica estaba hecha, solo faltaba resolver: el desarrollo de un dipswitch para el direccionamiento de DMX, la programación del microcontrolador para manejar todo el sistema y generación software de prueba para el armado de nuevos equipos.

Por este motivo, Blackout se vió en la necesidad de buscar a alguien externo a la empresa para darle fin al proyecto, lo que presentó la oportunidad de realizar el trabajo de concluir el desarrollo del equipo, que es en lo que este proyecto final se basa.

1.5 Objetivos

Para dar conclusión al proyecto se deben cumplir con los requerimientos no resueltos del producto. Estos son:

1.5.1 REQ-01

Desarrollar el firmware necesario para el manejo de todas las entradas y salidas del sistema.

1.5.2 REQ-02

Lograr que las cargas manejadas por los equipos se muevan a la velocidad y posición indicadas mediante una consola DMX.

1.5.3 REQ-03

Manejar errores y excepciones de hardware para lograr que el producto sea seguro, siendo que será instalado en eventos con un alto nivel de concurrencia.

1.5.4 REQ-04

Concluir el desarrollo del dipswitch.

1.5.5 REQ-05

Generar programas de prueba para facilitar el armado en cantidad de los updown.

1.5.6 Otros

Además, de ser necesario para el cumplimiento del resto de los requerimientos, se deberán plantear, y de ser posible realizar, los cambios mecánicos y electrónicos que hagan falta.

Diseño

2.1 Análisis de los requerimientos a resolver

A continuación se analizan los requerimientos presentados en la sección 1.5 con el objetivo de determinar qué se planea hacer para cumplirlos.

2.1.1 REQ-01

2.1.1.1 Análisis

El microcontrolador utilizado en la placa de control es el Atmega328p. Este tiene capacidad de manejar todas las entradas y salidas del sistema ya que cuenta con periféricos de entradas y salidas digitales, entradas analógicas, comunicación serie (UART) y timers para temporización y generación de PWM. El único inconveniente que presenta es que es un microcontrolador de 8 bits sin optimizaciones para operaciones de punto flotante, lo que puede resultar un problema para ciertas partes del proyecto.

Verificado que el microcontrolador es viable para el proyecto se pasa a analizar cómo se manejarán los periféricos del mismo. Aquí las opciones son: utilizar librerías ya hechas o generar unas propias.

Dentro de las hechas la más recomendable es la de arduino, ya que cuenta con librerías para este microcontrolador y estas están altamente testeadas ya que son utilizadas por miles de personas y mantenidas por una enorme comunidad de desarrolladores de software. La contra de arduino es que ciertas librerías están mal optimizadas al utilizar operaciones de punto flotante, o tendrán que ser modificadas para que sean útiles para este proyecto en particular. Además, para garantizar el correcto funcionamiento del firmware lo óptimo sería verificar que todas las librerías utilizadas no empleen delays bloqueantes, que no realicen operaciones innecesarias, que no derrochen recursos, etc.

Debido a que el tiempo de desarrollo no es un factor limitante no es imperativo utilizar librerías ya hechas, por lo que se opta por crear librerías propias para manejar los periféricos.

2.1.1.2 Diagrama de módulos

El diagrama propuesto para el manejo de periféricos es:

PONER DIAGRAMA

2.1.2 REQ-02

Para hacer que las cargas sigan una referencia de posición y velocidad

2.1.3 REQ-03

2.1.4 REQ-04

2.1.5 REQ-05

2.2 Hardware

dipsw, relación encoder-distancia, velocidad maxima (para distintos pesos), relacion encoder motor/encoder disco.

2.3 Firmware

Diagrama de clases más que nada

2.4 Controlador

Modelo de control.

Desarrollo

3.1 d1

3.1.1 d11

3.1.2 d12

Implementación

4.1 i1

4.1.1 i11

4.1.2 i12

Conclusiones

5.1 c1