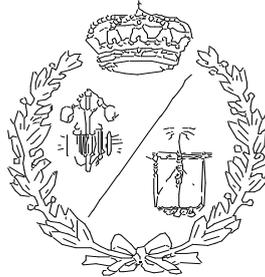


**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN**

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Proyecto / Trabajo Fin de Carrera

**Controlador de lámparas LEDs con ajuste
de la intensidad luminosa**

**(Controller LEDs lights with adjustable
brightness)**

Para acceder al Título de

**INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL
ESPECIALIDAD ELECTRÓNICA INDUSTRIAL**

Autor: Alberto González Gutiérrez

Julio - 2013

ÍNDICE

Índice de documentos

Índice.....	5
Introducción y objetivos.....	12
Memoria.....	23
Anexos.....	134
Planos.....	172
Pliego de condiciones.....	174
Presupuesto.....	176
Conclusiones.....	183
Bibliografía.....	185

Índice

1- Antecedentes y objetivos.....	13
1.1- Antecedentes.....	13
1.2- Introducción.....	14
1.2.1- Definición y características de los LEDES.....	14
1.2.2- Características de funcionamiento.....	15
1.2.3- Características del LED de potencia.....	17
1.2.4- El BXRA-C2000 LED MATRIX.....	17
1.3- Objeto del proyecto.....	20
2- Especificaciones de diseño.....	22
2.1- Convertidor resonante para lámparas LED.....	22
2.1.1- Convertidor puente.....	22
2.1.2- Convertidor resonante LC_sC_p	23
2.2- Etapa de control basada en microcontroladores PIC.....	29
2.2.1- Elección del microcontrolador.....	29
2.2.2- Elección de la frecuencia de funcionamiento.....	33
2.2.3- Conexión del PIC.....	34
2.2.4- Conexión entre etapa de control y etapa de potencia.....	34
3- Diseño del sistema.....	36
3.1- Estudio de soluciones.....	36
3.2- Métodos de control.....	36
3.2.1- Control de fase.....	36
3.2.1.1- Estudio de tiempos.....	37
3.2.1.2- Desarrollo del programa e implementación en el PIC.....	38
3.2.2- Control en modo ráfaga con frecuencia de 500Hz.....	41
3.2.2.1- Estudio de tiempos.....	41
3.2.2.2- Desarrollo del programa e implementación en el PIC.....	43
3.2.3- Control en modo ráfaga con frecuencia de 2000Hz.....	45
3.2.3.1- Estudio de tiempos	46
3.2.3.2- Desarrollo del programa e implementación en el PIC	48
3.2.4- Control fase-ráfaga con 50 μ s de desfase.....	49
3.2.4.1- Estudio de tiempos.....	50
3.2.4.2- Desarrollo del programa e implementación en el PIC.....	52
3.2.5- Control fase-ráfaga con 100 μ s de desfase.....	55
3.2.5.1- Estudio de tiempos	55
3.2.5.2- Desarrollo del programa e implementación en el PIC.....	57
3.2.6- Control fase-ráfaga con 150 μ s de desfase.....	60
3.2.6.1- Estudio de tiempos	60
3.2.6.2- Desarrollo del programa e implementación en el PIC.....	62
4- Implementación física.....	65

4.1- Montaje del circuito de control.....	65
5- Resultados obtenidos.....	66
5.1- Control de fase.....	66
5.2- Control en modo ráfaga con frecuencia de 500Hz.....	77
5.3- Control en modo ráfaga con frecuencia de 2000Hz.....	88
5.4- Control fase-ráfaga con 50 μ s de desfase.....	99
5.5- Control fase-ráfaga con 100 μ s de desfase.....	110
5.6- Control fase-ráfaga con 150 μ s de desfase.....	122
5.7- Conclusiones de los resultados obtenidos.....	132
6- Anexos.....	134
6.1- Códigos de los programas.....	135
6.1.1- Control de fase.....	135
6.1.2- Control en modo ráfaga con frecuencia de 500Hz.....	139
6.1.3- Control en modo ráfaga con frecuencia de 2000Hz.....	143
6.1.4- Control fase-ráfaga con 50 μ s de desfase.....	147
6.1.5- Control fase-ráfaga con 100 μ s de desfase.....	152
6.1.6- Control fase-ráfaga con 150 μ s de desfase.....	157
6.2- Extractos de hojas de características.....	162
7- Planos.....	172
8- Pliego de condiciones.....	174
9- Presupuesto.....	176
9.1- Introducción.....	177
9.2- Mano de Obra para fabricar 1000 piezas.....	177
9.3- Materias Primas para fabricar 1000 piezas.....	177
9.4- Puesto de Trabajo.....	178
9.5- Gastos Generales y Gastos Sociales.....	180
9.6- Coste en Fábrica.....	180
9.7- Beneficios y Coste Total.....	181
9.8- Precio de venta.....	181
10- Conclusiones.....	183
11- Bibliografía.....	185
11.1- Libros y artículos.....	185
11.2- Apuntes.....	185
11.3- Direcciones de internet.....	185

Índice de figuras

Figura 1: Esquema Diodo LED	13
Figura 2: Esquema BXRA-C200.....	17
Figura 3: Grafica luminosidad	18
Figura 4: Grafica corriente nominal-temperatura	18
Figura 5: Convertidor resonante.....	21
Figura 6: Convertidor puente completo	22
Figura 7: Esquema eléctrico puente completo.....	22
Figura 8: Circuito resonante, aproximación.....	23
Figura 9: Modo ZVS.....	25
Figura 10: Ángulos φ_a y φ_b	27
Figura 11: Patillaje PIC16F887	30
Figura 12: Arquitectura del PIC16F887	31
Figura 13: Configuración puente completo	32
Figura 14: Cristal 12Mhz.....	32
Figura 15: Conexionado del PIC16f887	33
Figura 16: MC14504BCL.....	33
Figura 17: IR2111.....	34
Figura 18: Etapa intermedia.....	34
Figura 19: Control de fase	35
Figura 20: Flujograma control de fase.....	38
Figura 21: Control modo ráfaga 500Hz.....	41
Figura 22: Flujograma modo ráfaga 500Hz.....	43
Figura 23: Control modo ráfaga 2000Hz.....	45
Figura 24: Flujograma modo ráfaga 2000Hz.....	47
Figura 25: Control fase-ráfaga con 50us de desfase	49
Figura 26: Flujograma fase-ráfaga con 50us de desfase	52
Figura 27: Control fase-ráfaga con 100us de desfase	54
Figura 28: Flujograma fase-ráfaga con 100us de desfase	57
Figura 29: Control fase-ráfaga con 150us de desfase	59
Figura 30: Flujograma fase-ráfaga con 150us de desfase	62
Figura 31: Potencia de salida control de fase.....	66
Figura 32: Rendimiento control de fase	66
Figura 33: Perdidas promedio control de fase	67
Figura 34: Ciclo de trabajo 100% control de fase.....	67
Figura 35: Ciclo de trabajo 93% control de fase	68
Figura 36: Ciclo de trabajo 87% control de fase	68
Figura 37: Ciclo de trabajo 81% control de fase	69
Figura 38: Ciclo de trabajo 75% control de fase	69
Figura 39: Ciclo de trabajo 68% control de fase	70
Figura 40: Ciclo de trabajo 62% control de fase	70

Figura 41: Ciclo de trabajo 56% control de fase	71
Figura 42: Ciclo de trabajo 50% control de fase	71
Figura 43: Ciclo de trabajo 43% control de fase	72
Figura 44: Ciclo de trabajo 37% control de fase	72
Figura 45: Ciclo de trabajo 31% control de fase	73
Figura 46: Ciclo de trabajo 25% control de fase	73
Figura 47: Ciclo de trabajo 18% control de fase	74
Figura 48: Ciclo de trabajo 12% control de fase	74
Figura 49: Ciclo de trabajo 6% control de fase	75
Figura 50: Detalle control de fase	75
Figura 51: Potencia de salida, modo ráfaga 500Hz.....	77
Figura 52: Rendimiento, modo ráfaga 500Hz	77
Figura 53: Perdidas promedio modo ráfaga 500Hz	78
Figura 54: Ciclo de trabajo 100% modo ráfaga 500Hz	78
Figura 55: Ciclo de trabajo 93% modo ráfaga 500Hz	79
Figura 56: Ciclo de trabajo 87% modo ráfaga 500Hz	79
Figura 57: Ciclo de trabajo 81% modo ráfaga 500Hz	80
Figura 58: Ciclo de trabajo 75% modo ráfaga 500Hz	80
Figura 59: Ciclo de trabajo 68% modo ráfaga 500Hz	81
Figura 60: Ciclo de trabajo 62% modo ráfaga 500Hz	81
Figura 61: Ciclo de trabajo 56% modo ráfaga 500Hz	82
Figura 62: Ciclo de trabajo 50% modo ráfaga 500Hz	82
Figura 63: Ciclo de trabajo 43% modo ráfaga 500Hz	83
Figura 64: Ciclo de trabajo 37% modo ráfaga 500Hz.....	83
Figura 65: Ciclo de trabajo 31% modo ráfaga 500Hz	84
Figura 66: Ciclo de trabajo 25% modo ráfaga 500Hz.....	84
Figura 67: Ciclo de trabajo 18% modo ráfaga 500Hz	85
Figura 68: Ciclo de trabajo 12% modo ráfaga 500Hz	85
Figura 69: Ciclo de trabajo 6% modo ráfaga 500Hz	86
Figura 70: Detalle modo ráfaga 500Hz	86
Figura 71: Potencia de salida, modo ráfaga 2000Hz.....	88
Figura 72: Rendimiento, modo ráfaga 2000Hz	88
Figura 73: Perdidas promedio modo ráfaga 2000Hz	89
Figura 74: Ciclo de trabajo 100%, modo ráfaga 2000Hz	89
Figura 75: Ciclo de trabajo 93%, modo ráfaga 2000Hz	90
Figura 76: Ciclo de trabajo 87%, modo ráfaga 2000Hz	90
Figura 77: Ciclo de trabajo 81%, modo ráfaga 2000Hz	91
Figura 78: Ciclo de trabajo 75%, modo ráfaga 2000Hz	91
Figura 79: Ciclo de trabajo 68%, modo ráfaga 2000Hz	92
Figura 80: Ciclo de trabajo 62%, modo ráfaga 2000Hz.....	92

Figura 81: Ciclo de trabajo 56%, modo ráfaga 2000Hz	93
Figura 82: Ciclo de trabajo 50%, modo ráfaga 2000Hz	93
Figura 83: Ciclo de trabajo 43%, modo ráfaga 2000Hz	94
Figura 84: Ciclo de trabajo 37%, modo ráfaga 2000Hz	94
Figura 85: Ciclo de trabajo 31%, modo ráfaga 2000Hz	95
Figura 86: Ciclo de trabajo 25%, modo ráfaga 2000Hz	95
Figura 87: Ciclo de trabajo 18%, modo ráfaga 2000Hz	96
Figura 88: Ciclo de trabajo 12%, modo ráfaga 2000Hz	96
Figura 89: Ciclo de trabajo 6%, modo ráfaga 2000Hz	97
Figura 90: Potencia de salida, fase-ráfaga con 50us de desfase.....	99
Figura 91: Rendimiento, fase-ráfaga con 50us de desfase	99
Figura 92: Perdidas promedio fase-ráfaga con 50us de desfase	100
Figura 93: Ciclo de trabajo 100%, fase-ráfaga con 50us de desfase	100
Figura 94: Ciclo de trabajo 93%, fase-ráfaga con 50us de desfase	101
Figura 95: Ciclo de trabajo 87%, fase-ráfaga con 50us de desfase	101
Figura 96: Ciclo de trabajo 81%, fase-ráfaga con 50us de desfase.....	102
Figura 97: Ciclo de trabajo 75%, fase-ráfaga con 50us de desfase	102
Figura 98: Ciclo de trabajo 68%, fase-ráfaga con 50us de desfase	103
Figura 99: Ciclo de trabajo 62%, fase-ráfaga con 50us de desfase	103
Figura 100: Ciclo de trabajo 56%, fase-ráfaga con 50us de desfase	104
Figura 101: Ciclo de trabajo 50%, fase-ráfaga con 50us de desfase.....	104
Figura 102: Ciclo de trabajo 43%, fase-ráfaga con 50us de desfase	105
Figura 103: Ciclo de trabajo 37%, fase-ráfaga con 50us de desfase	105
Figura 104: Ciclo de trabajo 31%, fase-ráfaga con 50us de desfase	106
Figura 105: Ciclo de trabajo 25%, fase-ráfaga con 50us de desfase	106
Figura 106: Ciclo de trabajo 18%, fase-ráfaga con 50us de desfase	107
Figura 107: Ciclo de trabajo 12%, fase-ráfaga con 50us de desfase	107
Figura 108: Ciclo de trabajo 6%, fase-ráfaga con 50us de desfase	108
Figura 109: Detalle fase-ráfaga con 50us de desfase	108
Figura 110: Potencia de salida, fase-ráfaga con 100us de desfase.....	110
Figura 111: Rendimiento, fase-ráfaga con 100us de desfase	110
Figura 112: Perdidas promedio fase-ráfaga con 100us de desfase	111
Figura 113: Ciclo de trabajo 100%, fase-ráfaga con 100us de desfase	111
Figura 114: Ciclo de trabajo 93%, fase-ráfaga con 100us de desfase	112
Figura 115: Ciclo de trabajo 87%, fase-ráfaga con 100us de desfase	112
Figura 116: Ciclo de trabajo 81%, fase-ráfaga con 100us de desfase	113
Figura 117: Ciclo de trabajo 75%, fase-ráfaga con 100us de desfase	113
Figura 118: Ciclo de trabajo 68%, fase-ráfaga con 100us de desfase	114
Figura 119: Ciclo de trabajo 62%, fase-ráfaga con 100us de desfase	114
Figura 120: Ciclo de trabajo 56%, fase-ráfaga con 100us de desfase	115

Figura 121: Ciclo de trabajo 50%, fase-ráfaga con 100us de desfase	115
Figura 122: Ciclo de trabajo 43%, fase-ráfaga con 100us de desfase	116
Figura 123: Ciclo de trabajo 37%, fase-ráfaga con 100us de desfase	116
Figura 124: Ciclo de trabajo 31%, fase-ráfaga con 100us de desfase	117
Figura 125: Ciclo de trabajo 25%, fase-ráfaga con 100us de desfase	117
Figura 126: Ciclo de trabajo 18%, fase-ráfaga con 100us de desfase	118
Figura 127: Ciclo de trabajo 12%, fase-ráfaga con 100us de desfase	118
Figura 128: Ciclo de trabajo 6%, fase-ráfaga con 100us de desfase	119
Figura 129: Detalle, fase-ráfaga con 100us de desfase	119
Figura 130: Detalle, fase-ráfaga con 100us de desfase	120
Figura 131: Potencia de salida, fase-ráfaga con 150us de desfase.....	122
Figura 132: Rendimiento, fase-ráfaga con 150us de desfase	122
Figura 133: Perdidas promedio fase-ráfaga con 150us de desfase	123
Figura 134: Ciclo de trabajo 100%, fase-ráfaga con 150us de desfase	123
Figura 135: Ciclo de trabajo 93%, fase-ráfaga con 150us de desfase	124
Figura 136: Ciclo de trabajo 87%, fase-ráfaga con 150us de desfase	124
Figura 137: Ciclo de trabajo 81%, fase-ráfaga con 150us de desfase	125
Figura 138: Ciclo de trabajo 75%, fase-ráfaga con 150us de desfase	125
Figura 139: Ciclo de trabajo 68%, fase-ráfaga con 150us de desfase	126
Figura 140: Ciclo de trabajo 62%, fase-ráfaga con 150us de desfase	126
Figura 141: Ciclo de trabajo 56%, fase-ráfaga con 150us de desfase	127
Figura 142: Ciclo de trabajo 50%, fase-ráfaga con 150us de desfase	127
Figura 143: Ciclo de trabajo 43%, fase-ráfaga con 150us de desfase	128
Figura 144: Ciclo de trabajo 37%, fase-ráfaga con 150us de desfase	128
Figura 145: Ciclo de trabajo 31%, fase-ráfaga con 150us de desfase	129
Figura 146: Ciclo de trabajo 25%, fase-ráfaga con 150us de desfase	129
Figura 147: Ciclo de trabajo 18%, fase-ráfaga con 150us de desfase	130
Figura 148: Ciclo de trabajo 12%, fase-ráfaga con 150us de desfase	130
Figura 149: Ciclo de trabajo 6%, fase-ráfaga con 150us de desfase	131
Figura 150: Detalle, fase-ráfaga con 150us de desfase	132

Índice de tablas

Tabla 1: Consumo de diferentes lámparas.....	13
Tabla 2: Comparativa entre lámparas.....	14
Tabla 3: Compuestos utilizados en LEDs.....	16
Tabla 4: Características luminosas BXRA-C2000.....	18
Tabla 5: Características eléctricas BXRA-C2000.....	18
Tabla 6: Parámetros LCsCp.....	24
Tabla 7: Tiempos de control de fase.....	37
Tabla 8: Timer1 control de fase.....	38
Tabla 9: Tiempos control en modo ráfaga 500Hz.....	42
Tabla 10: Timer1 modo ráfaga 500Hz.....	43
Tabla 11: Tiempos control en modo ráfaga 2000Hz.....	47
Tabla 12: Timer1 en modo ráfaga 2000Hz.....	47
Tabla 13: Tiempos fase-ráfaga con 50us de desfase.....	50
Tabla 14: Timer1 fase-ráfaga con 50us de desfase.....	52
Tabla 15: Tiempos fase-ráfaga con 100us de desfase.....	56
Tabla 16: Timer1 fase-ráfaga con 100us de desfase.....	57
Tabla 17: Tiempos fase-ráfaga con 150us de desfase.....	61
Tabla 18: Timer1 fase-ráfaga con 150us de desfase.....	62
Tabla 19: Medidas, control de fase.....	66
Tabla 20: Medidas, control en modo ráfaga de 500Hz.....	77
Tabla 21: Medidas, control en modo ráfaga de 2000Hz.....	88
Tabla 22: Medidas, control fase-ráfaga con 50us de desfase.....	99
Tabla 23: Medidas, control fase-ráfaga con 100us de desfase.....	110
Tabla 24: Medidas, control fase-ráfaga con 150us de desfase	122

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.- Antecedentes y objetivos

1.1- Antecedentes

Thomas Edison presento en Octubre de 1879 su invento de la bombilla incandescente, desde entonces la tecnología ha ido evolucionando de varias formas, una de ellas, la tecnología LED, está cogiendo fuerza los últimos años dado sus características de bajo consumo y de horas de luz, compitiendo a su vez con otras como halógenas o incandescentes.

Según la Asociación Española de Fabricantes de Iluminación (Anfalum), en España se factura anualmente un coste medio de entre 3.120 millones de euros y 3.900 millones de euros para el alumbrado general y de entre 1.870 millones de euros y 2.200 millones de euros para alumbrado exterior, por lo que se hace evidente que consiguiendo minimizar el consumo se ahorraría mucha energía y con ello disminuiría el coste total.

La importancia de elegir una buena lámpara se justifica por varios factores de los que podemos destacar el consumo y la eficiencia luminosa.

Valores en lúmenes (lm)	CONSUMO APROXIMADO EN WATTS (W) SEGÚN EL TIPO DE LÁMPARA			
	LEDs	Incandescentes	Halógenas	CFL y fluorescentes
50 / 80	1,3	10	---	---
110 / 220	3,5	15	10	5
250 / 440	5	25	20	7
550 / 650	9	40	35	9
650 / 800	11	60	50	11
800 / 1500	15	75	70	18
1600 / 1800	18	100	100	20
2500 / 2600	25	150	150	30
2600 / 2800	30	200	200	40

Tabla 1. Consumos de diferentes lámparas.

En la tabla se relacionan diferentes valores en lúmenes comparándolos con el consumo que poseen los diferentes tipos de lámparas. Como vemos en la tabla los LEDs son los que más eficiencia tienen.

Otras de las características las vamos a comentar en la siguiente tabla comparativa.

CARACTERÍSTICAS	LEDs	CFLs	Incandescentes
Ciclos continuados de encendido/apagado	Indefinido	Acorta su vida útil	Indefinido
Tiempo de demora para encender	Instantáneo	Algún retardo	Instantáneo
Emisión de calor	Depende de la potencia	Baja	Alta
Consumo eléctrico	Bajo	Bajo	Alto
Eficiencia	Alta	Alta	Baja
Sensibilidad a la baja temperatura	Ninguna	Alta	Poca
Sensibilidad a la humedad	Ninguna	Alguna	Poca
Contenido de materiales tóxicos	Ninguno	Mercurio (Hg)	Ninguno
Vida útil aproximada en horas de funcionamiento	100.000	10.000	1.000
Permite atenuación	Algunos modelos	Algunos modelos	Todas
Precio	Alto	Medio	Bajo

Tabla 2. Comparativas entre lámparas.

Como vemos los LEDs son una buena alternativa con una vida útil que podríamos definir como “de por vida” aunque su precio es más elevado que el de otras lámparas, dado su consumo y su vida útil podríamos decir que el LEDs son una buena opción.

1.2- Introducción

A continuación nos vamos a centrar en las lámparas LEDs y vamos a explicar su funcionamiento y sus características más al detalle para después centrarnos en el LED usado para este proyecto.

1.2.1- Definición y características de los LEDs

LED significa “Light Emitting Diode”, o diodo emisor de luz. Un LED es un diodo que emite luz cuando pasa corriente a través de él. Los materiales semiconductores que se emplean en los LED convierten la energía eléctrica en luz.

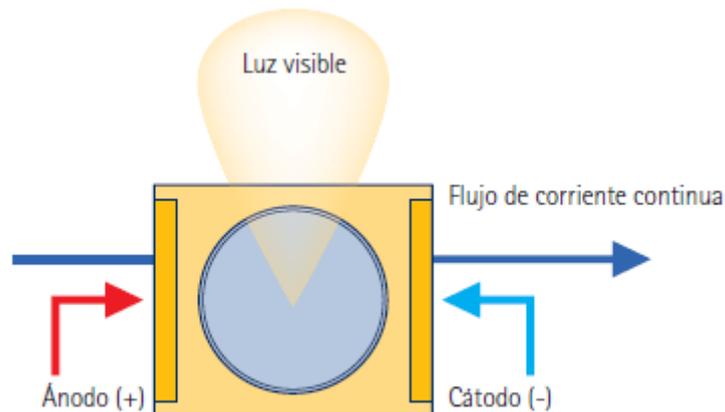


Figura 1: Esquema de diodo LED

La cantidad de luz que nos proporciona el LED es casi proporcional a la corriente que pasa por el diodo, a efectos prácticos la luz está controlada por la corriente. El color de la luz depende de los materiales empleados para producirla. Se puede generar luz LED en todos los colores saturados del espectro visible, siendo la luz blanca la más usada para la iluminación en general.

La luz blanca puede conseguirse del modo siguiente:

1. Bicromatismo

- La forma más común consiste en combinar un LED azul con un material luminiscente, que convierte parte de la luz azul en luz blanca. La composición de este material luminiscente determina la temperatura de color de la luz resultante.

2. Tricromatismo:

- Mezclando luces de color rojo, verde y azul.
- Mediante combinaciones de LED blancos del tipo descrito en el punto 1 con LED de color rojo o ámbar.

1.2.2- Características de funcionamiento

- **Eficacia;** Una lámpara de LED consigue generar la misma luz que otro tipo de lámparas consideradas de bajo consumo utilizando mucha menos potencia. La tensión que necesitan para funcionar es muy baja, generalmente 24V, con lo que se reducen al mínimo posibles riesgos de electrocución. Este tipo de lámparas está en continuo desarrollo y actualmente se han llegado a fabricar LEDs con una eficiencia de 150 lm/W, igualando a las lámparas de vapor de sodio de alta presión, consideradas lámparas con una gran eficacia. Dado el bajo consumo energético y la eficiencia luminosa (Tabla 1) conseguimos rendimientos muy altos respecto a otras lámparas. Actualmente los LED en blanco frío con una temperatura de color de 5000 y 7000 K (grados Kelvin) alcanzan más de 160 lm/W en las condiciones de referencia y proporcionan un tiempo de encendido casi instantáneo aumentando así también la eficiencia.
- **Características cromáticas;** La distribución espectral de un LED es pequeña. Esto quiere decir que la luz producida es altamente saturada y casi monocromática. Su depreciación de la luminosa es mínima comparándola con otras lámparas. El color de un LED lo especifica con su longitud de onda dominante. En la Tabla 3 se pueden ver los compuestos utilizados para producir cada color.

Compuesto	Color	Long. de onda
arseniuro de galio (GaAs)	Infrarrojo	940 nm
arseniuro de galio y aluminio (AlGaAs)	rojo e infrarrojo	890 nm
arseniuro fosfuro de galio (GaAsP)	rojo, anaranjado y amarillo	630 nm
fosfuro de galio (GaP)	verde	555 nm
nitruro de galio (GaN)	verde	525 nm
seleniuro de cinc (ZnSe)	azul	
nitruro de galio e indio (InGaN)	azul	450 nm
carburo de silicio (SiC)	azul	480 nm
diamante (C)	ultravioleta	
silicio (Si)	en desarrollo	

Tabla 3: Compuestos utilizados en LEDs

- **Vida;** La vida útil de un LED está por las 100.000 horas siempre que se tengan en consideración las especificaciones, entre las más importantes a tener en cuenta se encuentra la temperatura interna y la potencia. La temperatura interna afecta mucho a la vida útil del diodo y será de 100.000 horas siempre y cuando el LED se emplee dentro de sus límites de temperatura establecidos (normalmente entre 80 y 85 °C). Otra de las características importantes de los LEDs respecto a su vida útil es que no contienen componentes vulnerables o móviles tales como vidrio, filamentos o gases. Como consecuencia de ello, los LEDs son robustos y una buena solución en caso de vibraciones o ruidos que pudieran dañar otro tipo de lámparas.
- **Encendido y reencendido;** Al trabajar a baja temperatura por no tener que producir una reacción química el encendido y el reencendido son inmediatos.
- **Respetuosos con el medio ambiente;** Hoy en día una de las cosas que más hay que tener en cuenta es el comportamiento de la tecnología con las personas y con el medio ambiente. Los LEDs no contienen ni mercurio ni otras sustancias perjudiciales para el medio ambiente y dado su larga vida útil y su escaso consumo energético los hace una muy buena opción a la hora de pensar en el medio ambiente. El haz de luz LED no contiene radiación ultravioleta (UVA) ni infrarroja (IR). Por lo que le hace muy adecuado para iluminación interior en la que no se quiera abusar de ese tipo de radiaciones.

1.2.3- Características del LED de potencia

Los LEDs de potencia son diseños más complejos que los LEDs tradicionales tanto en su estructura como en su montaje para el uso del mismo. Los LEDs de potencia incluyen varias alternativas de ópticas de control de la luminosidad y se fabrican en potencias superiores a 1W. Estos LEDs se usan normalmente en iluminaciones de exteriores e iluminación urbana haciendo posible el mejor diseño de efectos de color.

Destacan por su bajo consumo y su alto rendimiento energético, esto unido a su larga vida útil los hacen perfectos para la iluminación de cualquier entorno doméstico, urbano e industrial. En las especificaciones de estos diodos se da una vida útil de 50.000 a 100.000 horas pero se podría alargar si conseguimos que funcione en unas condiciones óptimas.

Una de las características a tener en cuenta para un correcto funcionamiento de nuestro LED es la temperatura, estos dispositivos tienden a calentarse fácilmente así que una de las prioridades a tener en consideración será el uso de un buen disipador para evitar un exceso de temperatura que dañe el LED. Vamos a destacar las características más importantes de los LEDs de potencia:

- Vida promedio de 75,000 horas.
- Excelente Flujo Luminoso.
- Alta Eficiencia.
- Control preciso y direccional del flujo luminoso.
- Gama de colores para diferentes diseños.
- Mínimas emisiones de radiaciones infrarrojas y ultravioletas.

1.2.4- El BXRA-C2000

El LED de potencia que vamos a usar en este proyecto es el BXRA-C2000 de la marca Bridgelux. El circuito tendrá cuatro de estos LEDs haciendo una configuración en matriz. De tal manera que las especificaciones son las siguientes:

$$V_F = 17.14V$$

$$I_F = 1.75A$$

$$P_O = 30W$$

$$R_O = 9.79\Omega$$

Estas especificaciones vienen dadas por las hojas de características que nos facilita Bridgelux sobre el BXRA-C2000 y las vemos a continuación.

Controlador de lámparas LEDs con ajuste de la intensidad luminosa

Las características de luminosidad:

Nombre	Color	Luminosidad típica (lm), Tcase=60°C	Mínima luminosidad (lm), Tj=25°C	Luminosidad típica(lm), Tj=25°C	Corriente (mA)
BXRA-C2000	COOL WHITE	2000	2000	2200	1750

Tabla 4: Características luminosas BXRA-C2000

Las características eléctricas:

	Vf Min. (V)	Vf Typ. (V)	Vf Max. (V)	$\Delta V_f/\Delta T_j$ (mV/°C)	Resistencia térmica típica (°C/W)	Intensidad (mA)
BXRA-C2000	15	16,6	18	-5 a -15	0,5	1750

Tabla 5: Características eléctricas BXRA-C2000

Esquema de BXRA-C2000:

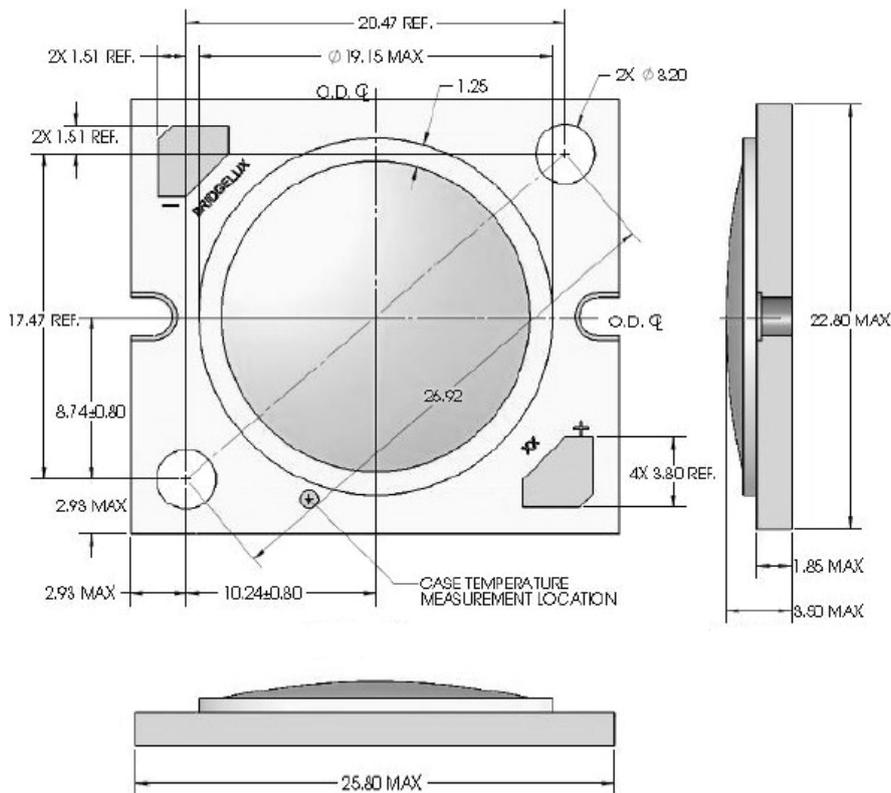


Figura 2: Esquema de BXRA-C2000

Las siguientes graficas muestran la luminosidad dependiendo de la intensidad con la que se alimentara el LED y como ya hemos hablado anteriormente de la importancia de la temperatura en estos LEDs vemos la curva de caída de la intensidad respecto de la temperatura ambiente a la que está sometido.

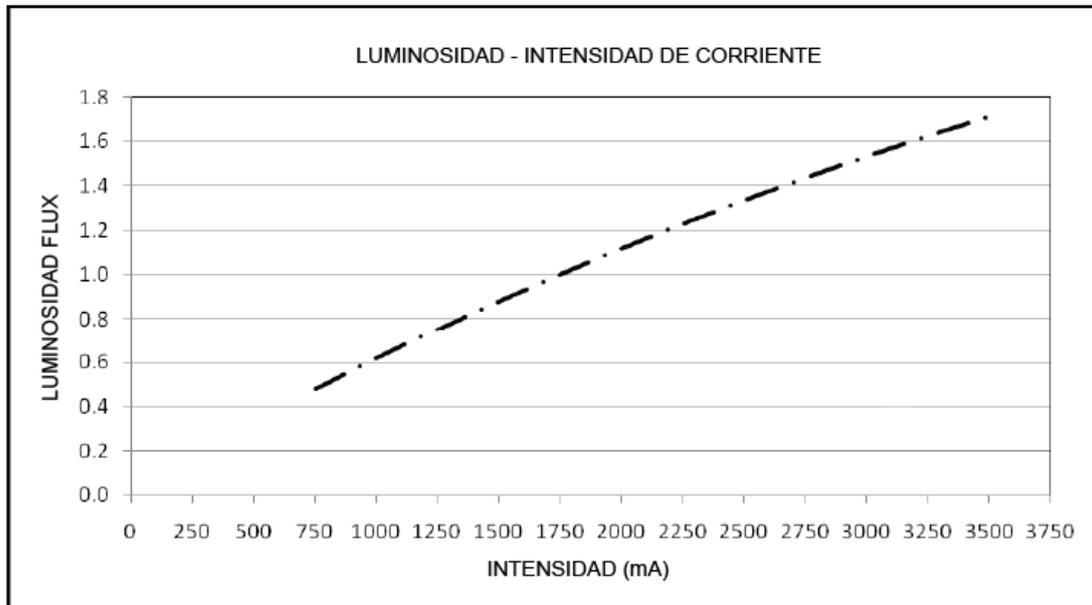


Figura 3: Grafica Luminosidad-Corriente BXRA-C2000

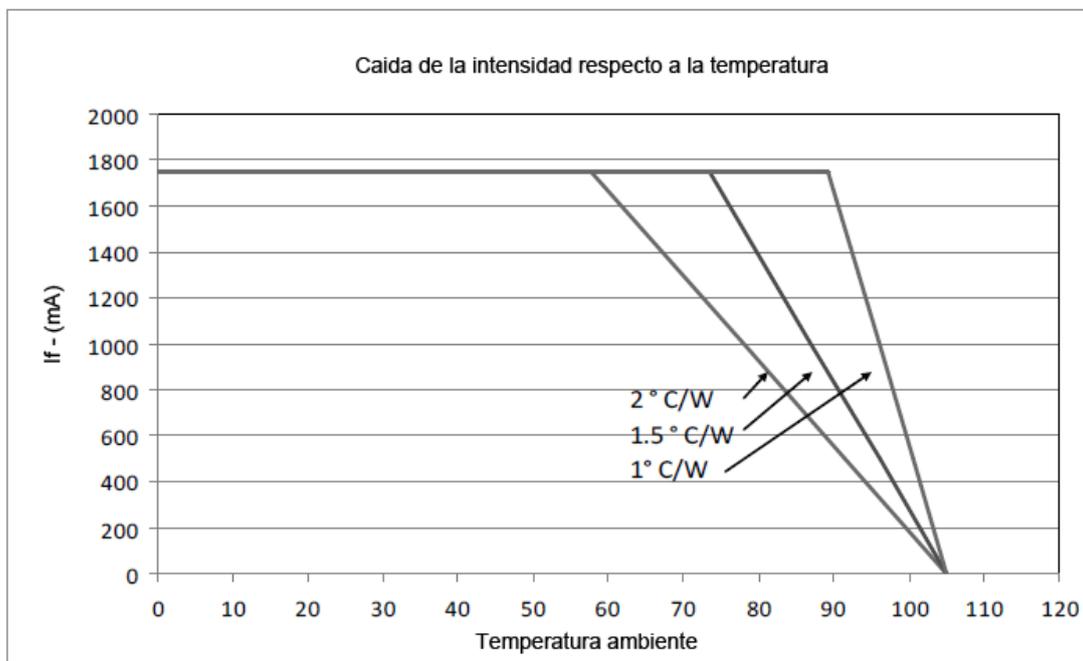


Figura 4: Grafica Corriente nominal-Temperatura BXRA-C2000

1.3- Objeto del proyecto

En este trabajo se realizara el circuito de control para controlar y regular el circuito de potencia para una lámpara de LEDs BXRA-C2000 en matriz. Para conseguirlo se desarrollara un programa para un microcontrolador PIC. El algoritmo de control debe realizar una señal cuadrada a 100kHz de frecuencia que controle el ángulo de fase para actuar sobre la señal de salida hacia nuestro LEDs.

Los objetivos del proyecto son los siguientes:

- Escoger e implementar una tipología de diseño para controlar de la manera deseada el circuito de LEDs de potencia.
- Diseñar el circuito de control para el circuito utilizando un microcontrolador PIC.
- Desarrollar el programa para el microcontrolador que nos permita controlar el LED.
- Realizar el montaje del circuito en el laboratorio para comprobar su correcto funcionamiento.

MEMORIA

2- Especificaciones del diseño

2.1- Convertidor resonante para lámparas LED

El convertidor resonante (Figura 5), el cual vamos a dividir en dos partes para la explicación, la primera parte será el convertidor en puente completo(full-bridge) o dos convertidores tipo D y la segunda parte, que es la más interesante, será el convertidor resonante que controla la lámpara LED.

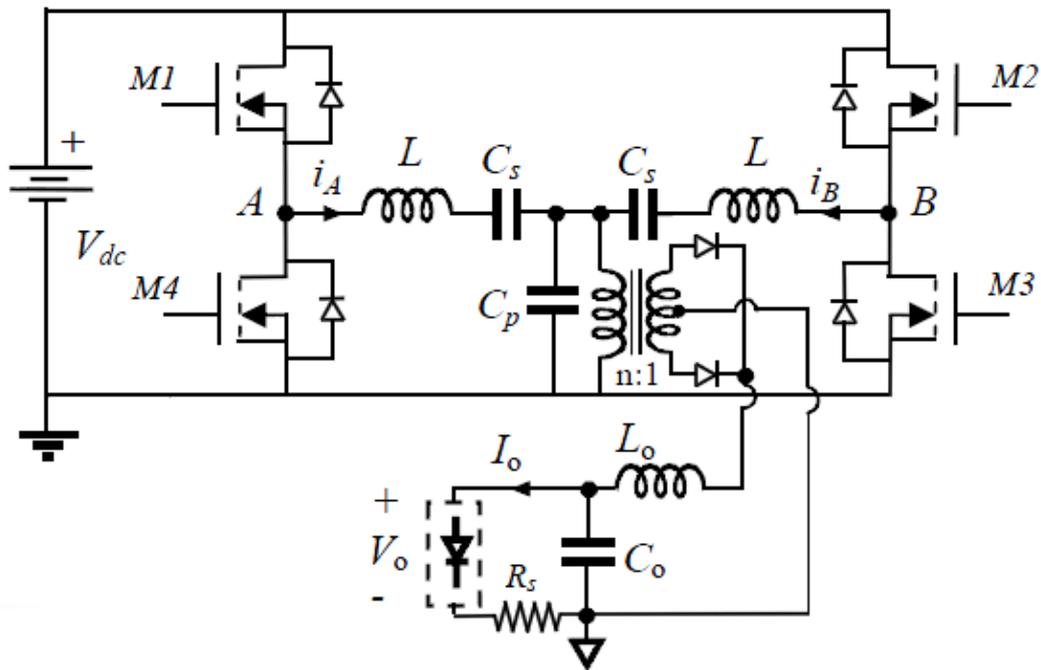


Figura 5; Convertidor resonante

2.1.1- Convertidor puente

Los convertidores o inversores en puente completo están formados por cuatro transistores que soportan toda la tensión de entrada. La tensión de salida está limitada a la tensión de entrada mientras que la potencia de salida es cuatro veces mayor que en los convertidores medio puente. La ventaja de los convertidores puente completo es que se puede modular la señal de salida, siendo esto interesante porque permite controlar la tensión en el circuito resonante. La desventaja de utilizar este tipo de convertidor se da en el caso de que se trabaje con potencias reducidas. Esto es debido a que en todo momento hay dos transistores en conducción, por lo que en este caso es mejor utilizar un inversor medio puente.

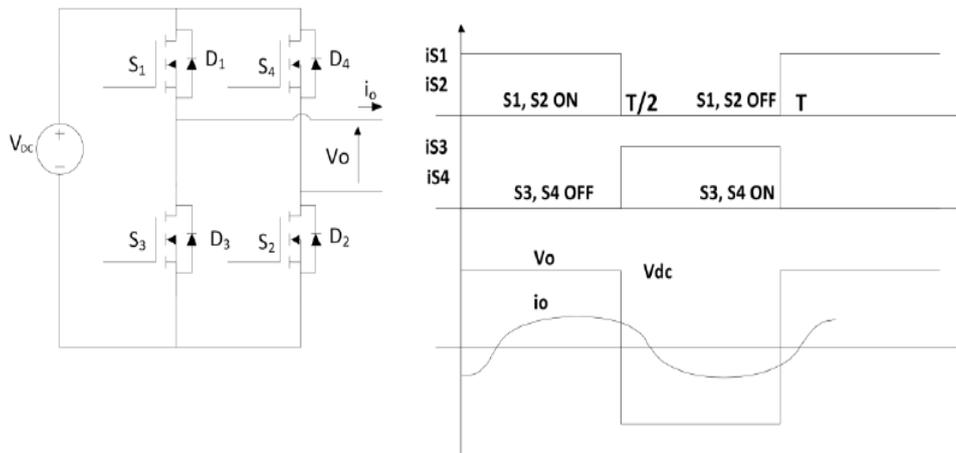


Figura 6; Puente completo

El funcionamiento del convertidor se basa en la conmutación de los transistores. En este tipo de configuración, las señales de control de QA+ y QA- no pueden presentar simultáneamente un nivel alto, pues supondría un cortocircuito en la tensión de entrada. Lo mismo pasa con la rama B. Las señales de control han de ser complementarias (si una está a nivel alto, la otra estará a nivel bajo y viceversa).

La tensión de salida:

$$v_o(t) = v_{AB}(t) = v_{An}(t) - v_{Bn}(t)$$

$$v_{An} = V_{IN} \quad \text{si} \quad QA+ = 1$$

$$v_{An} = 0 \quad \text{si} \quad QA- = 1$$

$$v_{Bn} = V_{IN} \quad \text{si} \quad QB+ = 1$$

$$v_{Bn} = 0 \quad \text{si} \quad QB- = 1$$

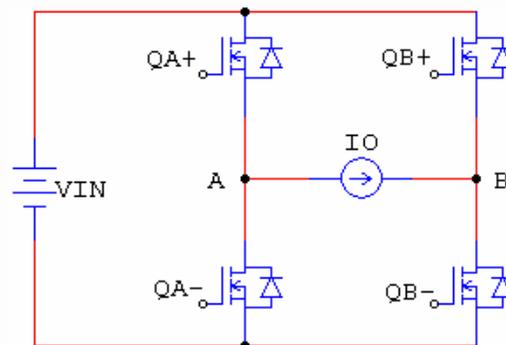


Figura 7; Esquema eléctrico

2.1.2- Convertidor resonante LC_sC_p

La función de regulación y control es la búsqueda en cualquier sistema electrónico y eléctrico con el fin de lograr un ahorro energético. Con el siguiente circuito resonante LC_sC_p se propone el control junto con un inversor en puente de clase D. El convertidor resonante LC_sC_p controla por fase la salida de corriente i_o y se puede ajustar con precisión a través del desplazamiento de fase de las señales de control de los inversores en los puntos A y B [figura 5].

A continuación se muestra la simplificación aproximada del circuito resonante para el estudio de las dos fases de LC_sC_p.

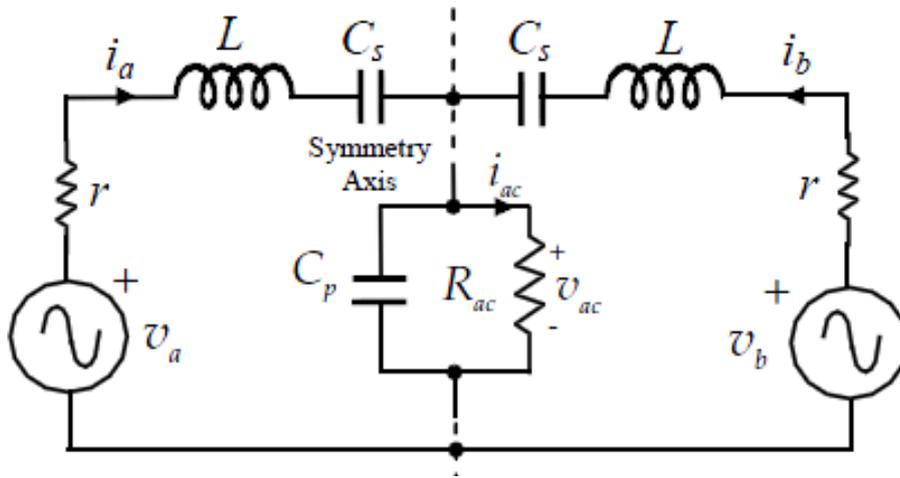


Figura 8; Circuito resonante, aproximación.

Los voltajes de entrada v_a y v_b en la figura. 5 están representados por fasores complejos, en los que el desplazamiento de fase $\Psi / 2$ da como resultado la acción de control.

$$V_{a,b} = \frac{2V_{ac}}{\pi} \cdot e^{\pm j(\Psi/2)}, \quad (1)$$

La sección del rectificador está representada como resistencia equivalente R_{ac} .

$$R_{ac} = \frac{\pi^2}{8} n^2 R_o \quad (2)$$

Cuando $R_o = V_o / I_o$ representa el punto de operación de los LED. Los parámetros paralelos del inversor LCsCp son los siguientes.

$\omega_p = \frac{1}{\sqrt{LC_p/2}}$	$Z_p = \omega_p L = \frac{2}{\omega_p C_p}$	$Q_p = \frac{2R_{ac}}{Z_p}$
--------------------------------------	---	-----------------------------

Tabla 6; Parámetros LCsCp

Para limitar la corriente de operación del LED podemos decir.

$$\omega_o = \omega_p \sqrt{1 + \frac{C_p}{2C_d}}, \quad (3)$$

Siendo las corrientes resonantes, teniendo en cuenta la frecuencia de conmutación:

$$\hat{I}_{a,b} = \frac{2V_{dc} \sqrt{1 + \frac{C_p}{2C_s}}}{\pi Z_p} \sqrt{\left[Q_p \sqrt{1 + \frac{C_p}{2C_s}} \cdot \cos\left(\frac{\Psi}{2}\right) \pm \sin\left(\frac{\Psi}{2}\right) \right]^2 + \cos^2\left(\frac{\Psi}{2}\right)} \quad (4)$$

La amplitud de la corriente a través del equivalente Rac de CA.

$$\hat{I}_{ac} = \frac{4V_{dc} \sqrt{1 + \frac{C_p}{2C_s}}}{\pi Z_p} \cdot \cos\left(\frac{\Psi}{2}\right) \quad (5)$$

Para hallar el balance de potencia suministrada por el inversor en Va y Vb.

$$S_{a,b} = \frac{2V_{dc}^2 \sqrt{1 + \frac{C_p}{2C_s}}}{\pi^2 Z_p} \left\{ Q_p \sqrt{1 + \frac{C_p}{2C_s}} \cdot \cos^2\left(\frac{\Psi}{2}\right) + j \left[1 \pm Q_p \sqrt{1 + \frac{C_p}{2C_s}} \cdot \sin\left(\frac{\Psi}{2}\right) \cos\left(\frac{\Psi}{2}\right) \right] \right\} \quad (6)$$

El propósito es hacer un control ZVS, la característica de este modo de operación del inversor es que cada uno de los transistores se activa cuando su diodo en anti paralelo está conduciendo, por lo que al entrar en conducción la tensión es muy reducida, por eso se le llama conmutación a tensión cero (*Zero Voltage Switching*). Cuando los transistores dejan de conducir la corriente que circula por ellos no es nula, sino que está cerca de sus máximos.

Este modo de funcionamiento implica que las pérdidas que se producen en los transistores cuando entran en conducción sean prácticamente nulas, mientras que las pérdidas que se producen cuando salen de conducción sí que son considerables. Para minimizar estas pérdidas se pone un condensador en paralelo con el transistor. Como los transistores entran en conducción a tensión cero, la energía de los condensadores no se volcara en los transistores. Dimensionando adecuadamente la capacidad de los condensadores es posible reducir considerablemente las pérdidas de salida de conducción.

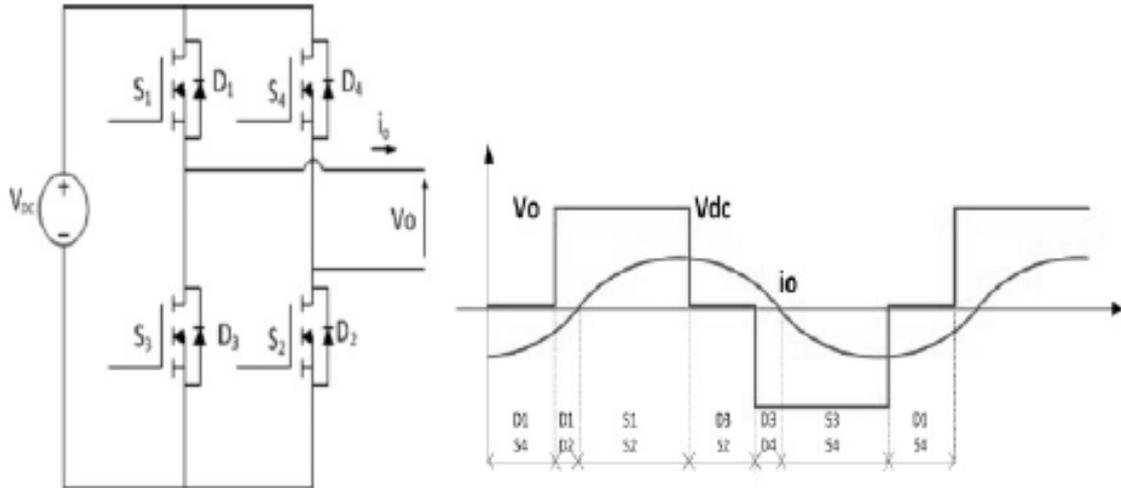


Figura 9; Modo ZVS

Entonces para el control ZVS y para hallar el ángulo entre a y b tenemos, según la ecuación (6):

$$\phi_{a,b} = \text{Tan}^{-1} \left\{ \frac{1 \pm Q_p \sqrt{1 + \frac{C_p}{2C_s}} \cdot \sin\left(\frac{\Psi}{2}\right) \cos\left(\frac{\Psi}{2}\right)}{Q_p \sqrt{1 + \frac{C_p}{2C_s}} \cdot \cos^2\left(\frac{\Psi}{2}\right)} \right\} \quad (7)$$

Y la potencia entre los puntos A y B del inversor, $S = S_a + S_b$ viene dada por la siguiente ecuación:

$$S = \frac{4V_{dc}^2 Q_p \left(1 + \frac{C_p}{2C_s}\right)}{\pi^2 Z_p} \cos^2\left(\frac{\Psi}{2}\right) + j \frac{4V_{dc}^2 \sqrt{1 + \frac{C_p}{2C_s}}}{\pi^2 Z_p} \quad (8)$$

En el rendimiento, la r que aparece corresponde a $r_{ds_{on}}$ así como la ESR de los inductores:

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{2r}{R_{ac}} \cdot \frac{1 + Q_p^2 \left(1 + \frac{C_p}{2C_s}\right) \cos^2\left(\frac{\Psi}{2}\right)}{\cos^2\left(\frac{\Psi}{2}\right)}} \quad (9)$$

La corriente de la matriz LED se calculara de la siguiente forma:

$$I_o = \frac{\pi}{4} \cdot n \hat{I}_{ac} \quad (10)$$

Sustituyendo la (5) en la (10):

$$I_o = \frac{nV_{dc} \sqrt{1 + \frac{C_p}{2C_s}}}{Z_p} \cdot \cos(\Psi/2) \quad (11)$$

Combinando ahora la (2) y la (11):

$$V_o = \frac{4V_{dc} Q_p \sqrt{1 + \frac{C_p}{2C_s}}}{\pi^2 n} \cdot \cos(\Psi/2) \quad (12)$$

Para obtener las ecuaciones de diseño suponemos que la potencia de CC y la potencia de CA son iguales y con (11) y (12) se obtiene:

$$Q_p = \frac{\pi^2 n V_o}{4V_{dc} \sqrt{1 + \frac{C_p}{2C_s}} \cdot \cos(\Psi_o/2)} \quad (13)$$

$$Z_p = \frac{nV_{dc} \sqrt{1 + \frac{C_p}{2C_s}}}{I_o} \cdot \cos(\Psi_o/2) \quad (14)$$

La tensión de alimentación de CC es de $V_{cc}=400V$ y el circuito está diseñado para conducir una potencia de $P_o=120W$. La conexión en serie de los 4 LEDs de potencia BXRA-C2000 nos produce una corriente nominal $I_o=1.75A$. Considerando la conexión en serie la $V_o=66.6V$ siendo la carga equivalente $R_o=39.2\Omega$ y el ángulo de control en condiciones nominales será fijo $\Psi_o = 45^\circ$ y el condensador elegido tendrá una relación de $C_p / C_s = 0,1$.

Ahora buscaremos la relación de espiras para el transformador teniendo en cuenta las ecuaciones (13) y (2) y sustituyéndolas en (9), el transformador nos dará un rendimiento:

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{2r}{R_o} \cdot \frac{\left(\frac{8}{\pi^2 n^2} + \frac{\pi^2 V_o^2}{2V_{dc}^2} \right)}{\cos^2\left(\frac{\Psi}{2}\right)}} \quad (15)$$

Al sustituir (13) en (7), el ángulo del factor de potencia de la rama de cada transistor se obtiene en función de n y de los parámetros de diseño:

$$\phi_{a,b} = \tan^{-1} \left\{ \frac{1 \pm \left(\frac{\pi^2 n V_o}{4V_{dc}} \right) \cdot \sin\left(\frac{\Psi}{2}\right)}{\left(\frac{\pi^2 n V_o}{4V_{dc}} \right) \cdot \cos\left(\frac{\Psi}{2}\right)} \right\} \quad (16)$$

El factor de potencia de los ángulos ϕ_a y ϕ_b se muestran en la siguiente figura en función del ángulo de control Ψ .

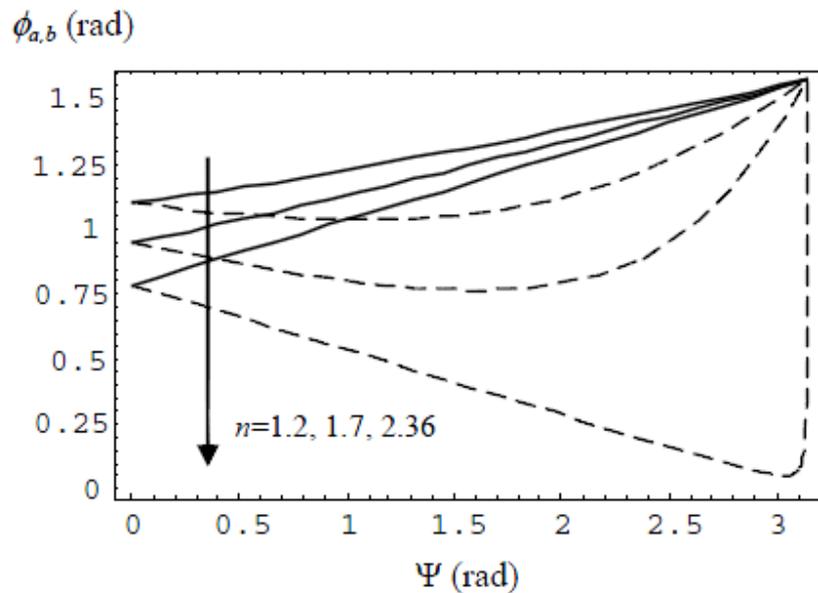


Figura 10; Ángulos ϕ_a y ϕ_b

A partir de la figura 10, observamos que al aumentar la relación de espiras de transformador se produce un acercamiento de ϕ_b a cero poniendo en riesgo el modo ZVS. De acuerdo con los datos de diseño, ϕ_b pasa a ser negativo para n mayor que 2.4 y provoca la pérdida del modo ZVS de los transistores de la rama derecha. Teniendo en cuenta este hecho el valor adecuado para la relación de espiras del transformador es n=2, el cual nos da un valor mínimo de ϕ_b (min) = 32 ° a $\Psi = 115$ °. Esos valores son suficientes para mantener el modo ZVS.

Tras la sustitución de los datos de diseño dados en (13) y (14), el factor de calidad y la impedancia son $Q_p = 0,894$ y $Z_p = 433\Omega$. La conmutación se fija en un valor relativamente bajo de $\omega_0 = 2\pi$ (100 kHz) que proporciona un buen equilibrio entre las pérdidas de conmutación y respuesta del inversor. Teniendo en cuenta los valores de ω_0 y la relación de condensador, la frecuencia resonante paralelo es $\omega_p = 2\pi$ (97.6kHz).

Finalmente, los componentes reactivos están obtenidos de la Tabla 6:

$L = 706\mu\text{H}$, $C_p = 7.5\text{nF}$ y $C_s = 75\text{nF}$.

2.2- Etapa de control basada en microcontroladores PIC

Para el control de nuestro circuito de potencia así como de nuestro LED de potencia necesitamos un circuito de control con varios componentes. El principal de esos componentes será un microcontrolador PIC.

2.2.1-Elección del microcontrolador

En el mercado disponemos de una gran variedad de fabricantes de microcontroladores, en nuestro caso nos vamos a centrar en la marca MICROCHIP para elegir un PIC adecuado a nuestras características, dentro de las gamas de PIC tenemos que tener en cuenta varios factores para elegir correctamente el PIC:

- Velocidad de funcionamiento del microcontrolador
- Número de entradas y salidas
- Número de temporizadores
- Control PWM
- Conversores Analógico/Digital
- Cantidad de memoria RAM
- Presencia o ausencia de memoria EEPROM
- Protocolos de comunicación

-Velocidad de funcionamiento del microcontrolador

Esta característica va condicionada por la velocidad de proceso que necesita nuestro proyecto. En principio vendrá determinada por la frecuencia de diseño del convertidor resonante.

Nuestra señal de control trabajara a 100kHz así que nuestra elección tendrá que tener en cuenta este hecho para que nuestro microcontrolador sea capaz de trabajar a esta frecuencia.

En nuestra elección tenemos que tener en cuenta que nuestro PIC trabajara con tiempos muy pequeños del orden de los micro segundos, esto se verá afectado por el tiempo en que el PIC tarda en leer una instrucción.

-Número de entradas y salidas

En todo microcontrolador hay una serie de pines que pueden ser configurados como entradas, para conectar señales que queremos que sean procesadas, o como salidas, para enviarlas a donde nos interese. Para nuestro programa necesitaremos señales de entrada para así poder elegir diversos ciclos de trabajo, en esas entradas conectaríamos unos interruptores para tal efecto.

-Número de temporizadores

Los temporizadores son una herramienta que nos permite controlar el tiempo de forma autónoma a la ejecución del programa principal del microcontrolador, proporcionándonos una base de tiempos independiente que podemos utilizar en función de nuestras necesidades. En nuestro caso al menos necesitaríamos un temporizador para hacer las interrupciones con los tiempos del programa.

-Módulo PWM

Con este módulo nos da la posibilidad de generar pulsos de salida. En principio está diseñado para controlar la corriente de alimentación de motores, ya que variando la anchura del pulso variamos la velocidad. Dándole otra visión diferente, usaremos este módulo PWM para controlar los modos de ráfaga y fase de cada ciclo de trabajo que llegara a nuestro LED de potencia.

-Convertor analógico digital

Algunos de los microcontroladores disponibles en el mercado tienen esta utilidad que permite convertir datos de entrada analógicos en señales digitales que pueden ser procesadas por el microcontrolador. Aunque es una entrada interesante y se podría usar para controlar la temperatura de nuestro LED y así decidir el ciclo de trabajo, no es necesaria para la realización del programa, siendo una opción a tener en cuenta en próximas revisiones, modificaciones y ampliaciones del proyecto.

-Cantidad de memoria RAM

La memoria RAM (Random Access Memory) es donde se alojan los datos del programa a ejecutar en el microcontrolador. Teniendo en cuenta la cantidad de memoria que poseen los actuales microcontroladores, esta cualidad no será determinante a la hora de elegir el PIC, ya que no requeriremos tal cantidad de memoria.

-Memoria EEPROM

La memoria EEPROM es la memoria no volátil de datos. Se utiliza para guardar en ella información permanente, que no desaparece cuando el dispositivo deja de estar alimentado, y puede ser accedida y leída posteriormente desde otros dispositivos.

-Protocolos de comunicación

Los protocolos de comunicación se emplean para la transferencia de información con otros periféricos o microcontroladores en tiempo real, así como para la facilidad que supone grabar y depurar el programa.

Una vez vistas estas características y dentro de la gama de microcontroladores de Microchip, nos decantaremos por un PIC16f887, es un chip de 8 bits que tiene una particularidad que no poseen todos los PICs, podrá configurarse para que su salida PWM pueda actuar en configuración medio puente(half-bridge) y puente completo(full-bridge).

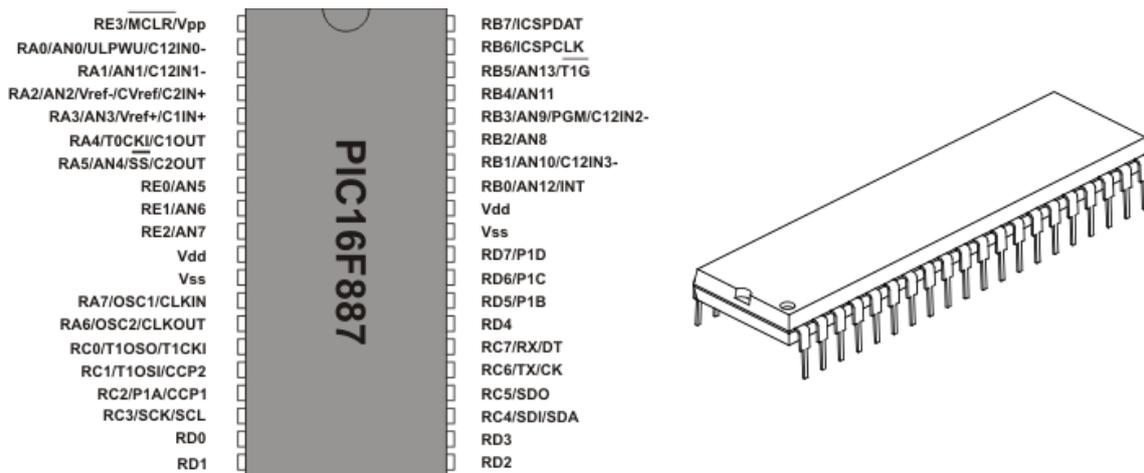


Figura 11; Patillaje PIC16f887

Las características básicas del PIC16f887 son las siguientes:

- Frecuencia de operación 0-20 MHz
- 8bit
- Oscilador interno de alta precisión
- Voltaje de la fuente de alimentación de 2.0V a 5.5V
 - Consumo: 220uA (2.0V, 4MHz), 11uA (2.0 V, 32 KHz) 50nA (en modo de espera)
- Ahorro de energía en el *Modo de suspensión*
- Brown-out Reset (BOR) con opción para controlar por software
- 35 pines de entrada/salida
 - alta corriente de fuente y de drenador para manejo de LED
 - resistencias *pull-up* programables individualmente por software
 - interrupción al cambiar el estado del pin
- Memoria ROM de 8K con tecnología FLASH
- Opción de *programación serial en el circuito*
- 256 bytes de memoria EEPROM
 - Los datos se pueden grabar más de 1.000.000 veces

- 368 bytes de memoria RAM
- Convertidor A/D:
 - 14 canales
 - resolución de 10 bits
- 3 temporizadores/contadores independientes
- Temporizador perro guardián
- Módulo comparador analógico con
- Módulo PWM incorporado
- Puerto Serie Síncrono Maestro (MSSP)
 - Soporta los modos SPI e I2C

La arquitectura interna del PIC16f887 será la siguiente:

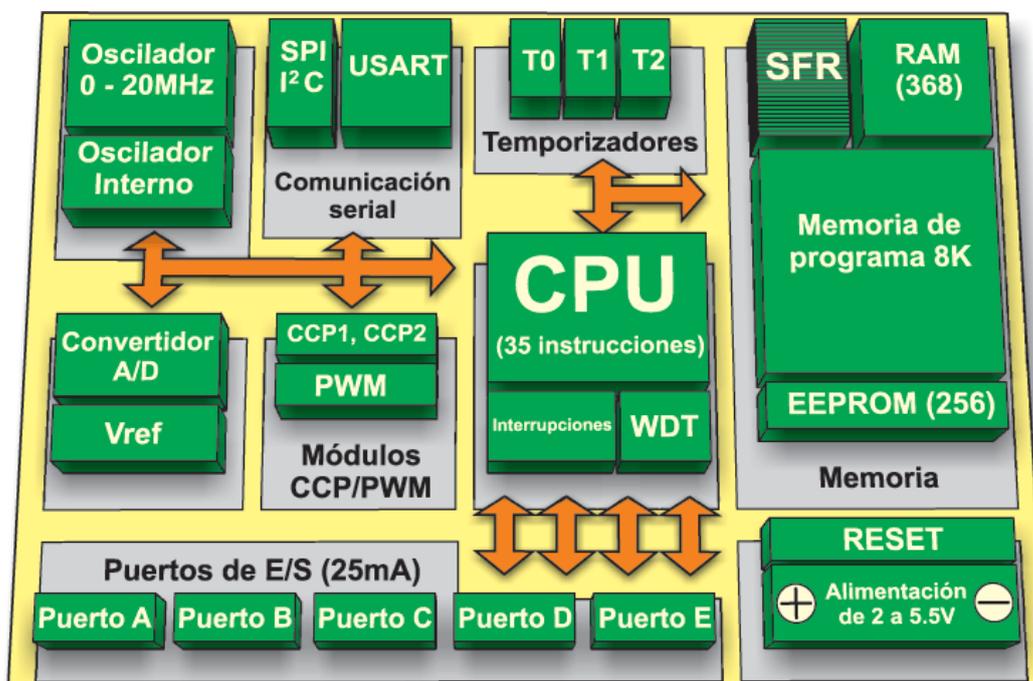


Figura 12; Arquitectura del PIC16f887

La característica de configuración medio puente y puente completo de este PIC le hace muy versátil para este proyecto. Se usará la configuración medio puente para controlar los 4 MOSFET que posee nuestro convertidor (figura 13).

La configuración como medio puente hace que la señal PWM salga en el pin P1A, mientras que a la vez la señal complementaria PWM tiene la salida en el pin P1B. Estos pulsos activan a los controladores MOSFET en modo de Medio-Puente que habilitan/deshabilitan el flujo de corriente por el dispositivo. El conexionado será una configuración para un puente completo aunque en el código del programa se configure como medio puente.

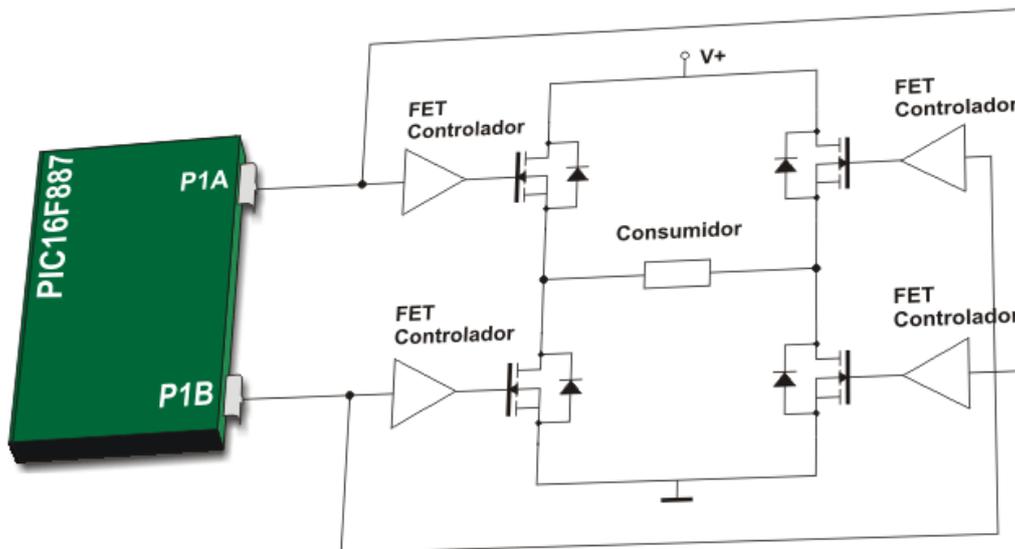


Figura 13; Configuración medio puente controlando un puente completo

2.2.2-Elección de la frecuencia de funcionamiento

Para el correcto funcionamiento de nuestro PIC elegiremos un cristal de 12Mhz, el cual se conectara como se ve en la figura 14.

Dado que el PIC funcionara con una frecuencia externa tenemos que tener en cuenta que, para la base de tiempos de los timers así como para el ciclo de cada instrucción, tendremos que dividir esta frecuencia entre 4 para así sacar la frecuencia con la que funcionara el PIC, siendo esta 3Mhz.

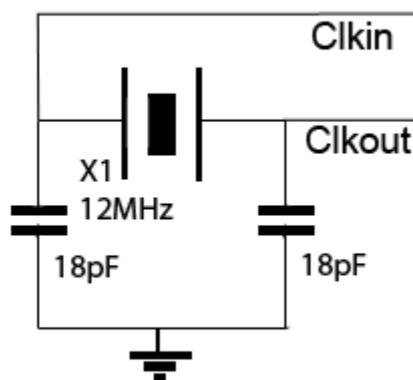


Figura 14; Cristal 12Mhz

Las señales Clkin y Clkout irán conectadas a las patillas de reloj del PIC.

2.2.3-Conexión del PIC

Alimentación: 5V en la patilla 11(Vdd) y 1(Reset).

Tierra: Patilla 12(Vss).

Reloj: Clkin patilla 13 y Clkout patilla 14.

Pulsadores: Conectados a Vcc(5V) y a las 4 primeras entradas del puerto RB.

Señales PWM o de control: P1A y P1B

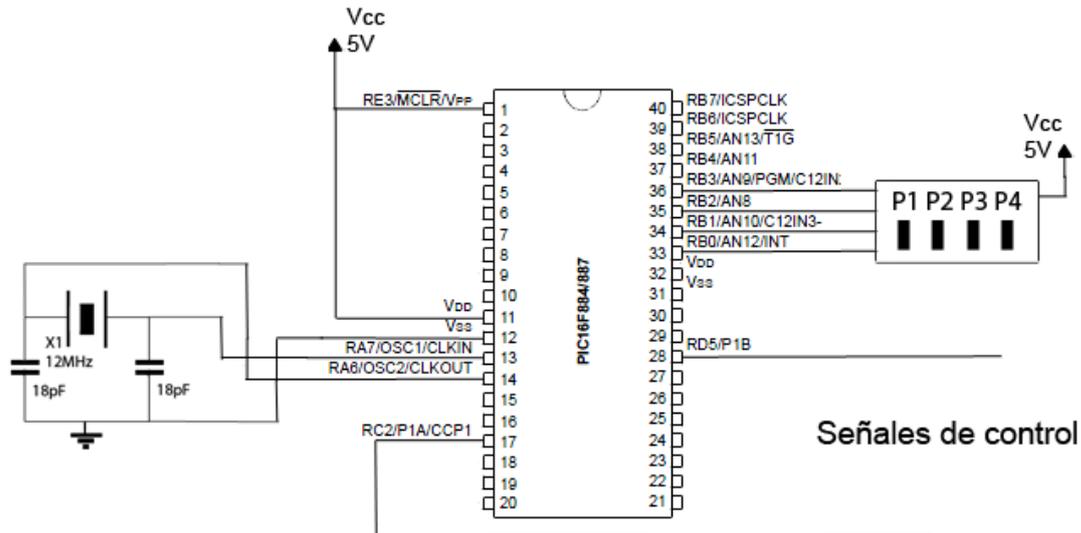


Figura 15; Conexión del PIC

2.2.4-Conexión entre etapa de control y de potencia

Para la conexión entre la etapa de control y la etapa de potencia se va a usar un MC14504BCL el cual aumentará de voltaje nuestras señales de control P1A y P1B de 5V a 12V, como se ve en la figura 16.

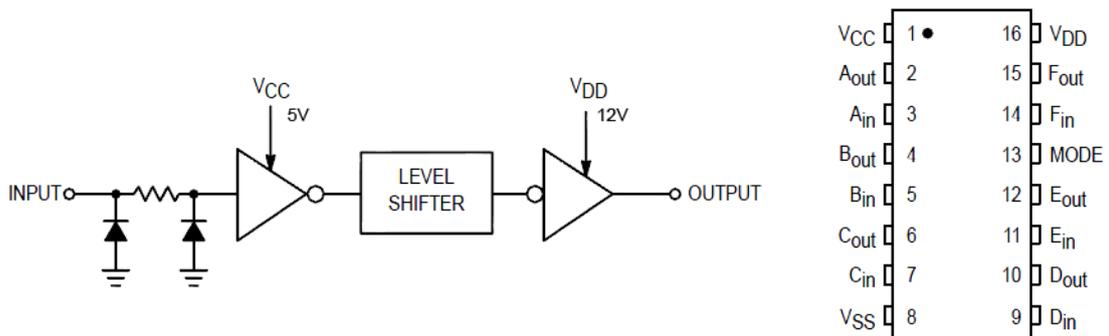


Figura 16; MC14504BCL

También usaremos los driver para mosfet IR2111, los cuales recibirán la salida aumentada que sale de los MC14504BCL de la siguiente manera:

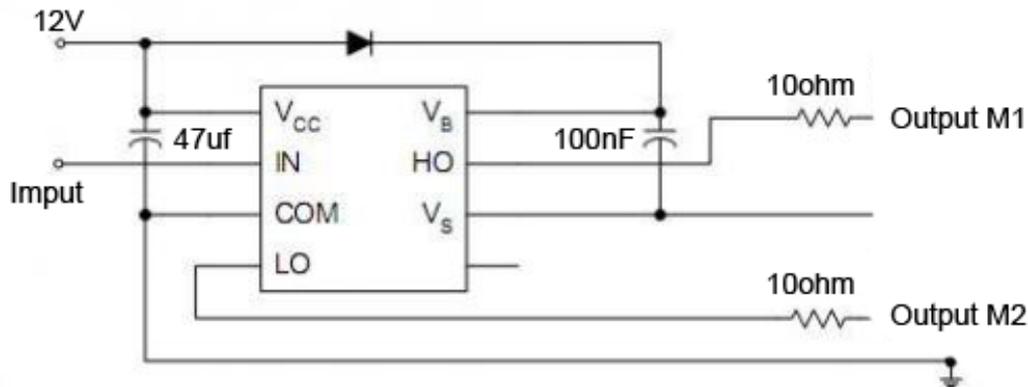


Figura 17; IR2111

Quedando la etapa intermedia que conecta la etapa de control de nuestro PIC con la etapa de potencia, de la siguiente manera:

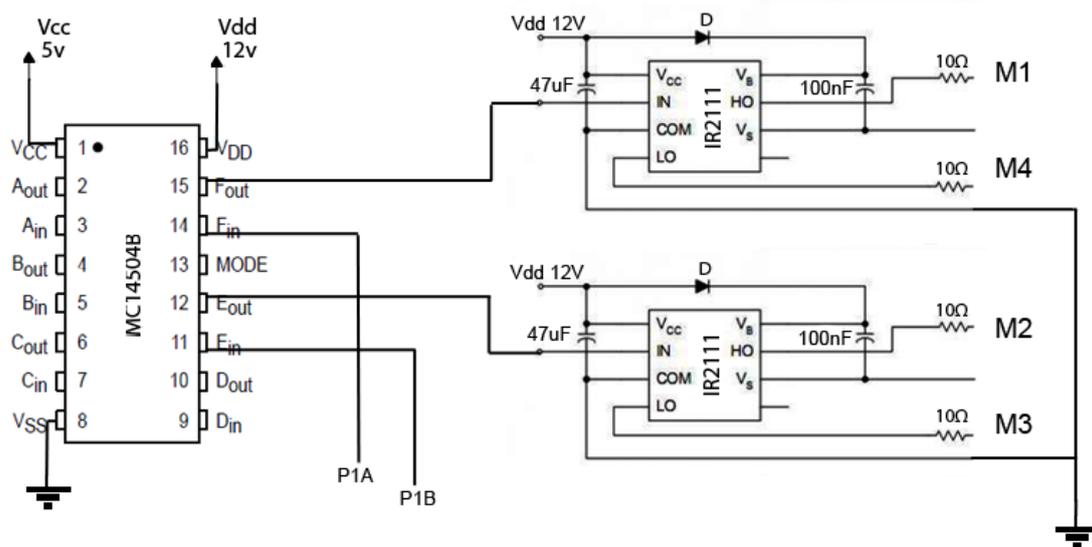


Figura 18; Etapa intermedia

Siendo M1, M2, M3 y M4 los MOSFET de potencia a los que se conectan los IR2111 y P1A y P1B las señales de control que salen del PIC hacia el MC14504B.

3- Diseño del sistema

3.1- Estudio de soluciones

Para controlar con eficiencia la lámpara LED y conseguir el mayor rendimiento a lo largo de cada ciclo de trabajo tenemos que controlar la intensidad suministrada por el convertidor resonante.

Este control lo realizaremos escribiendo un programa para el microcontrolador PIC para diferentes modos de control, como son, control por fase, modo ráfaga y control fase-ráfaga. Para cada uno de esos controles abra que estudiar los diferentes tiempos y las diferentes configuraciones de nuestra señal de control para así poder hacer un control eficiente sobre el ciclo de trabajo. Tendremos 16 ciclos de trabajo, de tal manera que se puedan elegir con 4 pulsadores y dando un ciclo de trabajo cada 6.25% con su correspondiente tiempos de ON y OFF. Dado que la señal que se observa a la salida del convertidor, la misma que pasa por el LED, es una señal de 500Hz el periodo con el que trabaja el PIC será de 2ms, en ese tiempo la señal PWM de control del PIC tendrá que pasar de encendido a apagado con diferentes tiempos.

Para la realización de los programas se usara C y CCS usando MPLab y PCWHD como plataformas de desarrollo y compilación, y se usara un cable ICD2 de MPLab

3.2- Métodos de control

3.2.1-Control fase

Para el control por fase, nuestro PIC se encargara de controlar el convertidor mediante una señal PWM de 100kHz y 50% de ciclo de trabajo que proporcione a la salida una intensidad a la lámpara LED.

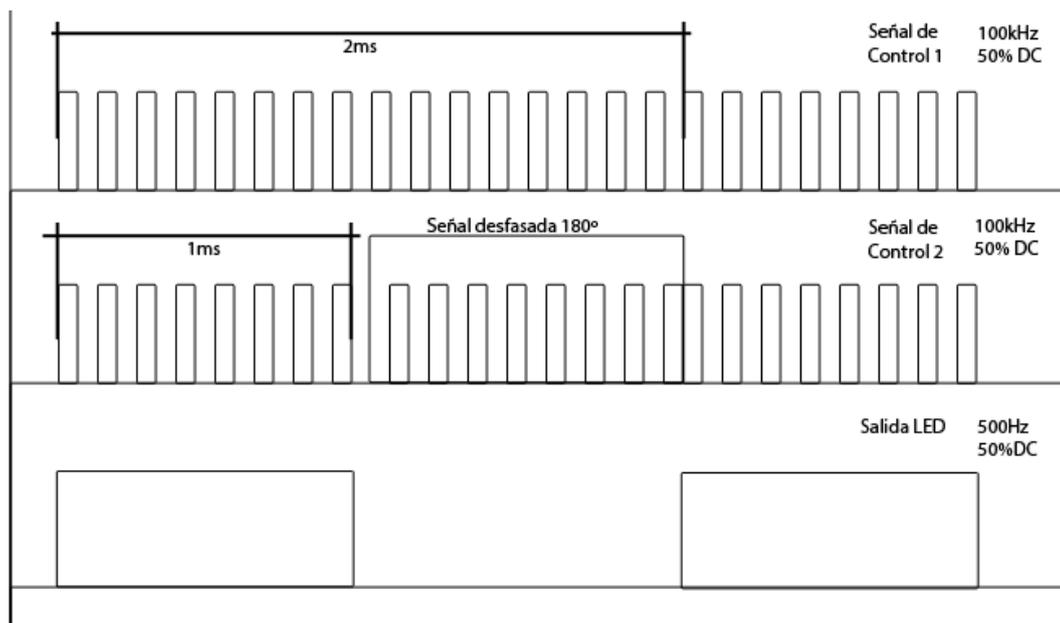


Figura 19; Control de fase

Esto lo conseguiremos sacando las dos señales cuadradas de control de nuestro PIC en fase para el estado de encendido y para el estado de apagado las señales de control aparecerán desfasadas 180°, el tiempo que las dos señales de control aparecen en fase o desfasadas dependerá del ciclo de trabajo siendo el periodo 2ms, estos diferentes tiempos los estudiaremos a continuación.

3.2.1.1-Estudio de tiempos

Haremos un estudio de tiempos para 16 ciclos de trabajo para poder elegirlos con 4 pulsadores en el circuito.

Ciclo de trabajo	Tiempo de ON (seg)	Tiempo de OFF (seg)
100,00%	2,000E-03	0
93,75%	1,875E-03	1,250E-04
87,50%	1,750E-03	2,500E-04
81,25%	1,625E-03	3,750E-04
75,00%	1,500E-03	5,000E-04
68,75%	1,375E-03	6,250E-04
62,50%	1,250E-03	7,500E-04
56,25%	1,125E-03	8,750E-04
50,00%	1,000E-03	1,000E-03
43,75%	8,750E-04	1,125E-03
37,50%	7,500E-04	1,250E-03
31,25%	6,250E-04	1,375E-03
25,00%	5,000E-04	1,500E-03
18,75%	3,750E-04	1,625E-03
12,50%	2,500E-04	1,750E-03
6,25%	1,250E-04	1,875E-03

Tabla 7; Tiempos control fase

Esos son los tiempos que corresponden a cada ciclo de trabajo para una señal de 500Hz y que más adelante transformaremos a tiempos que el PIC pueda leer.

Antes de desarrollar el programa tenemos que configurar los tiempos para el uso de interrupciones por el *timer1*. Para esto tenemos que decidir varias cosas, el *preescaler* a usar será "1", la frecuencia de oscilador será $12\text{MHz}/4=3\text{MHz}$ y el desbordamiento serán los tiempos de ON y OFF que tenemos. Así que con la siguiente formula sacaremos los tiempos del timer 1:

$$Desbordamiento_Timer1 = \frac{4}{Frecuencia_Oscilador} \times Preescaler \times (65536 - TMR1)$$

Quedando la tabla de tiempos del timer1 así:

Tiempo de ciclo	Timer1 ON	Timer1 OFF
100,00%	59536	0
93,75%	59911	65161
87,50%	60286	64786
81,25%	60661	64411
75,00%	61036	64036
68,75%	61411	63661
62,50%	61786	63286
56,25%	62161	62911
50,00%	62536	62536
43,75%	62911	62161
37,50%	63286	61786
31,25%	63661	61411
25,00%	64036	61036
18,75%	64411	60661
12,50%	64786	60286
6,25%	65161	59911

Tabla 8; Timer 1 control de fase

Estos son los tiempos que usaremos en nuestro programa cuando vayamos a usar las interrupciones por desbordamiento del timer1.

3.2.1.2- Desarrollo del programa e implementación en el PIC

El programa consistirá en la lectura del puerto B donde irán conectados unos pulsadores con los cuales elegiremos el ciclo de trabajo deseado, y con esa elección se cargarán los tiempos que correspondan al timer1.

En el timer1 se irán cargando los tiempos de encendido y apagado respectivamente produciendo un periodo completo cada 2ms. Y con la correcta configuración del módulo ccp1 podremos desfasar y poner en fase la señal de control de la manera buscada.

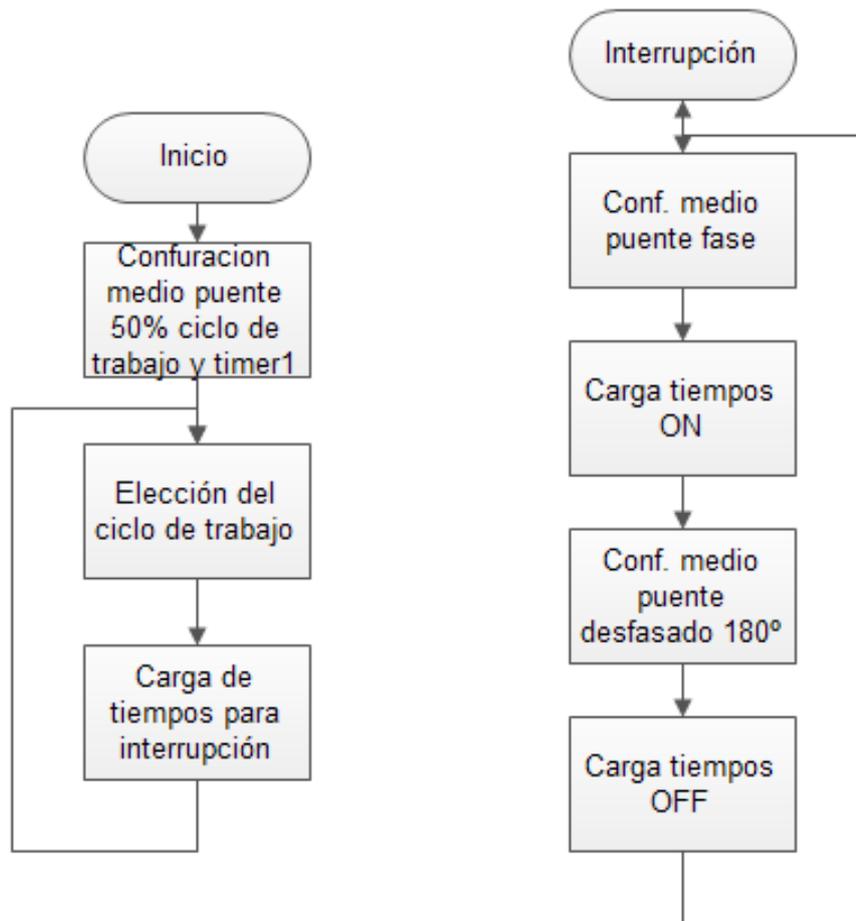


Figura 20; Flujograma control fase

El programa completo se puede ver en el Anexo 6.1, a continuación destacaremos la parte más importante, la interrupción:

```

// -----Interrupción-----
// -----
#int_TIMER1
void TIMER1_isr(void)
{
switch(i)
{
// -----PWM en fase-----
case 1:
    set_timer1(ton);
    setup_ccp1(CCP_PWM_HALF_BRIDGE|CCP_PWM_H_L);
    set_pwm1_duty((int16)58);
    if (m==1){

```

```
    i=1; }
    else {
    i=2; }
    break;

// -----PWM desfasado-----
case 2:
    set_timer1(toff);
    setup_ccp1(CCP_PWM_HALF_BRIDGE|CCP_PWM_H_H);
    set_pwm1_duty((int16)58);
    i=1;
    break;

}} // -----Fin de la interrupción-----
```

En el código de la interrupción observamos que para “PWM en fase” “ton” se corresponde a los tiempos en los que la señal de control se mantendrá en fase, esto se consigue con la configuración de ccp1 como medio puente:

```
“setup_ccp1(CCP_PWM_HALF_BRIDGE|CCP_PWM_H_L);“
```

Para “PWM desfasado” “toff” es el tiempo en el que las señales de control se mantienen desfasadas 180° gracias a la configuración del módulo ccp1 de la siguiente manera:

```
“setup_ccp1(CCP_PWM_HALF_BRIDGE|CCP_PWM_H_H);“
```

Con esta configuración ya podremos implementarlo en el PIC y probar el circuito de control con control por fase.

3.2.2- Control en modo ráfaga con frecuencia de 500Hz

Para el control por ráfaga de 500Hz, nuestro PIC se encargara de controlar el convertidor mediante una señal cuadrada de 100kHz y 50% de ciclo de trabajo que proporcione a la salida una intensidad a la lámpara LED. Esto lo conseguiremos sacando las dos señales cuadradas de control de nuestro PIC en fase para el estado de encendido y para el estado de apagado las señales de control aparecerán apagadas un tiempo determinado dependiendo del ciclo de trabajo.

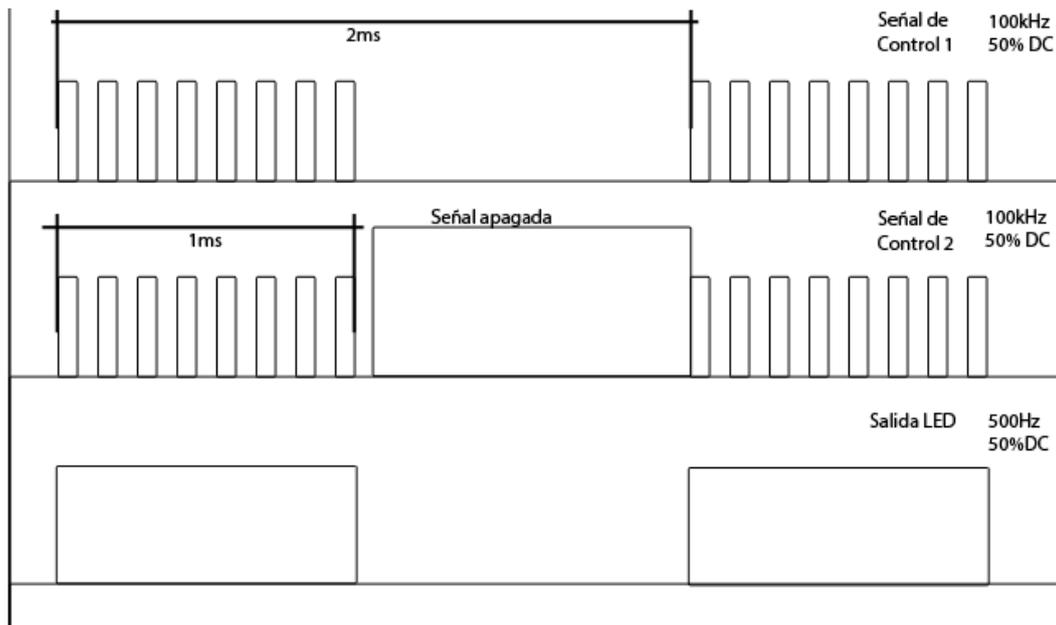


Figura 21; Control de ráfaga 500Hz

3.2.2.1-Estudio de tiempos

Haremos un estudio de tiempos para 16 ciclos de trabajo para poder elegirlos con 4 pulsadores en el circuito.

Ciclo de trabajo	Tiempo de ON (seg)	Tiempo de OFF (seg)
100,00%	2,000E-03	0
93,75%	1,875E-03	1,250E-04
87,50%	1,750E-03	2,500E-04
81,25%	1,625E-03	3,750E-04
75,00%	1,500E-03	5,000E-04
68,75%	1,375E-03	6,250E-04
62,50%	1,250E-03	7,500E-04

56,25%	1,125E-03	8,750E-04
50,00%	1,000E-03	1,000E-03
43,75%	8,750E-04	1,125E-03
37,50%	7,500E-04	1,250E-03
31,25%	6,250E-04	1,375E-03
25,00%	5,000E-04	1,500E-03
18,75%	3,750E-04	1,625E-03
12,50%	2,500E-04	1,750E-03
6,25%	1,250E-04	1,875E-03

Tabla 9; Tiempos control ráfaga 500Hz

Esos son los tiempos que corresponden a cada ciclo de trabajo para una señal de 500Hz y que más adelante transformaremos a tiempos que el PIC pueda leer.

Antes de desarrollar el programa tenemos que configurar los tiempos para el uso de interrupciones por el *timer1*. Para esto tenemos que decidir varias cosas, el *preescaler* a usar será "1", la frecuencia de oscilador será 12MHz/4=3MHz y el desbordamiento serán los tiempos de ON y OFF que tenemos. Así que con la siguiente formula sacaremos los tiempos del timer 1:

$$Desbordamiento_Timer1 = \frac{4}{Frecuencia_Oscilador} \times Preescaler \times (65536 - TMR1)$$

Quedando la tabla de tiempos del timer1 así:

Tiempo de Ciclo	Timer1 ON	Timer1 OFF
100,00%	59536	0
93,75%	59911	65161
87,50%	60286	64786
81,25%	60661	64411
75,00%	61036	64036
68,75%	61411	63661
62,50%	61786	63286
56,25%	62161	62911

50,00%	62536	62536
43,75%	62911	62161
37,50%	63286	61786
31,25%	63661	61411
25,00%	64036	61036
18,75%	64411	60661
12,50%	64786	60286
6,25%	65161	59911

Tabla 10; Timer 1 control ráfaga 500Hz

Estos son los tiempos que usaremos en nuestro programa cuando vayamos a usar las interrupciones por desbordamiento del timer1.

3.2.2.2- Desarrollo del programa e implementación en el PIC

El programa consistirá en la lectura del puerto B donde irán conectados unos pulsadores con los cuales elegiremos el ciclo de trabajo deseado, y con esa elección se cargaran los tiempos que correspondan al timer1.

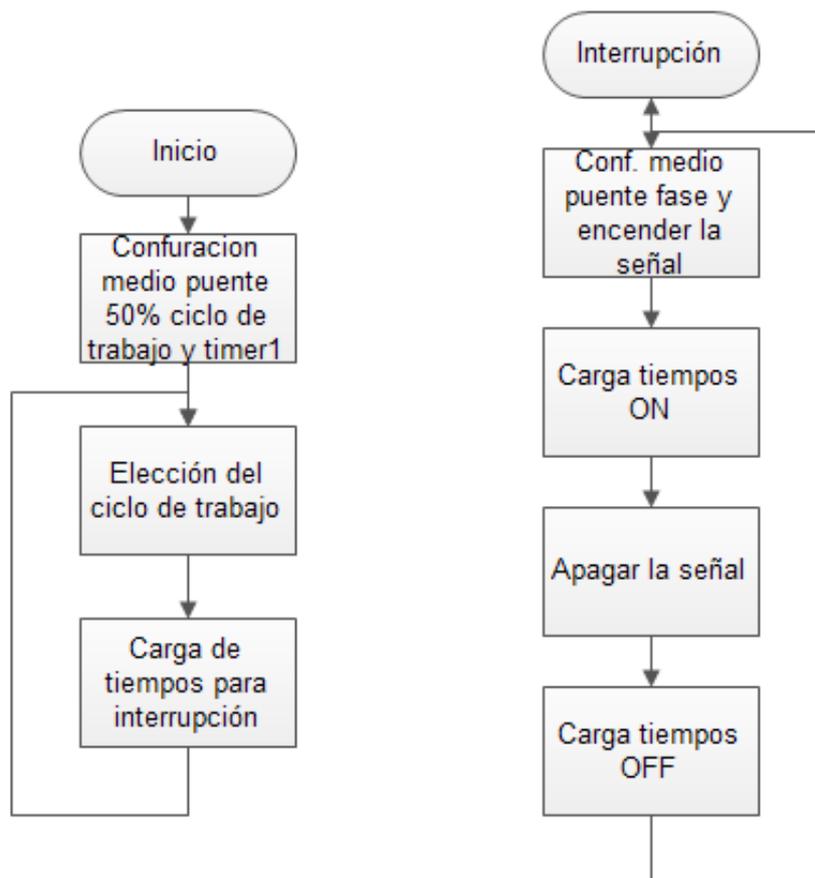


Figura 22; Flujoograma control ráfaga 500Hz

En el timer1 se irán cargando los tiempos de encendido y apagado respectivamente produciendo un periodo completo cada 2ms. Y con la correcta configuración del módulo ccp1 podremos apagar y poner en fase la señal de control de la manera buscada.

El programa completo se puede ver en el Anexo 6.2, a continuación destacaremos la parte más importante, la interrupción:

```
// -----  
// -----Interrupción-----  
-  
// -----  
#int_TIMER1  
void TIMER1_isr(void)  
{  
switch(i)  
{  
// -----PWM en fase-----  
case 1:  
    set_timer1(ton);  
    setup_ccp1(CCP_PWM_HALF_BRIDGE|CCP_PWM_H_L);  
    set_pwm1_duty((int16)58);  
    if (m==1){  
        i=1; }  
        else {  
            i=2; }  
        break;  
  
// -----PWM apagado-----  
case 2:  
    set_timer1(toff);  
    set_pwm1_duty((int16)0);  
    i=1;  
    break;  
  
}} // -----Fin de la interrupción-----
```

En el código de la interrupción observamos que para “PWM en fase” “ton” se corresponde a los tiempos en los que la señal de control se mantendrá en fase, esto se consigue con la configuración de ccp1 como medio puente:

```
“setup_ccp1(CCP_PWM_HALF_BRIDGE|CCP_PWM_H_L);“
```

Para “PWM apagado” “toff” es el tiempo en el que las señales de control se mantienen apagadas gracias a que se pone a 0 el ciclo de trabajo del módulo ccp1 de la siguiente manera:

```
“set_pwm1_duty((int16)0);“
```

Con esta configuración ya podremos implementarlo en el PIC y probar el circuito de control en modo ráfaga con 500hz.

3.2.3- Control en modo ráfaga con frecuencia de 2000Hz

Para el control por ráfaga de 2000Hz, nuestro PIC se encargara de controlar el convertidor mediante una señal cuadrada de 100kHz y 50% de ciclo de trabajo que proporcione a la salida una intensidad a la lámpara LED. Esto lo conseguiremos sacando las dos señales cuadradas de control de nuestro PIC en fase para el estado de encendido y para el estado de apagado las señales de control aparecerán apagadas un tiempo determinado dependiendo del ciclo de trabajo.

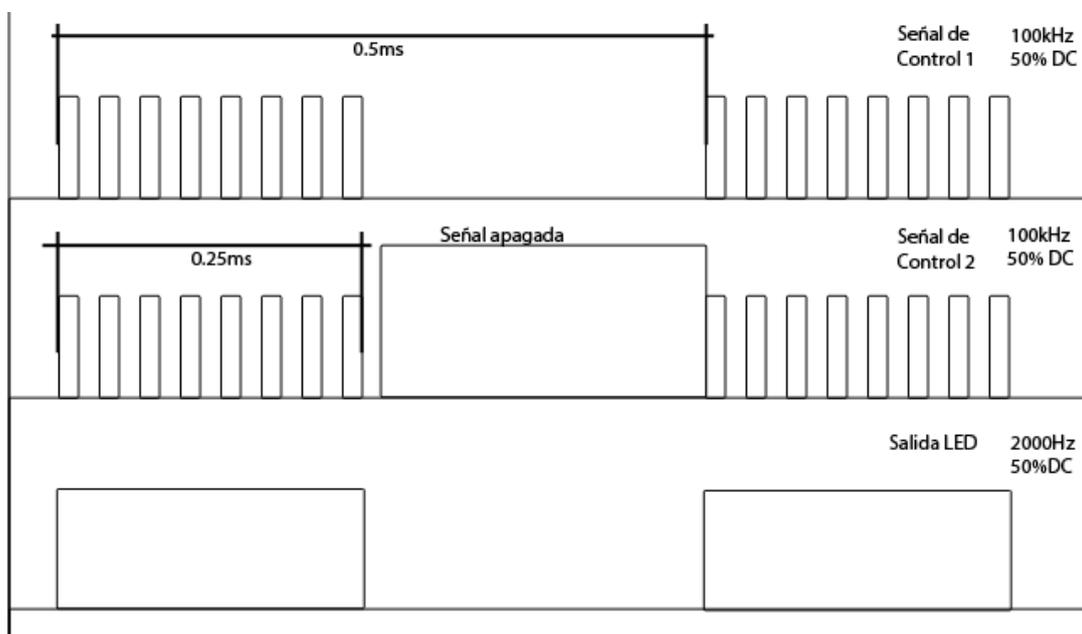


Figura 23; Control de ráfaga 2000Hz

Dado que la señal que se observa a la salida del convertidor, la misma que pasa por el LED, es una señal de 2000Hz el periodo con el que trabaja el PIC será de 0.5ms, en ese tiempo la señal PWM de control del PIC tendrá que pasar de encendido a apagado con diferentes tiempos.

3.2.3.1-Estudio de tiempos

Haremos un estudio de tiempos para 16 ciclos de trabajo para poder elegirlos con 4 pulsadores en el circuito.

Ciclo de trabajo	Tiempo de ON (seg)	Tiempo de OFF (seg)
100,00%	5,00E-04	0
93,75%	4,688E-04	3,125E-05
87,50%	4,375E-04	6,250E-05
81,25%	4,063E-04	9,375E-05
75,00%	3,750E-04	1,250E-04
68,75%	3,438E-04	1,563E-04
62,50%	3,125E-04	1,875E-04
56,25%	2,813E-04	2,188E-04
50,00%	2,500E-04	2,500E-04
43,75%	2,188E-04	2,813E-04
37,50%	1,875E-04	3,125E-04
31,25%	1,563E-04	3,438E-04
25,00%	1,250E-04	3,750E-04
18,75%	9,375E-05	4,063E-04
12,50%	6,250E-05	4,375E-04
6,25%	3,125E-05	4,688E-04

Tabla 11; Tiempos control ráfaga 2000Hz

Esos son los tiempos que corresponden a cada ciclo de trabajo para una señal de 2000Hz y que más adelante transformaremos a tiempos que el PIC pueda leer.

Antes de desarrollar el programa tenemos que configurar los tiempos para el uso de interrupciones por el *timer1*. Para esto tenemos que decidir varias cosas, el *preescaler* a usar será "1", la frecuencia de oscilador será 12MHz/4=3MHz y el desbordamiento serán los tiempos de ON y OFF que tenemos. Así que con la siguiente formula sacaremos los tiempos del timer 1:

$$Desbordamiento_Timer1 = \frac{4}{Frecuencia_Oscilador} \times Preescaler \times (65536 - TMR1)$$

Quedando la tabla de tiempos del timer1 así:

Tiempo de ciclo	Timer1 ON	Timer1 OFF
100,00%	64036	0
93,75%	64129,75	65442,25
87,50%	64223,5	65348,5
81,25%	64317,25	65254,75
75,00%	64411	65161
68,75%	64504,75	65067,25
62,50%	64598,5	64973,5
56,25%	64692,25	64879,75
50,00%	64786	64786
43,75%	64879,75	64692,25
37,50%	64973,5	64598,5
31,25%	65067,25	64504,75
25,00%	65161	64411
18,75%	65254,75	64317,25
12,50%	65348,5	64223,5
6,25%	65442,25	64129,75

Tabla 12; Timer 1 control ráfaga 2000Hz

Estos son los tiempos que usaremos en nuestro programa cuando vayamos a usar las interrupciones por desbordamiento del timer1.

3.2.3.2- Desarrollo del programa e implementación en el PIC

El programa consistirá en la lectura del puerto B donde irán conectados unos pulsadores con los cuales elegiremos el ciclo de trabajo deseado, y con esa elección se cargarán los tiempos que correspondan al timer1.

En el timer1 se irán cargando los tiempos de encendido y apagado respectivamente produciendo un periodo completo cada 0.5ms. Y con la correcta configuración del módulo ccp1 podremos apagar y poner en fase la señal de control de la manera buscada.

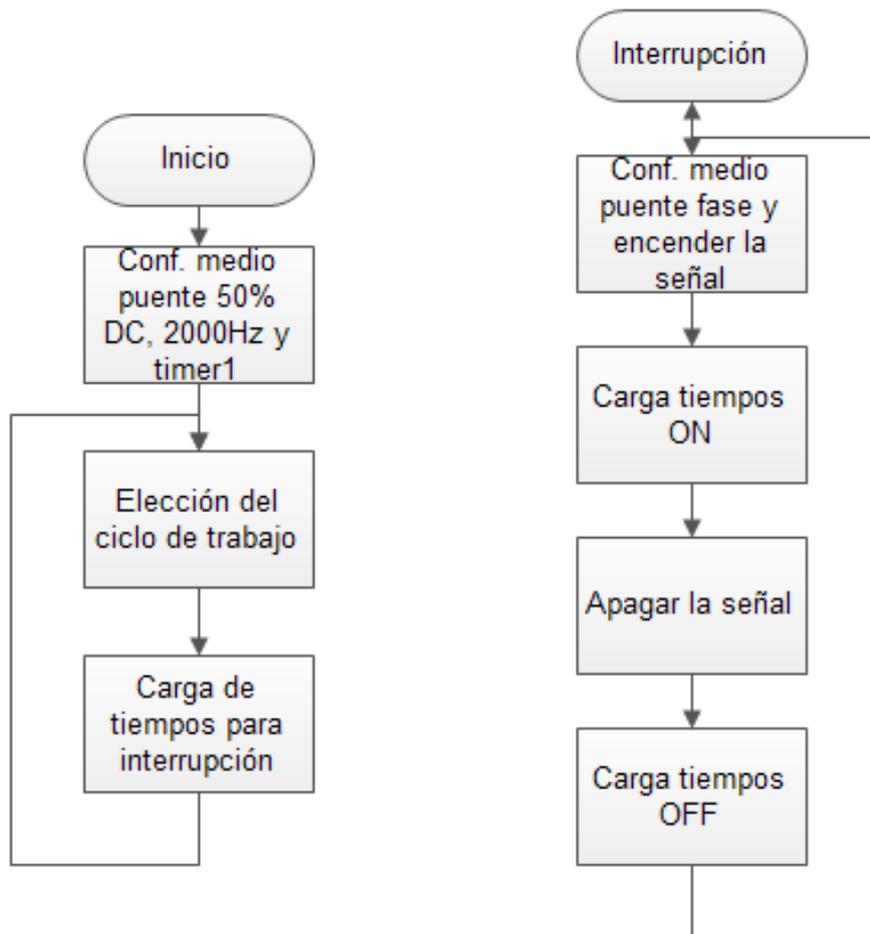


Figura 24; Flujograma control ráfaga 2000Hz

El programa completo se puede ver en el Anexo 6.3, a continuación destacaremos la parte más importante, la interrupción:

```

// -----
//-----Interrupción-----
#int_TIMER1
void TIMER1_isr(void)
{
switch(i) {
// -----PWM en fase-----
case 1:
    set_timer1(ton);
    setup_ccp1(CCP_PWM_HALF_BRIDGE|CCP_PWM_H_L);
    set_pwm1_duty((int16)58);
    if (m==1){
        i=1; }
    else {
        i=2; }
    break;
}
}
    
```

```
// -----PWM apagado-----  
case 2:  
    set_timer1(toff);  
    set_pwm1_duty((int16)0);  
    i=1;  
    break;  
} // -----Fin de la interrupción-----
```

En el código de la interrupción observamos que para “PWM en fase” “ton” se corresponde a los tiempos en los que la señal de control se mantendrá en fase, esto se consigue con la configuración de ccp1 como medio puente:

```
“setup_ccp1(CCP_PWM_HALF_BRIDGE|CCP_PWM_H_L);“
```

Para “PWM apagado” “toff” es el tiempo en el que las señales de control se mantienen apagadas gracias a que se pone a 0 el ciclo de trabajo del módulo ccp1 de la siguiente manera:

```
“set_pwm1_duty((int16)0);“
```

Con esta configuración ya podremos implementarlo en el PIC y probar el circuito de control en modo ráfaga con 2000hz.

3.2.4- Control en fase-ráfaga con 50us de desfase

Para el control en fase-ráfaga, nuestro PIC se encargara de controlar el convertidor mediante una señal cuadrada de 100kHz y 50% de ciclo de trabajo que proporcione a la salida una intensidad a la lámpara LED.

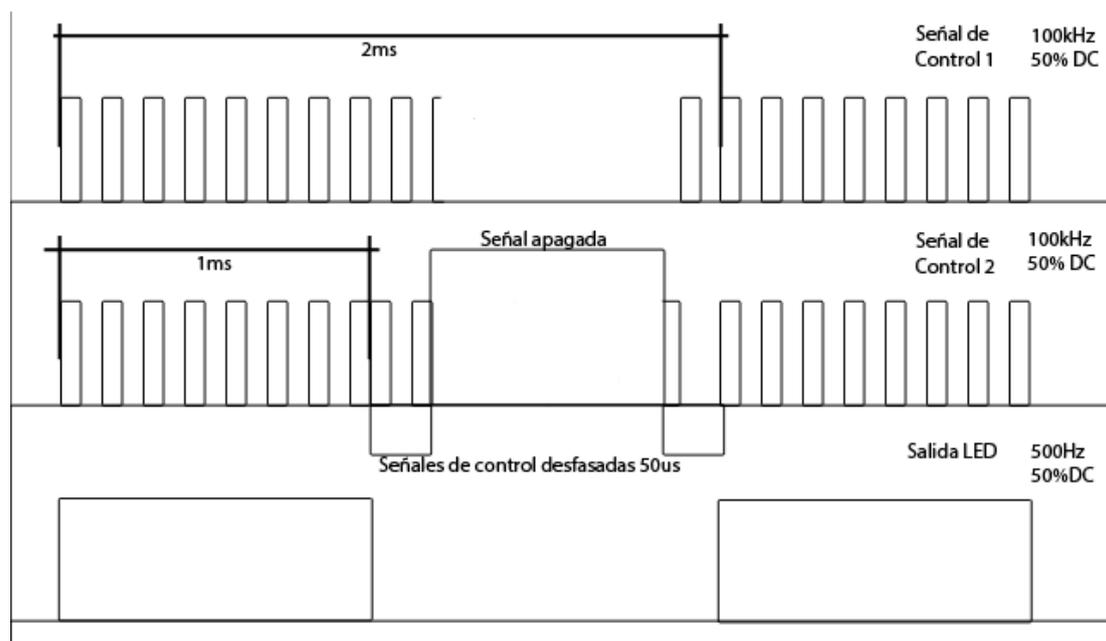


Figura 25; Control fase-ráfaga 50us

El control se conseguirá sacando las dos señales cuadradas de control de nuestro PIC en fase para el estado de encendido y para el estado de apagado las señales de control aparecerán apagadas un tiempo determinado dependiendo del ciclo de trabajo. En el apagado, antes y después del encendido, colocaremos dos tiempos “Tu” de 50us con el fin de intentar que la transición de estados no sea tan brusca y así quizás mejorar el rendimiento del sistema.

Dado que la señal que se observa a la salida del convertidor, la misma que pasa por el LED, es una señal de 500Hz el periodo con el que trabaja el PIC será de 2ms, en ese tiempo la señal PWM de control del PIC tendrá que pasar de encendido a apagado con diferentes tiempos.

3.2.4.1-Estudio de tiempos

Haremos un estudio de tiempos para 16 ciclos de trabajo para poder elegirlos con 4 pulsadores en el circuito.

Tiempo de ciclo	Tiempo de ON (seg)	Tiempo de OFF (seg)	Tiempo de OFF-Tu (seg)
100,00%	2,000E-03	0	0
93,75%	1,855E-03	1,050E-04	0
87,50%	1,730E-03	2,300E-04	1,300E-04
81,25%	1,605E-03	3,550E-04	2,550E-04
75,00%	1,480E-03	4,800E-04	3,800E-04
68,75%	1,355E-03	6,050E-04	5,050E-04
62,50%	1,230E-03	7,300E-04	6,300E-04
56,25%	1,105E-03	8,550E-04	7,550E-04
50,00%	9,800E-04	9,800E-04	8,800E-04
43,75%	8,550E-04	1,105E-03	1,005E-03
37,50%	7,300E-04	1,230E-03	1,130E-03
31,25%	6,050E-04	1,355E-03	1,255E-03
25,00%	4,800E-04	1,480E-03	1,380E-03
18,75%	3,550E-04	1,605E-03	1,505E-03
12,50%	2,300E-04	1,730E-03	1,630E-03
6,25%	1,050E-04	1,855E-03	1,755E-03

Tabla 13; Tiempos control fase-ráfaga 50us

Para estos tiempos hemos añadido una columna en la que podemos ver que la transición “Tu” de encendido-apagado en la cual desfasamos la señal 180° durante 50us se resta al tiempo de OFF.

También en este caso hemos de tener en cuenta un factor que hasta ahora hemos despreciado, es el tiempo de ciclo de instrucción de nuestro programa. Dado que nuestro código para el control de fase-ráfaga contiene un número de instrucciones mayor tenemos que restar a los tiempos de menos del 90% del ciclo de trabajo una cantidad de tiempo que vendrá dada por:

$$Ciclo\ de\ instrucción = \frac{4}{Fosc}$$

Siendo en este caso un ciclo de instrucción de 1.33us. Por ello y al estar usando tiempos tan pequeños como Tu=50us tenemos que restar a los tiempos de ON, OFF la cantidad de 20us para el correcto funcionamiento del programa y lograr una salida con un periodo de 2ms(Tabla 13).

Antes de desarrollar el programa tenemos que configurar los tiempos para el uso de interrupciones por el *timer1*. Para esto tenemos que decidir varias cosas, el *preescaler* a usar será "1", la frecuencia de oscilador será 12MHz/4=3MHz y el desbordamiento serán los tiempos de ON y OFF que tenemos. Así que con la siguiente formula sacaremos los tiempos del timer 1:

$$Desbordamiento_Timer1 = \frac{4}{Frecuencia_Oscilador} \times Preescaler \times (65536 - TMR1)$$

Quedando la tabla de tiempos del timer1 así:

Ciclo de trabajo	Timer1 ON	Timer1 OFF-Tu
100,00%	59536	0
93,75%	59971	0
87,50%	60346	65146
81,25%	60721	64771
75,00%	61096	64396
68,75%	61471	64021
62,50%	61846	63646
56,25%	62221	63271
50,00%	62596	62896
43,75%	62971	62521
37,50%	63346	62146
31,25%	63721	61771
25,00%	64096	61396
18,75%	64471	61021
12,50%	64846	60646
6,25%	65221	60271

Tabla 14; Timer 1 control fase-ráfaga 50us

Estos son los tiempos que usaremos en nuestro programa cuando vayamos a usar las interrupciones por desbordamiento del timer1. Siendo $T_u = 65416$.

3.2.4.2- Desarrollo del programa e implementación en el PIC

El programa consistirá en la lectura del puerto B donde irán conectados unos pulsadores con los cuales elegiremos el ciclo de trabajo deseado, y con esa elección se cargarán los tiempos que correspondan al timer1.

En el timer1 se irán cargando los tiempos de encendido y apagado respectivamente produciendo un periodo completo cada 2ms. Y con la correcta configuración del módulo ccp1 podremos apagar, desfasar y poner en fase la señal de control de la manera buscada.

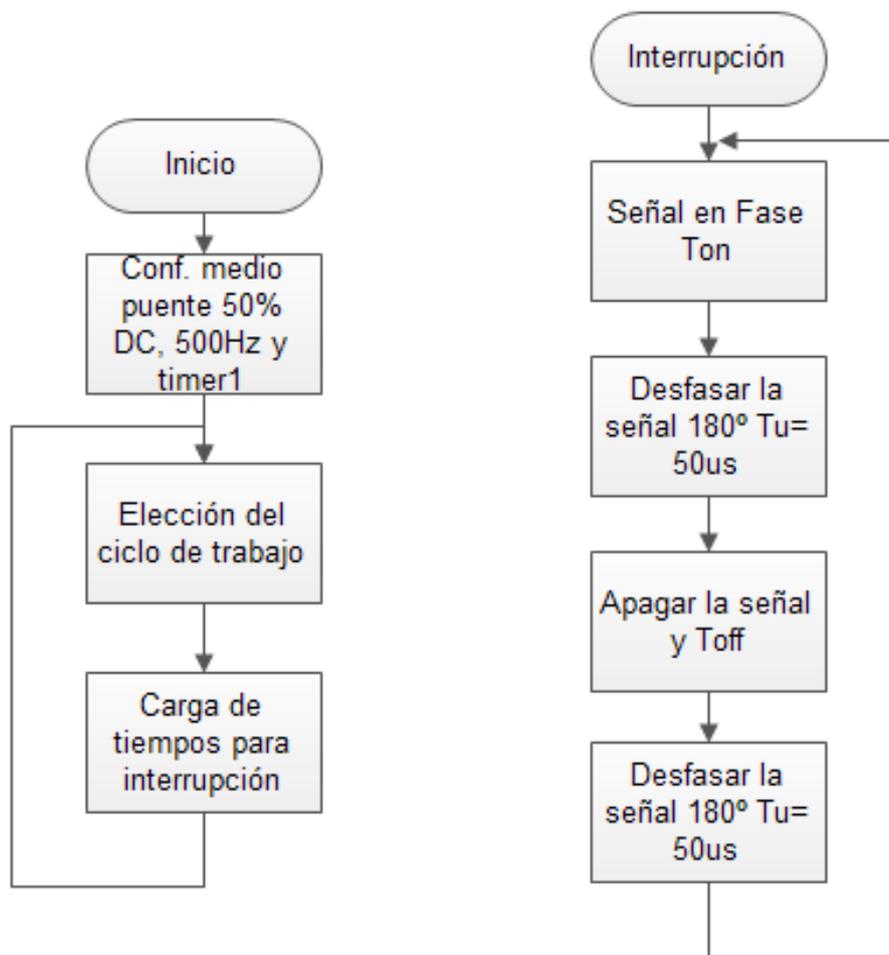


Figura 26; Flujograma control fase-ráfaga 50us

El programa completo se puede ver en el Anexo 6.4, a continuación destacaremos la parte más importante, la interrupción:

```
// -----  
// -----Interrupción-----  
// -----
```

```
#int_TIMER1
void TIMER1_isr(void)
{
switch(i)
{
// -----PWM solo desfasado-----
case 0:
    set_timer1(toff);
    setup_ccp1(CCP_PWM_HALF_BRIDGE|CCP_PWM_H_H); //180°
    set_pwm1_duty((int16)58);
    i=1;
    break;
// -----PWM en fase-----
case 1:
    set_timer1(ton);
    setup_ccp1(CCP_PWM_HALF_BRIDGE|CCP_PWM_H_L); //fase
    set_pwm1_duty((int16)58);
    if (j==1) {          //J=1 para DC menor de 90%
        i=2; }
    else {              //J=0 para DC mayor de 90%
        if (m==1){
            i=0;
        }else{
            i=1;}}
    break;
// -----PWM desfasado para menos 90%DC-----
case 2:
    set_timer1(tu); //Tiempo de 100us antes y después de apagarlo
    setup_ccp1(CCP_PWM_HALF_BRIDGE|CCP_PWM_H_H); //180°
    set_pwm1_duty((int16)58);
    if (l==0){
        i=1;
        l=1; }
    else {
        i=3; }
    break;
// -----PWM apagado-----
case 3:
    set_timer1(toff); //Tiempo que permanece apagado el DC
    setup_ccp1(CCP_PWM_HALF_BRIDGE|CCP_PWM_H_I); //180°
```

```
set_pwm1_duty((int16)0); //Apagamos el DC
i=2;
l=0;
break;

}} // -----Fin de la interrupción-----
```

En el código de la interrupción observamos que para valores mayores del 90% del ciclo de trabajo lo único que hacemos es desfasar la señal 180° sin apagarla. El resto de valores siguen la secuencia de encendido – desfasado 180° $T_u=50\mu s$ – apagado – desfasado 180° $T_u=50\mu s$ – encendido. Configurando cada vez el módulo ccp1 como en los anteriores controles vistos conseguimos este control fase-ráfaga con un tiempo T_u de $50\mu s$ de desfase de 180° entre el estado ON y OFF.

3.2.5- Control en fase-ráfaga con $100\mu s$ de desfase

Para el control en fase-ráfaga, nuestro PIC se encargara de controlar el convertidor mediante una señal cuadrada de 100kHz y 50% de ciclo de trabajo que proporcione a la salida una intensidad a la lámpara LED. Esto lo conseguiremos sacando las dos señales cuadradas de control de nuestro PIC en fase para el estado de encendido y para el estado de apagado las señales de control aparecerán apagadas un tiempo también determinado dependiendo del ciclo de trabajo. En el apagado, antes y después del encendido, colocaremos dos tiempos “ T_u ” de $100\mu s$ con el fin de intentar que la transición de estados no sea tan brusca y así quizás mejorar el rendimiento del sistema.

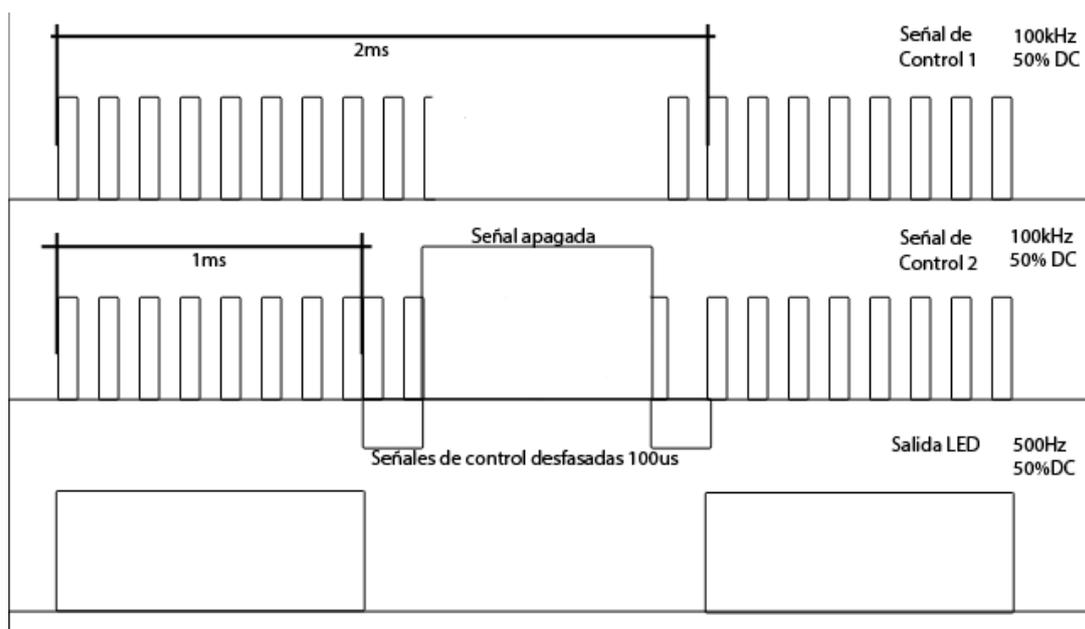


Figura 27; Control fase-ráfaga $100\mu s$

Dado que la señal que se observa a la salida del convertidor, la misma que pasa por el LED, es una señal de 500Hz el periodo con el que trabaja el PIC será de 2ms, en ese tiempo la señal PWM de control del PIC tendrá que pasar de encendido a apagado con diferentes tiempos.

3.2.5.1-Estudio de tiempos

Haremos un estudio de tiempos para 16 ciclos de trabajo para poder elegirlos con 4 pulsadores en el circuito.

Ciclo de trabajo	Tiempo de ON (seg)	Tiempo de OFF (seg)	Tiempo de OFF-Tu (seg)
100,00%	2,000E-03	0	0
93,75%	1,855E-03	1,050E-04	0
87,50%	1,730E-03	2,300E-04	3,000E-05
81,25%	1,605E-03	3,550E-04	1,550E-04
75,00%	1,480E-03	4,800E-04	2,800E-04
68,75%	1,355E-03	6,050E-04	4,050E-04
62,50%	1,230E-03	7,300E-04	5,300E-04
56,25%	1,105E-03	8,550E-04	6,550E-04
50,00%	9,800E-04	9,800E-04	7,800E-04
43,75%	8,550E-04	1,105E-03	9,050E-04
37,50%	7,300E-04	1,230E-03	1,030E-03
31,25%	6,050E-04	1,355E-03	1,155E-03
25,00%	4,800E-04	1,480E-03	1,280E-03
18,75%	3,550E-04	1,605E-03	1,405E-03
12,50%	2,300E-04	1,730E-03	1,530E-03
6,25%	1,050E-04	1,855E-03	1,655E-03

Tabla 15; Tiempos control fase-ráfaga 100us

Para estos tiempos hemos añadido una columna en la que podemos ver que la transición "Tu" de encendido-apagado en la cual desfasamos la señal 180° durante 100us se resta al tiempo de OFF.

También en este caso hemos de tener en cuenta un factor que hasta ahora hemos despreciado, es el tiempo de ciclo de instrucción de nuestro programa. Dado que nuestro código para el control de fase-ráfaga contiene un número de instrucciones mayor tenemos que restar a los tiempos de menos del 90% del ciclo de trabajo una cantidad de tiempo que vendrá dada por:

$$Ciclo\ de\ instrucci3n = \frac{4}{Fosc}$$

Siendo en este caso un ciclo de instrucci3n de 1.33us. Por ello y al estar usando tiempos tan peque1os como Tu=100us tenemos que restar a los tiempos de ON, OFF y Tu la cantidad de 20us para el correcto funcionamiento del programa y lograr una salida con un periodo de 2ms(Tabla 15).

Antes de desarrollar el programa tenemos que configurar los tiempos para el uso de interrupciones por el *timer1*. Para esto tenemos que decidir varias cosas, el *preescaler* a usar ser1 "1", la frecuencia de oscilador ser1 12MHz/4=3MHz y el desbordamiento ser1n los tiempos de ON y OFF que tenemos. As1 que con la siguiente formula sacaremos los tiempos del timer 1:

$$Desbordamiento_Timer1 = \frac{4}{Frecuencia_Oscilador} \times Preescaler \times (65536 - TMR1)$$

Quedando la tabla de tiempos del timer1 as1:

Ciclo de trabajo	Timer1 ON	Timer OFF-Tu
100,00%	59536	0
93,75%	59971	0
87,50%	60346	65446
81,25%	60721	65071
75,00%	61096	64696
68,75%	61471	64321
62,50%	61846	63946
56,25%	62221	63571
50,00%	62596	63196
43,75%	62971	62821
37,50%	63346	62446
31,25%	63721	62071
25,00%	64096	61696
18,75%	64471	61321
12,50%	64846	60946
6,25%	65221	60571

Tabla 16; Timer 1 control fase-r1faga 100us

Estos son los tiempos que usaremos en nuestro programa cuando vayamos a usar las interrupciones por desbordamiento del timer1. Siendo Tu= 65296.

3.2.5.2- Desarrollo del programa e implementación en el PIC

El programa consistirá en la lectura del puerto B donde irán conectados unos pulsadores con los cuales elegiremos el ciclo de trabajo deseado, y con esa elección se cargarán los tiempos que correspondan al timer1.

En el timer1 se irán cargando los tiempos de encendido y apagado respectivamente produciendo un periodo completo cada 2ms. Y con la correcta configuración del módulo ccp1 podremos apagar, desfasar y poner en fase la señal de control de la manera buscada.

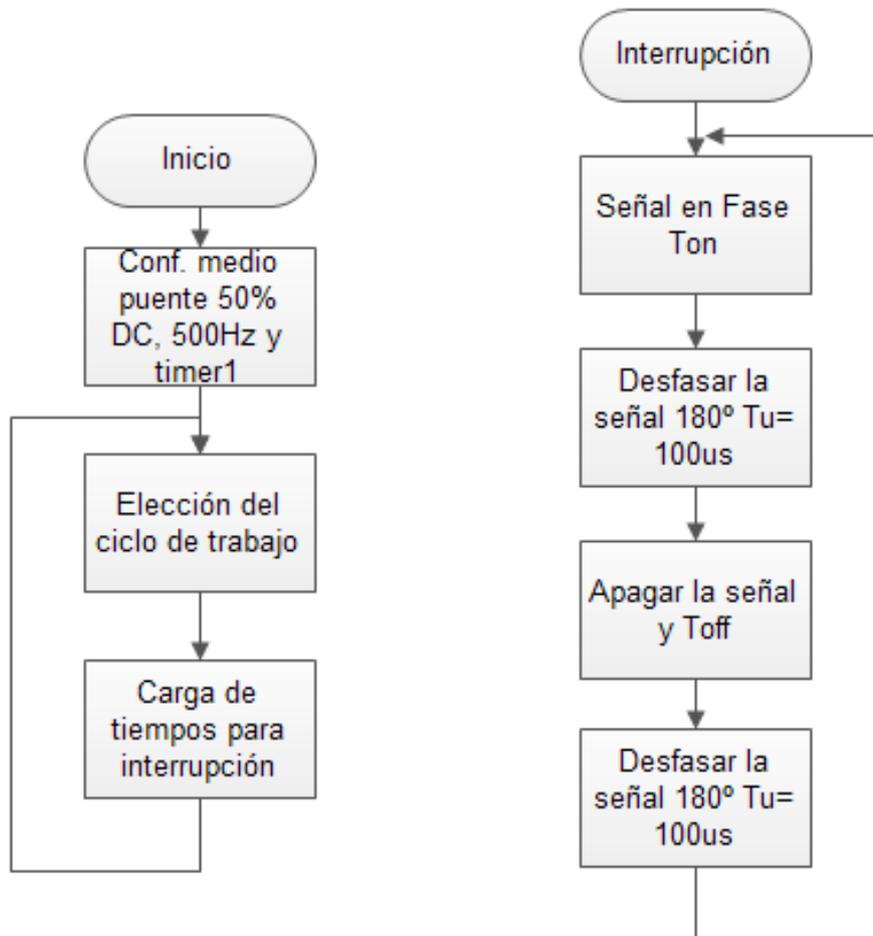


Figura 28; Flujograma control fase-ráfaga 100us

El programa completo se puede ver en el Anexo 6.5, a continuación destacaremos la parte más importante, la interrupción:

```

// -----
// -----Interrupción-----
// -----
#int_TIMER1
void TIMER1_isr(void)
{

```

```
switch(i)
{
// -----PWM solo desfasado-----
case 0:
    set_timer1(toff);
    setup_ccp1(CCP_PWM_HALF_BRIDGE|CCP_PWM_H_H); //180°
    set_pwm1_duty((int16)58);
    i=1;
    break;
// -----PWM en fase-----
case 1:
    set_timer1(ton);
    setup_ccp1(CCP_PWM_HALF_BRIDGE|CCP_PWM_H_L); //fase
    set_pwm1_duty((int16)58);
    if (j==1) {          //J=1 para DC menor de 90%
        i=2; }
    else {              //J=0 para DC mayor de 90%
        if (m==1){
            i=0;
        }else{
            i=1;}}
    break;
// -----PWM desfasado para menos 90%DC-----
case 2:
    set_timer1(tu); //Tiempo de 100us antes y después de apagarlo
    setup_ccp1(CCP_PWM_HALF_BRIDGE|CCP_PWM_H_H); //180°
    set_pwm1_duty((int16)58);
    if (l==0){
        i=1;
        l=1; }
    else {
        i=3; }
    break;
// -----PWM apagado-----
case 3:
    set_timer1(toff); //Tiempo que permanece apagado el DC
    setup_ccp1(CCP_PWM_HALF_BRIDGE|CCP_PWM_H_I); //180°
    set_pwm1_duty((int16)0); //Apagamos el DC
    i=2;
    l=0;
```

```
break;
```

```
} // -----Fin de la interrupción-----
```

En el código de la interrupción observamos que para valores mayores del 90% del ciclo de trabajo lo único que hacemos es desfasar la señal 180° sin apagarla. El resto de valores siguen la secuencia de encendido – desfasado 180° $T_u=100\mu s$ – apagado – desfasado 180° $T_u=100\mu s$ – encendido. Configurando cada vez el módulo ccp1 como en los anteriores controles vistos conseguimos este control fase-ráfaga con un tiempo T_u de $100\mu s$ de desfase de 180° entre el estado ON y OFF.

3.2.6- Control en fase-ráfaga con $150\mu s$ de desfase

Para el control en fase-ráfaga, nuestro PIC se encargara de controlar el convertidor mediante una señal cuadrada de 100kHz y 50% de ciclo de trabajo que proporcione a la salida una intensidad a la lámpara LED. Esto lo conseguiremos sacando las dos señales cuadradas de control de nuestro PIC en fase para el estado de encendido un tiempo determinado dependiendo del ciclo de trabajo que corresponda y para el estado de apagado las señales de control aparecerán apagadas un tiempo también determinado dependiendo del ciclo de trabajo. En el apagado, antes y después del encendido, colocaremos dos tiempos “ T_u ” de $150\mu s$ con el fin de intentar que la transición de estados no sea tan brusca y así quizás mejorar el rendimiento del sistema

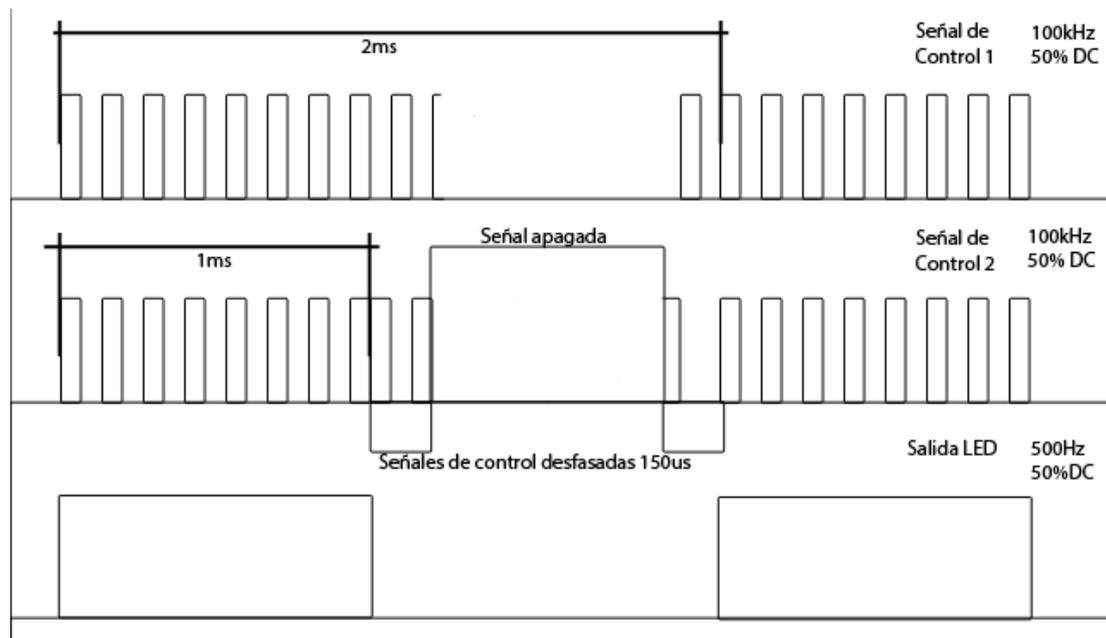


Figura 29; Control fase-ráfaga $150\mu s$

Dado que la señal que se observa a la salida del convertidor, la misma que pasa por el LED, es una señal de 500Hz el periodo con el que trabaja el PIC será de 2ms, en ese tiempo la señal PWM de control del PIC tendrá que pasar de encendido a apagado con diferentes tiempos.

3.2.6.1-Estudio de tiempos

Haremos un estudio de tiempos para 16 ciclos de trabajo para poder elegirlos con 4 pulsadores en el circuito.

Ciclo de trabajo	Tiempo de ON (seg)	Tiempo de OFF (seg)	Tiempo de OFF-Tu (seg)
100,00%	2,000E-03	0	0
93,75%	1,855E-03	1,050E-04	0
87,50%	1,730E-03	2,300E-04	2,300E-04
81,25%	1,605E-03	3,550E-04	5,500E-05
75,00%	1,480E-03	4,800E-04	1,800E-04
68,75%	1,355E-03	6,050E-04	3,050E-04
62,50%	1,230E-03	7,300E-04	4,300E-04
56,25%	1,105E-03	8,550E-04	5,550E-04
50,00%	9,800E-04	9,800E-04	6,800E-04
43,75%	8,550E-04	1,105E-03	8,050E-04
37,50%	7,300E-04	1,230E-03	9,300E-04
31,25%	6,050E-04	1,355E-03	1,055E-03
25,00%	4,800E-04	1,480E-03	1,180E-03
18,75%	3,550E-04	1,605E-03	1,305E-03
12,50%	2,300E-04	1,730E-03	1,430E-03
6,25%	1,050E-04	1,855E-03	1,555E-03

Tabla 17; Tiempos control fase-ráfaga 150us

Para estos tiempos hemos añadido una columna en la que podemos ver que la transición “Tu” de encendido-apagado en la cual desfasamos la señal 180° durante 150us se resta al tiempo de OFF.

También en este caso hemos de tener en cuenta un factor que hasta ahora hemos despreciado, es el tiempo de ciclo de instrucción de nuestro programa. Dado que nuestro código para el control de fase-ráfaga contiene un número de instrucciones mayor tenemos que restar a los tiempos de menos del 90% del ciclo de trabajo una cantidad de tiempo que vendrá dada por:

$$Ciclo\ de\ instrucción = \frac{4}{Fosc}$$

Siendo en este caso un ciclo de instrucción de 1.33us. Por ello y al estar usando tiempos tan pequeños como Tu=150us tenemos que restar a los

tiempos de ON, OFF y Tu la cantidad de 20us para el correcto funcionamiento del programa y lograr una salida con un periodo de 2ms(Tabla 17).

Antes de desarrollar el programa tenemos que configurar los tiempos para el uso de interrupciones por el *timer1*. Para esto tenemos que decidir varias cosas, el *preescaler* a usar será "1", la frecuencia de oscilador será 12MHz/4=3MHz y el desbordamiento serán los tiempos de ON y OFF que tenemos. Así que con la siguiente formula sacaremos los tiempos del timer 1:

$$Desbordamiento_Timer1 = \frac{4}{Frecuencia_Oscilador} \times Preescaler \times (65536 - TMR1)$$

Quedando la tabla de tiempos del timer1 así:

Ciclo de trabajo	Timer1 ON	Timer1 OFF-Tu
100,00%	59536	
93,75%	59971	
87,50%	60346	64846
81,25%	60721	65371
75,00%	61096	64996
68,75%	61471	64621
62,50%	61846	64246
56,25%	62221	63871
50,00%	62596	63496
43,75%	62971	63121
37,50%	63346	62746
31,25%	63721	62371
25,00%	64096	61996
18,75%	64471	61621
12,50%	64846	61246
6,25%	65221	60871

Tabla 18; Timer 1 control fase-ráfaga 150us

Estos son los tiempos que usaremos en nuestro programa cuando vayamos a usar las interrupciones por desbordamiento del timer1. Siendo Tu= 65131.

3.2.6.2- Desarrollo del programa e implementación en el PIC

El programa consistirá en la lectura del puerto B donde irán conectados unos pulsadores con los cuales elegiremos el ciclo de trabajo deseado, y con esa elección se cargarán los tiempos que correspondan al timer1.

En el timer1 se irán cargando los tiempos de encendido y apagado respectivamente produciendo un periodo completo cada 2ms. Y con la correcta

configuración del módulo ccp1 podremos apagar, desfasar y poner en fase la señal de control de la manera buscada.

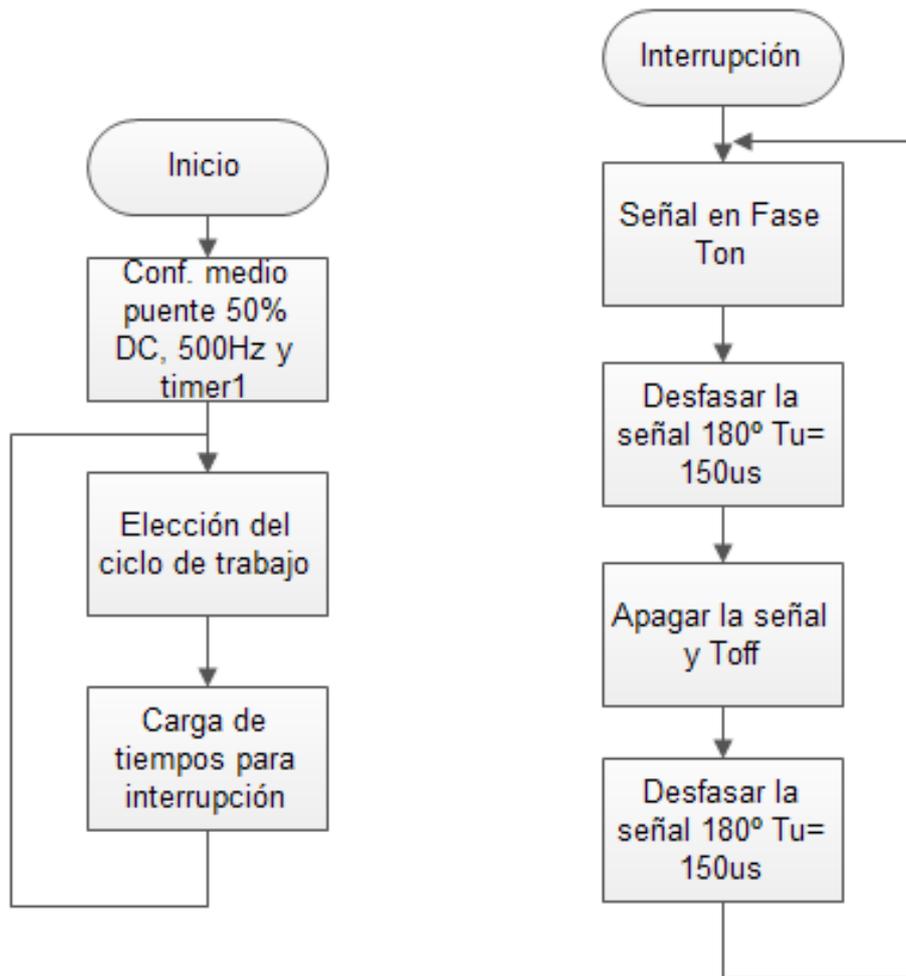


Figura 30; Flujograma control fase-ráfaga 150us

El programa completo se puede ver en el Anexo 6.6, a continuación destacaremos la parte más importante, la interrupción:

```

// -----Interrupción-----
// -----
#int_TIMER1
void TIMER1_isr(void)
{
switch(i) {
// -----PWM solo desfasado-----
case 0:
    set_timer1(toff);
    setup_ccp1(CCP_PWM_HALF_BRIDGE|CCP_PWM_H_H); //180°
    set_pwm1_duty((int16)58);
    i=1;
    break;
}
}
    
```

```
// -----PWM en fase-----
case 1:
    set_timer1(ton);
    setup_ccp1(CCP_PWM_HALF_BRIDGE|CCP_PWM_H_L); //fase
    set_pwm1_duty((int16)58);
    if (j==1) {          //J=1 para DC menor de 90%
        i=2; }
    else {              //J=0 para DC mayor de 90%
        if (m==1){
            i=0;
        }else{
            i=1;}}
    break;
// -----PWM desfasado para menos 90%DC-----
case 2:
    set_timer1(tu); //Tiempo de 100us antes y después de apagarlo
    setup_ccp1(CCP_PWM_HALF_BRIDGE|CCP_PWM_H_H); //180°
    set_pwm1_duty((int16)58);
    if (l==0){
        i=1;
        l=1; }
    else {
        i=3; }
    break;
// -----PWM apagado-----
case 3:
    set_timer1(toff); //Tiempo que permanece apagado el DC
    setup_ccp1(CCP_PWM_HALF_BRIDGE|CCP_PWM_H_I); //180°
    set_pwm1_duty((int16)0); //Apagamos el DC
    i=2;
    l=0;
    break;
}} // -----Fin de la interrupción-----
```

En el código de la interrupción observamos que para valores mayores del 90% del ciclo de trabajo lo único que hacemos es desfasar la señal 180° sin apagarla. El resto de valores siguen la secuencia de encendido – desfasado 180° $T_u=150\mu s$ – apagado – desfasado 180° $T_u=150\mu s$ – encendido. Configurando cada vez el módulo ccp1 como en los anteriores controles vistos conseguimos este control fase-ráfaga con un tiempo T_u de 150us de desfase de 180° entre el estado ON y OFF.

4- Implementación física

Para la realización del montaje del circuito se han usado las herramientas del laboratorio de potencia del departamento de Tecnología Electrónica e Ingeniería de Sistemas (TEISA) de la Universidad de Cantabria.

El dispositivo utilizado para realizar el sistema de control es el microcontrolador de Microchip PIC16F887.

4.1- Montaje

El montaje del circuito de control con el PIC16f887 se ha realizado en una placa de pruebas *USB-PIS'School* de *Ingeniería de Microsistemas Programados S.L.* Dicha placa contiene el cristal de 12MHz y los pulsadores usados para decidir el ciclo de trabajo. Esta se conectará al MC14504BCL que estará montado en una placa de pruebas *protoboard* junto con los IR2111 y el circuito convertidor resonante de la que saldrá la conexión a la matriz LED, ver (Planos Pag.172).

El convertidor resonante se conectará a una fuente de tensión de continua con un voltaje de 400v. La fuente la configuraremos en CC con la protección necesaria y limitaremos la intensidad de corriente a 2A pudiendo tener picos de hasta 4A.

5- Resultados obtenidos

Tomaremos como referencia las medidas que más información nos den sobre el buen funcionamiento y la eficacia del circuito de control, para ello destacaremos la potencia de salida, las pérdidas de potencia que se generan en el circuito y el rendimiento. Todo se medirá para los 16 tipos diferentes de ciclos de trabajo.

5.1- Control de fase

Los resultados obtenidos para el control de fase son los siguientes:

Ciclo de trabajo %	Tensión de salida (V)	Intensidad de salida (A)	Potencia de salida (W)	Perdidas (W)	Potencia suministrada (W)	Rendimiento μ (%)
100	67,5	1,750	118,13	16,18	134,3	87,96
93	66,3	1,632	108,18	16,92	125,1	86,47
87	65,4	1,502	98,21	18,49	116,7	84,16
81	64,3	1,418	91,15	17,35	108,5	84,00
75	63,3	1,293	81,87	18,43	100,3	81,62
68	62,2	1,192	74,12	18,28	92,4	80,22
62	61,1	1,159	70,83	13,57	84,4	83,92
56	60,1	0,983	59,10	17,60	76,7	77,05
50	59	0,857	50,54	18,26	68,8	73,46
43	57,9	0,750	43,43	17,48	60,9	71,31
37	56,9	0,667	37,93	15,27	53,2	71,30
31	55,8	0,534	29,81	15,49	45,3	65,80
25	54,8	0,433	23,75	13,75	37,5	63,32
18	53,7	0,325	17,45	12,25	29,7	58,76
12	52,6	0,224	11,79	10,01	21,8	54,09
6	52	0,120	6,24	8,56	14,8	42,16

Tabla 19; Medidas, control de fase

Observamos como las medidas de potencia de salida y rendimiento disminuyen según el ciclo de trabajo manteniendo una proporción bastante constante por el camino (figuras 31 y 32).

Podemos ver en la capturas echas con el osciloscopio cómo funciona el control dependiendo del ciclo de trabajo y como los valores del osciloscopio son bastante consistentes con los medidos en el laboratorio. A su vez podemos ver cómo se comporta la tensión y la intensidad que pasa por la matriz LED.

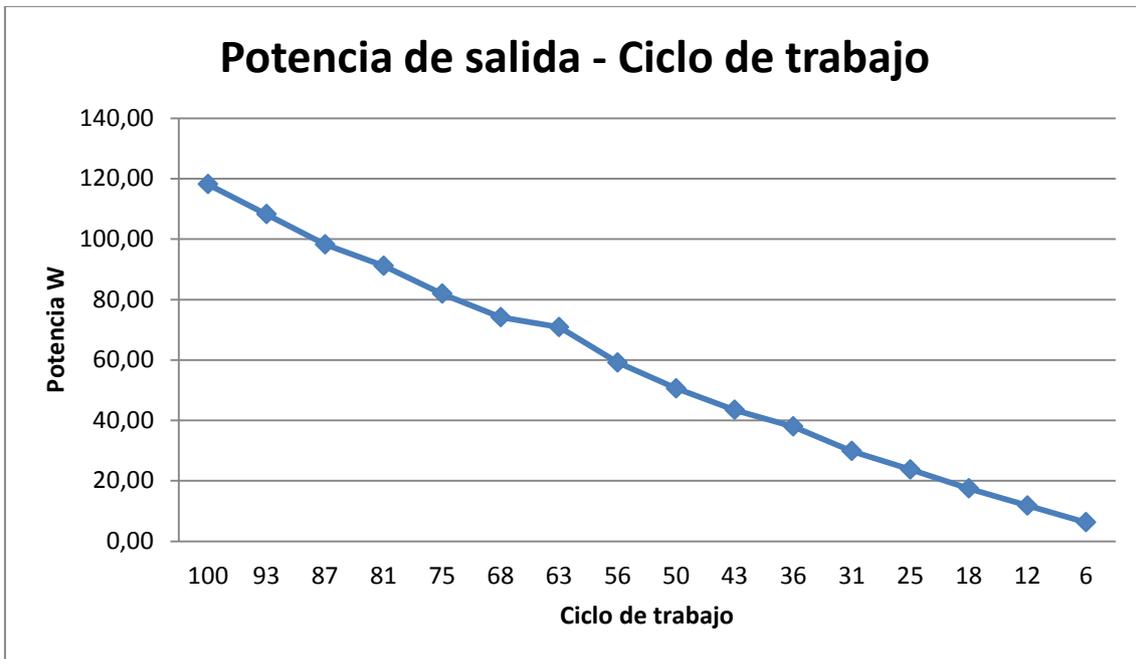


Figura 31; Potencia de salida control de fase

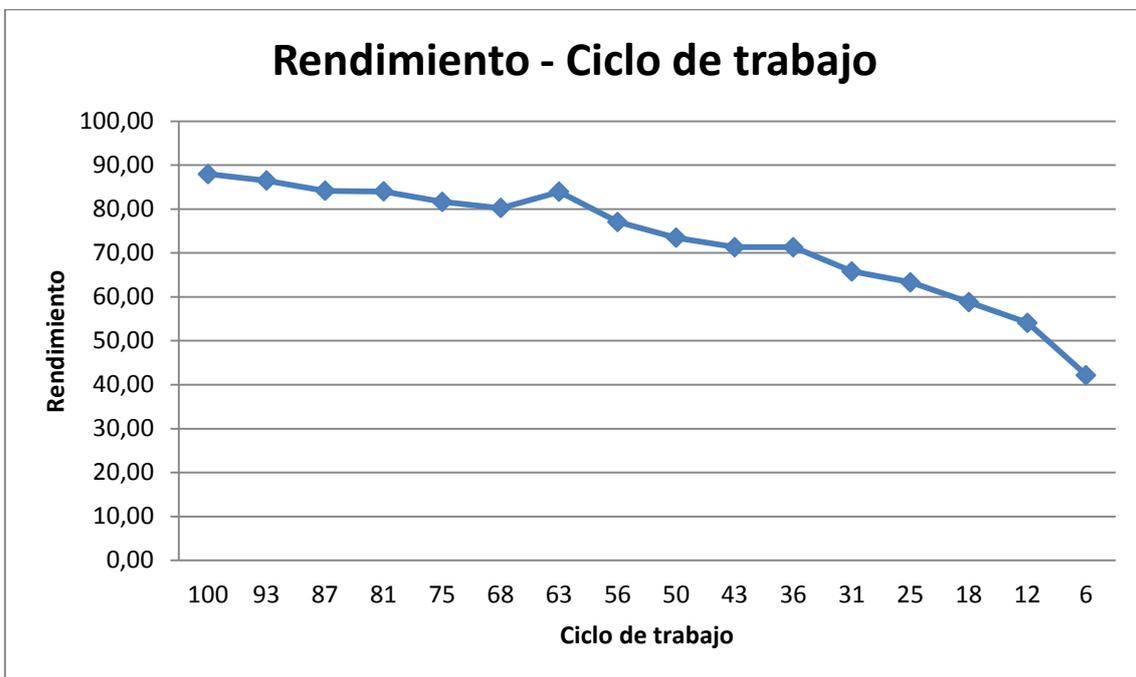


Figura 32; Rendimiento control de fase

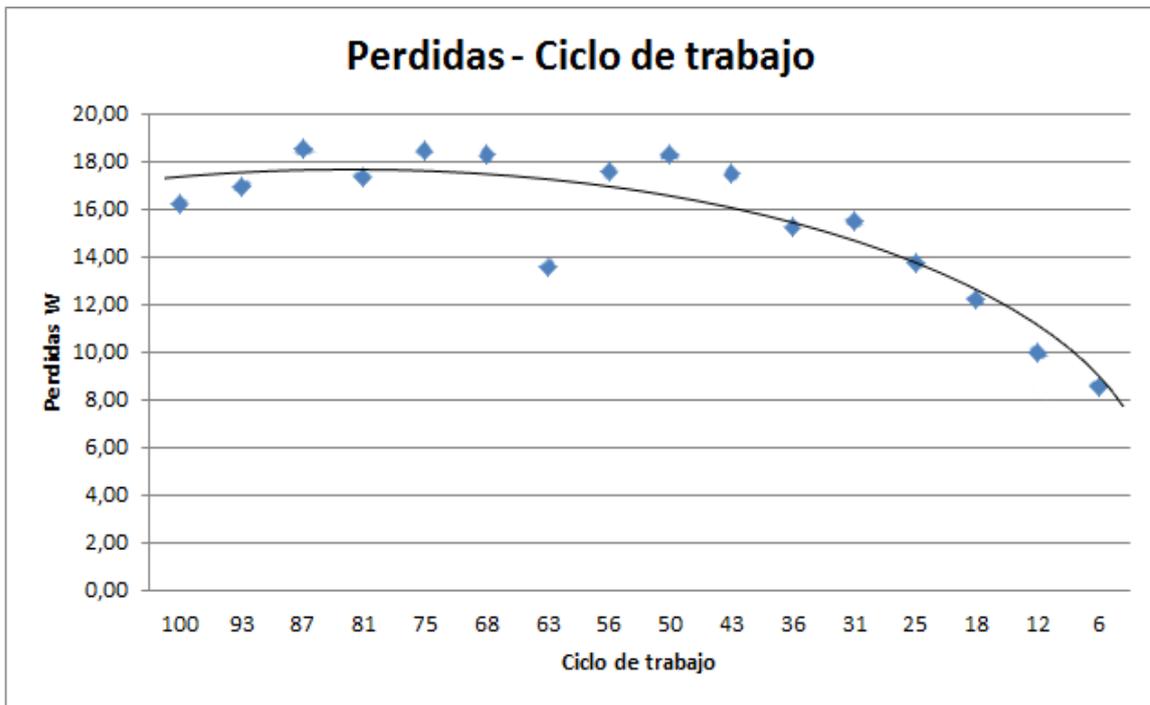


Figura 33; Perdidas promedio control de fase

A continuación se mostrara el funcionamiento con las capturas del osciloscopio para este método de control variando su ciclo de trabajo según los valores de la tabla 19. Las dos señales superiores corresponden a las señales de control producidas por el PIC, de las dos de abajo la superior corresponderá a la tensión en el LED y la inferior a la intensidad que recorre el LED.

Para un ciclo de trabajo del 100%:

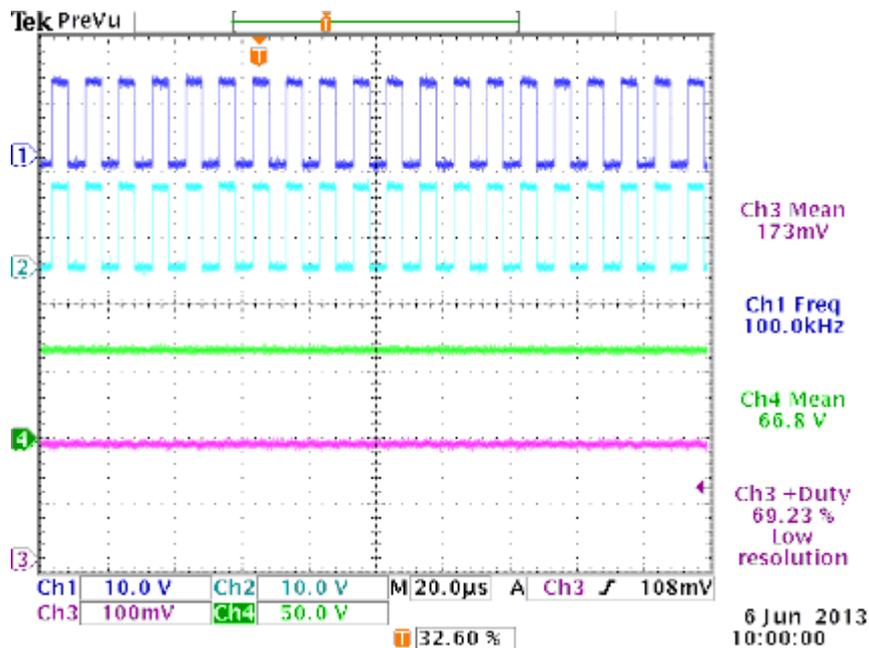


Figura 34; Ciclo de trabajo 100%, control de fase

Para un ciclo de trabajo del 93%:

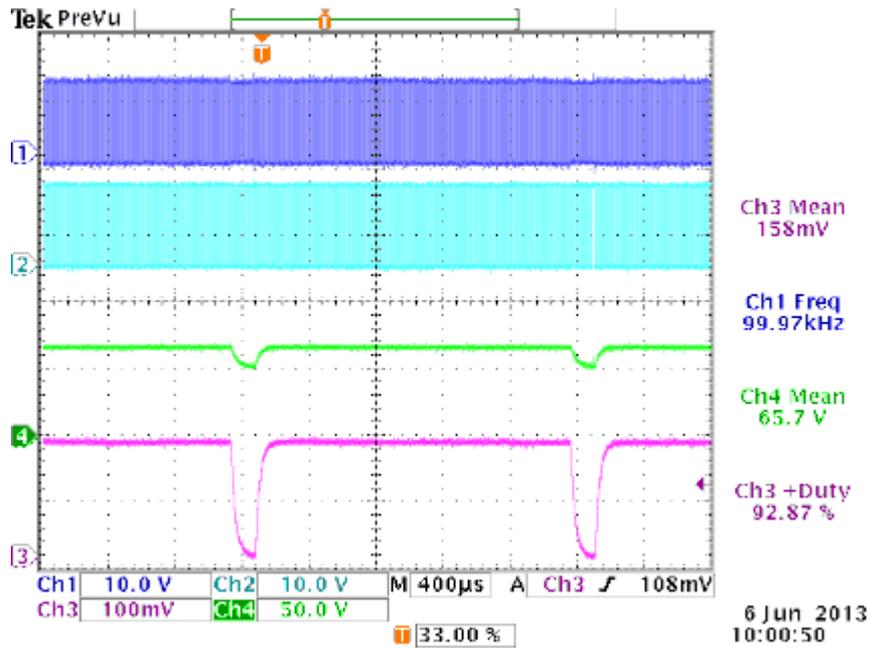


Figura 35; Ciclo de trabajo 93%, control de fase

Para un ciclo de trabajo del 87%:

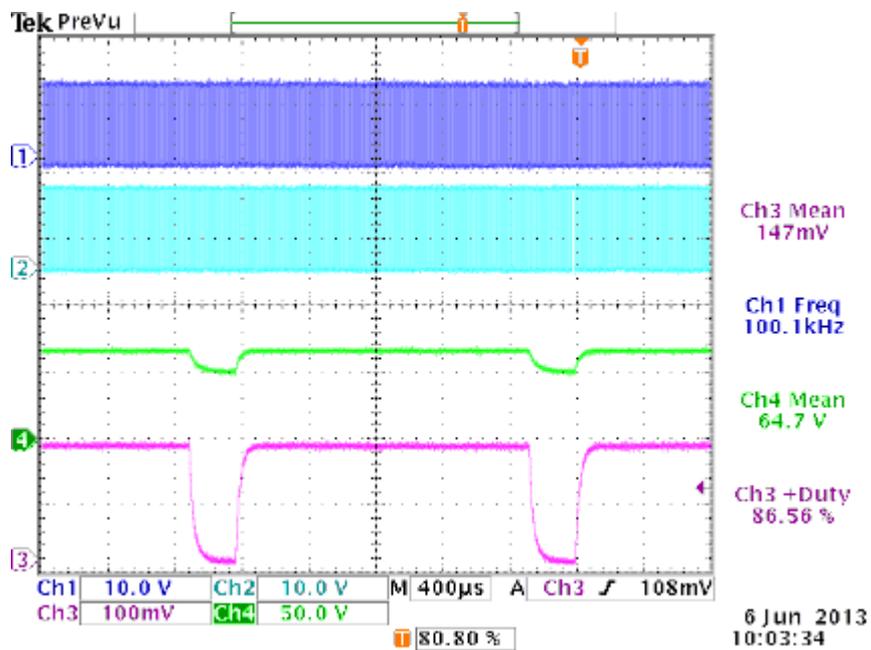


Figura 36; Ciclo de trabajo 87%, control de fase

Para un ciclo de trabajo del 81%:

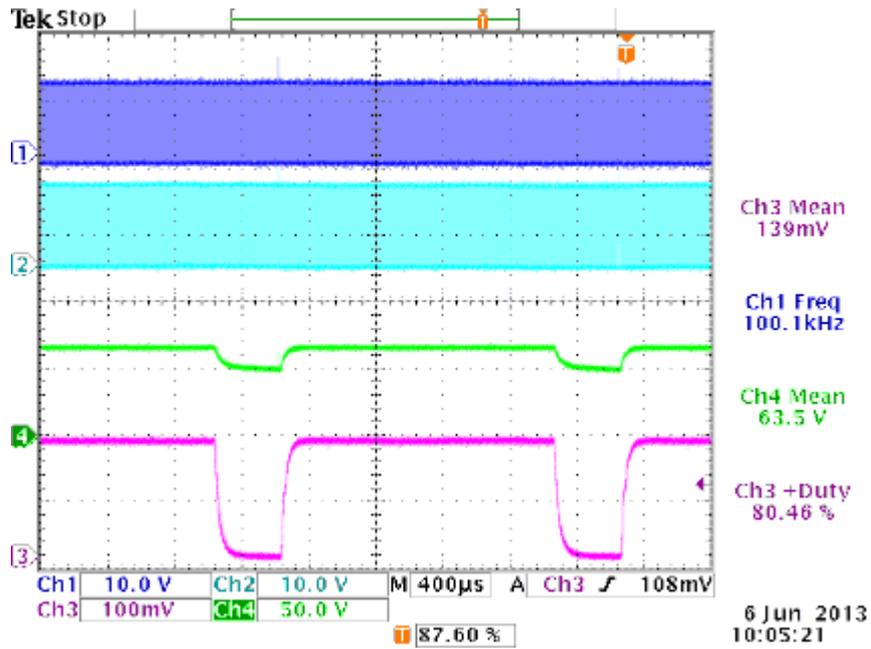


Figura 37; Ciclo de trabajo 81%, control de fase

Para un ciclo de trabajo del 75%:

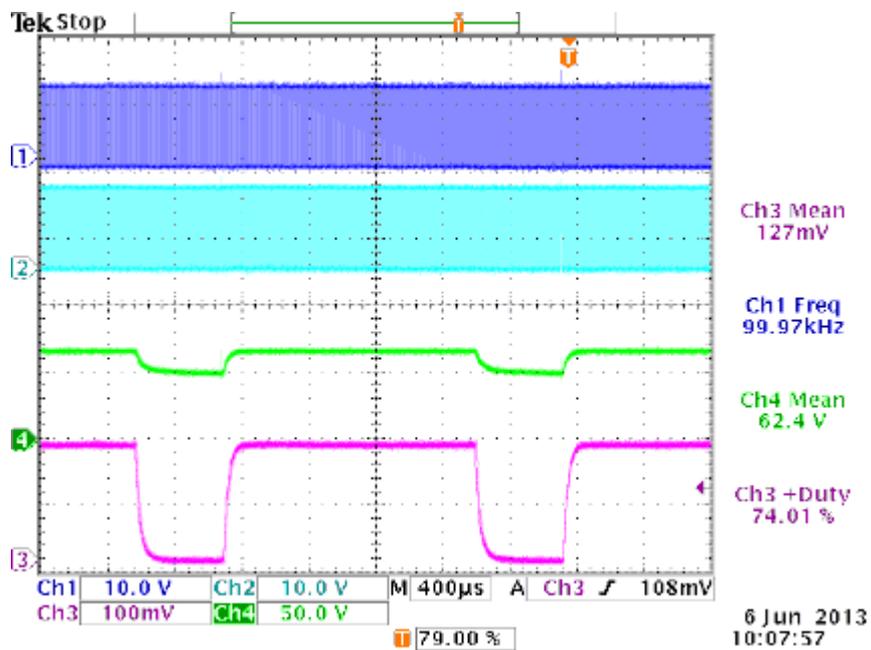


Figura 38; Ciclo de trabajo 75%, control de fase

Para un ciclo de trabajo del 68%:

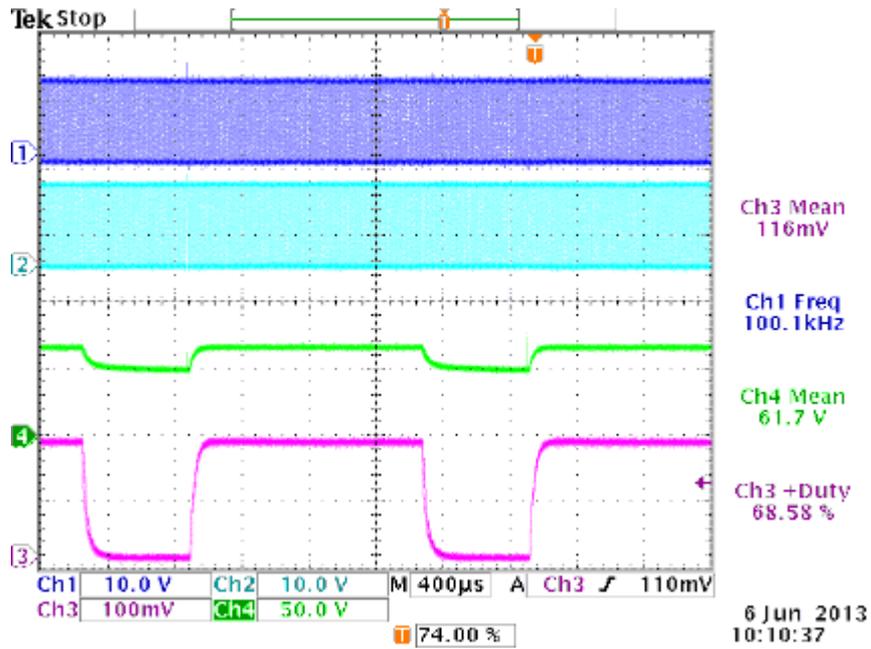


Figura 39; Ciclo de trabajo 68%, control de fase

Para un ciclo de trabajo del 62%:

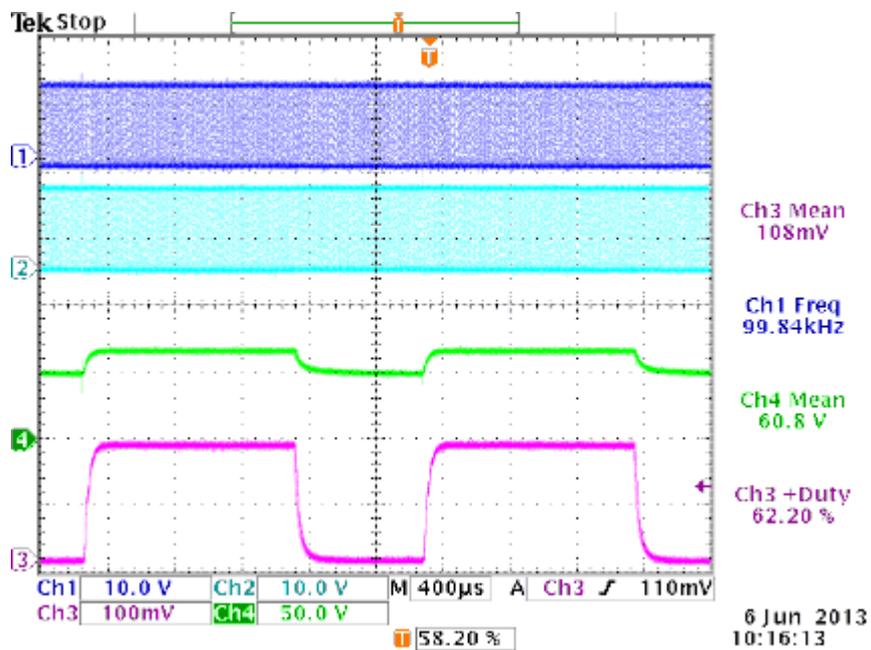


Figura 40; Ciclo de trabajo 62%, control de fase

Para un ciclo de trabajo del 56%:

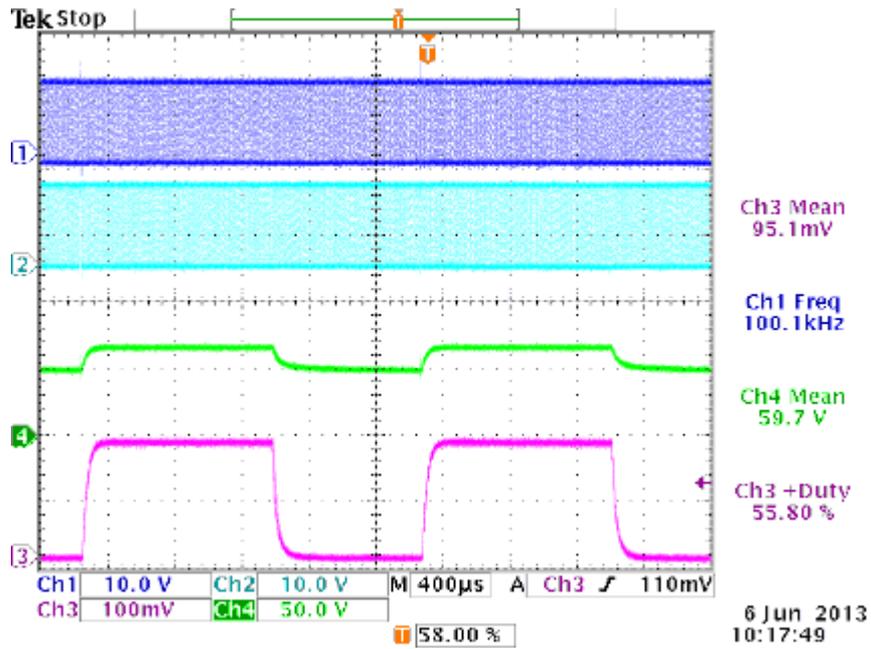


Figura 41; Ciclo de trabajo 56%, control de fase

Para un ciclo de trabajo del 50%:

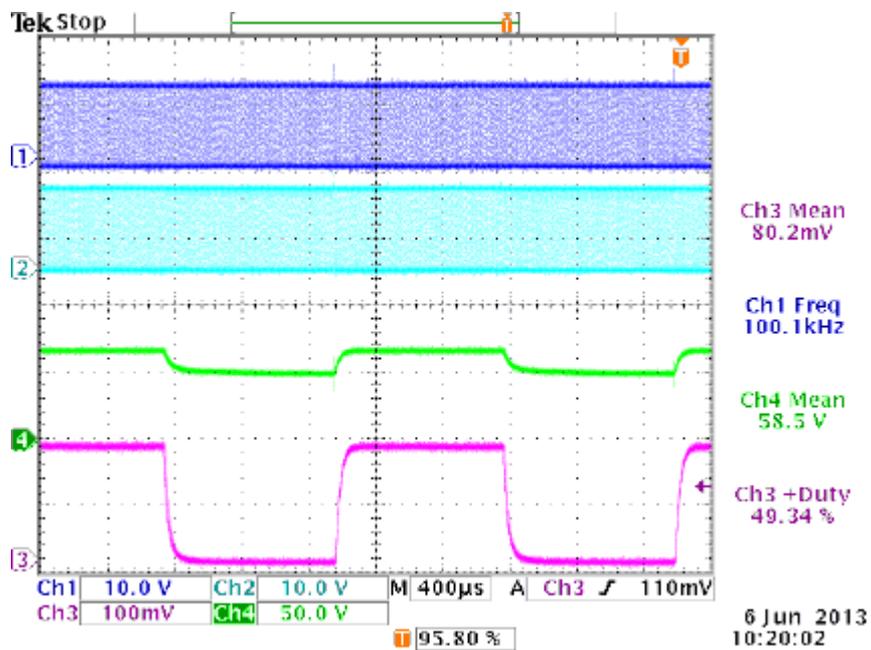


Figura 42; Ciclo de trabajo 50%, control de fase

Para un ciclo de trabajo del 43%:

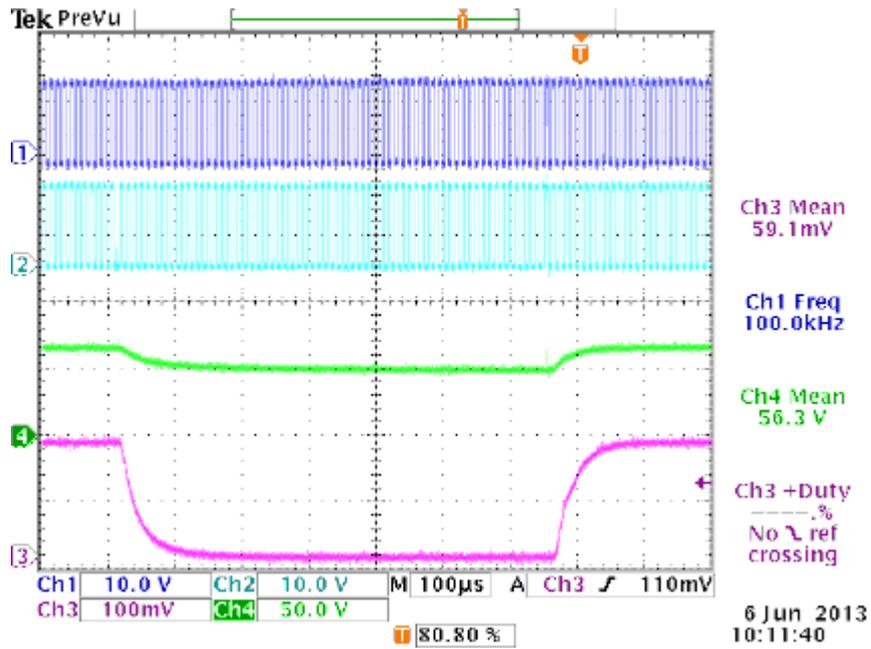


Figura 43; Ciclo de trabajo 43%, control de fase

Para un ciclo de trabajo del 37%:

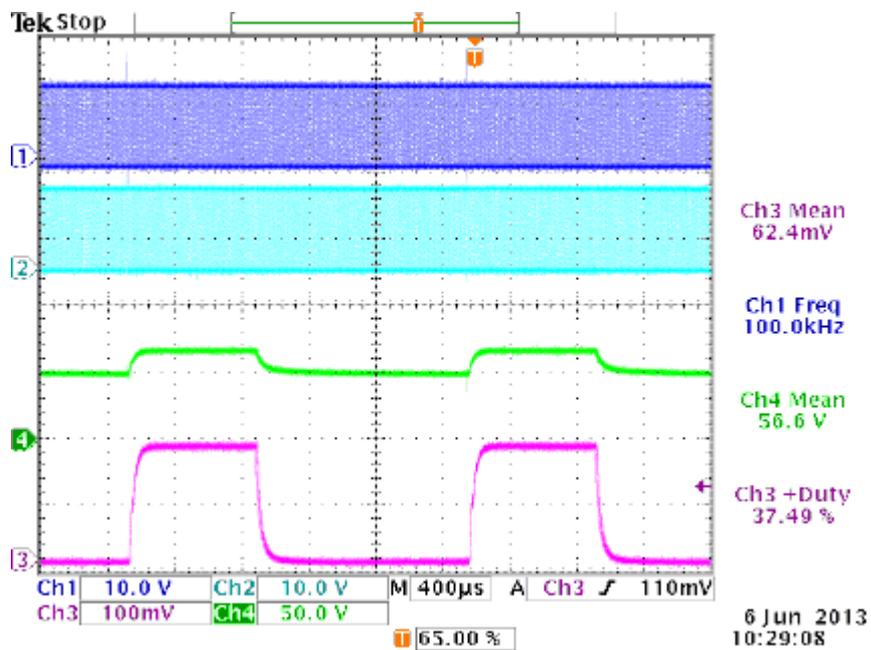


Figura 44; Ciclo de trabajo 37%, control de fase

Para un ciclo de trabajo del 31%:

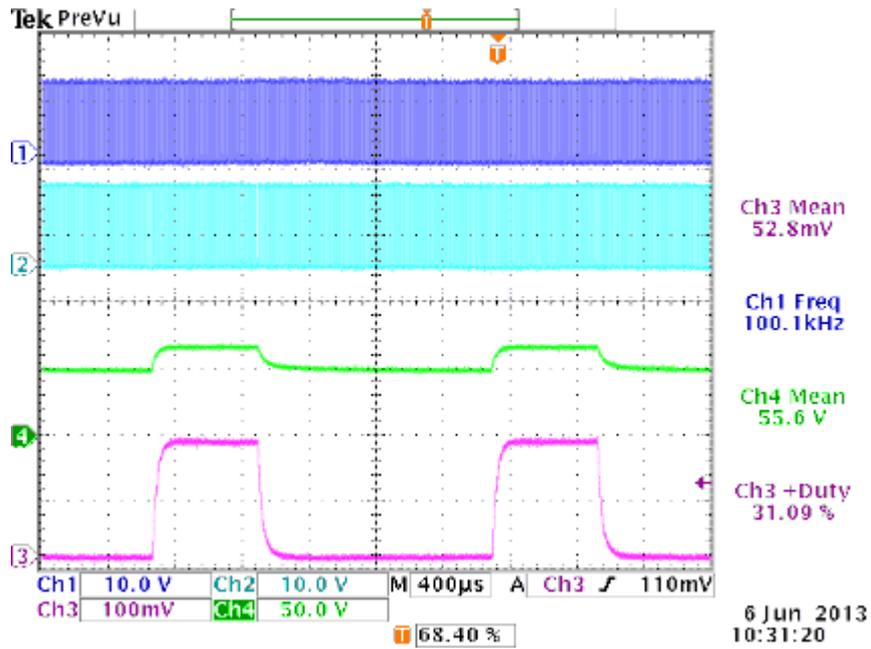


Figura 45; Ciclo de trabajo 31%, control de fase

Para un ciclo de trabajo del 25%:

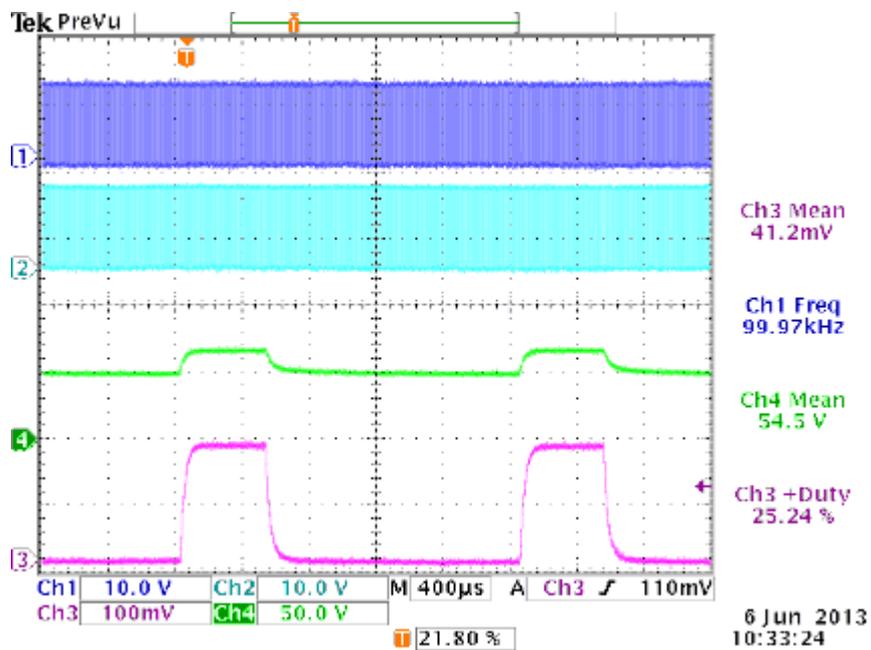


Figura 46; Ciclo de trabajo 25%, control de fase

Para un ciclo de trabajo del 18%:

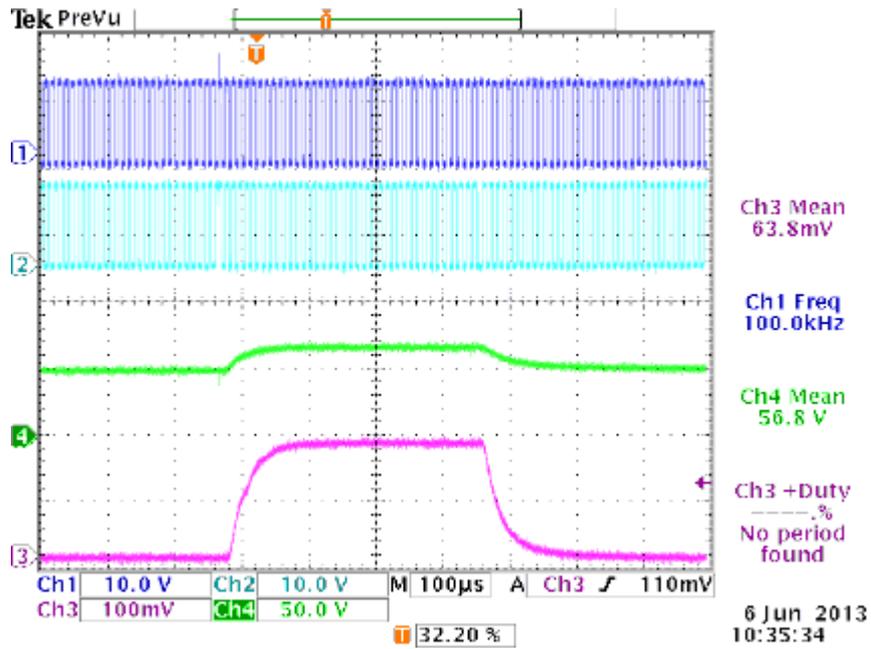


Figura 47; Ciclo de trabajo 18%, control de fase

Para un ciclo de trabajo del 12%:

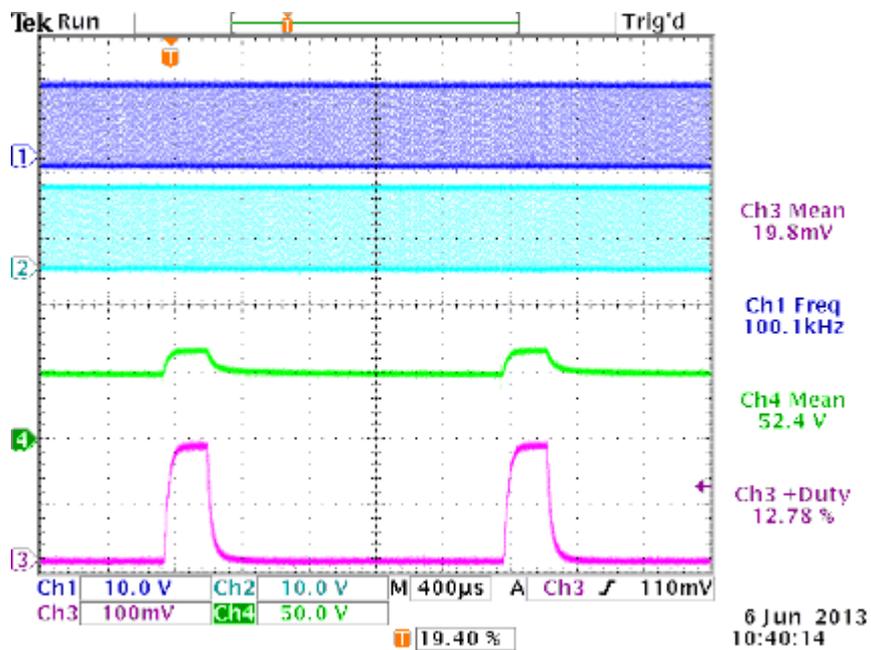


Figura 48; Ciclo de trabajo 12%, control de fase

Para un ciclo de trabajo del 6%:

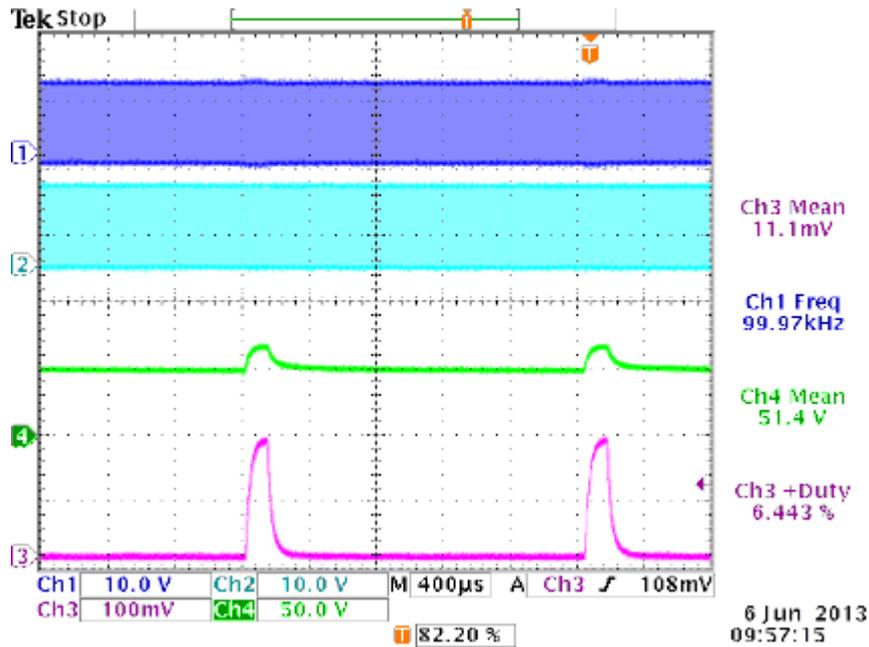


Figura 49; Ciclo de trabajo 6%, control de fase

Más al detalle podemos observar en la siguiente captura de pantalla como se produce el cambio en las señales de control, pasando de estar en fase y producir el estado de encendido de la lámpara, a estar desfasadas 180° y producir el estado de apagado de la misma.

En este método no se observa apenas distorsión al pasar de ON a OFF.

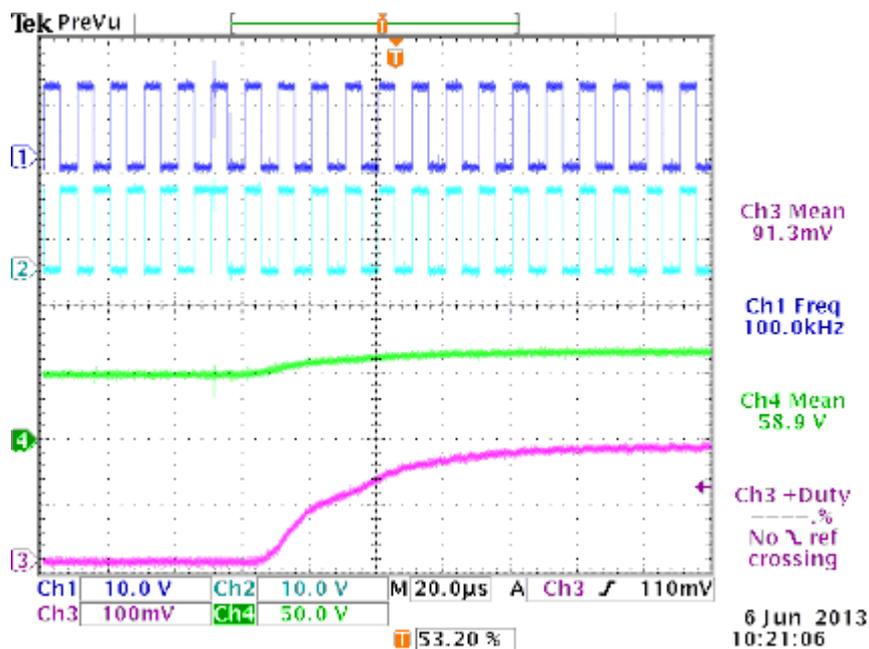


Figura 50; Ciclo de trabajo 50%, control de fase, transición on-off

5.2- Control en modo ráfaga con frecuencia de 500Hz

Los resultados obtenidos para el control en modo ráfaga son los siguientes:

Ciclo de trabajo %	Tensión de salida (V)	Intensidad de salida (A)	Potencia de salida (W)	Perdidas (W)	Potencia suministrada (W)	Rendimiento μ (%)
100	67,9	1,750	118,83	16,78	135,6	87,63
93	66,6	1,592	106,01	20,20	126,2	84,00
87	65,6	1,500	98,40	19,00	117,4	83,82
81	64,5	1,367	88,15	20,55	108,7	81,09
75	63,4	1,308	82,95	17,45	100,4	82,62
68	62,4	1,189	74,20	17,60	91,8	80,83
62	61,3	1,011	61,96	21,34	83,3	74,39
56	60,2	0,963	57,99	17,71	75,7	76,61
50	59,2	0,850	50,32	16,98	67,3	74,77
43	58,1	0,758	44,06	15,14	59,2	74,42
37	57	0,639	36,43	14,47	50,9	71,58
31	56,1	0,533	29,92	12,88	42,8	69,91
25	54,9	0,425	23,33	11,27	34,6	67,43
18	53,8	0,315	16,95	9,35	26,3	64,44
12	52,7	0,211	11,11	7,19	18,3	60,72
6	51,8	0,111	5,74	4,86	10,6	54,16

Tabla 20; Medidas en modo ráfaga con 500Hz

Observamos como las medidas de potencia de salida y rendimiento disminuyen según el ciclo de trabajo manteniendo una proporción bastante constante por el camino (figuras 51 y 52).

Podemos ver en la capturas echas con el osciloscopio cómo funciona el control dependiendo del ciclo de trabajo y como los valores del osciloscopio son bastante consistentes con los medidos en el laboratorio. A su vez podemos ver cómo se comporta la tensión y la intensidad que pasa por la matriz LED.

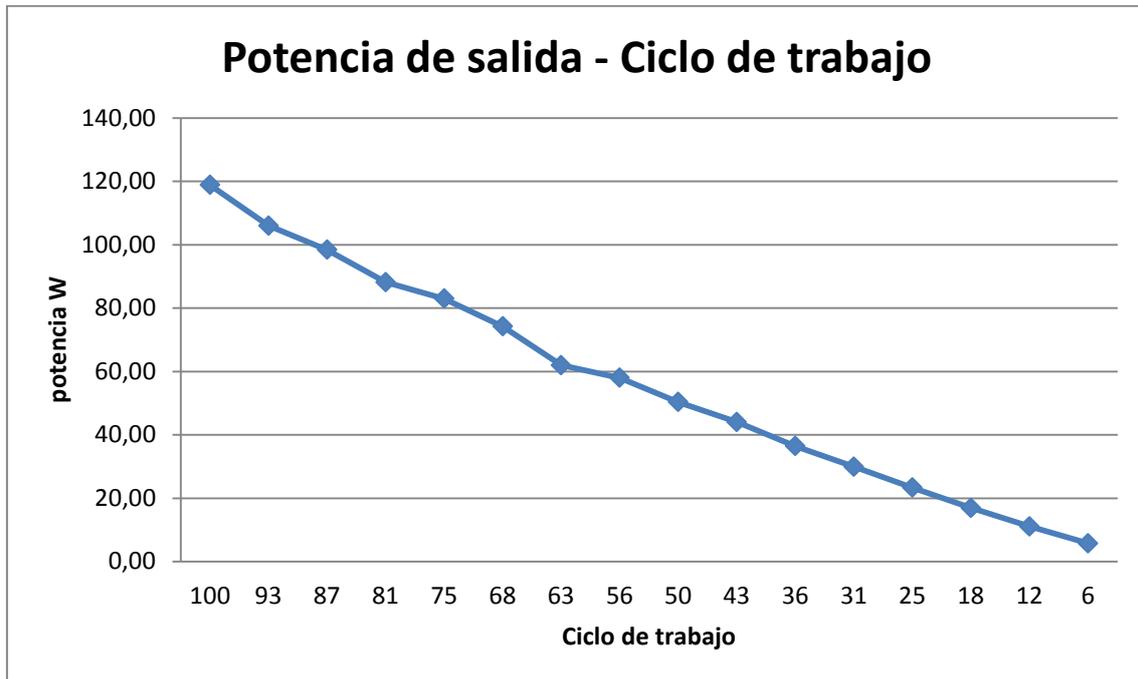


Figura 51; Potencia de salida en modo ráfaga con 500Hz

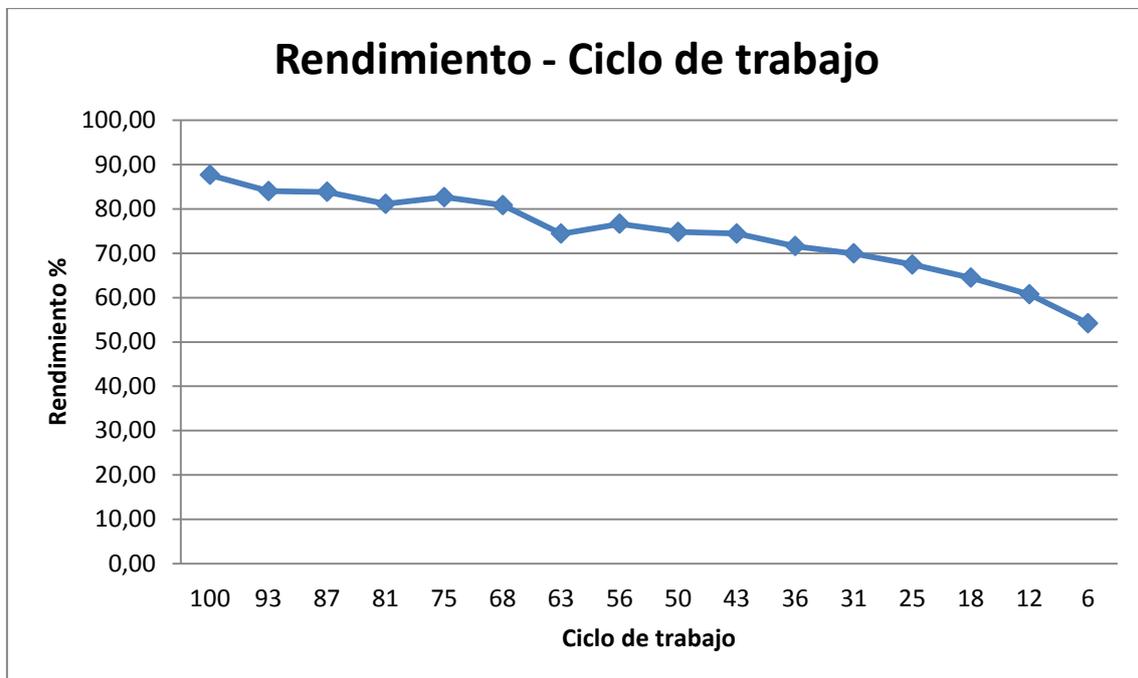


Figura 52; Rendimiento en modo ráfaga con 500Hz

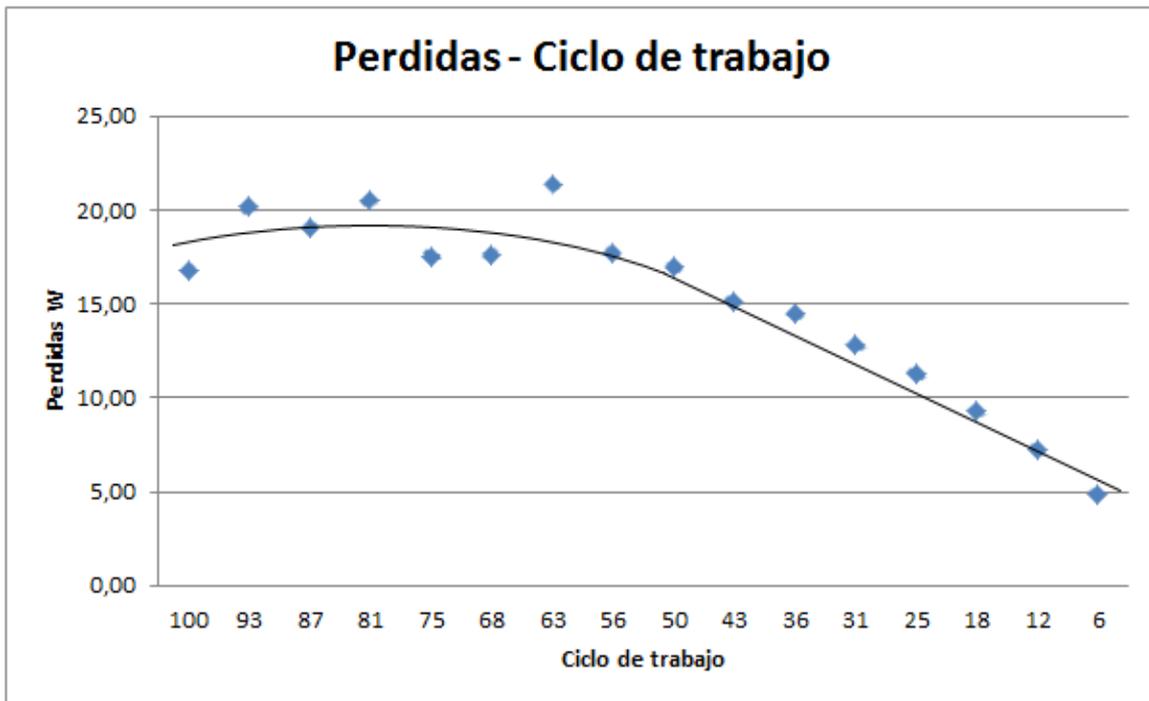


Figura 53; Pérdidas promedio en modo ráfaga con 500Hz

A continuación se mostrara el funcionamiento con las capturas del osciloscopio para este método de control variando su ciclo de trabajo según los valores de la tabla 20. Las dos señales superiores corresponden a las señales de control producidas por el PIC, de las dos de abajo la superior corresponderá a la tensión en el LED y la inferior a la intensidad que recorre el LED.

Para un ciclo de trabajo del 100%:

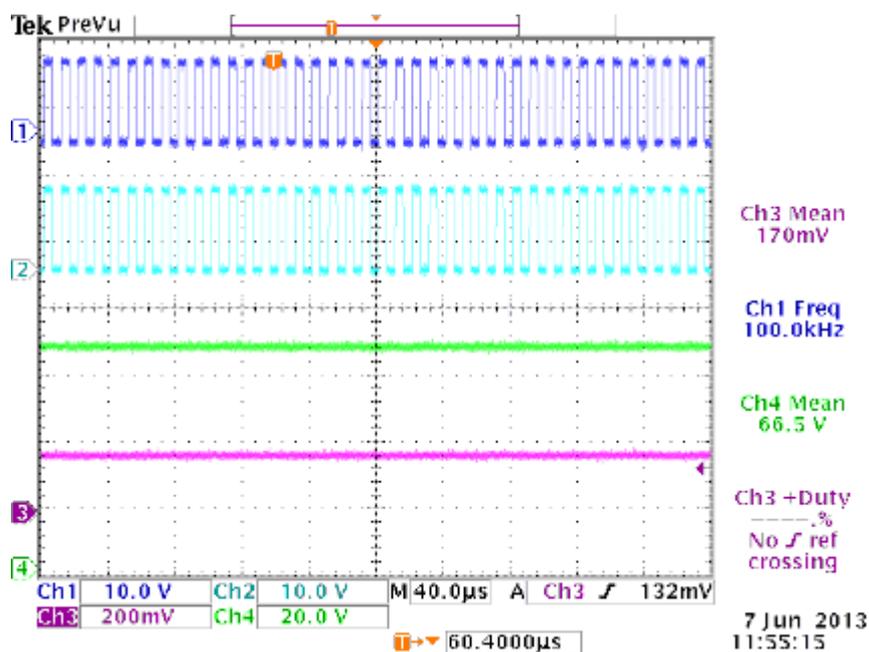


Figura 54; Ciclo de trabajo 100% modo ráfaga a 500Hz

Para un ciclo de trabajo del 93%:

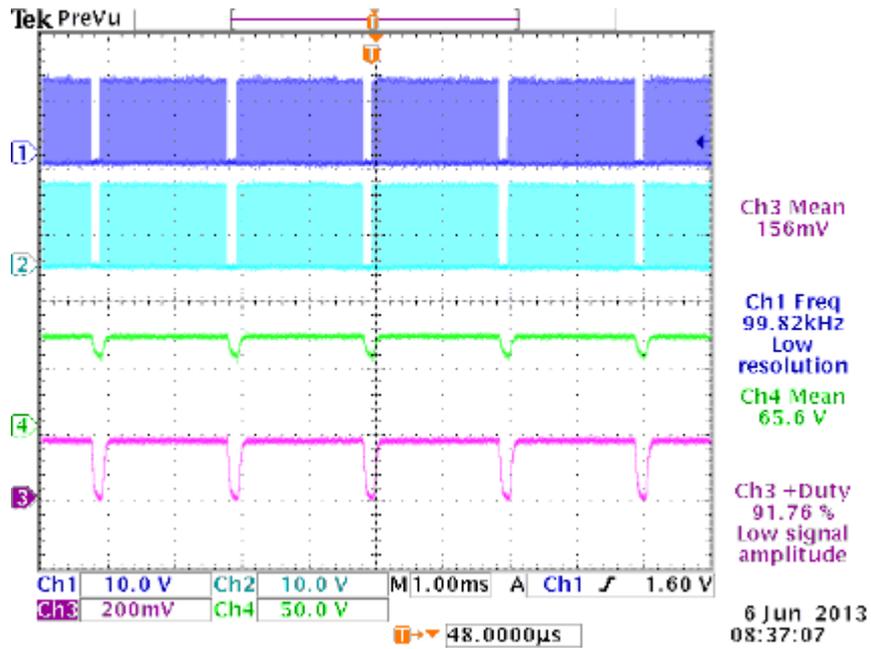


Figura 55; Ciclo de trabajo 93% modo ráfaga a 500Hz

Para un ciclo de trabajo del 87%:

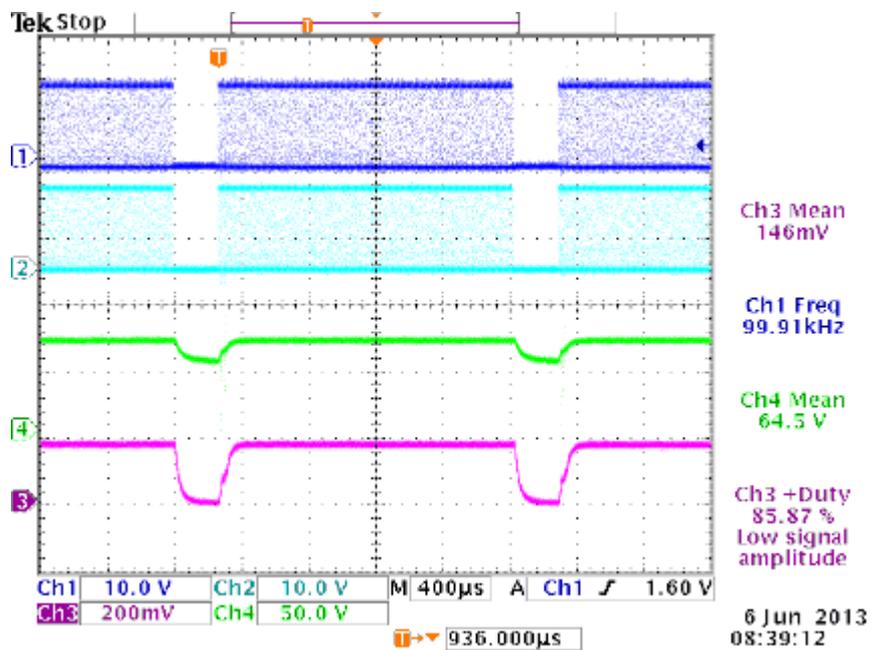


Figura 56; Ciclo de trabajo 87% modo ráfaga a 500Hz

Para un ciclo de trabajo del 81%:

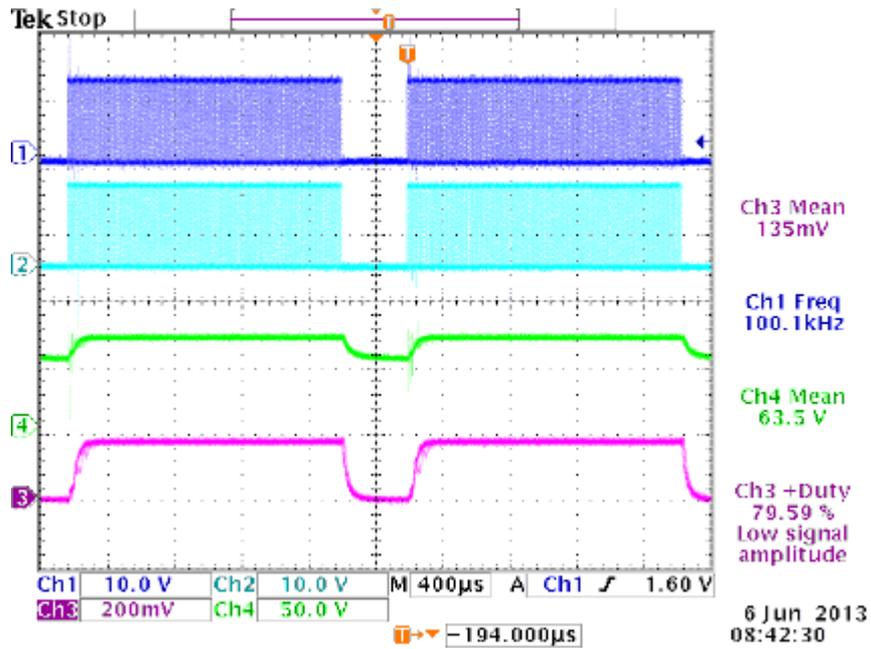


Figura 57; Ciclo de trabajo 81% modo ráfaga a 500Hz

Para un ciclo de trabajo del 75%:

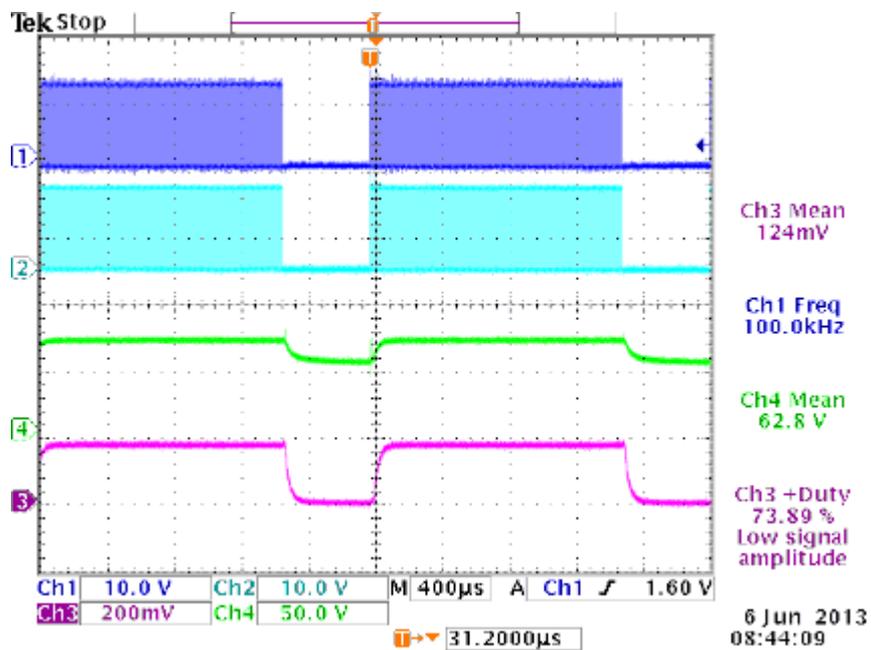


Figura 58; Ciclo de trabajo 75% modo ráfaga a 500Hz

Para un ciclo de trabajo del 68%:

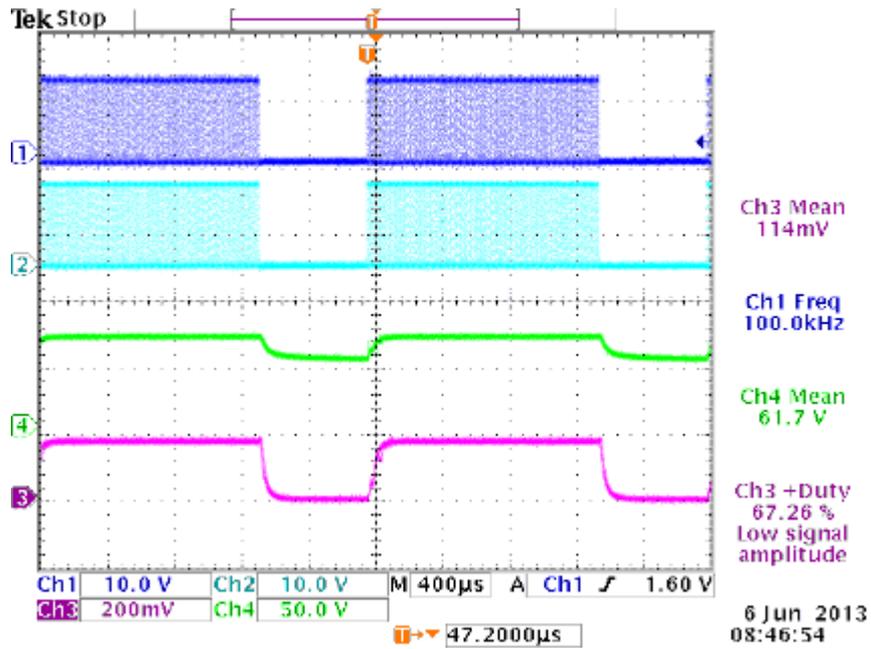


Figura 59; Ciclo de trabajo 68% modo ráfaga a 500Hz

Para un ciclo de trabajo del 62%:

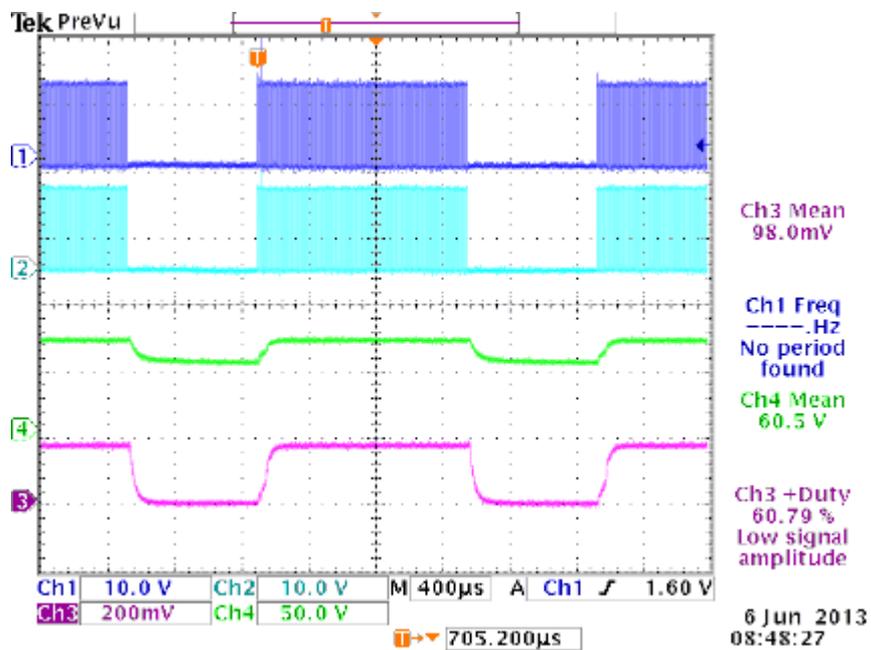


Figura 60; Ciclo de trabajo 62% modo ráfaga a 500Hz

Para un ciclo de trabajo del 56%:

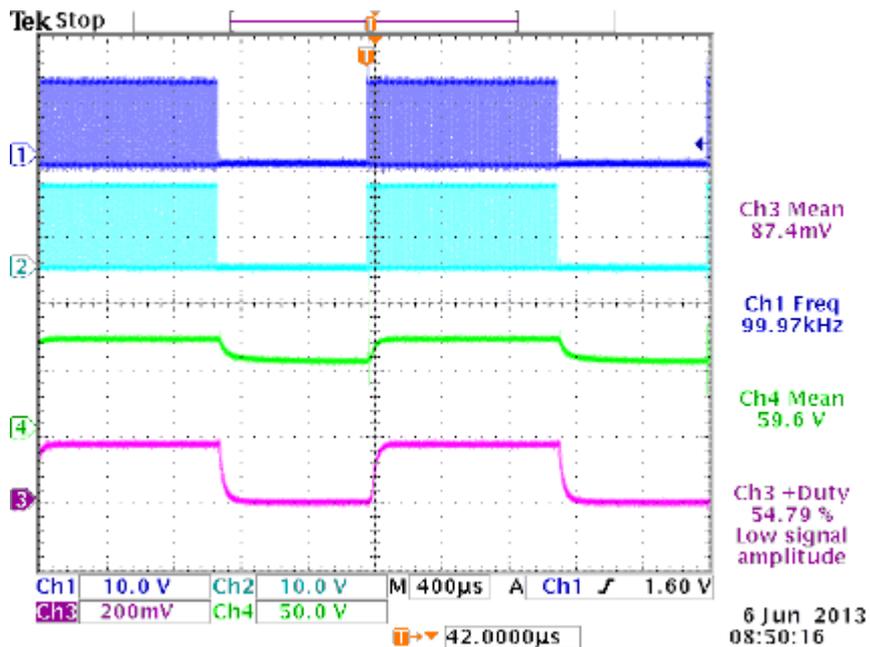


Figura 61; Ciclo de trabajo 56% modo ráfaga a 500Hz

Para un ciclo de trabajo del 50%:

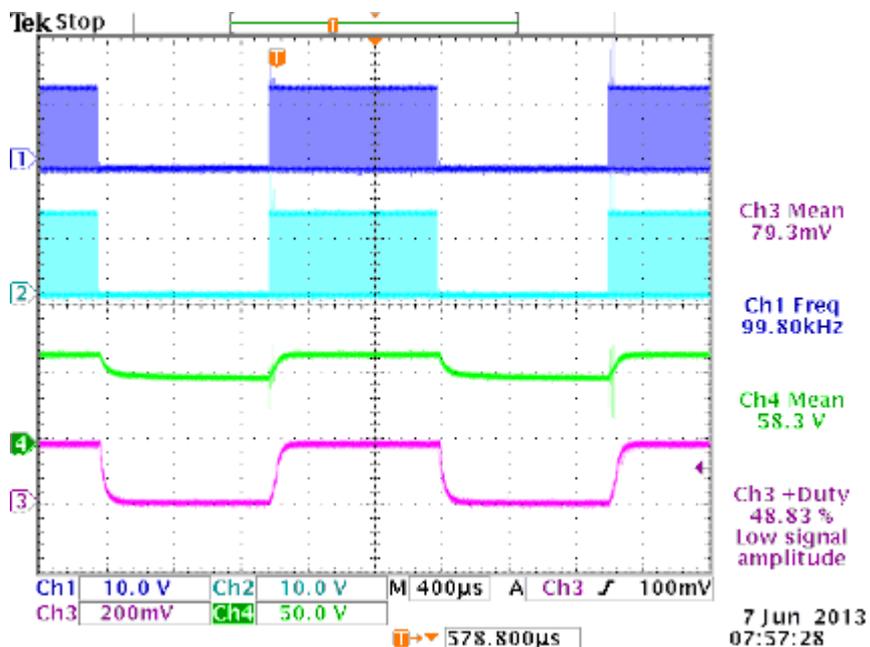


Figura 62; Ciclo de trabajo 50% modo ráfaga a 500Hz

Para un ciclo de trabajo del 43%:

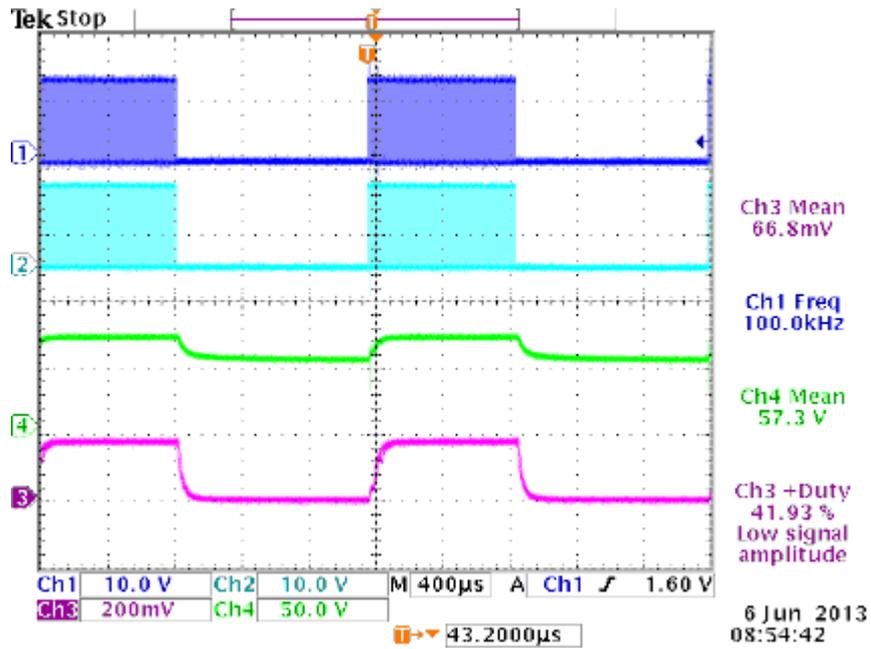


Figura 63; Ciclo de trabajo 43% modo ráfaga a 500Hz

Para un ciclo de trabajo del 37%:

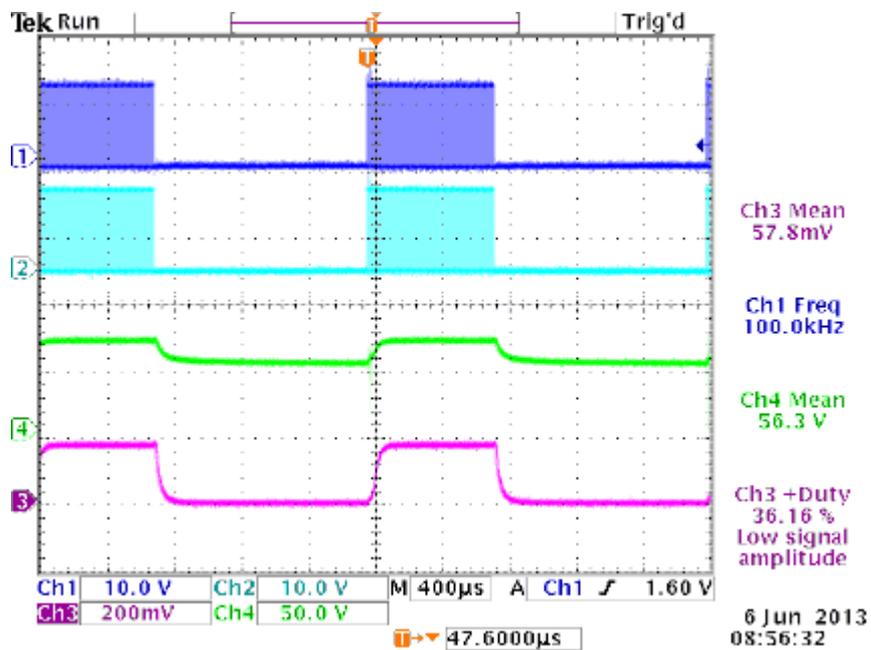


Figura 64; Ciclo de trabajo 37% modo ráfaga a 500Hz

Para un ciclo de trabajo del 31%:

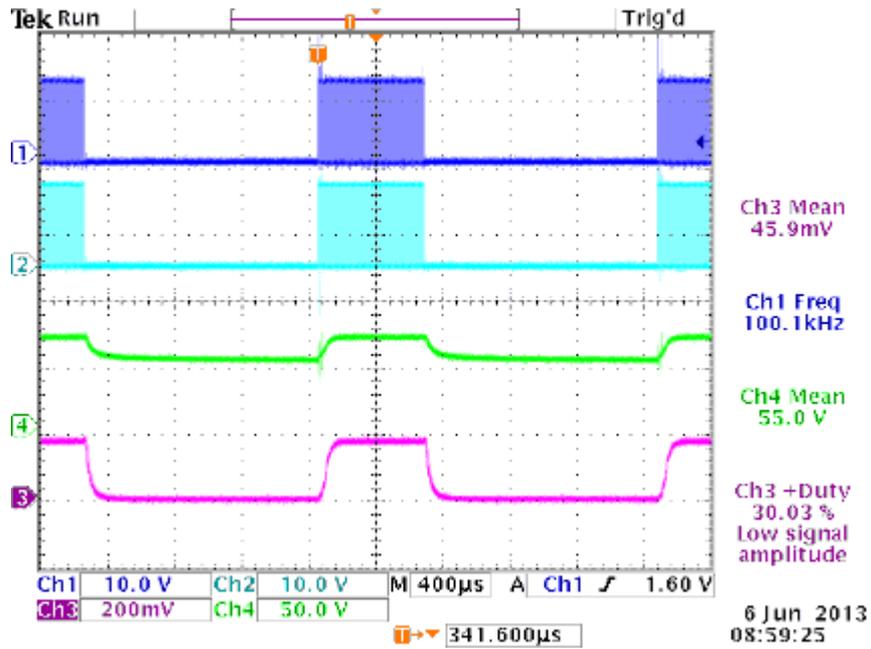


Figura 65; Ciclo de trabajo 31% modo ráfaga a 500Hz

Para un ciclo de trabajo del 25%:

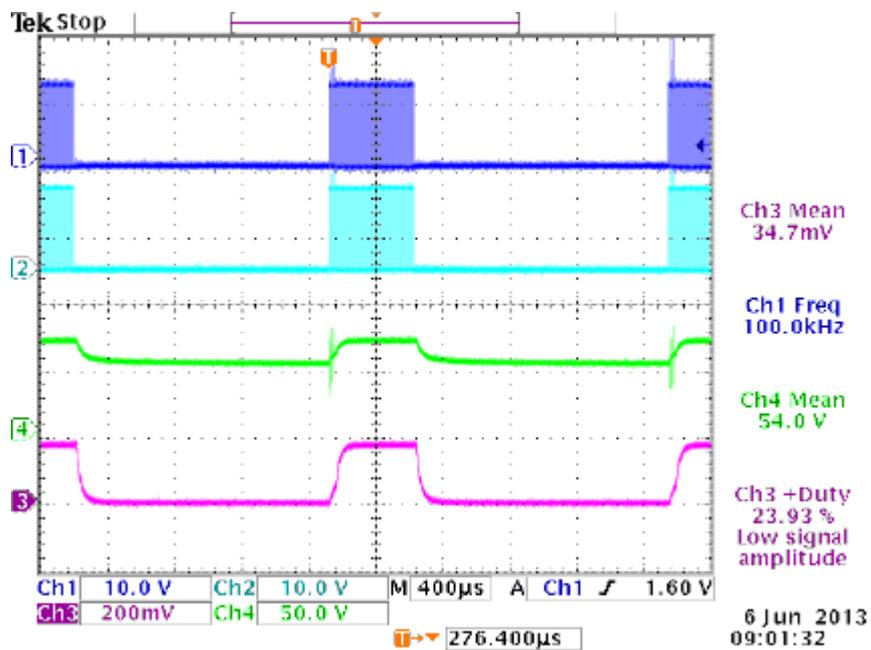


Figura 66; Ciclo de trabajo 25% modo ráfaga a 500Hz

Para un ciclo de trabajo del 18%:

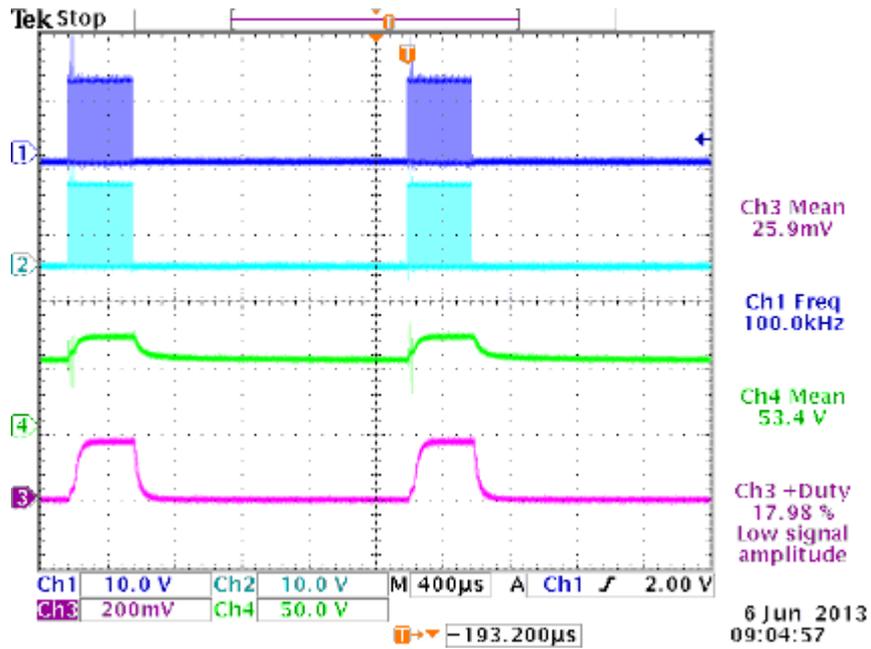


Figura 67; Ciclo de trabajo 18% modo ráfaga a 500Hz

Para un ciclo de trabajo del 12%:

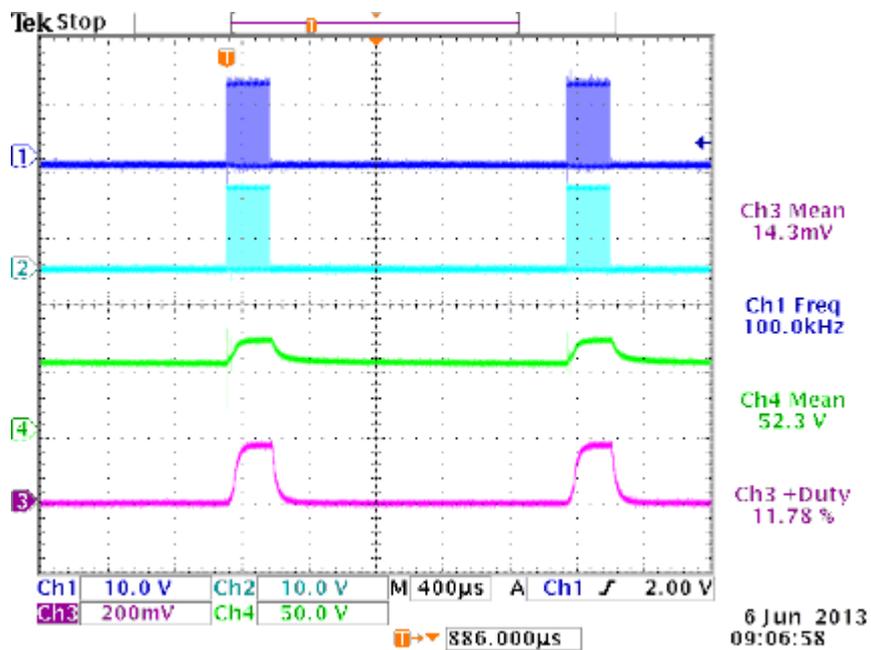


Figura 68; Ciclo de trabajo 12% modo ráfaga a 500Hz

Para un ciclo de trabajo del 6%:

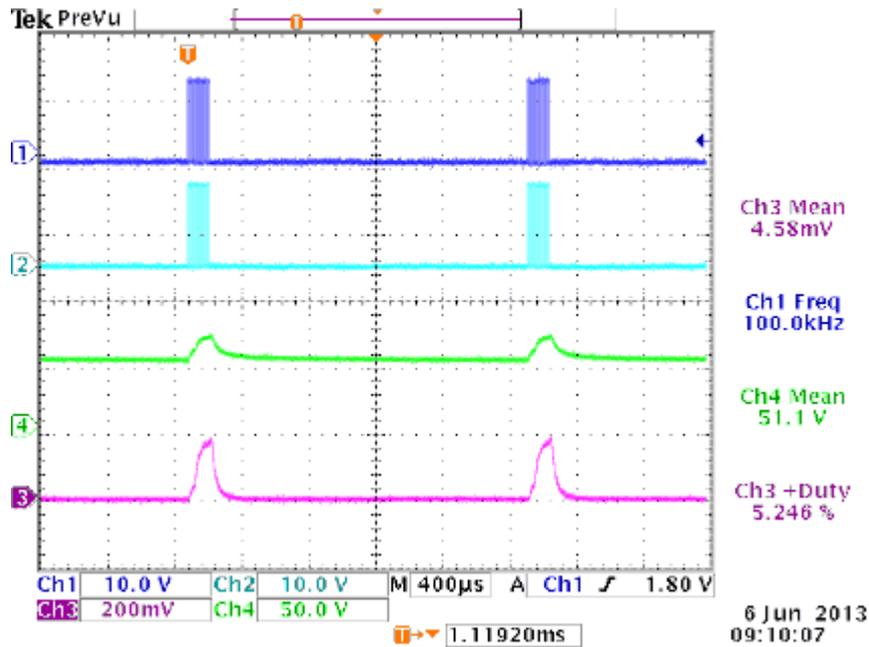


Figura 69; Ciclo de trabajo 6% modo ráfaga a 500Hz

Mas al detalle podemos observar en la siguiente captura de pantalla como se produce el cambio en las señales de control, pasando del estado de encendido a apagado. Como podemos ver, en este método encontramos más distorsión de lo normal, eso se produce por la brusquedad del cambio, lo que se intenta corregir con los otros métodos de control.

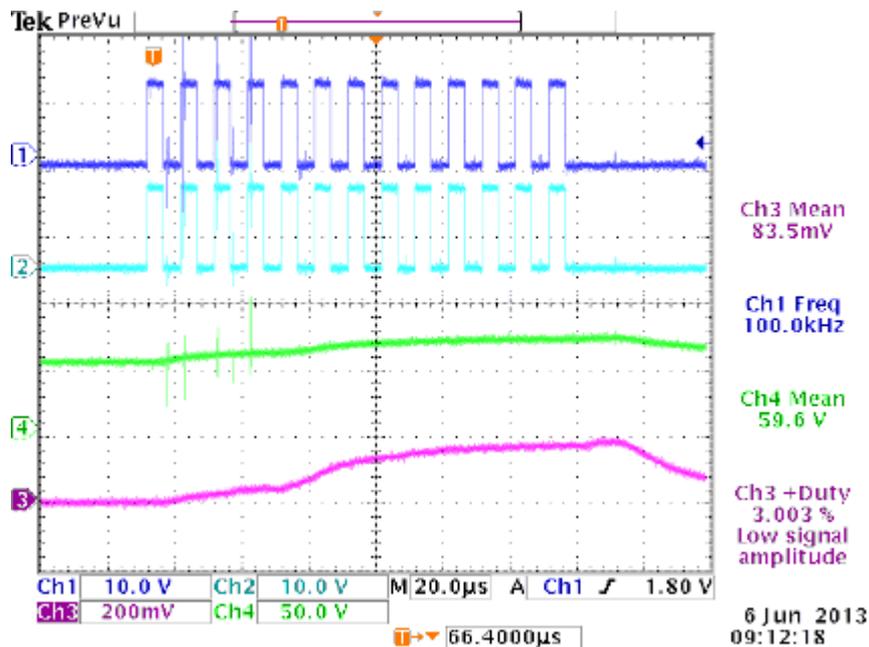


Figura 70; Detalle modo ráfaga a 500Hz

5.3- Control en modo ráfaga con frecuencia de 2000Hz

Los resultados obtenidos para el control en modo ráfaga son los siguientes:

Ciclo de trabajo %	Tensión de salida (V)	Intensidad de salida (A)	Potencia de salida (W)	Perdidas (W)	Potencia suministrada (W)	Rendimiento μ (%)
100	67,1	1,725	115,75	16,95	132,7	87,22
93	66,2	1,617	107,02	21,38	128,4	83,35
87	64,6	1,482	95,72	20,08	115,8	82,66
81	63,9	1,333	85,20	22,60	107,8	79,04
75	62,7	1,200	75,24	20,36	95,6	78,70
68	61,9	1,100	68,09	22,11	90,2	75,49
62	60,9	0,975	59,38	22,72	82,1	72,32
56	60	0,902	54,10	18,60	72,7	74,42
50	59,4	0,808	48,02	20,49	68,5	70,09
43	58,3	0,688	40,13	19,37	59,5	67,45
37	57,4	0,602	34,54	15,86	50,4	68,52
31	56,8	0,525	29,82	16,78	46,6	63,99
25	55,7	0,416	23,16	13,34	36,5	63,46
18	54,3	0,282	15,29	10,71	26	58,83
12	53,9	0,232	12,49	8,51	21	59,46
6	53	0,142	7,51	9,09	16,6	45,23

Tabla 21; Medidas en modo ráfaga con 2000Hz

Observamos como las medidas de potencia de salida y rendimiento disminuyen según el ciclo de trabajo manteniendo una proporción bastante constante por el camino (figuras 71 y 72).

Podemos ver en la capturas echas con el osciloscopio cómo funciona el control dependiendo del ciclo de trabajo y como los valores del osciloscopio son bastante consistentes con los medidos en el laboratorio. A su vez podemos ver cómo se comporta la tensión y la intensidad que pasa por la matriz LED. Para esta frecuencia de 2000Hz se espera una clara mejoría en la distorsión, así como del ruido producido por la lámpara para ciclos de trabajo menores.

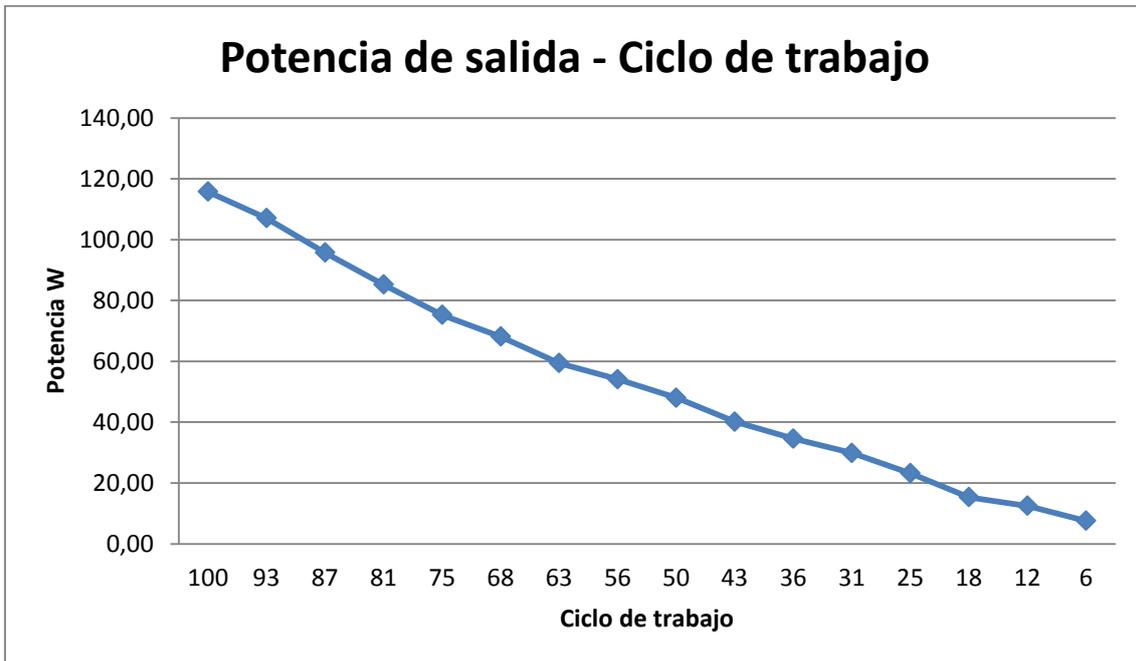


Figura 71; Potencia de salida en modo ráfaga con 2000Hz

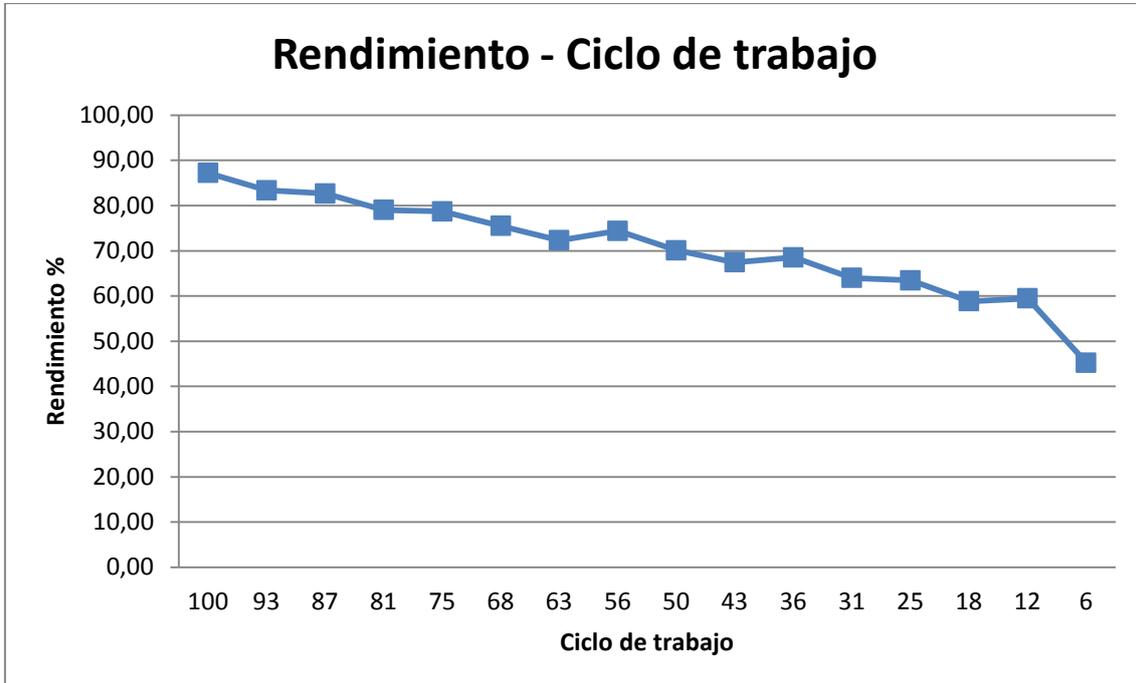


Figura 72; Rendimiento en modo ráfaga con 2000Hz

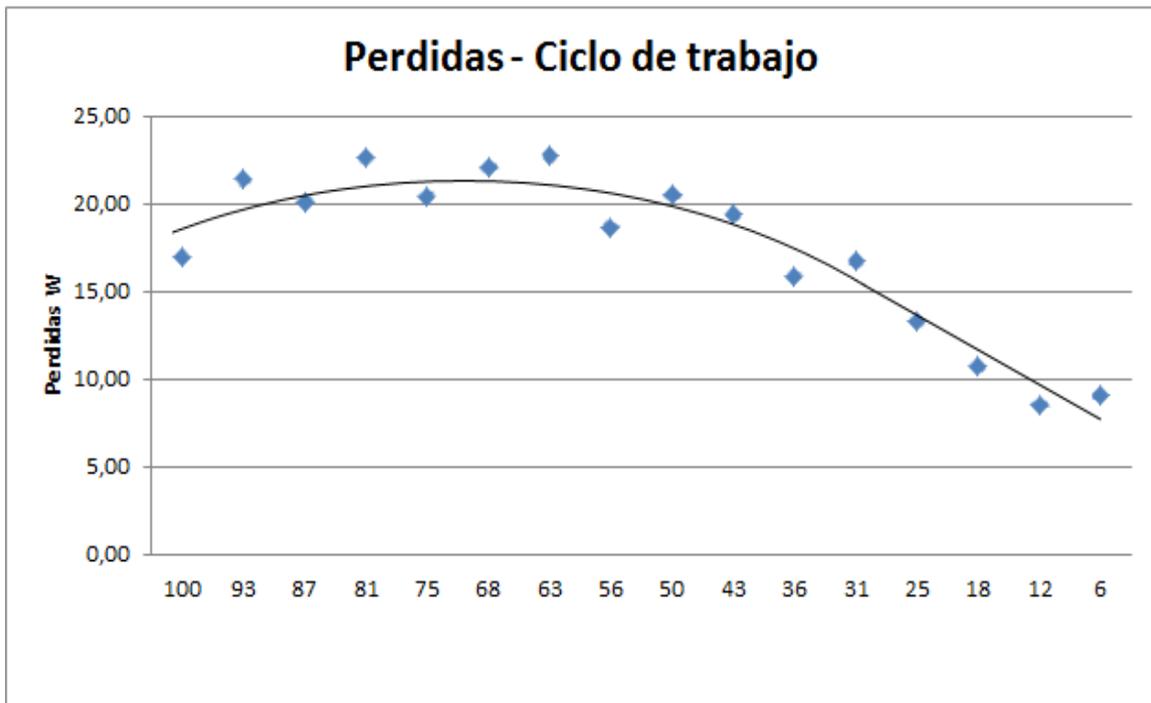


Figura 73; Pérdidas promedio en modo ráfaga con 2000Hz

A continuación se mostrara el funcionamiento con las capturas del osciloscopio para este método de control variando su ciclo de trabajo según los valores de la tabla 21. Las dos señales superiores corresponden a las señales de control producidas por el PIC, de las dos de abajo la superior corresponderá a la tensión en el LED y la inferior a la intensidad que recorre el LED.

Para un ciclo de trabajo del 100%:

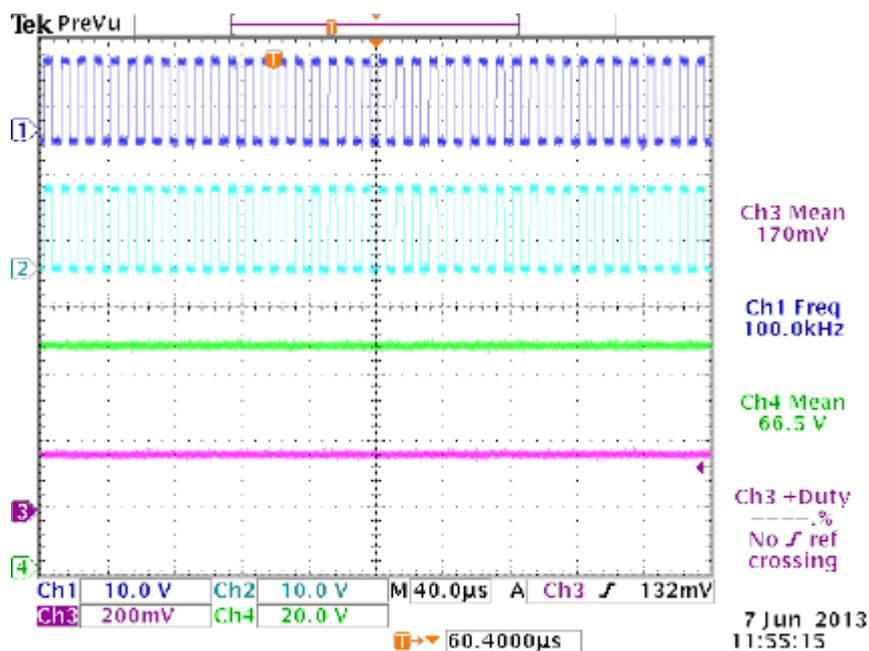


Figura 74; Ciclo de trabajo 100% en modo ráfaga con 2000Hz

Para un ciclo de trabajo del 97%:

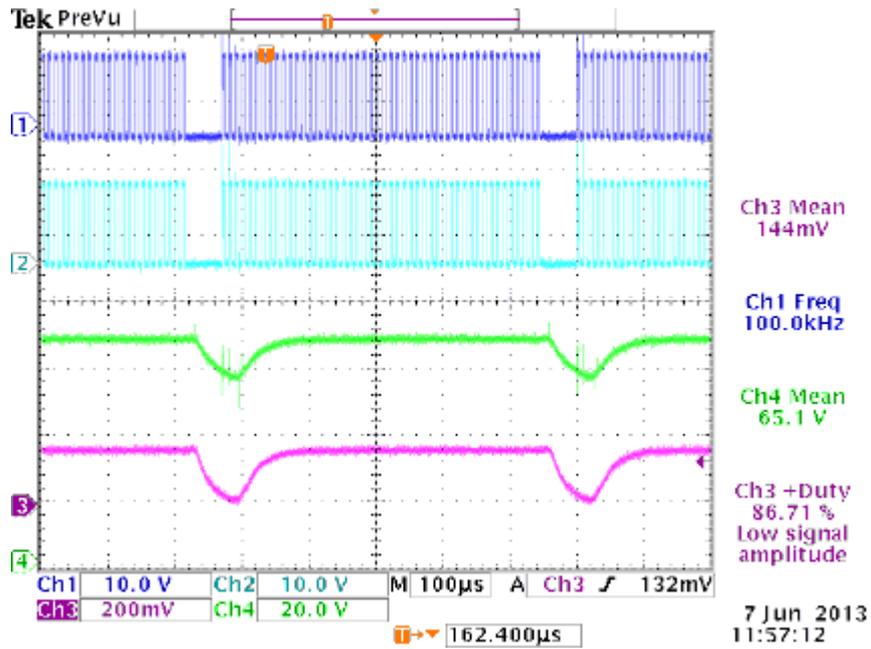


Figura 75; Ciclo de trabajo 93% en modo ráfaga con 2000Hz

Para un ciclo de trabajo del 87%:

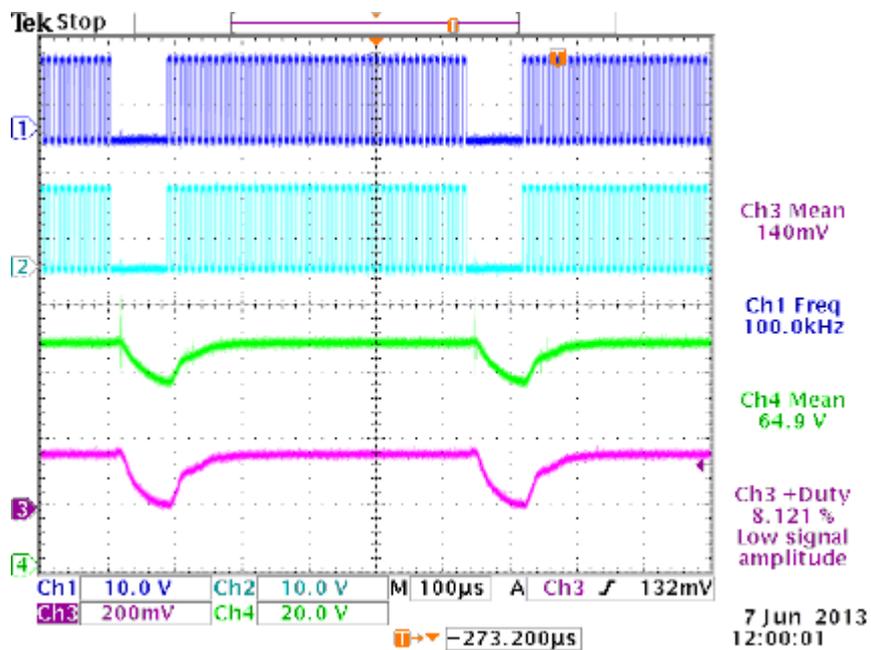


Figura 76; Ciclo de trabajo 87% en modo ráfaga con 2000Hz

Para un ciclo de trabajo del 81%:

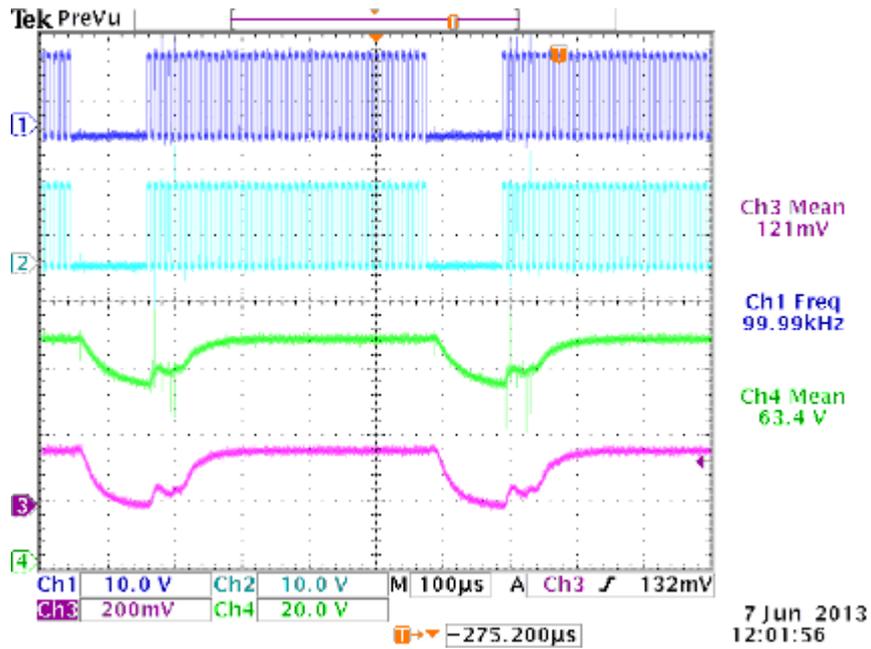


Figura 77; Ciclo de trabajo 81% en modo ráfaga con 2000Hz

Para un ciclo de trabajo del 75%:

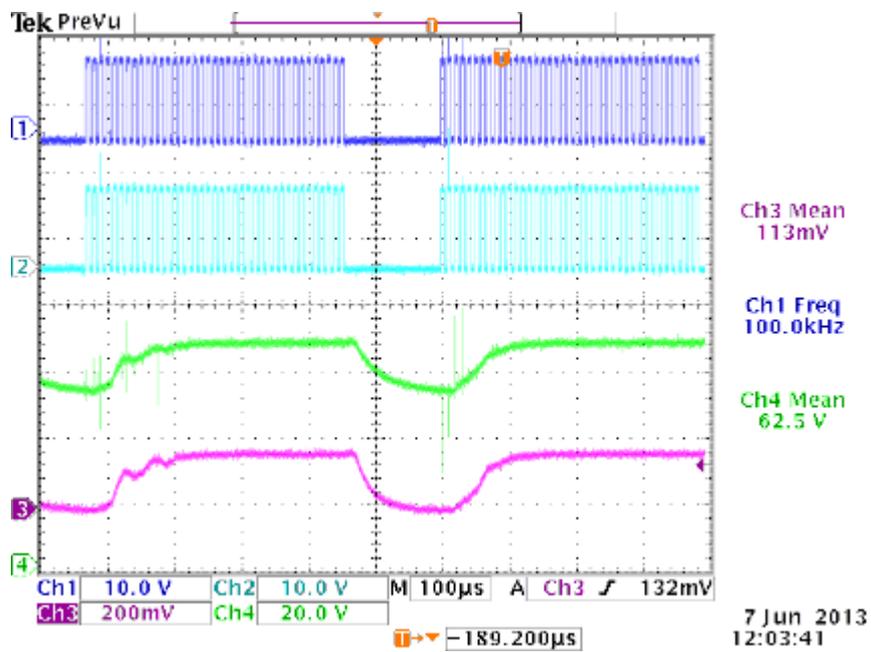


Figura 78; Ciclo de trabajo 75% en modo ráfaga con 2000Hz

Para un ciclo de trabajo del 68%:

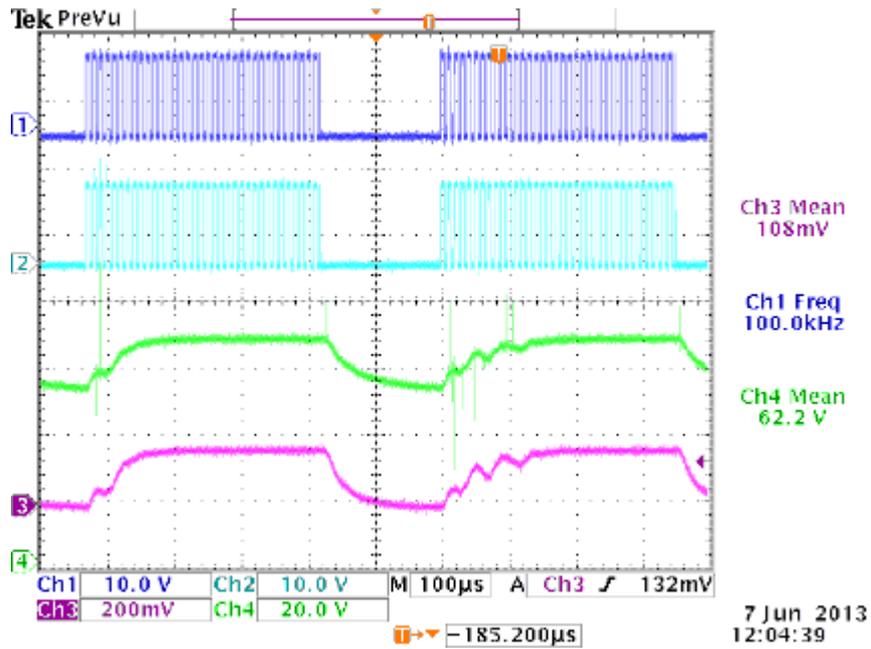


Figura 79; Ciclo de trabajo 68% en modo ráfaga con 2000Hz

Para un ciclo de trabajo del 62%:

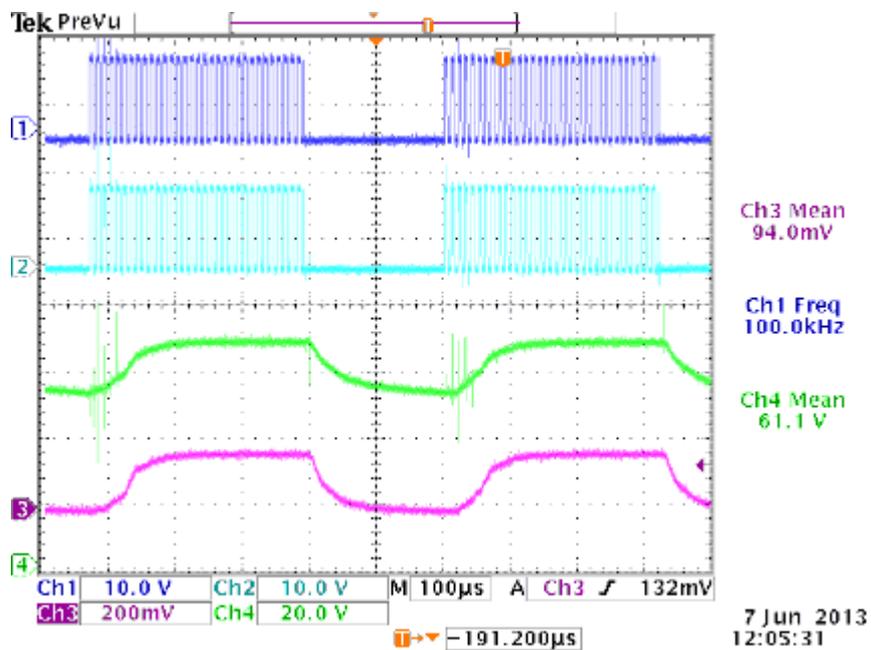


Figura 80; Ciclo de trabajo 62% en modo ráfaga con 2000Hz

Para un ciclo de trabajo del 56%:

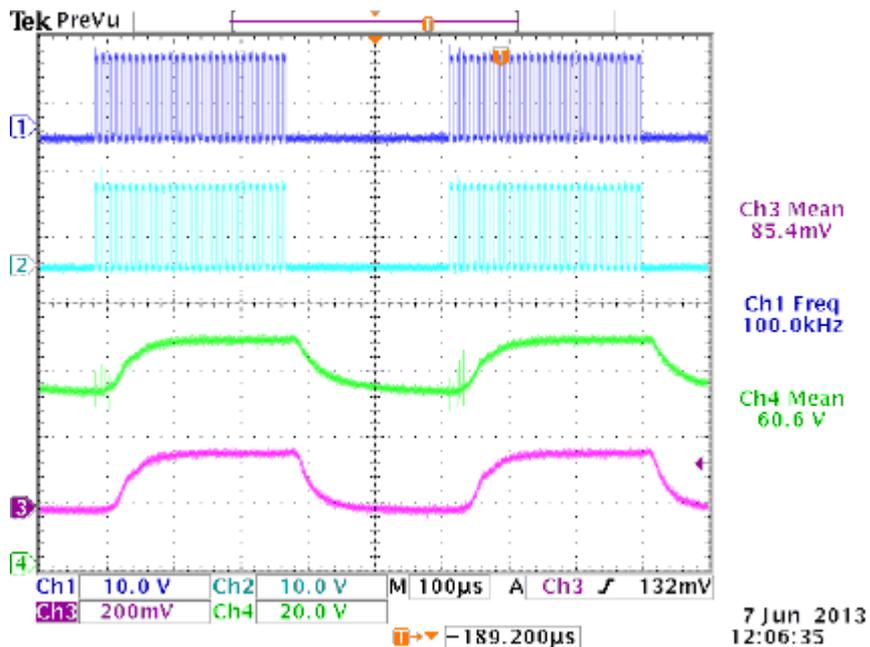


Figura 81; Ciclo de trabajo 56% en modo ráfaga con 2000Hz

Para un ciclo de trabajo del 50%:

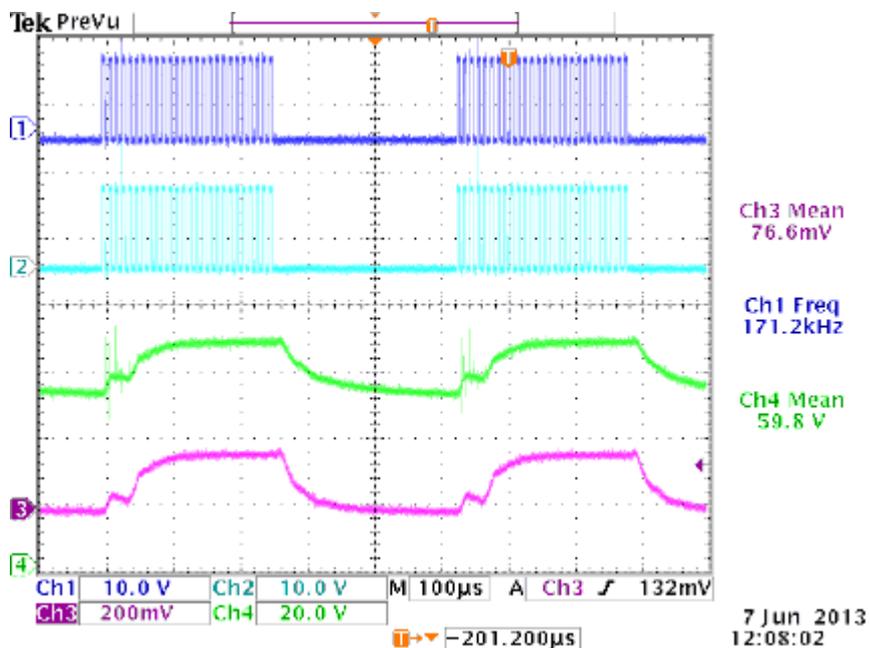


Figura 82; Ciclo de trabajo 50% en modo ráfaga con 2000Hz

Para un ciclo de trabajo del 43%:

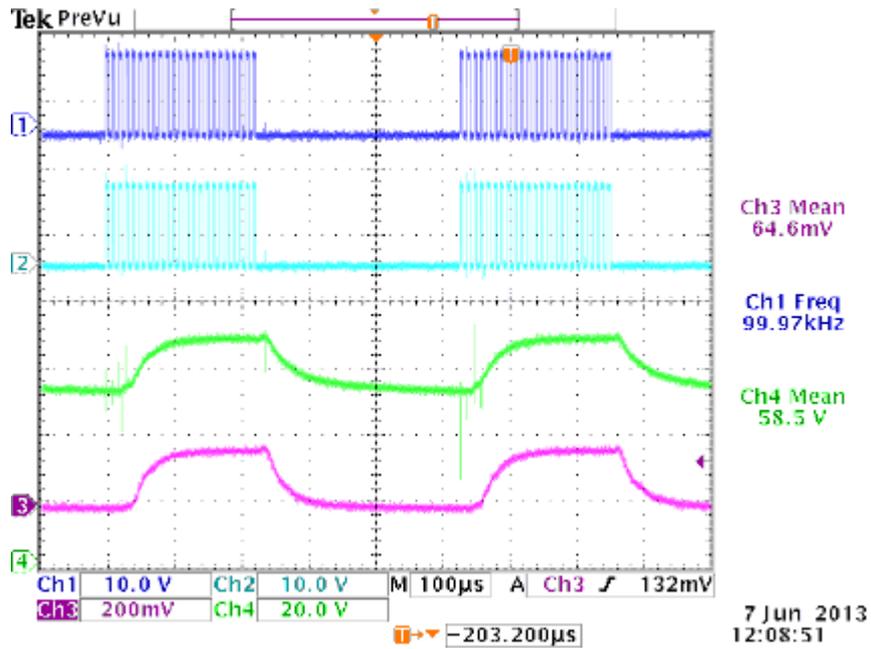


Figura 83; Ciclo de trabajo 43% en modo ráfaga con 2000Hz

Para un ciclo de trabajo del 37%:

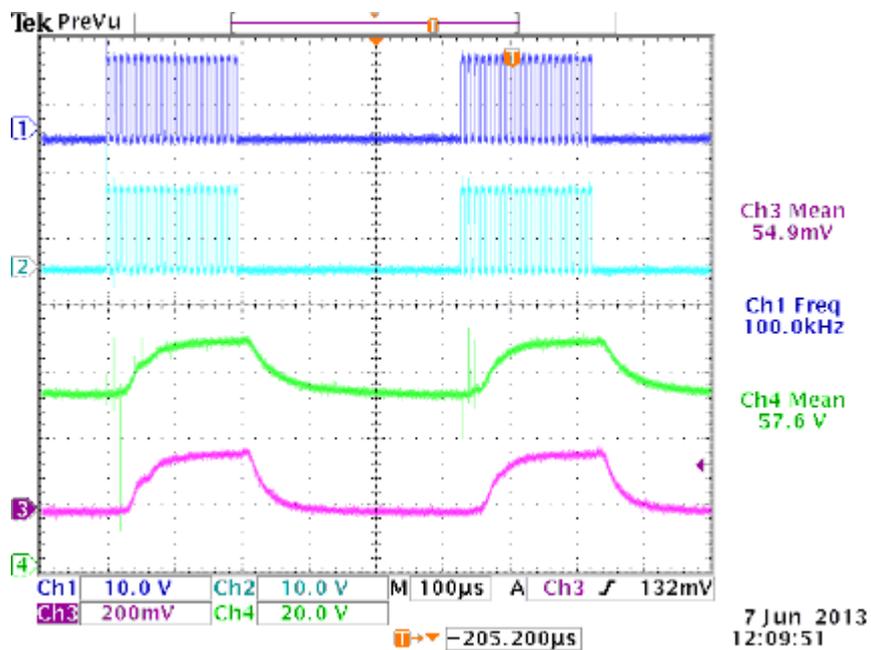


Figura 84; Ciclo de trabajo 37% en modo ráfaga con 2000Hz

Para un ciclo de trabajo del 31%:

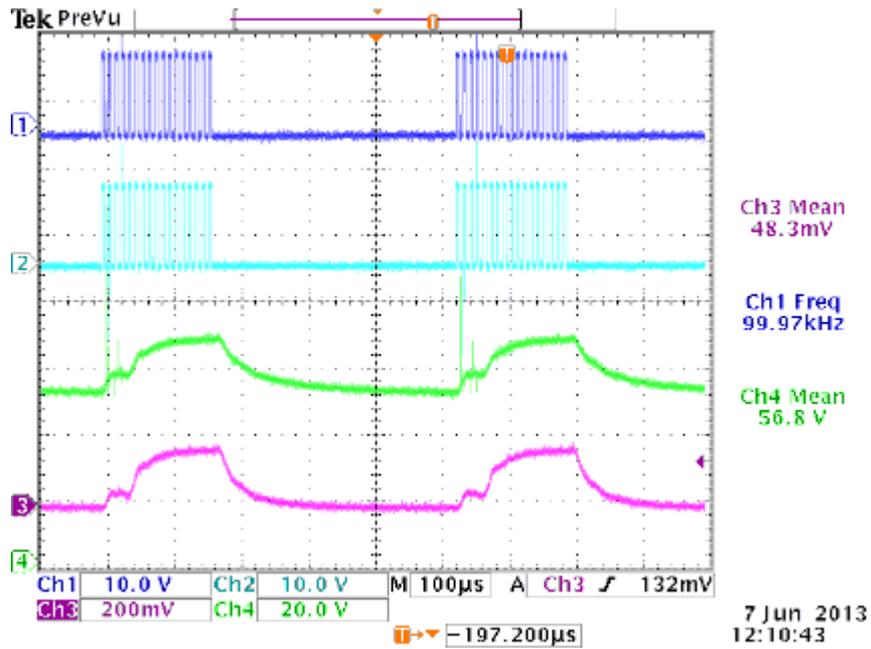


Figura 85; Ciclo de trabajo 31% en modo ráfaga con 2000Hz

Para un ciclo de trabajo del 25%:

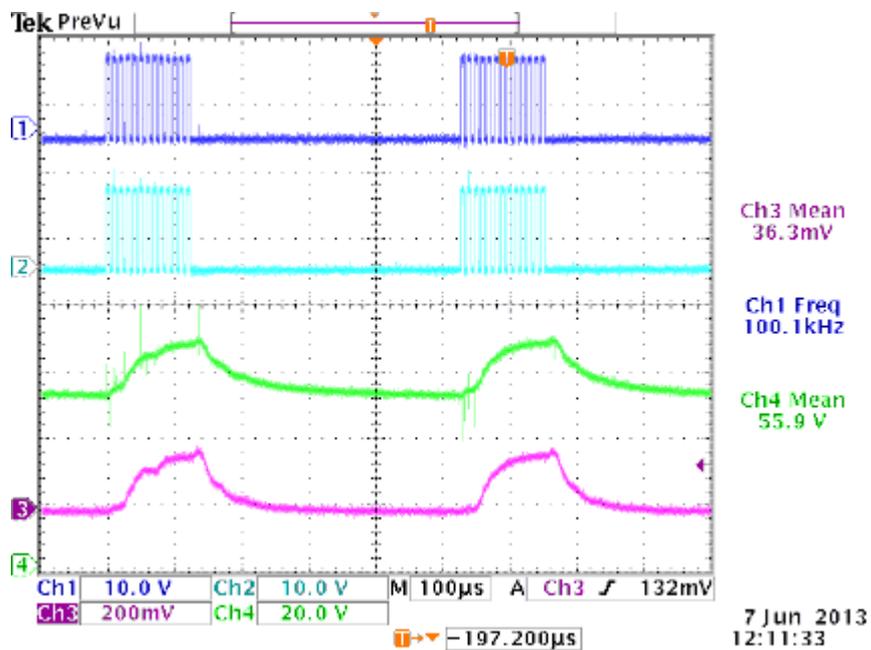


Figura 86; Ciclo de trabajo 25% en modo ráfaga con 2000Hz

Para un ciclo de trabajo del 18%:

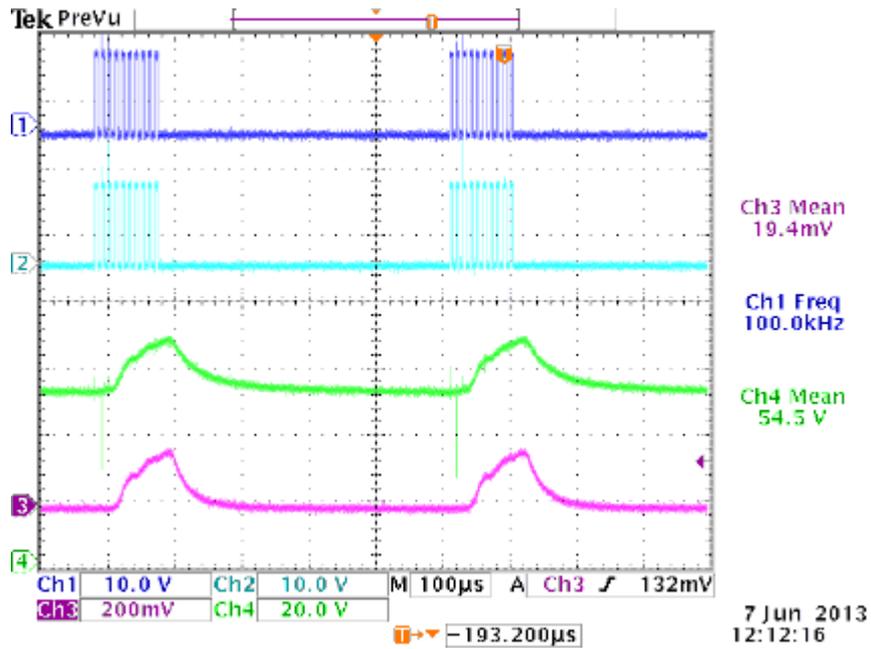


Figura 87; Ciclo de trabajo 18% en modo ráfaga con 2000Hz

Para un ciclo de trabajo del 12%:

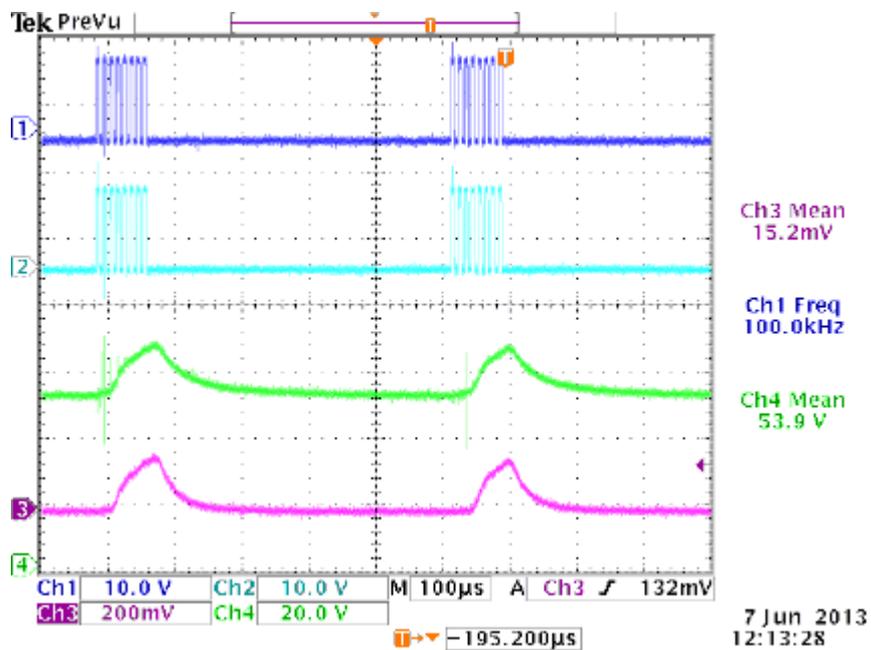


Figura 88; Ciclo de trabajo 12% en modo ráfaga con 2000Hz

Para un ciclo de trabajo del 6%:

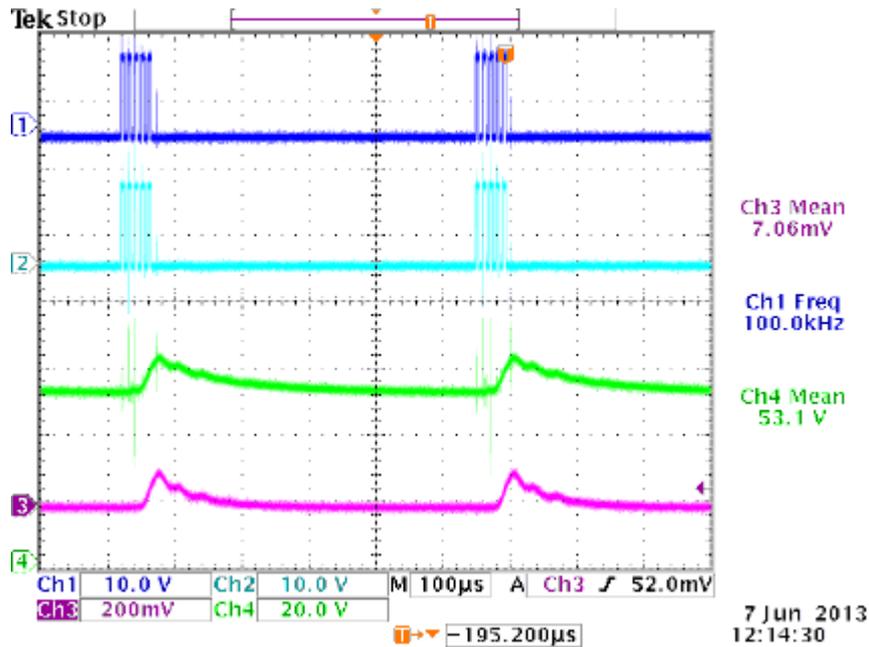


Figura 89; Ciclo de trabajo 6% en modo ráfaga con 2000Hz

Como podemos ver, en este método encontramos más distorsión de lo normal, eso se produce por la brusquedad del cambio, lo que se intentara corregir con los otros métodos de control. Aun así a efectos prácticos el sonido producido, a bajos ciclos de trabajo, por la lámpara LED se reduce notablemente con respecto a cuándo se trabaja a la frecuencia de 500Hz, aunque como hemos dicho más arriba la distorsión que se observa en el osciloscopio aumenta.

5.4- Control fase-ráfaga con 50us de desfase

Los resultados obtenidos para el control de fase-ráfaga son los siguientes:

Ciclo de trabajo %	Tensión de salida (V)	Intensidad de salida (A)	Potencia de salida (W)	Perdidas (W)	Potencia suministrada (W)	Rendimiento μ (%)
100	67,5	1,767	119,25	15,95	135,2	88,20
93	66,6	1,667	111,00	15,10	126,1	88,03
87	65,8	1,525	100,35	17,56	117,9	85,11
81	64,7	1,408	91,12	21,68	112,8	80,78
75	63,6	1,298	82,57	20,23	102,8	80,32
68	62,6	1,183	74,08	19,22	93,3	79,40
62	61,6	1,075	66,22	20,48	86,7	76,38
56	60,5	0,983	59,49	19,11	78,6	75,69
50	59,4	0,878	52,12	17,18	69,3	75,21
43	58,4	0,760	44,38	18,22	62,6	70,90
37	57,3	0,653	37,39	15,71	53,1	70,41
31	56,2	0,551	30,96	13,94	44,9	68,95
25	55,1	0,443	24,43	12,17	36,6	66,74
18	54,1	0,337	18,21	10,69	28,9	63,02
12	53	0,227	12,01	8,19	20,2	59,47
6	51,9	0,120	6,23	5,97	12,2	51,05

Tabla 22; Medidas en modo fase-ráfaga con 50us de desfase

Observamos como las medidas de potencia de salida y rendimiento disminuyen según el ciclo de trabajo manteniendo una proporción bastante constante por el camino (figuras 90 y 91).

Podemos ver en la capturas echas con el osciloscopio cómo funciona el control dependiendo del ciclo de trabajo y como los valores del osciloscopio son bastante consistentes con los medidos en el laboratorio. A su vez podemos ver cómo se comporta la tensión y la intensidad que pasa por la matriz LED.

En este método nos tenemos que fijar sobre todo en el cambio de ON-OFF con la señal desfasada y si se produce distorsión en la señal. El rendimiento del circuito parece algo mejor que con los métodos anteriores aunque no son valores demasiado concluyentes.

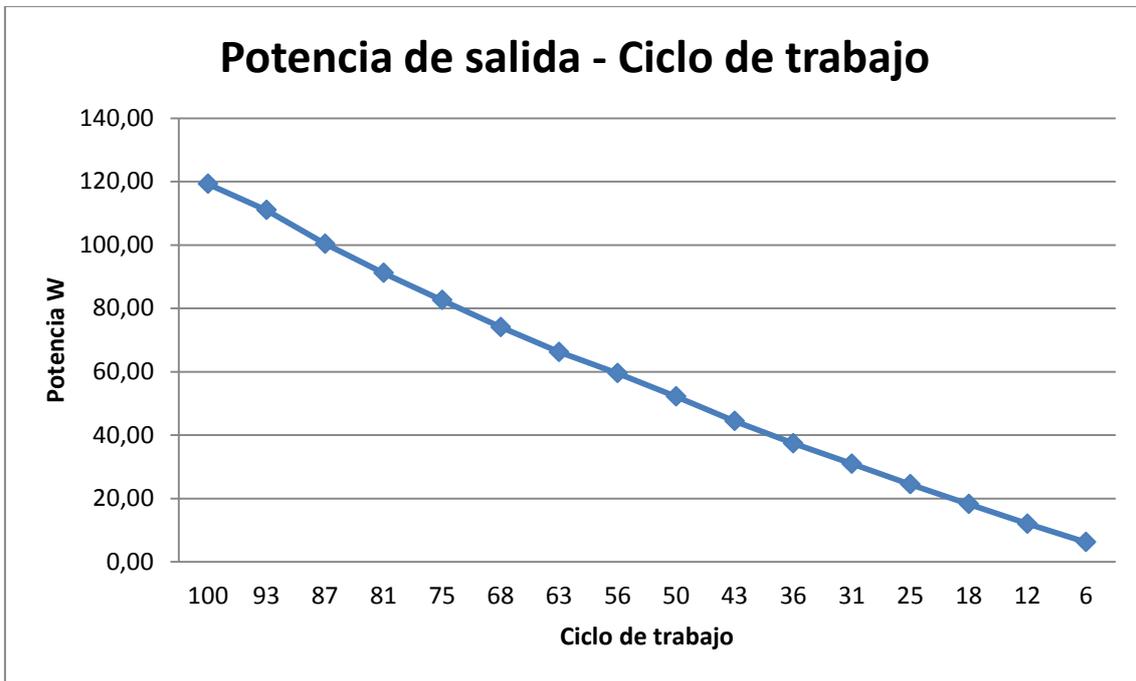


Figura 90; Potencia de salida en modo fase ráfaga con desfase de 50us

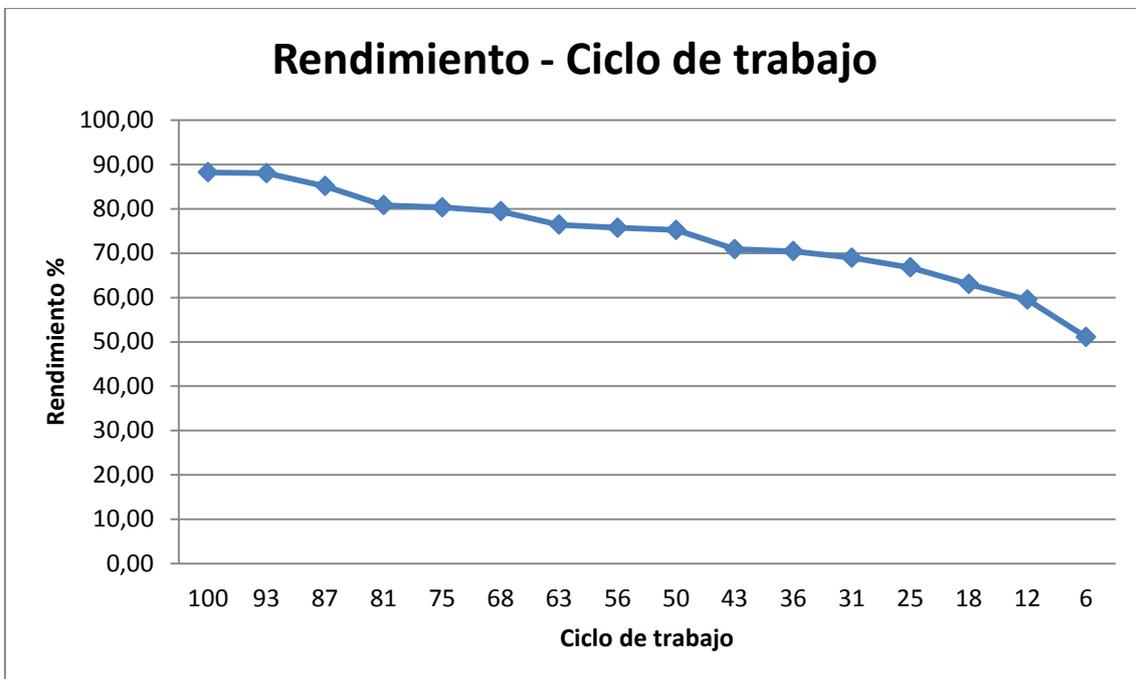


Figura 91; Rendimiento en modo fase ráfaga con desfase de 50us

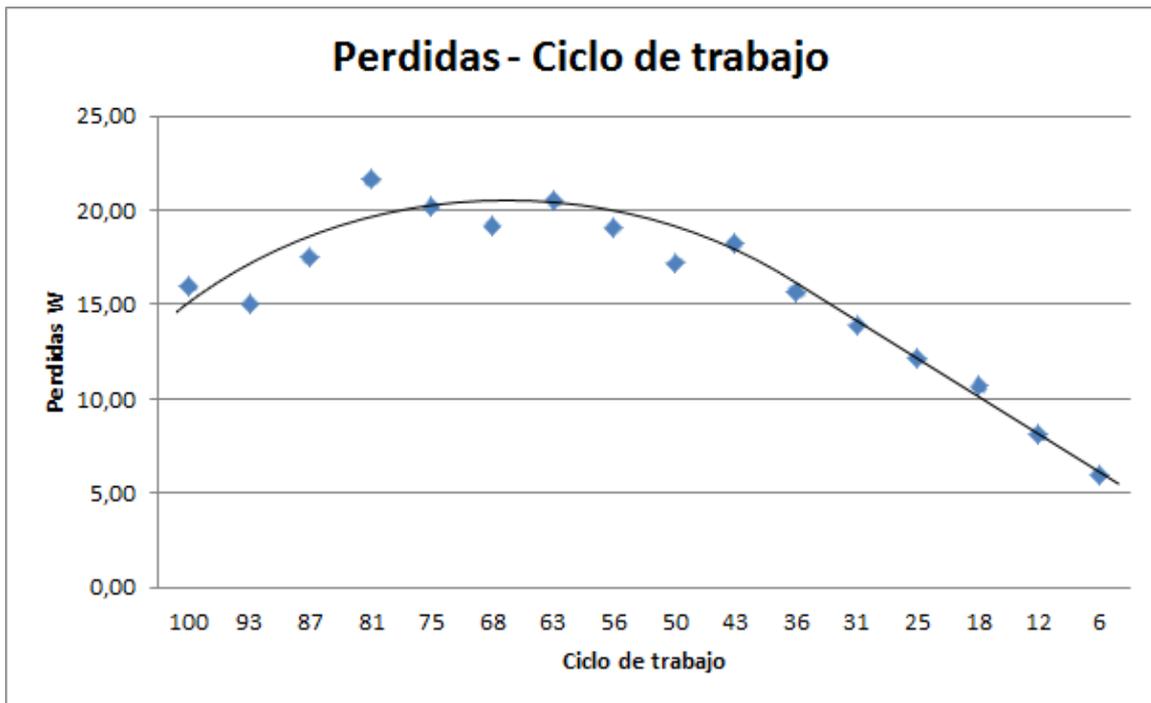


Figura 92; Pérdidas promedio en modo fase ráfaga con desfase de 50us

A continuación se mostrara el funcionamiento con las capturas del osciloscopio para este método de control variando su ciclo de trabajo según los valores de la tabla 22. Las dos señales superiores corresponden a las señales de control producidas por el PIC, de las dos de abajo la superior corresponderá a la tensión en el LED y la inferior a la intensidad que recorre el LED

Para un ciclo de trabajo del 100%:

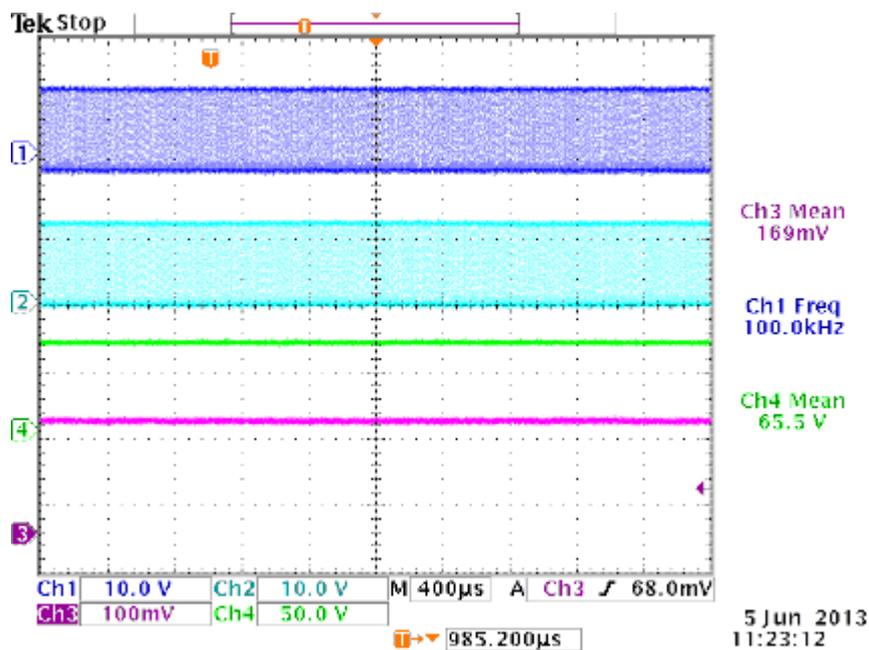


Figura 93; Ciclo de trabajo 100% en modo fase-ráfaga con 50us de desfase

Para un ciclo de trabajo del 93%:

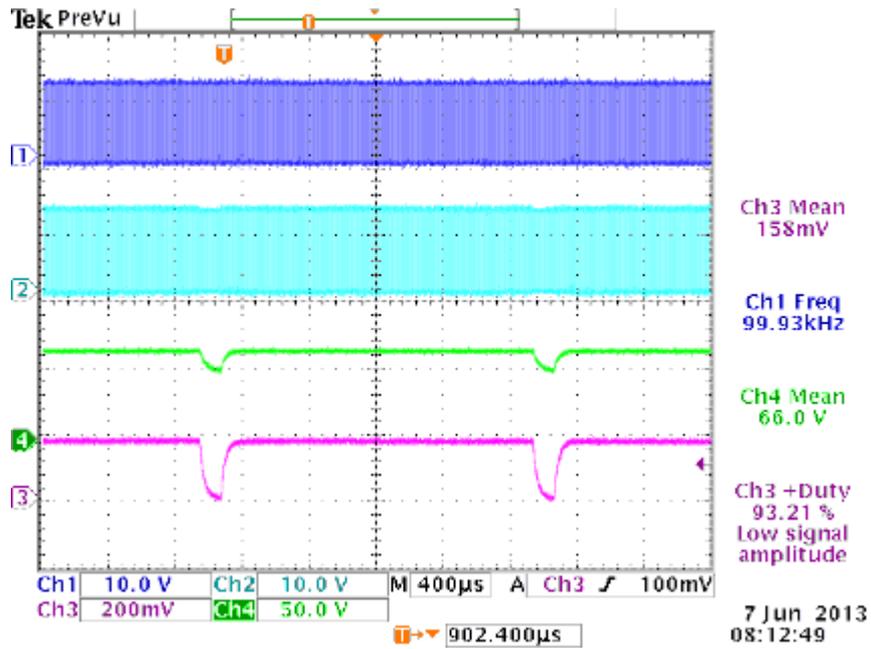


Figura 94; Ciclo de trabajo 93% en modo fase-ráfaga con 50us de desfase

Para un ciclo de trabajo del 87%:

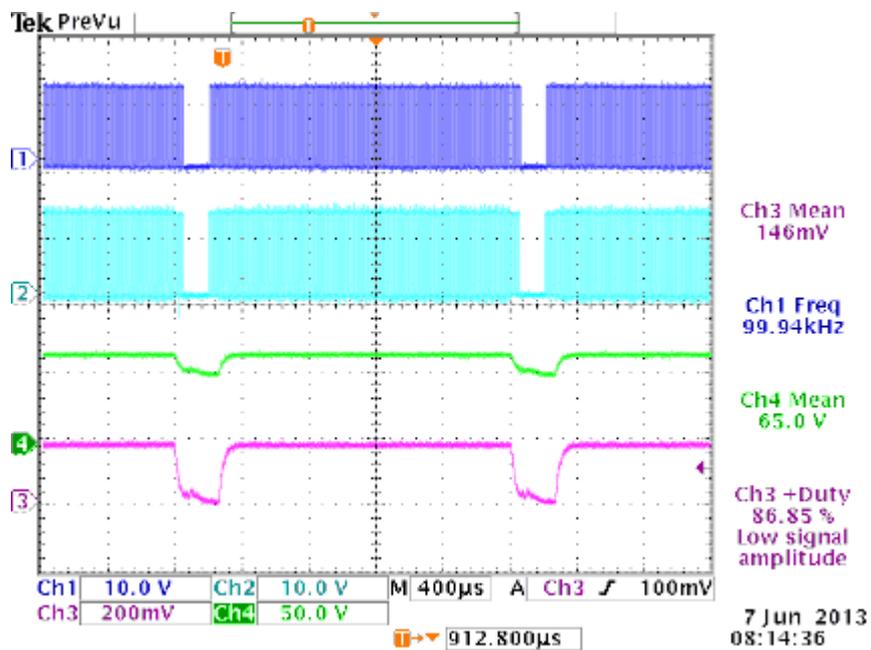


Figura 95; Ciclo de trabajo 87% en modo fase-ráfaga con 50us de desfase

Para un ciclo de trabajo del 68%:

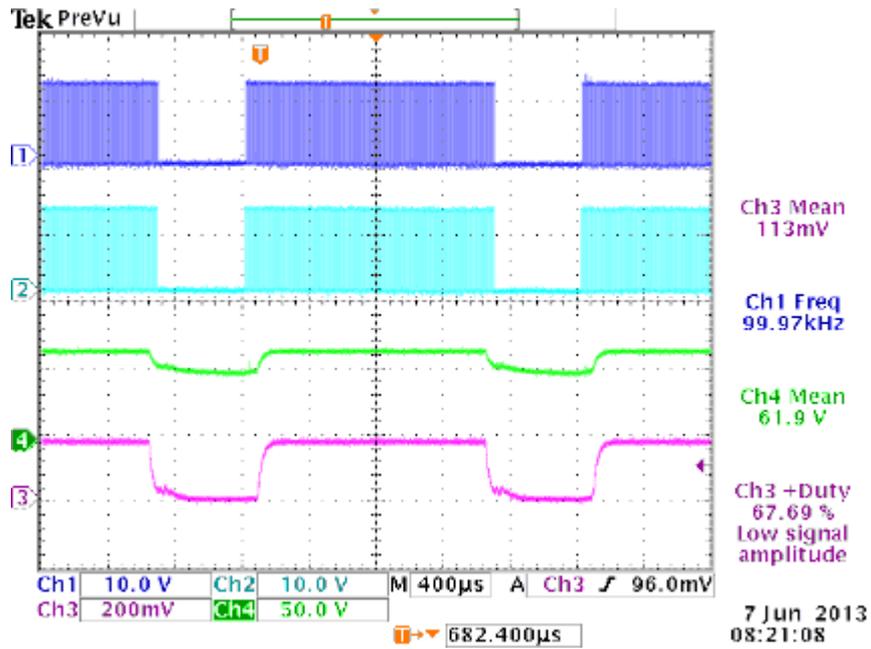


Figura 98; Ciclo de trabajo 68% en modo fase-ráfaga con 50us de desfase

Para un ciclo de trabajo del 62%:

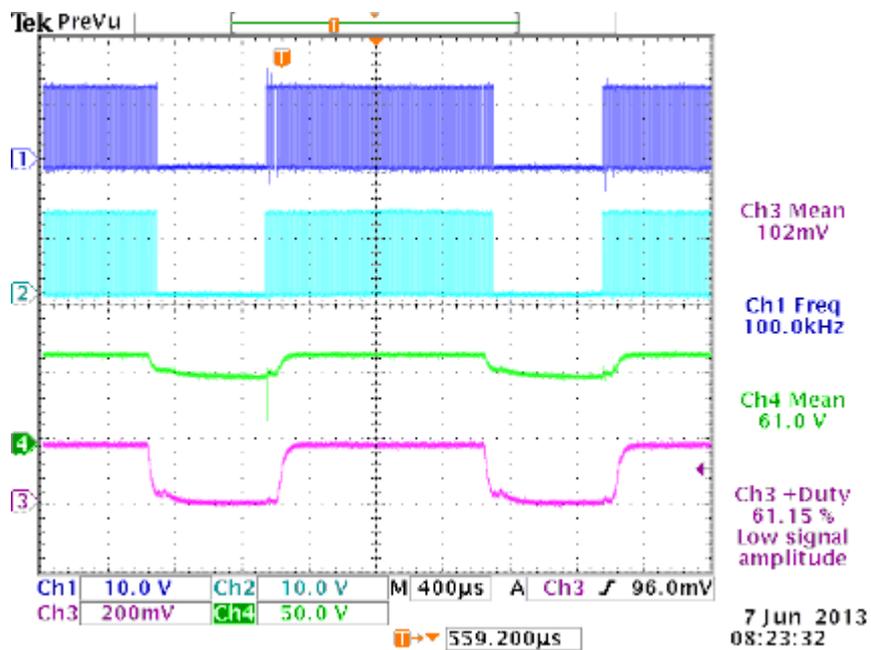


Figura 99; Ciclo de trabajo 62% en modo fase-ráfaga con 50us de desfase

Para un ciclo de trabajo del 56%:

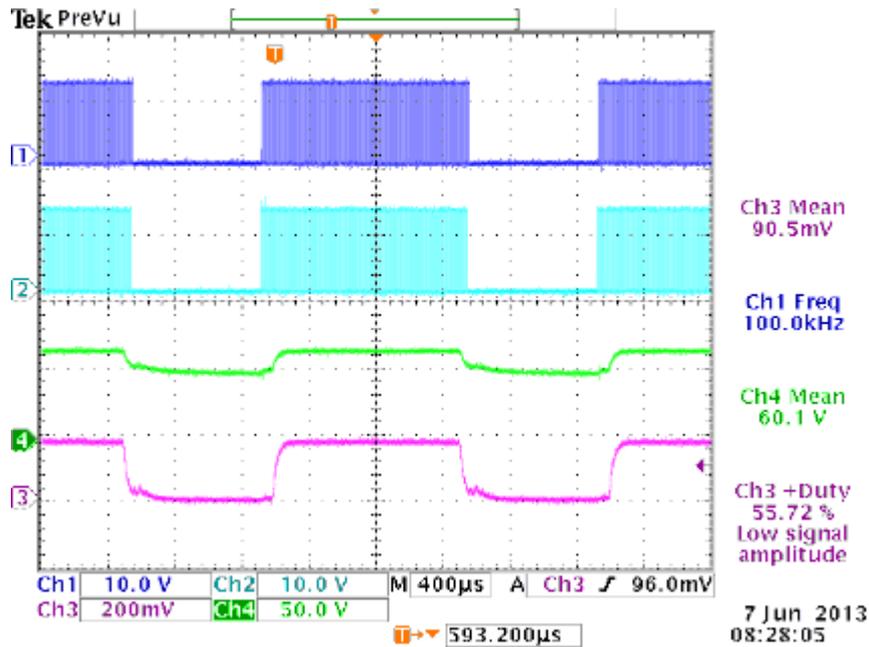


Figura 100; Ciclo de trabajo 56% en modo fase-ráfaga con 50us de desfase

Para un ciclo de trabajo del 50%:

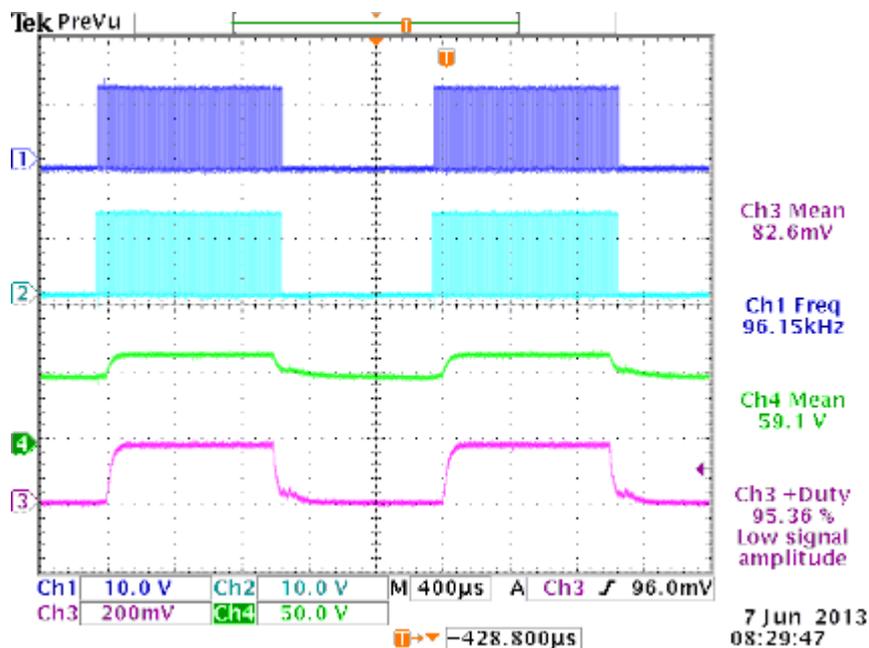


Figura 101; Ciclo de trabajo 50% en modo fase-ráfaga con 50us de desfase

Para un ciclo de trabajo del 43%:

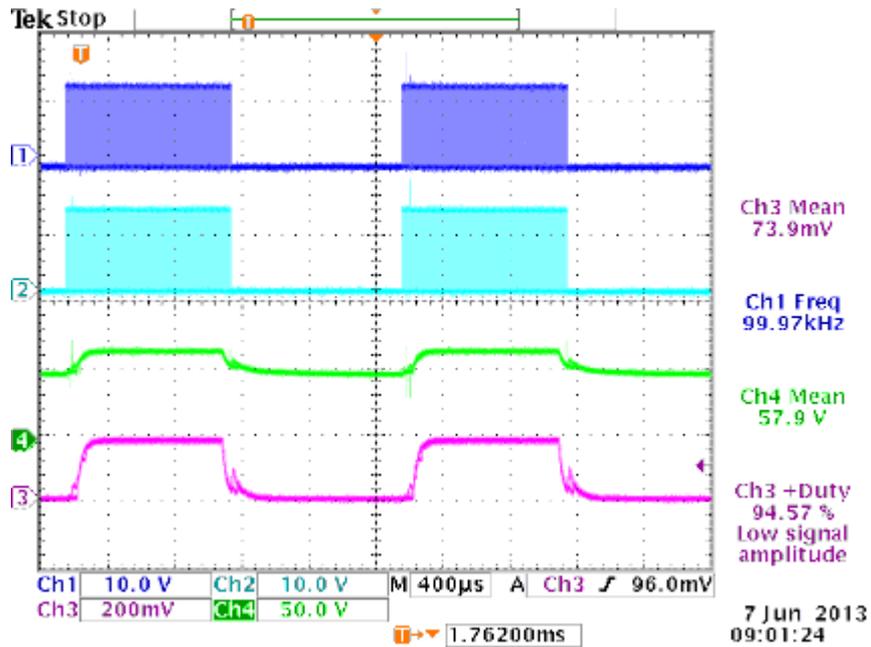


Figura 102; Ciclo de trabajo 43% en modo fase-ráfaga con 50us de desfase

Para un ciclo de trabajo del 37%:

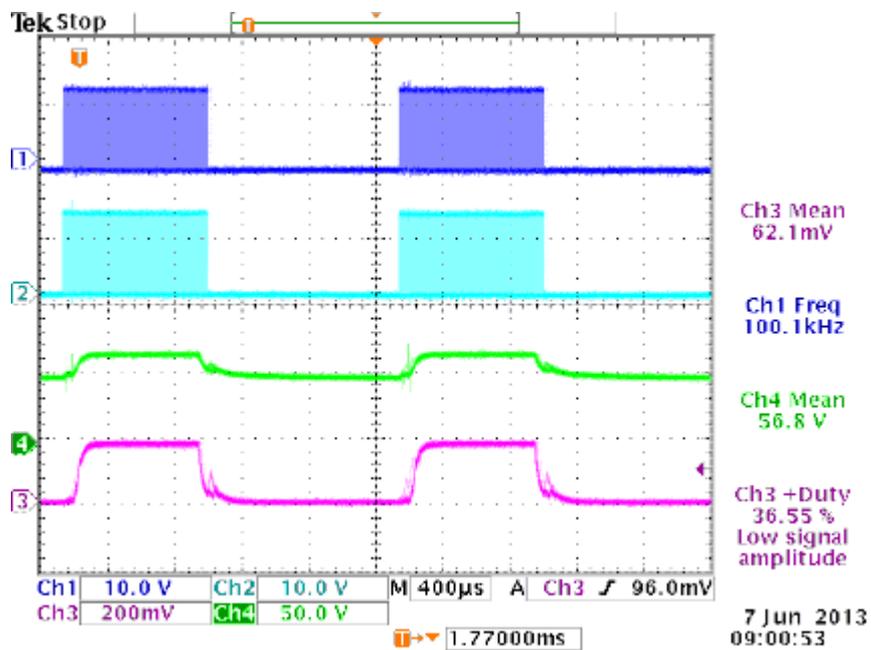


Figura 103; Ciclo de trabajo 37% en modo fase-ráfaga con 50us de desfase

Para un ciclo de trabajo del 31%:

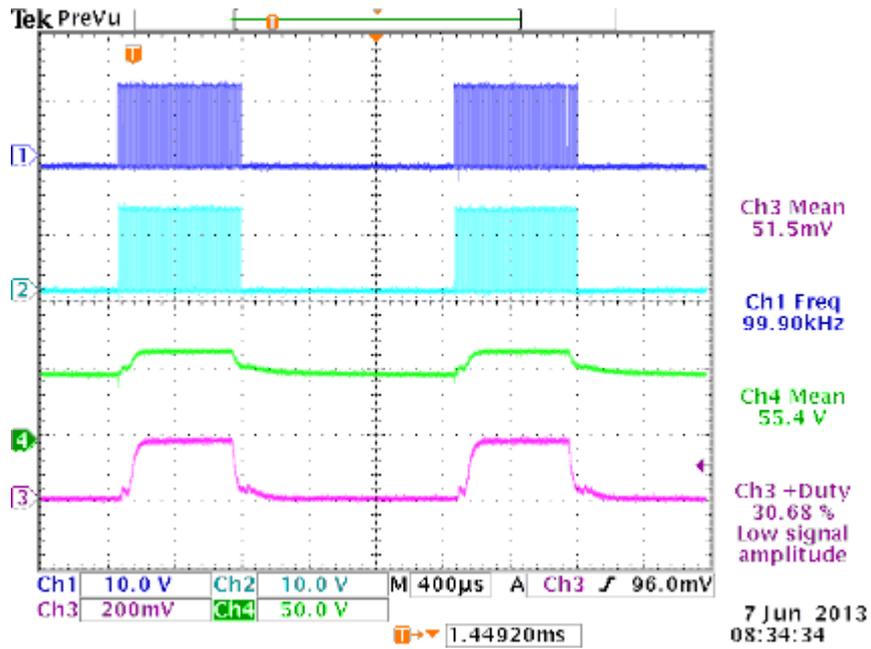


Figura 104; Ciclo de trabajo 31% en modo fase-ráfaga con 50us de desfase

Para un ciclo de trabajo del 25%:

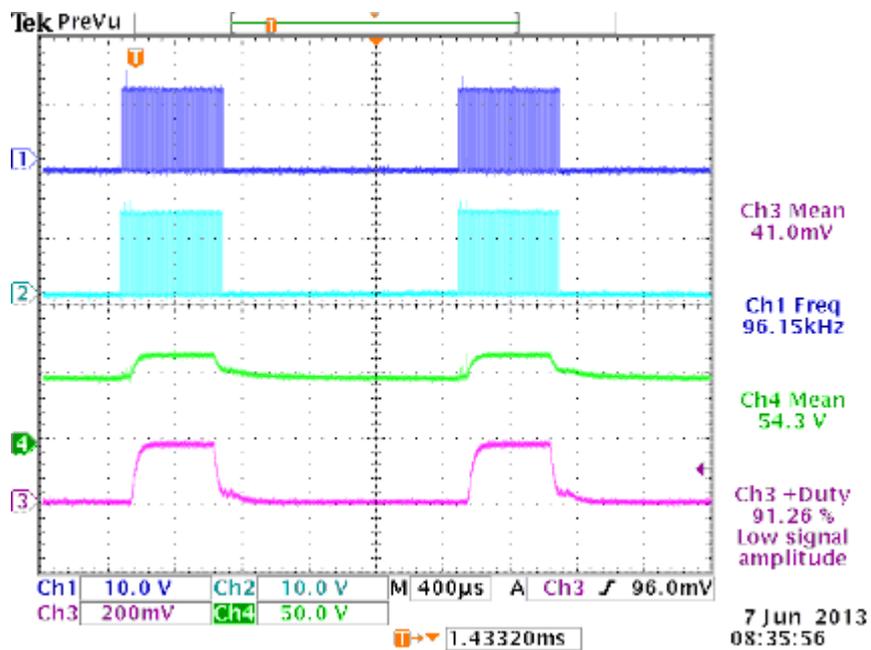


Figura 105; Ciclo de trabajo 25% en modo fase-ráfaga con 50us de desfase

Para un ciclo de trabajo del 18%:

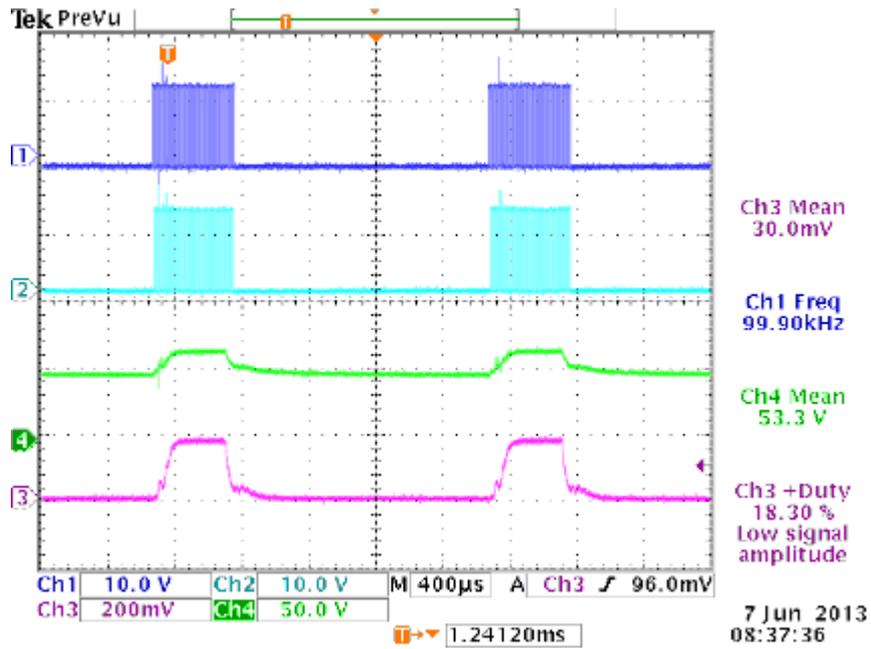


Figura 106; Ciclo de trabajo 18% en modo fase-ráfaga con 50us de desfase

Para un ciclo de trabajo del 12%:

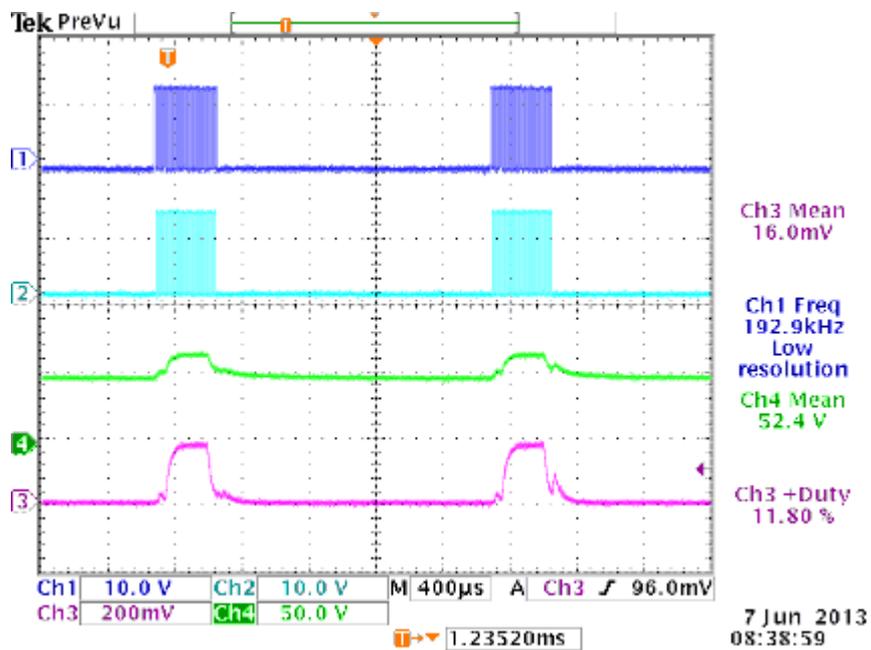


Figura 107; Ciclo de trabajo 12% en modo fase-ráfaga con 50us de desfase

Para un ciclo de trabajo del 6%:

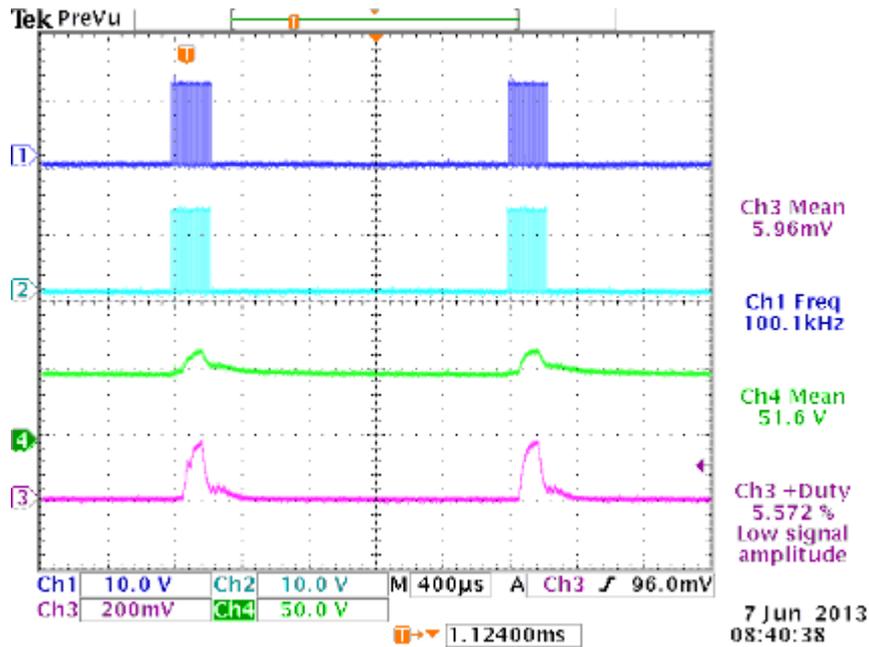


Figura 108; Ciclo de trabajo 6% en modo fase-ráfaga con 50us de desfase

Más al detalle podemos observar en la siguiente captura de pantalla como se produce el cambio en las señales de control, desfasando 180° las señales antes y después de estar en fase unos 50us. Como podemos ver, en este método encontramos algo de distorsión.

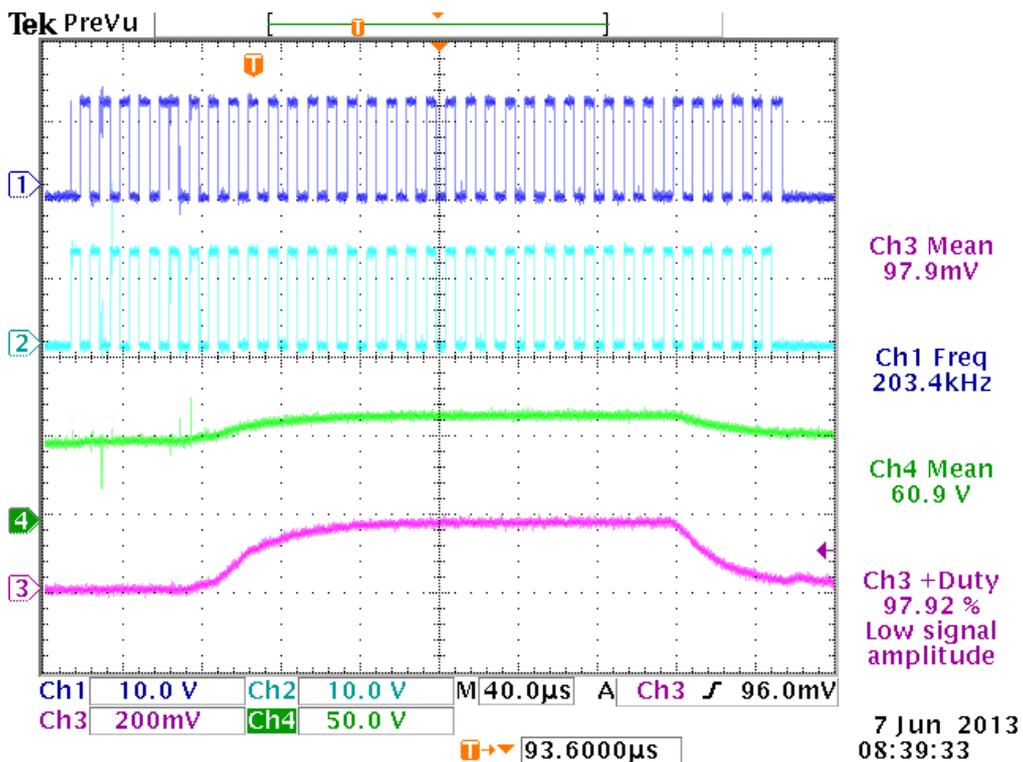


Figura 109; Detalle en modo fase-ráfaga con 50us de desfase

5.5- Control fase-ráfaga con 100us de desfase

Los resultados obtenidos para el control de fase-ráfaga son los siguientes:

Ciclo de trabajo %	Tensión de salida (V)	Intensidad de salida (A)	Potencia de salida (W)	Perdidas (W)	Potencia suministrada (W)	Rendimiento μ (%)
100	67,73	1,708	115,71	18,99	134,7	85,90
93	66,5	1,617	107,51	17,69	125,2	85,87
87	65,8	1,525	100,35	21,16	121,5	82,59
81	64,8	1,408	91,26	20,84	112,1	81,41
75	63,94	1,317	84,19	21,31	105,5	79,80
68	62,7	1,192	74,72	20,58	95,3	78,40
62	61,7	1,092	67,36	19,94	87,3	77,15
56	60,69	0,983	59,68	19,62	79,3	75,26
50	59,6	0,875	52,15	19,15	71,3	73,14
43	58,5	0,767	44,85	17,45	62,3	71,99
37	57,59	0,658	37,91	17,39	55,3	68,56
31	56,3	0,542	30,50	16,60	47,1	64,75
25	55,2	0,442	24,38	12,72	37,1	65,71
18	54,25	0,333	18,08	11,52	29,6	61,09
12	53	0,225	11,93	9,08	21	56,79
6	52	0,117	6,07	6,63	12,7	47,77

Tabla 23; Medidas en modo fase-ráfaga con 50us de desfase

Observamos como las medidas de potencia de salida y rendimiento disminuyen según el ciclo de trabajo manteniendo una proporción bastante constante por el camino(figuras 110 y 111).

Podemos ver en la capturas echas con el osciloscopio cómo funciona el control dependiendo del ciclo de trabajo y como los valores del osciloscopio son bastante consistentes con los medidos en el laboratorio. A su vez podemos ver cómo se comporta la tensión y la intensidad que pasa por la matriz LED.

En este método nos tenemos que fijar sobre todo en el cambio de ON-OFF con la señal desfasada y si se produce distorsión en la señal. El rendimiento del circuito no difiere demasiado de los métodos anteriores.

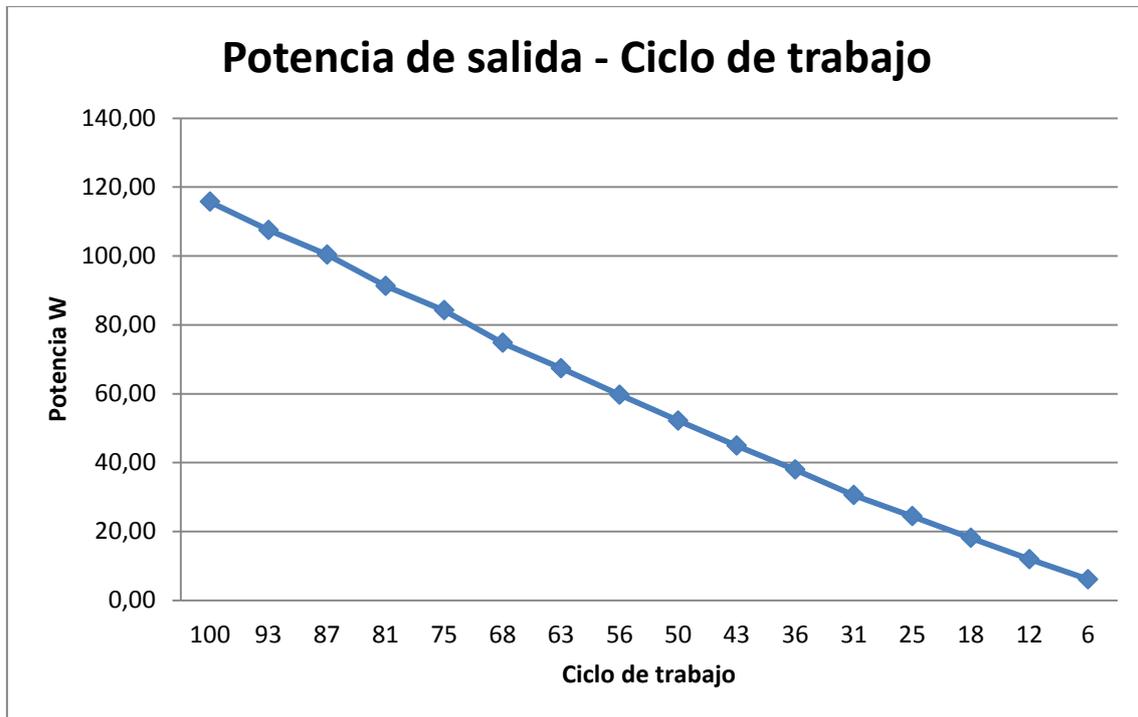


Figura 110; Potencia de salida en modo fase ráfaga con desfase de 100us

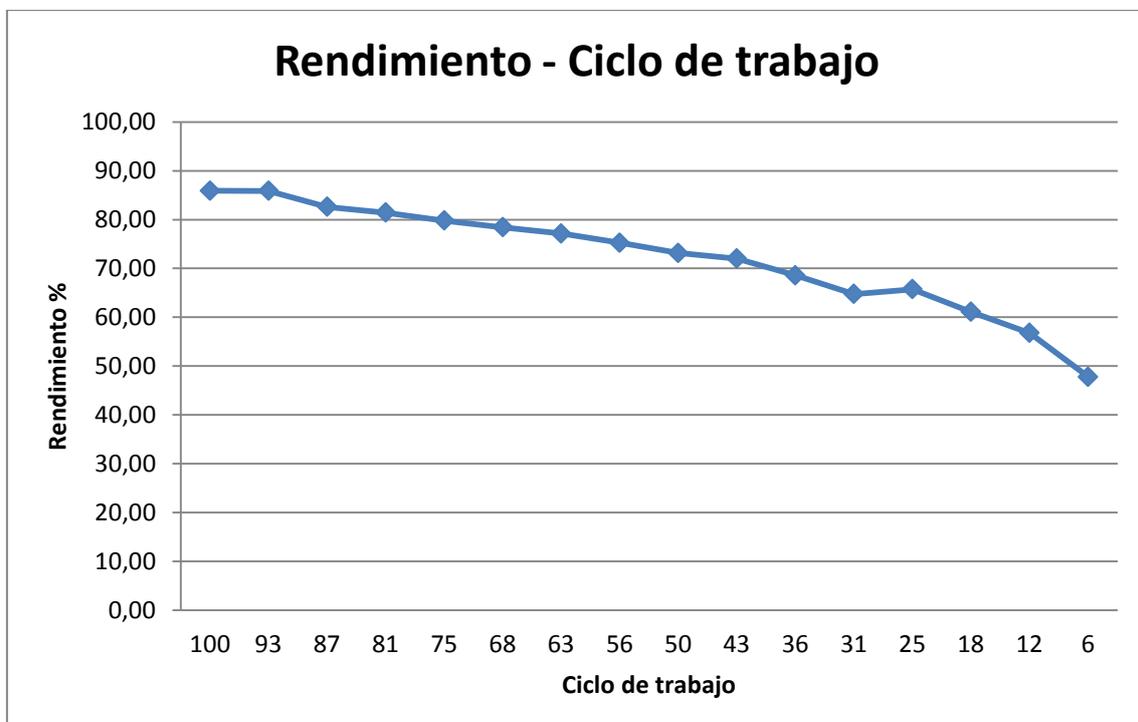


Figura 111; Rendimiento en modo fase ráfaga con desfase de 100us

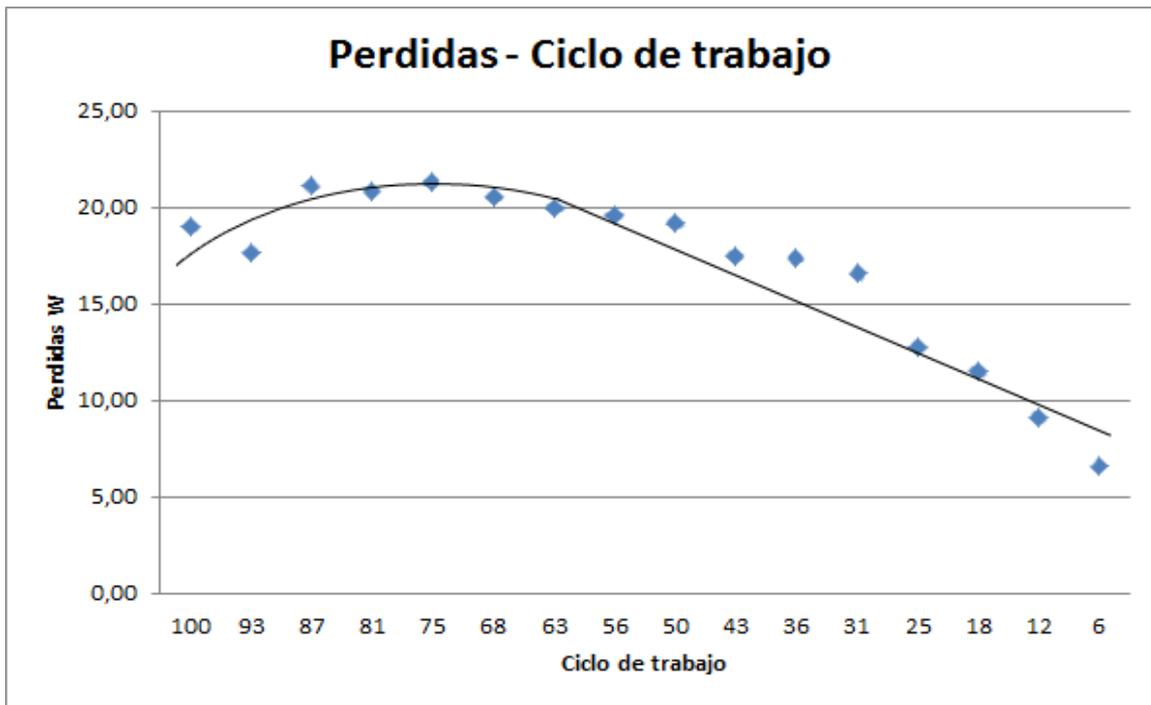


Figura 112; Pérdidas en modo fase ráfaga con desfase de 50us

A continuación se mostrara el funcionamiento con las capturas del osciloscopio para este método de control variando su ciclo de trabajo según los valores de la tabla 23. Las dos señales superiores corresponden a las señales de control producidas por el PIC, de las dos de abajo la superior corresponderá a la tensión en el LED y la inferior a la intensidad que recorre el LED

Para un ciclo de trabajo del 100%:

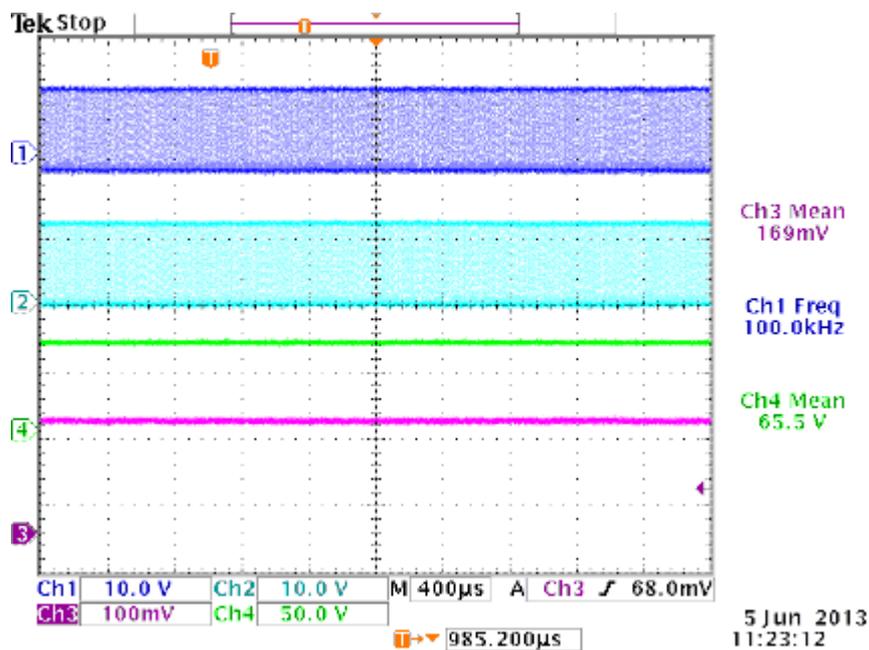


Figura 113; Ciclo de trabajo 100% en modo fase-ráfaga con 100us de desfase

Para un ciclo de trabajo del 93%:

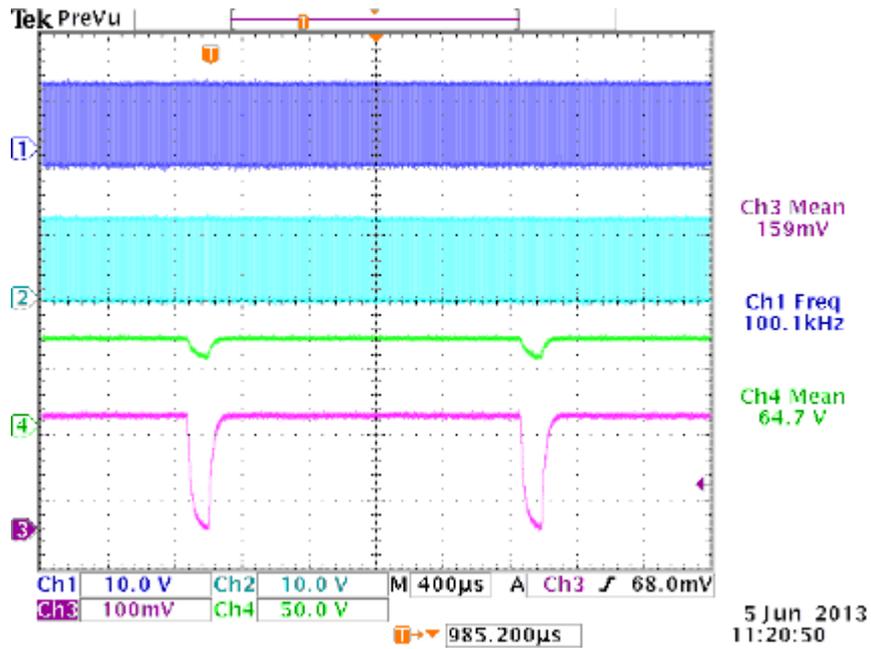


Figura 114; Ciclo de trabajo 93% en modo fase-ráfaga con 100us de desfase

Para un ciclo de trabajo del 87%:

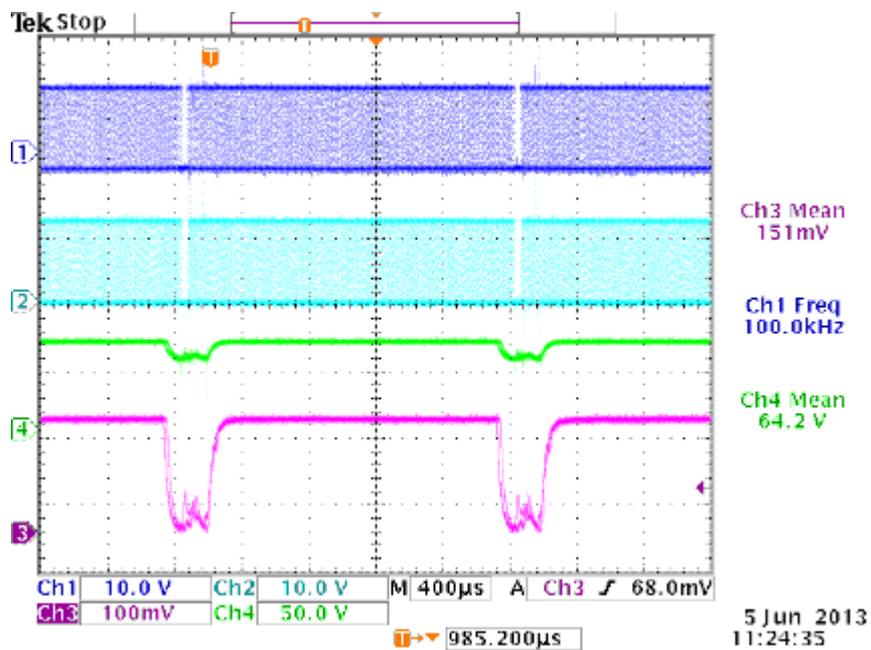


Figura 115; Ciclo de trabajo 87% en modo fase-ráfaga con 100us de desfase

Para un ciclo de trabajo del 81%:

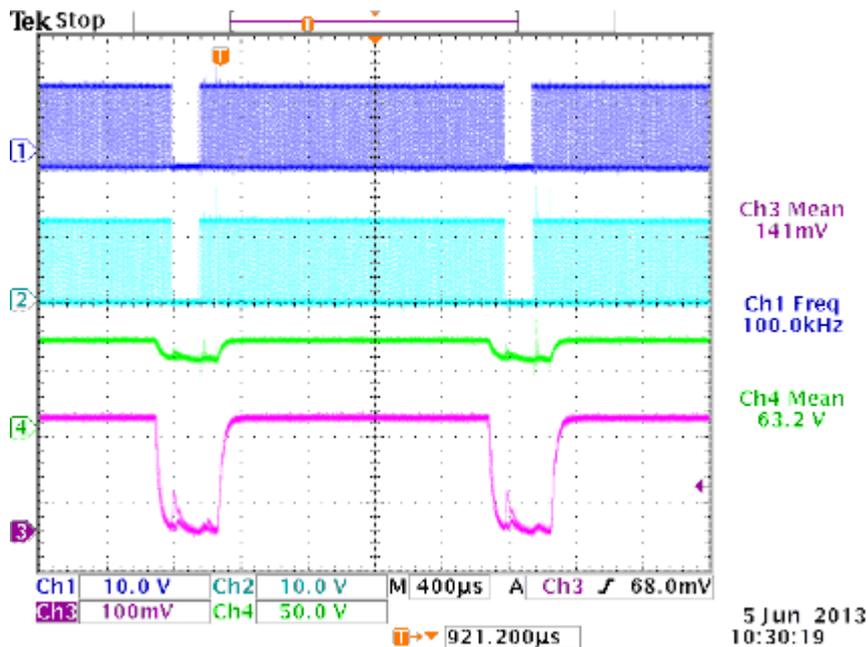


Figura 116; Ciclo de trabajo 81% en modo fase-ráfaga con 100us de desfase

Para un ciclo de trabajo del 75%:

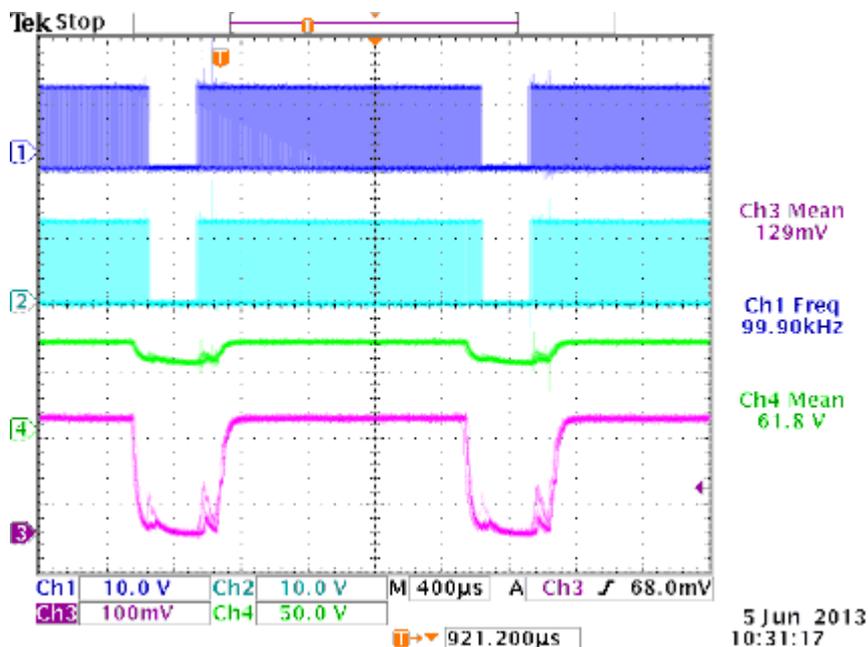


Figura 117; Ciclo de trabajo 75% en modo fase-ráfaga con 100us de desfase

Para un ciclo de trabajo del 68%:

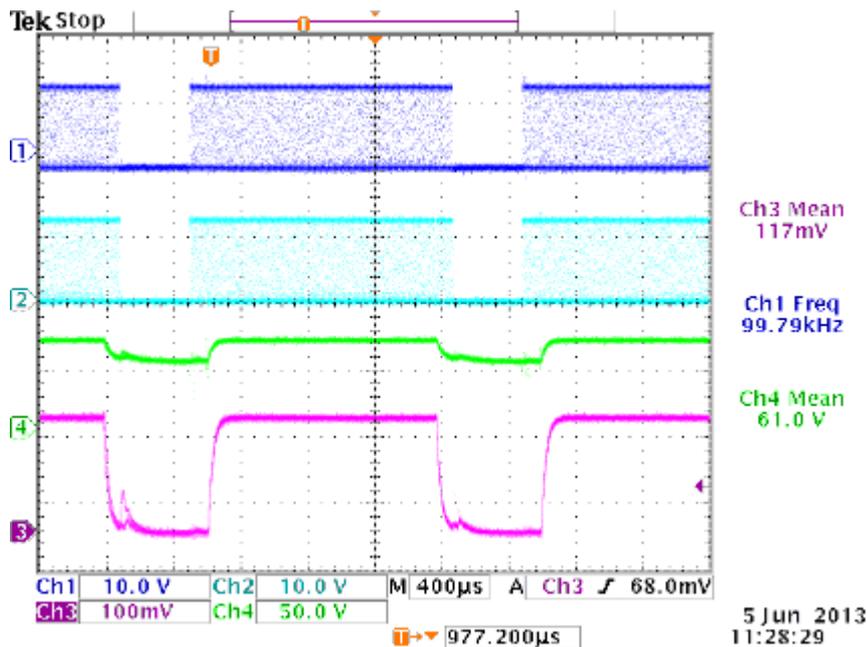


Figura 118; Ciclo de trabajo 68% en modo fase-ráfaga con 100us de desfase

Para un ciclo de trabajo del 62%:

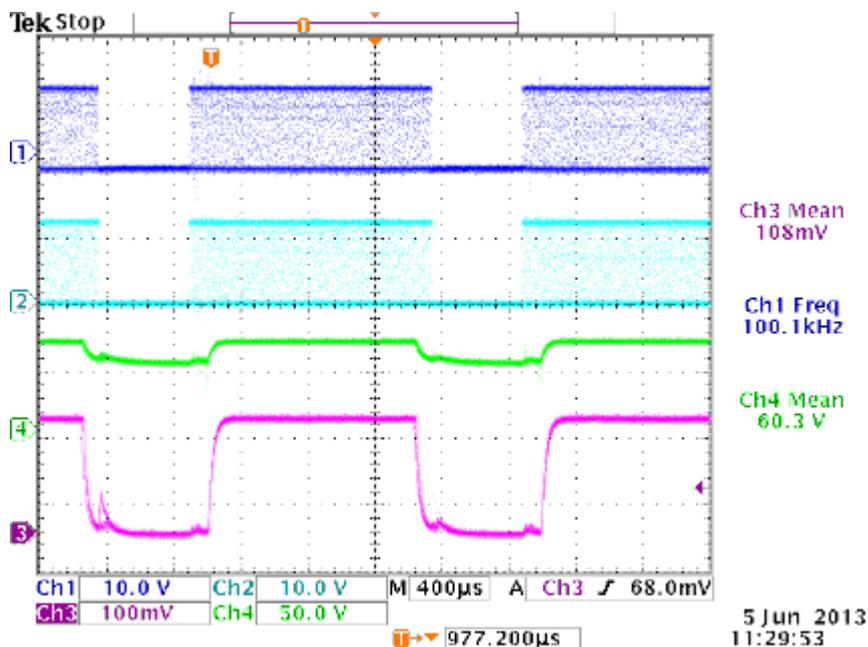


Figura 119; Ciclo de trabajo 62% en modo fase-ráfaga con 100us de desfase

Para un ciclo de trabajo del 56%:

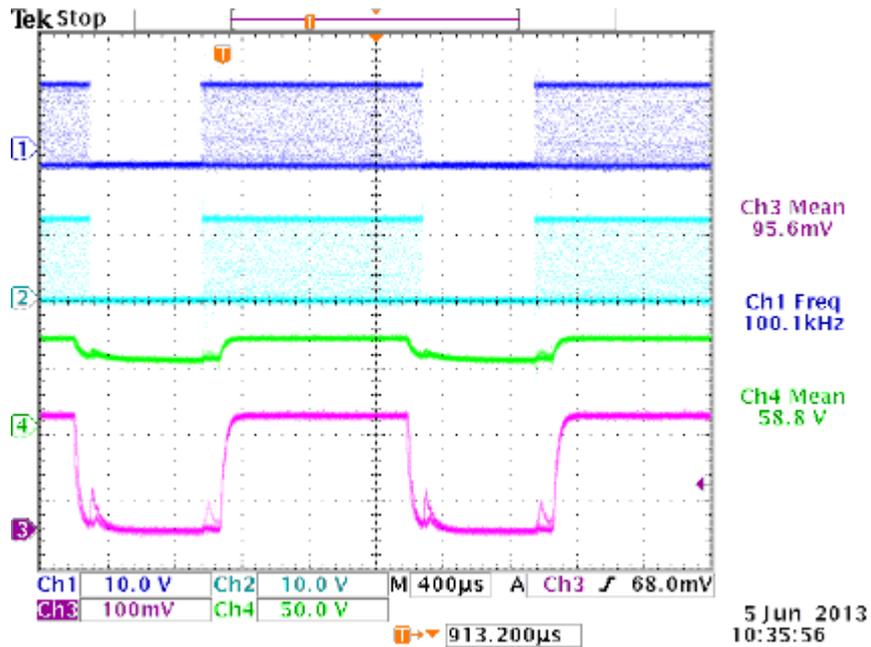


Figura 120; Ciclo de trabajo 56% en modo fase-ráfaga con 100us de desfase

Para un ciclo de trabajo del 50%:

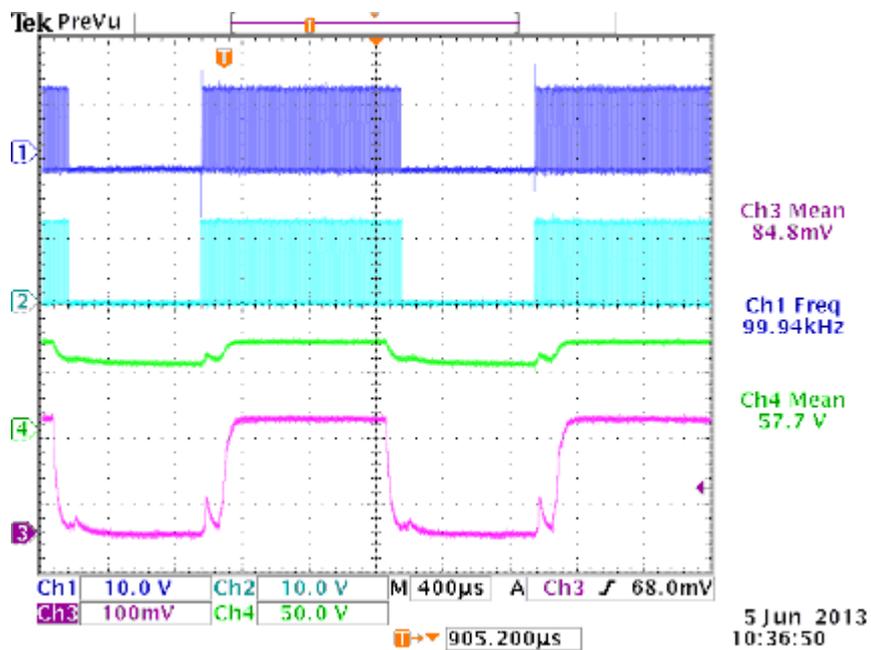


Figura 121; Ciclo de trabajo 50% en modo fase-ráfaga con 100us de desfase

Para un ciclo de trabajo del 43%:

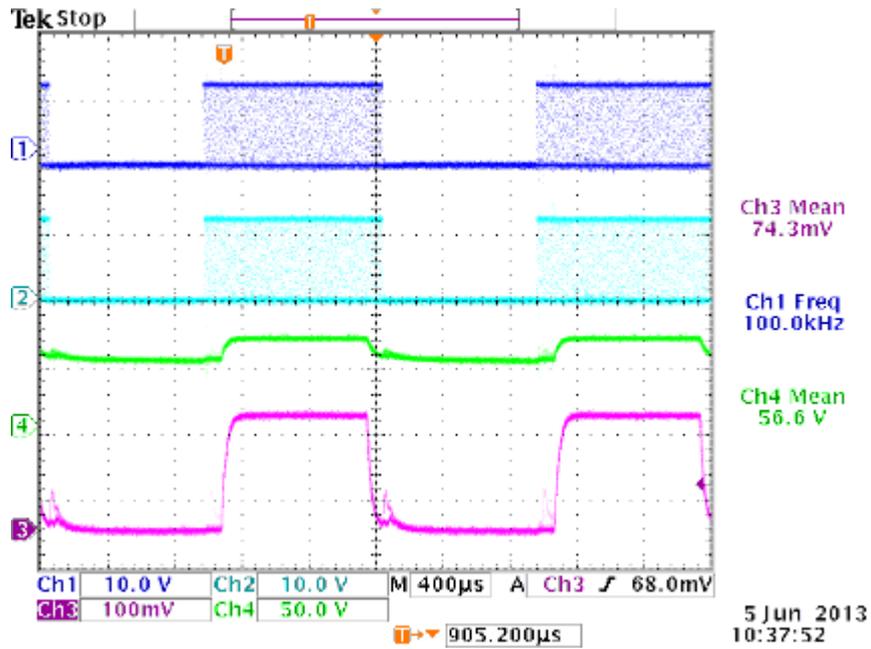


Figura 122; Ciclo de trabajo 43% en modo fase-ráfaga con 100us de desfase

Para un ciclo de trabajo del 37%:

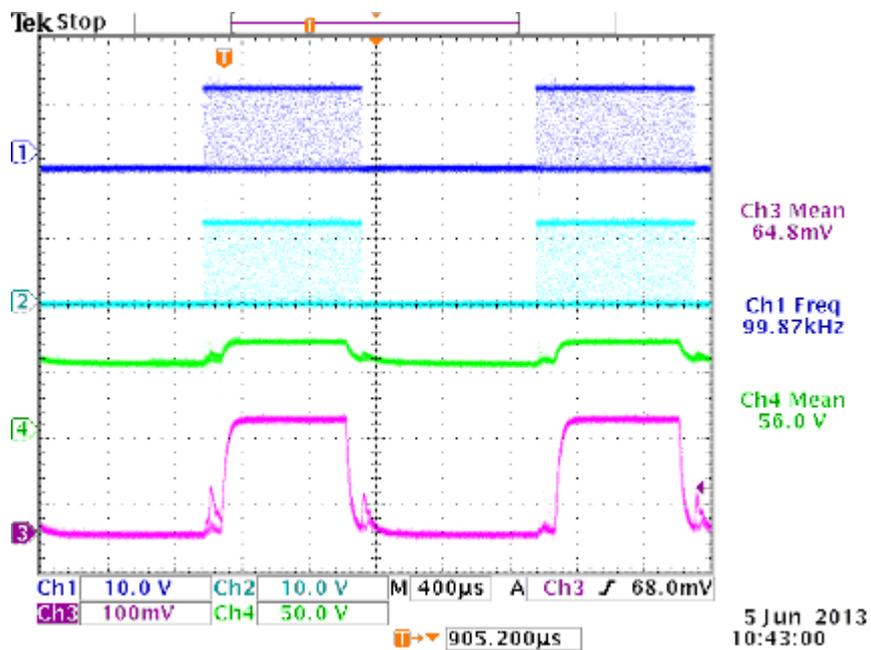


Figura 123; Ciclo de trabajo 37% en modo fase-ráfaga con 100us de desfase

Para un ciclo de trabajo del 31%:

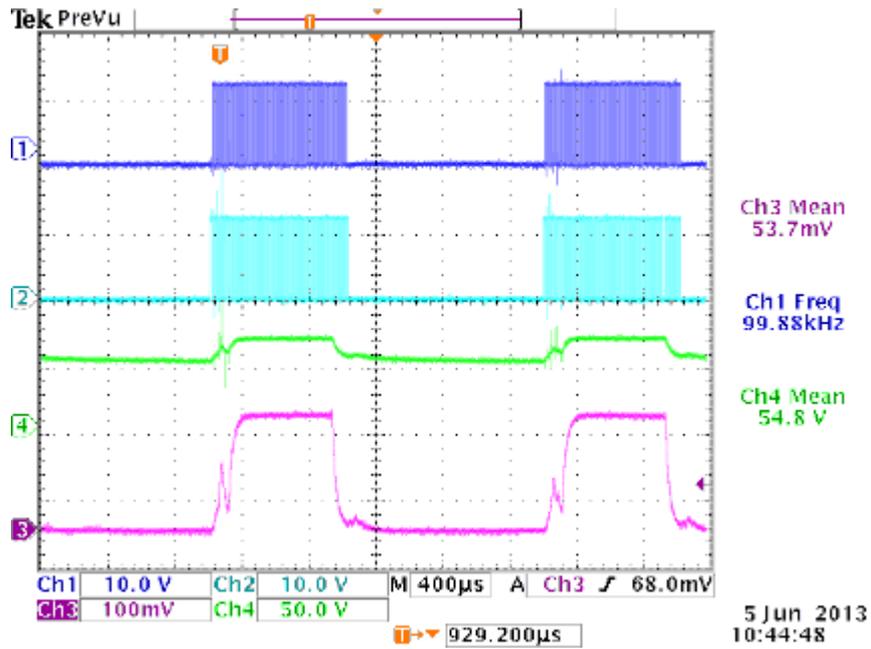


Figura 124; Ciclo de trabajo 31% en modo fase-ráfaga con 100us de desfase

Para un ciclo de trabajo del 25%:

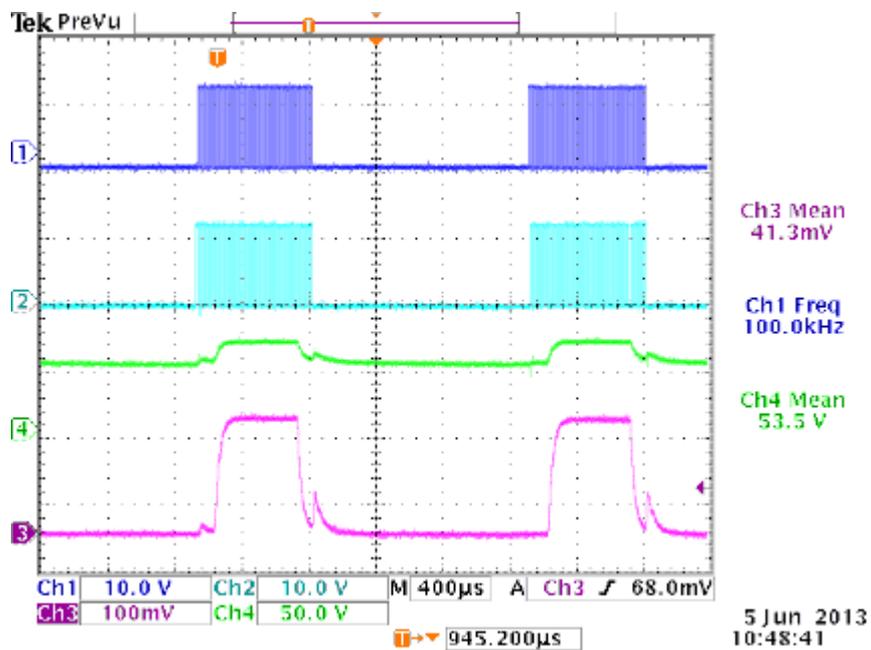


Figura 125; Ciclo de trabajo 25% en modo fase-ráfaga con 100us de desfase

Para un ciclo de trabajo del 18%:

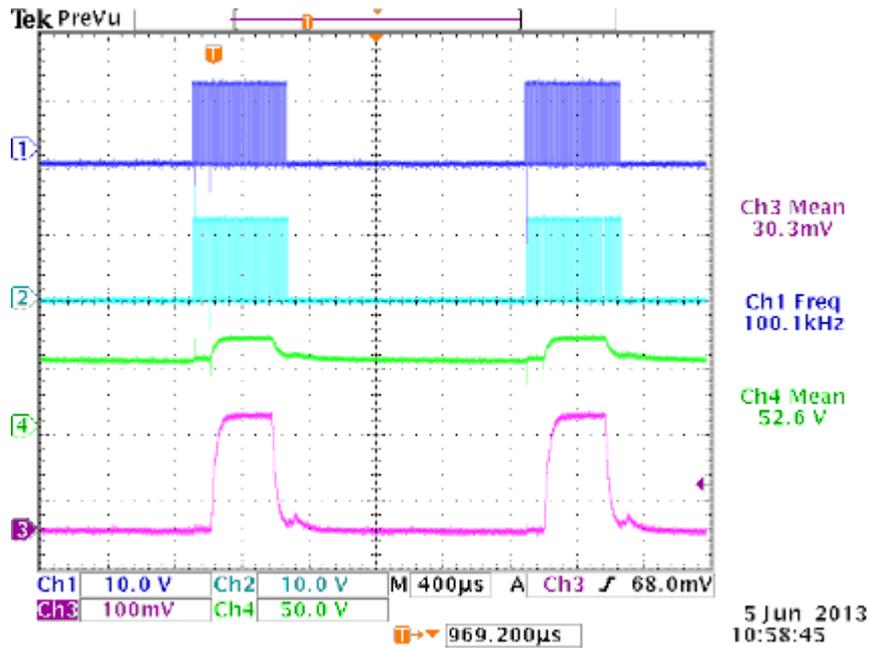


Figura 126; Ciclo de trabajo 18% en modo fase-ráfaga con 100us de desfase

Para un ciclo de trabajo del 12%:

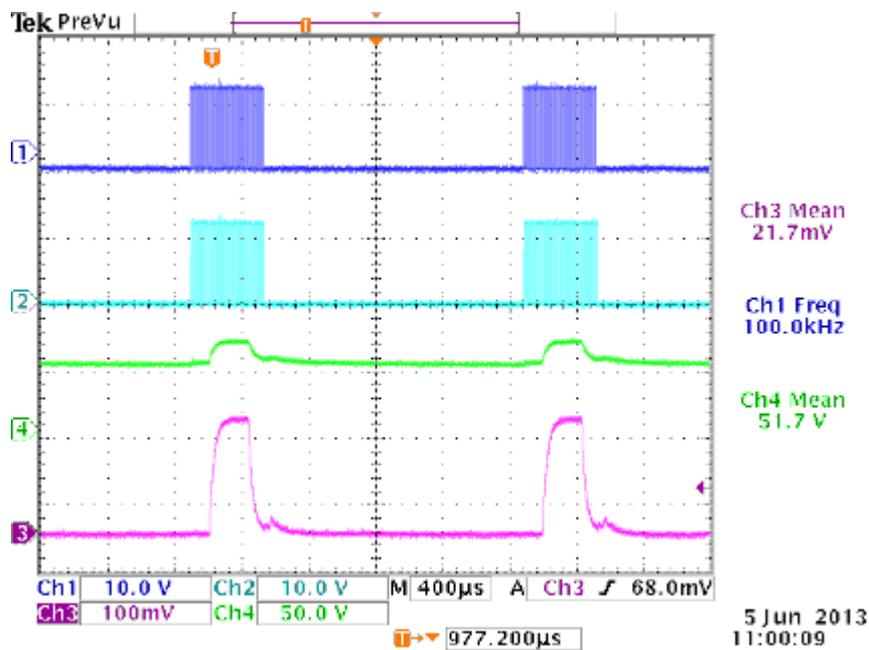


Figura 127; Ciclo de trabajo 12% en modo fase-ráfaga con 100us de desfase

Para un ciclo de trabajo del 6%:

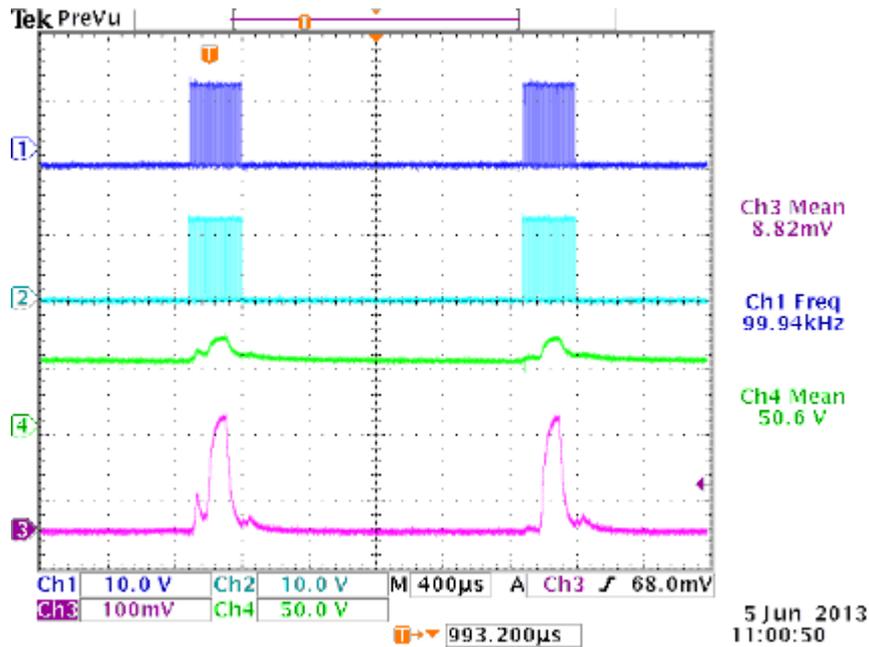


Figura 128; Ciclo de trabajo 6% en modo fase-ráfaga con 100us de desfase

Como podemos ver, en este método no encontramos menos distorsión, y aparecen unos picos de intensidad y de tensión cuando hacemos el cambio a desfase de 180° , produciéndonos un ruido bastante notable como se ha visto en las capturas anteriores.

Mas al detalle podemos observar en las siguientes capturas de pantalla como se produce el cambio en las señales de control, desfasando 180° unos 100us las señales antes y después de estar en fase.

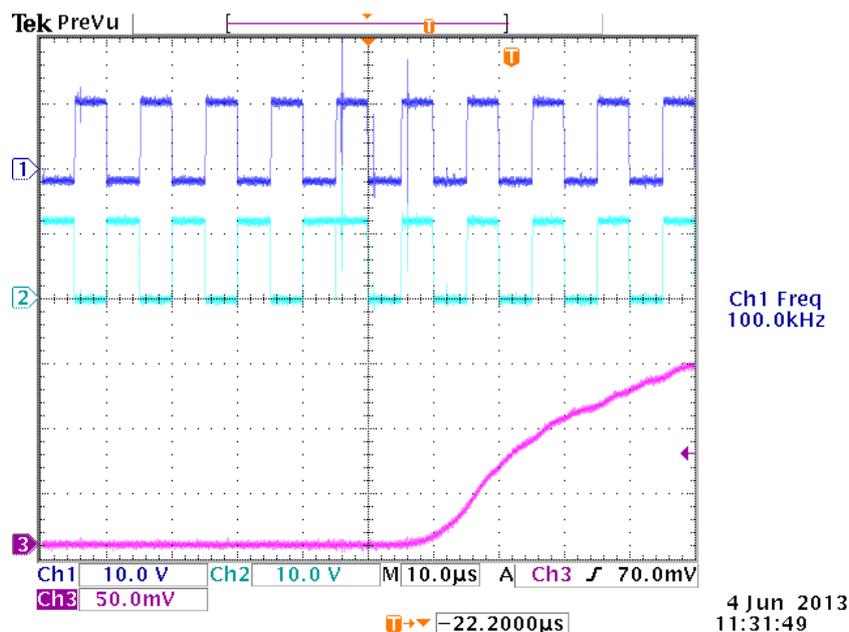


Figura 129; Detalle en modo fase-ráfaga con 100us de desfase

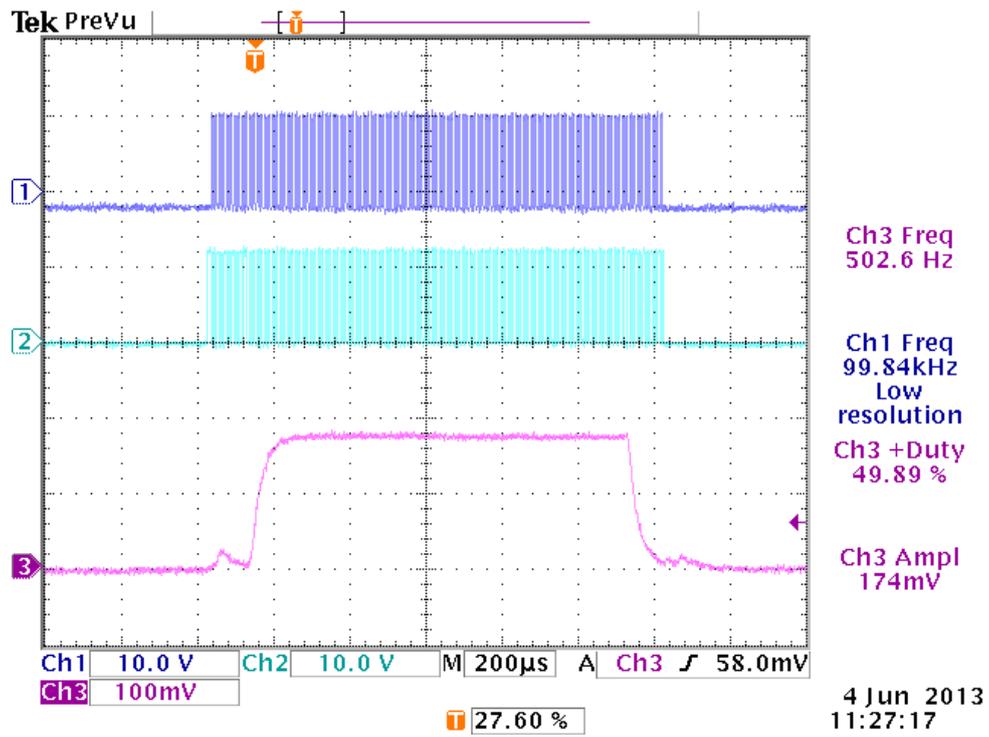


Figura 130; Detalle en modo fase-ráfaga con 100us de desfase

5.6- Control fase-ráfaga con 150us de desfase

Los resultados obtenidos para el control de fase-ráfaga son los siguientes:

Ciclo de trabajo %	Tensión de salida (V)	Intensidad de salida (A)	Potencia de salida (W)	Perdidas (W)	Potencia suministrada (W)	Rendimiento μ (%)
100	67,5	1,769	119,42	15,48	134,9	88,52
93	66,6	1,658	110,45	16,56	127	86,96
87	65,5	1,546	101,25	16,85	118,1	85,73
81	64,6	1,451	93,72	16,68	110,4	84,89
75	63,9	1,340	85,63	20,47	106,1	80,70
68	62,7	1,205	75,55	18,65	94,2	80,21
62	61,7	1,098	67,77	19,63	87,4	77,54
56	60,7	0,992	60,19	18,91	79,1	76,10
50	59,5	0,886	52,71	16,99	69,7	75,62
43	58,6	0,769	45,07	16,43	61,5	73,29
37	57,6	0,670	38,59	16,21	54,8	70,42
31	56,5	0,562	31,73	14,77	46,5	68,25
25	55,4	0,449	24,88	12,62	37,5	66,36
18	54,3	0,341	18,51	10,69	29,2	63,38
12	53,2	0,233	12,37	8,73	21,1	58,62
6	52,1	0,123	6,43	5,97	12,4	51,82

Tabla 24; Medidas en modo fase-ráfaga con 150us de desfase

Observamos como las medidas de potencia de salida y rendimiento disminuyen según el ciclo de trabajo manteniendo una proporción bastante constante por el camino (figuras 131 y 132).

Podemos ver en la capturas echas con el osciloscopio cómo funciona el control dependiendo del ciclo de trabajo y como los valores del osciloscopio son bastante consistentes con los medidos en el laboratorio. A su vez podemos ver cómo se comporta la tensión y la intensidad que pasa por la matriz LED.

En este método nos tenemos que fijar sobre todo en el cambio de ON-OFF con la señal desfasada y si se produce distorsión en la señal. El rendimiento del circuito no difiere demasiado de los métodos anteriores de fase-ráfaga.

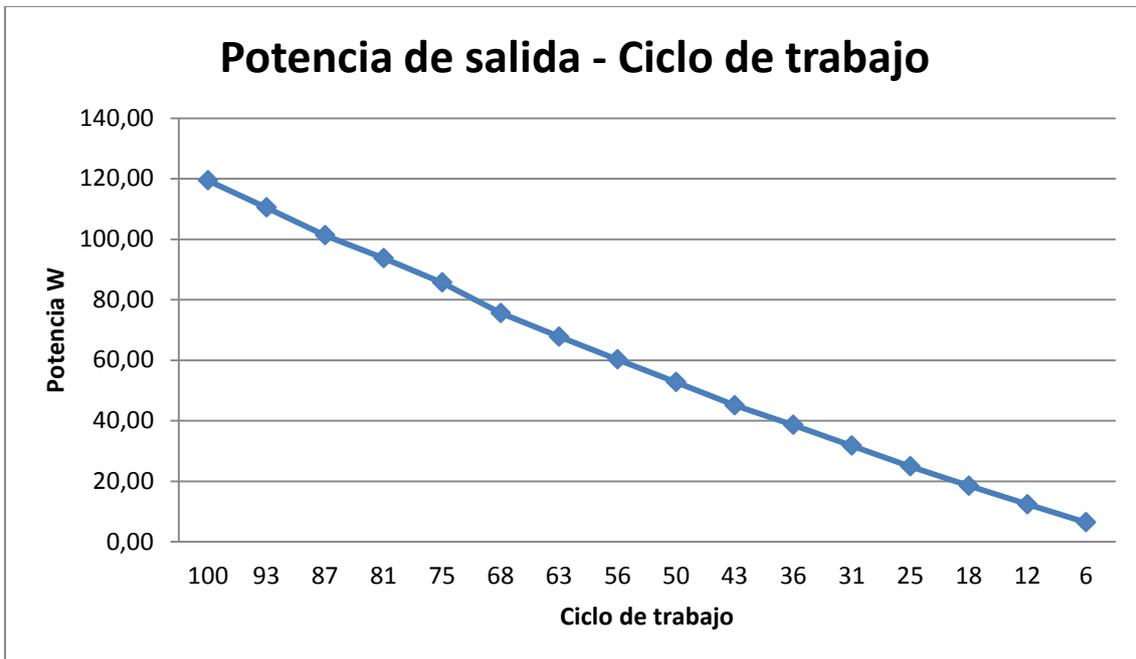


Figura 131; Potencia de salida en modo fase ráfaga con desfase de 150us

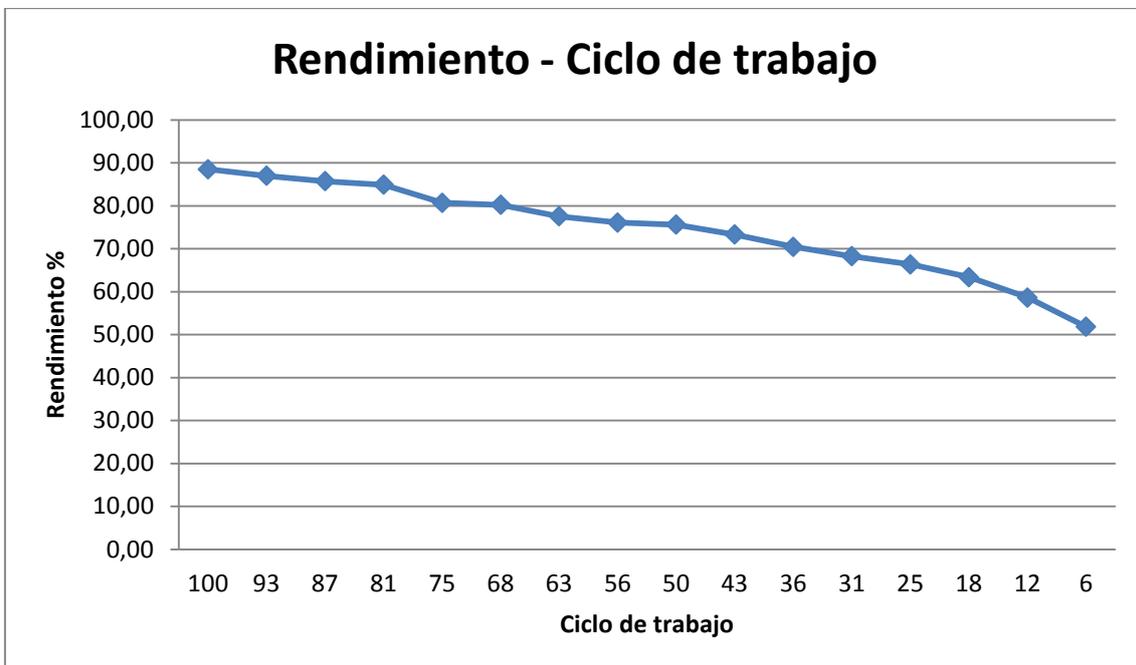


Figura 132; Rendimiento en modo fase ráfaga con desfase de 150us

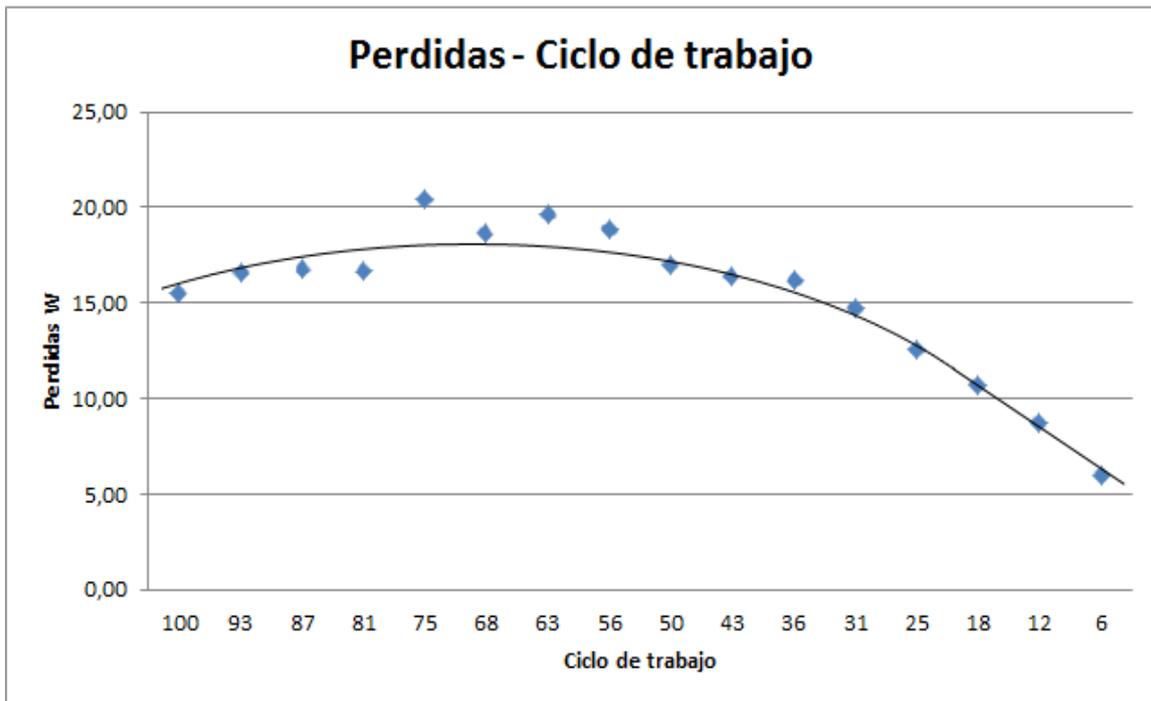


Figura 133; Pérdidas promedio en modo fase ráfaga con desfase de 150us

A continuación se mostrara el funcionamiento con las capturas del osciloscopio para este método de control variando su ciclo de trabajo según los valores de la tabla 24. Las dos señales superiores corresponden a las señales de control producidas por el PIC, de las dos de abajo la superior corresponderá a la tensión en el LED y la inferior a la intensidad que recorre el LED

Para un ciclo de trabajo del 100%:

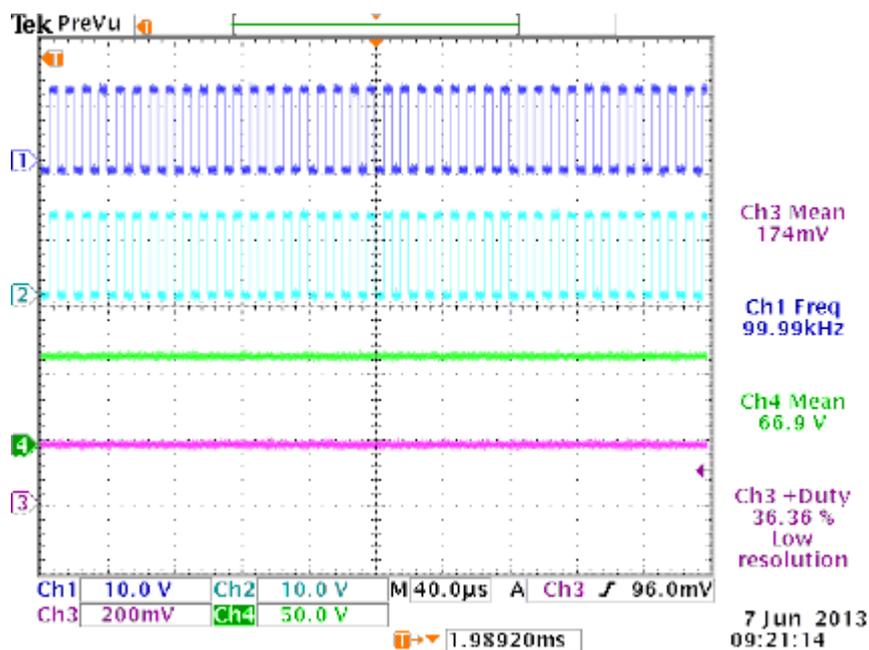


Figura 134; Ciclo de trabajo 100% en modo fase-ráfaga con 150us de desfase

Para un ciclo de trabajo del 93%:

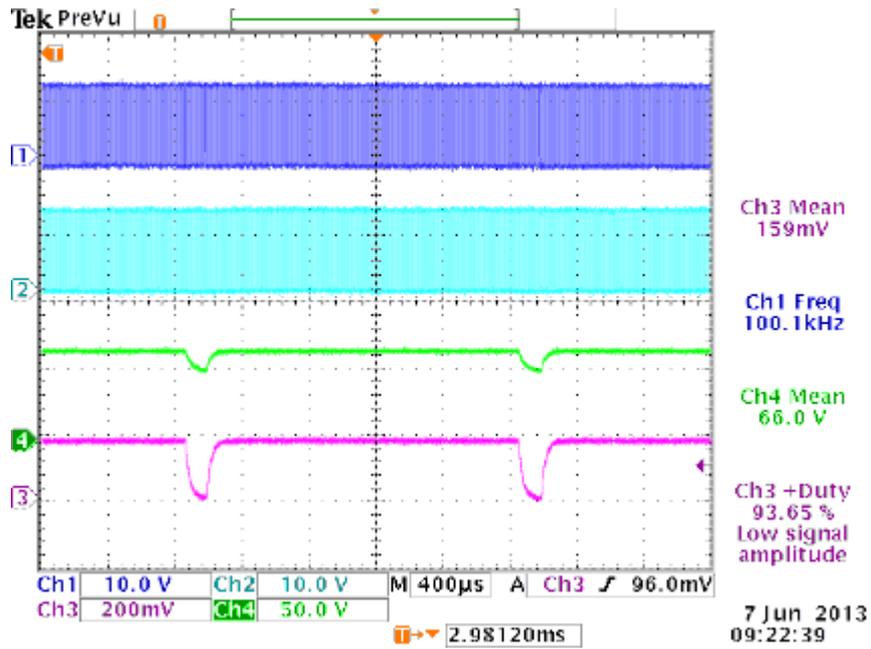


Figura 135; Ciclo de trabajo 93% en modo fase-ráfaga con 150us de desfase

Para un ciclo de trabajo del 87%:

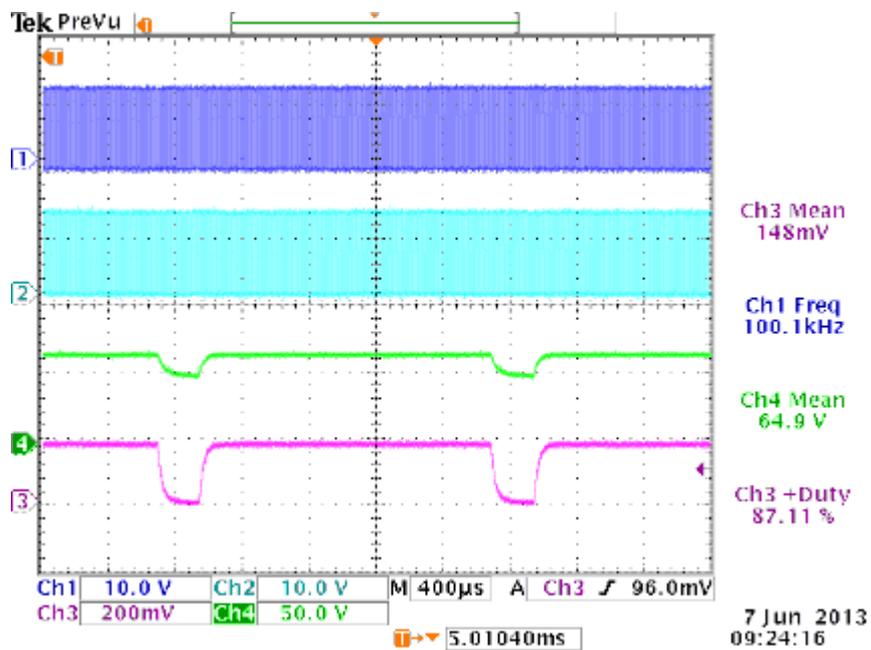


Figura 136; Ciclo de trabajo 87% en modo fase-ráfaga con 150us de desfase

Para un ciclo de trabajo del 81%:

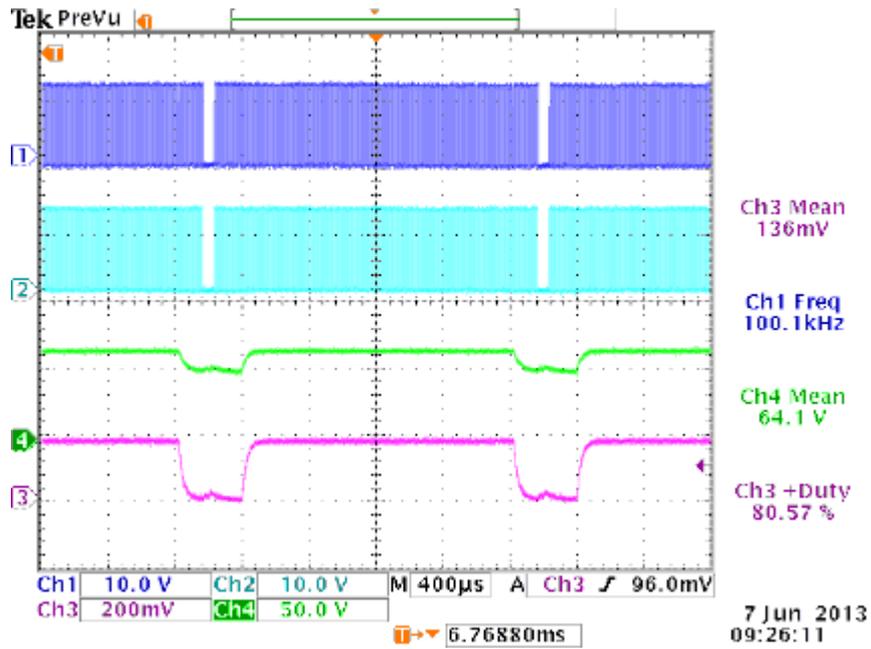


Figura 137; Ciclo de trabajo 81% en modo fase-ráfaga con 150us de desfase

Para un ciclo de trabajo del 75%:

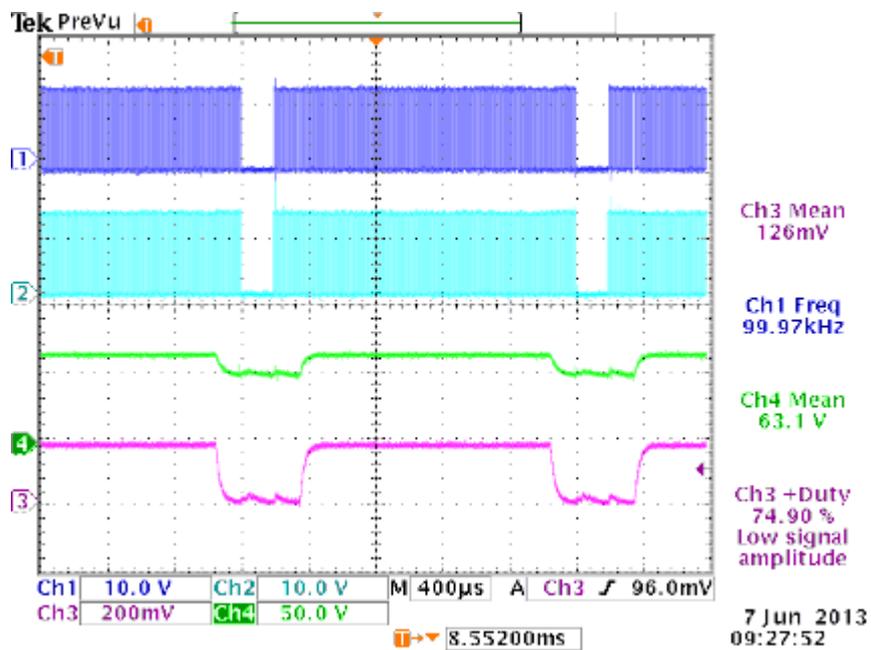


Figura 138; Ciclo de trabajo 75% en modo fase-ráfaga con 150us de desfase

Para un ciclo de trabajo del 68%:

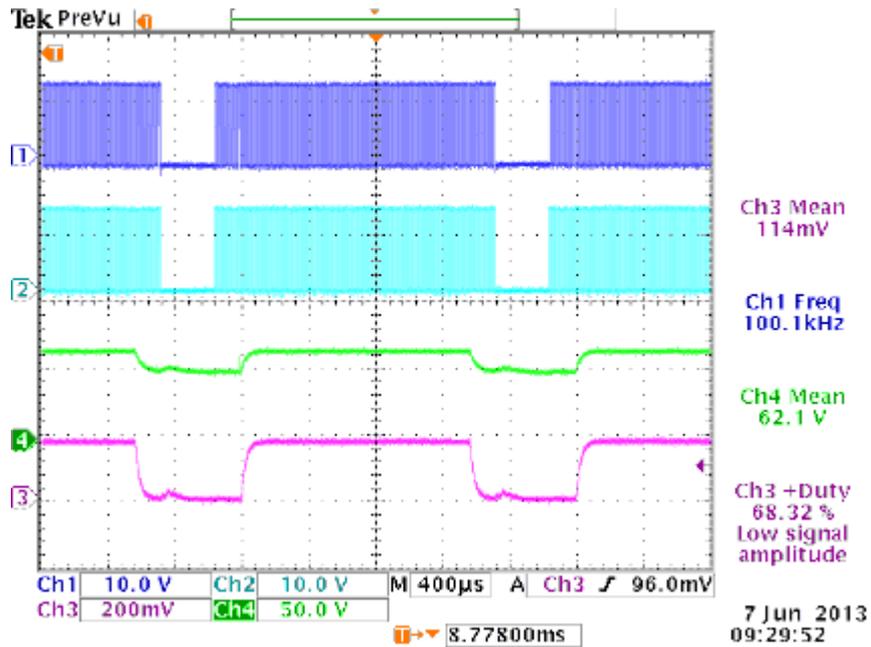


Figura 139; Ciclo de trabajo 68% en modo fase-ráfaga con 150us de desfase

Para un ciclo de trabajo del 62%:

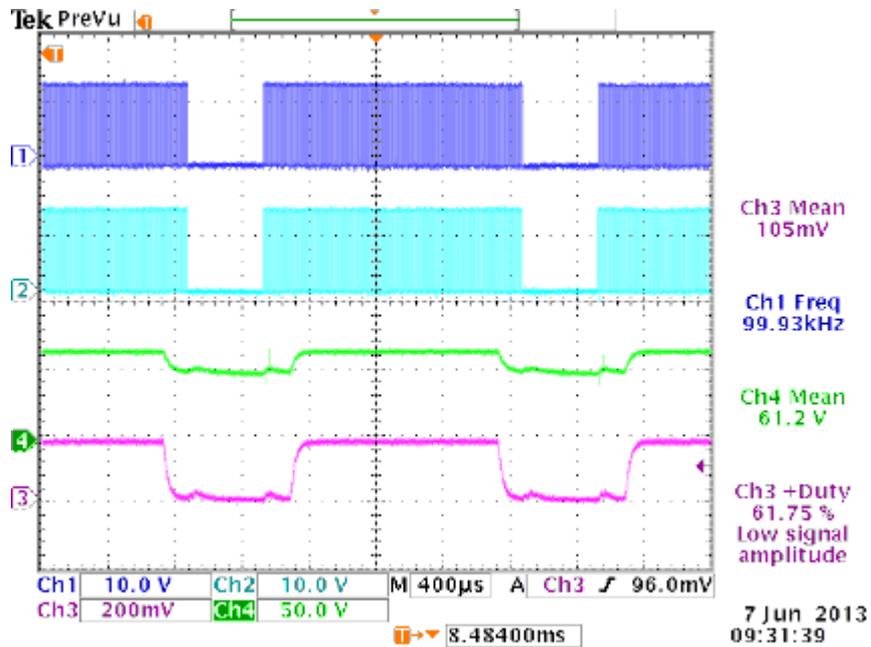


Figura 140; Ciclo de trabajo 62% en modo fase-ráfaga con 150us de desfase

Para un ciclo de trabajo del 56%:

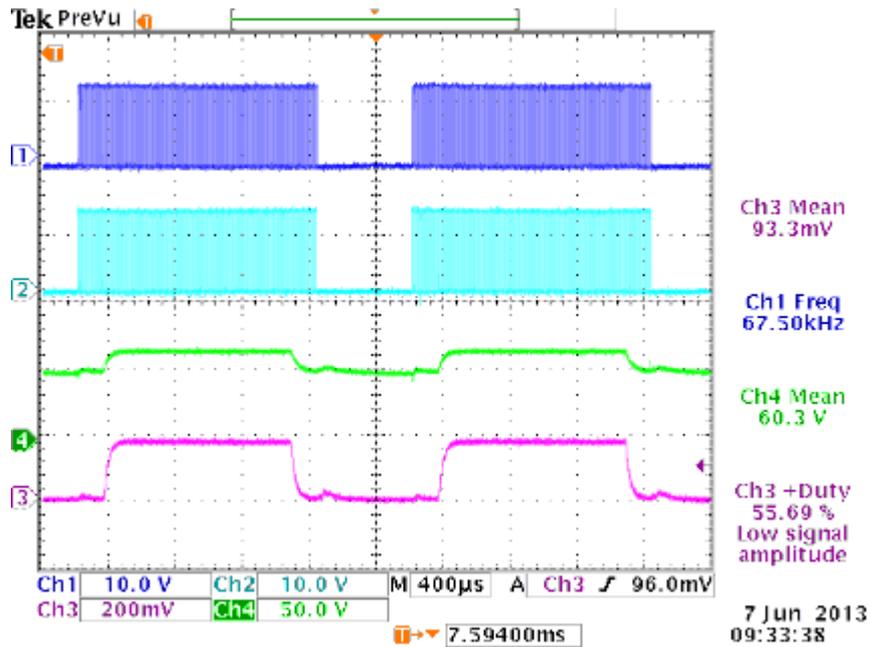


Figura 141; Ciclo de trabajo 56% en modo fase-ráfaga con 150us de desfase

Para un ciclo de trabajo del 50%:

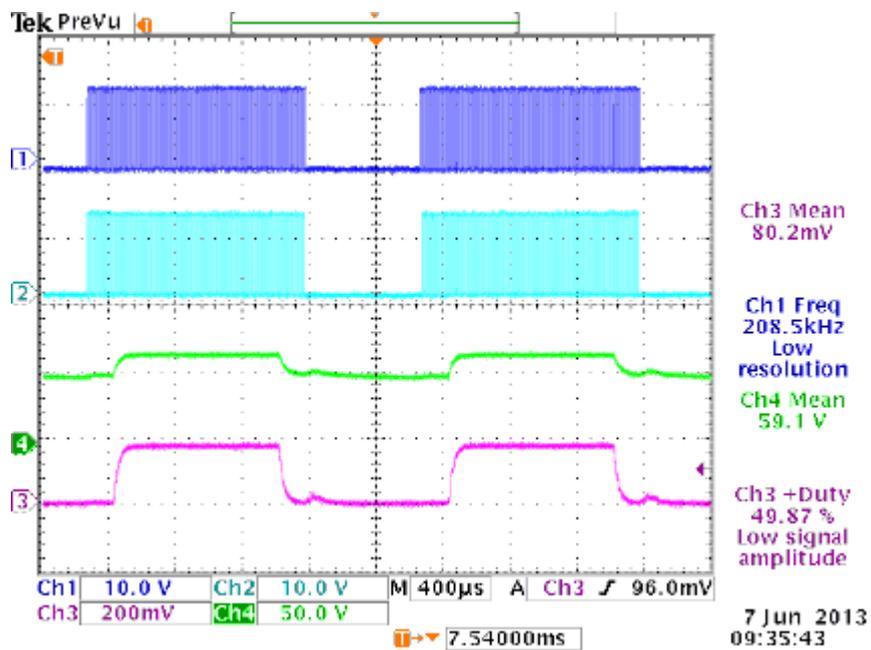


Figura 142; Ciclo de trabajo 50% en modo fase-ráfaga con 150us de desfase

Para un ciclo de trabajo del 43%:

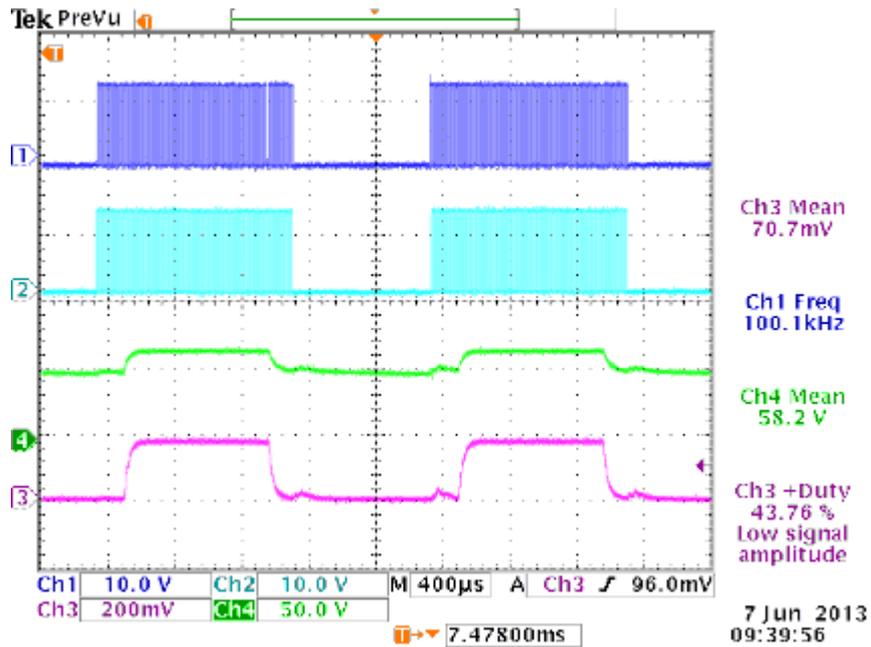


Figura 143; Ciclo de trabajo 43% en modo fase-ráfaga con 150us de desfase

Para un ciclo de trabajo del 37%:

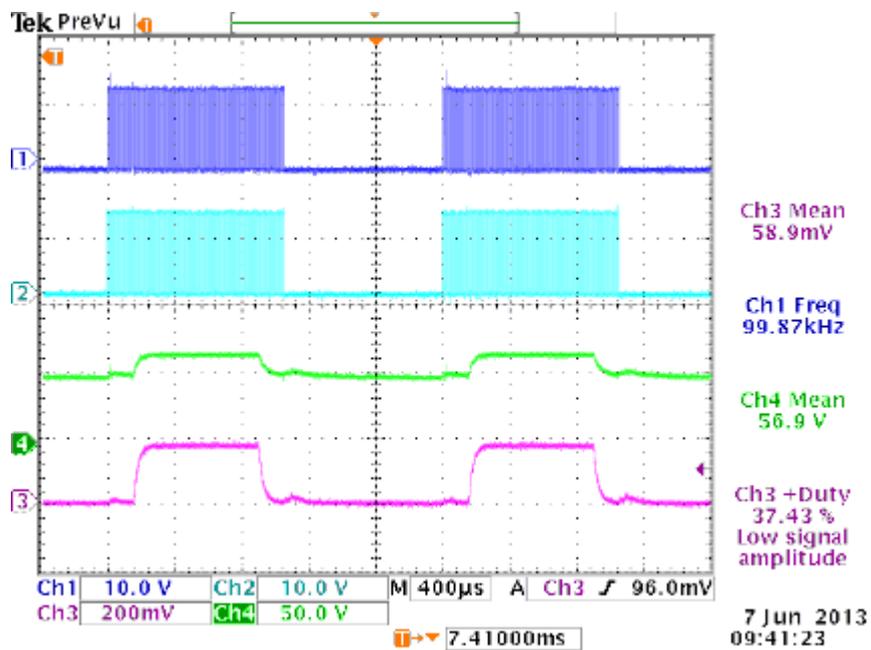


Figura 144; Ciclo de trabajo 37% en modo fase-ráfaga con 150us de desfase

Para un ciclo de trabajo del 31%:

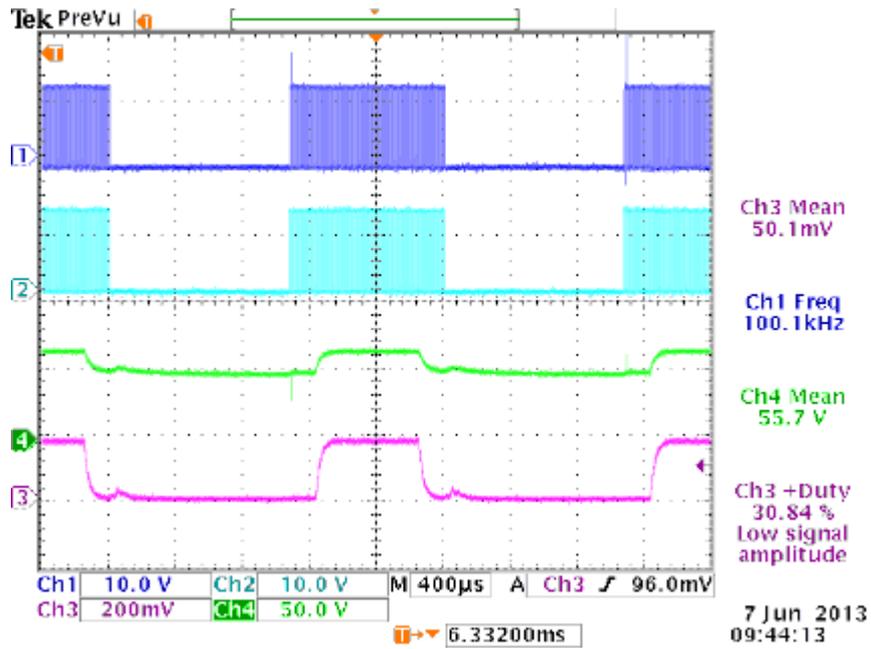


Figura 145; Ciclo de trabajo 31% en modo fase-ráfaga con 150us de desfase

Para un ciclo de trabajo del 25%:

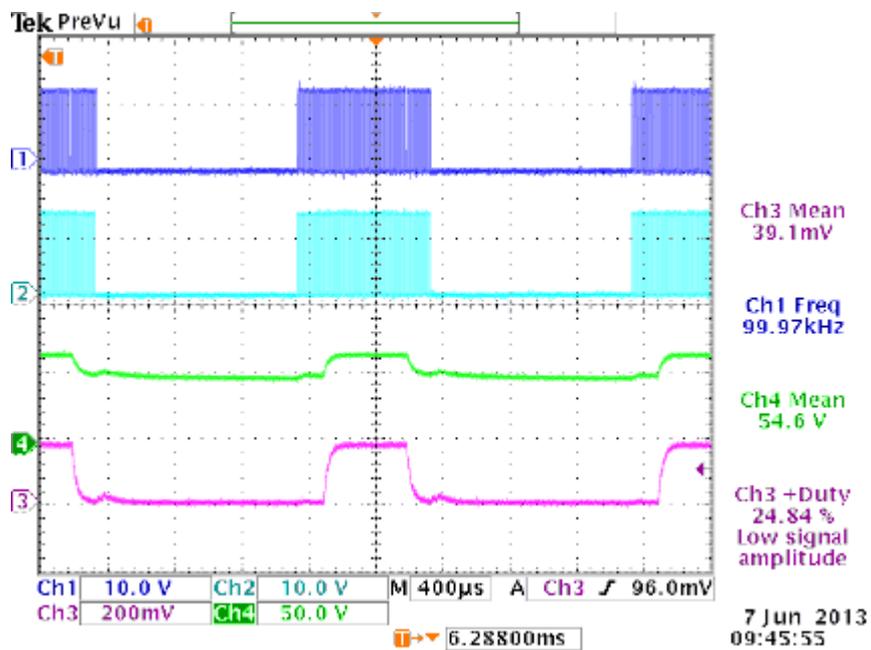


Figura 146; Ciclo de trabajo 25% en modo fase-ráfaga con 150us de desfase

Para un ciclo de trabajo del 18%:

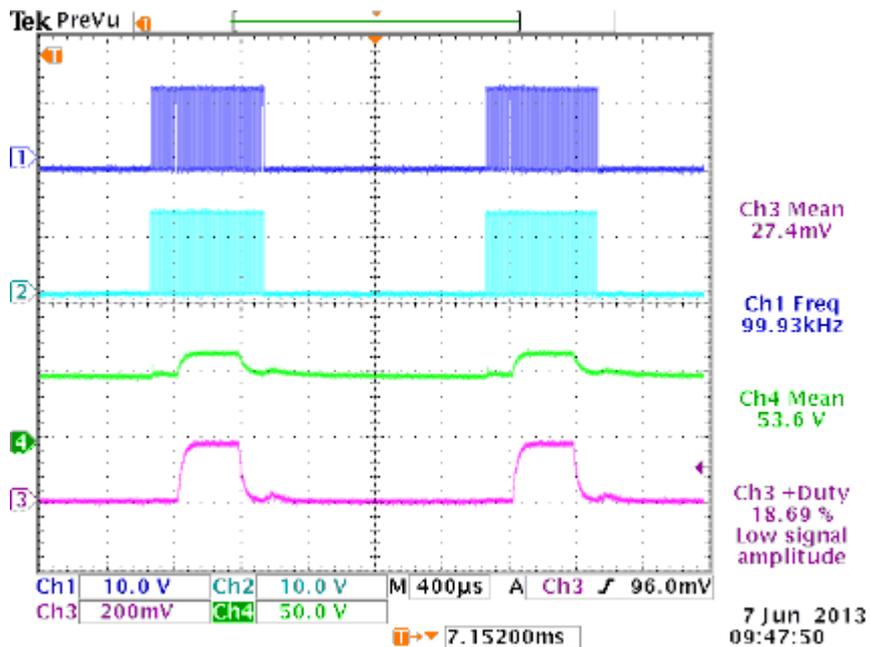


Figura 147; Ciclo de trabajo 18% en modo fase-ráfaga con 150us de desfase

Para un ciclo de trabajo del 12%:

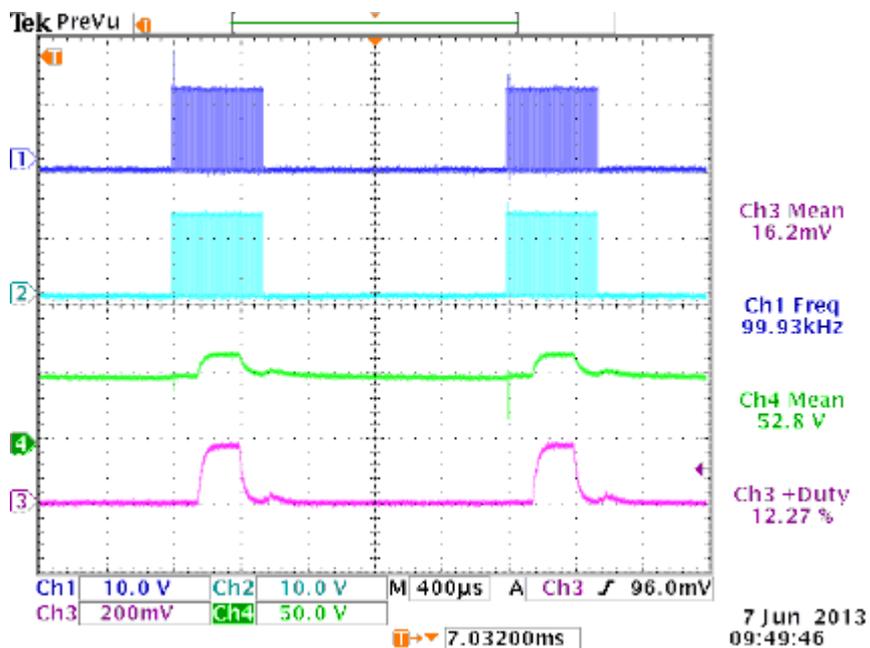


Figura 148; Ciclo de trabajo 12% en modo fase-ráfaga con 150us de desfase

Para un ciclo de trabajo del 6%:

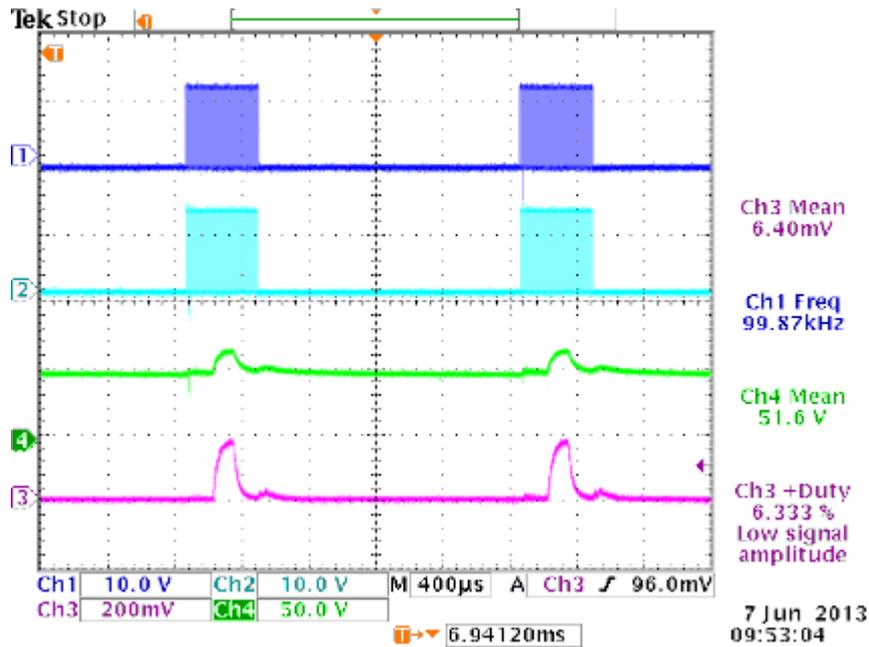


Figura 149; Ciclo de trabajo 6% en modo fase-ráfaga con 150us de desfase

Como podemos ver, en este método encontramos un poco menos de distorsión si lo comparamos con el caso de fase-ráfaga de 100us de desfase pero un poco más que el de fase-ráfaga de 50us y vemos como siguen apareciendo unos picos de intensidad y de tensión cuando hacemos el cambio de encendido a desfase o de apagado a desfase.

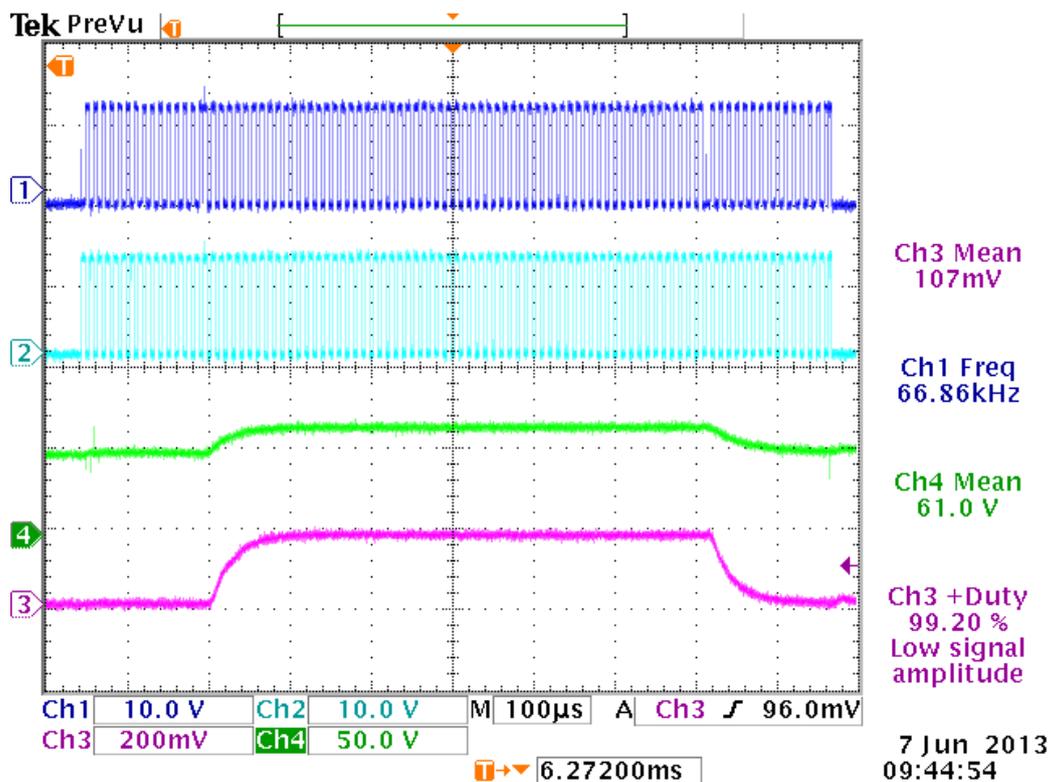


Figura 150; Detalle en modo fase-ráfaga con 150us de desfase

En la captura se produce el cambio en las señales de control, desfasando 180° unos 150us las señales antes y después de estar en fase intentando producir un mejor control que en los métodos anteriores y consiguiendo mejorarlo con respecto al fase-ráfaga 100us.

5.7- Conclusiones de los resultados obtenidos

Como hemos visto en los resultados medidos en el laboratorio y las capturas del osciloscopio todos los métodos de control usados obtienen resultados muy similares. Basándonos en la medida del rendimiento no podríamos decantarnos por uno en concreto ya que no varía de una manera significativa. En las capturas del osciloscopio podemos observar que la que menos distorsión produce es el control por fase por lo cual sería la mejor opción a montar.

Las diferencias entre el control en ráfaga de 500Hz y de 2000Hz se deja observar bien en las pruebas del laboratorio, ya que a mayor frecuencia el sonido producido por los cambios en la señal que pasan por la matriz LED disminuyen notablemente.

De las tres opciones que hemos tenido en cuenta en el control de fase-ráfaga, siendo los tiempos de desfase de 50us, 100us, y 150us, no hemos visto grandes cambios entre ellas, produciéndose algunos picos de intensidad y tensión en el cambio de las señales de control de fase a desfase. Los rendimientos son muy similares y constantes. De elegir una, la mejor opción sería la 50us dada su poca distorsión, aunque a efectos prácticos en el laboratorio de no se observaba ninguna diferencia entre ellas en lo que a luminosidad o picos de luminosidad se refiere.

Podemos concluir diciendo que dada la flexibilidad del circuito montado con el PIC podríamos montar cualquiera de los controles propuestos de encendido/apagado ya que el convertidor se comporta muy bien en todos los casos, produciendo muy poca distorsión.

ANEXOS

6- Anexos

6.1- Códigos de los programas

6.1.1- Control de fase

```
#include <16F887.h>
#device adc=16
#FUSES NOWDT           //Sin WDT
#FUSES HS              //Oscilador de alta velocidad, >10Mh
#FUSES NOBROWNOUT
#FUSES NOLVP
#use delay(clock=12000000)

//Variables de Tiempo, preescaler 1, 12MHz//
int16 ton, toff;

//Variables//
int entrada, m, i;

// -----
// -----Interrupción-----
// -----
#int_TIMER1
void TIMER1_isr(void)
{
switch(i)
{
// -----PWM en fase-----
case 1:
    set_timer1(ton);
    setup_ccp1(CCP_PWM_HALF_BRIDGE|CCP_PWM_H_L); //fase
    set_pwm1_duty((int16)58);
    if (m==1){
        i=1; }
    else {
        i=2; }
    break;

// -----PWM apagado-----
case 2:
    set_timer1(toff); //Tiempo que permanece apagado el DC
    setup_ccp1(CCP_PWM_HALF_BRIDGE|CCP_PWM_H_H); //fase
    set_pwm1_duty((int16)58);
    i=1;
    break;

}} // -----Fin de la interrupción-----
```

```
// -----  
// -----Programa principal-----  
// -----  
  
void main()  
{  
    setup_timer_1(T1_INTERNAL|T1_DIV_BY_1);    //Interruption con prees= 1  
    setup_timer_2(T2_DIV_BY_1,29,1);    //10.0 us overflow, 10.0 us interrupt  
    enable_interrupts(INT_TIMER1);  
    enable_interrupts(GLOBAL);  
  
    // -----  
    // ---Leo el puerto B y lo comparo con unos valores para ----  
    // ---la asignación de tiempos según cada ciclo de trabajo ----  
    // -----  
    SET_TRIS_B(0XFF);  
    entrada=input_b();  
  
    switch(entrada)  
    {  
        case 0b00000000:// 100%  
            i=1;  
            m=1;  
  
            ton=59536;  
            break;  
  
        case 0b00000001:// 93%  
            i=1;  
            m=0;  
            ton=59911;  
            toff=65161;  
            break;  
  
        case 0b00000010:// 87%  
            i=1;  
            m=0;  
            ton=60286;  
            toff=64786;  
            break;  
  
        case 0b00000011:// 81%  
            i=1;  
            m=0;  
            ton=60661;
```

```
    toff=64411;
    break;

case 0b00000100:// 75%
i=1;
m=0;
    ton=61036;
    toff=64036;
    break;

case 0b00000101:// 68%
i=1;
m=0;
    ton=61411;
    toff=63661;
    break;

case 0b00000110:// 62%
i=1;
m=0;
    ton=61786;
    toff=63286;
    break;

case 0b00000111:// 56%
i=1;
m=0;
    ton=62161;
    toff=62911;
    break;

case 0b00001000:// 50%
i=1;
m=0;
    ton=62536;
    toff=62536;
    break;

case 0b00001001:// 43%
i=1;
m=0;
    ton=62911;
    toff=62161;
    break;

case 0b00001010:// 37%
```

```
i=1;
m=0;
  ton=63286;
  toff=61786;
  break;

case 0b00001011:// 31%
i=1;
m=0;
  ton=63661;
  toff=61411;
  break;

case 0b00001100:// 25%
i=1;
m=0;
  ton=64036;
  toff=61036;
  break;

case 0b00001101:// 18%
i=1;
m=0;
  ton=64411;
  toff=60661;
  break;

case 0b00001110:// 12%
i=1;
m=0;
  ton=64786;
  toff=60286;
  break;
  case 0b00001111:// 6%
i=1;
m=0;
  ton=65161;
  toff=59911;
  break;
}
while(TRUE);
}
```

6.1.2- Control en modo ráfaga con frecuencia de 500Hz

```

#include <16F887.h>
#define adc=16
#define FUSES NOWDT           //Sin WDT
#define FUSES HS              //Oscilador de alta velocidad, >10Mh
#define FUSES NOBROWNOUT
#define FUSES NOLVP
#define use delay(clock=12000000)

//Variables de Tiempo, preescaler 1, 12MHz//
int16 ton, toff;

//Variables//
int entrada, m, i;

// -----
// -----Interrupción-----
// -----
#define int_TIMER1
void TIMER1_isr(void)
{
switch(i)
{
// -----PWM en fase-----
case 1:
    set_timer1(ton);
    setup_ccp1(CCP_PWM_HALF_BRIDGE|CCP_PWM_H_L); //fase
    set_pwm1_duty((int16)58);
    if (m==1){
        i=1; }
        else {
            i=2; }
        break;

// -----PWM apagado-----
case 2:
    set_timer1(toff); //Tiempo que permanece apagado el DC
    set_pwm1_duty((int16)0); //Apagamos el DC
    i=1;
    break;

}} // -----Fin de la interrupción-----

// -----
// -----Programa principal-----

```

```
// -----  
  
void main()  
{  
    setup_timer_1(T1_INTERNAL|T1_DIV_BY_1);    //Interruption con prees= 1  
    setup_timer_2(T2_DIV_BY_1,29,1);    //10.0 us overflow, 10.0 us interrupt  
    enable_interrupts(INT_TIMER1);  
    enable_interrupts(GLOBAL);  
  
    // -----  
    // ---Leo el puerto B y lo comparo con unos valores para ----  
    // ---la asignación de tiempos según cada ciclo de trabajo ----  
    // -----  
    SET_TRIS_B(0XFF);  
    entrada=input_b();  
  
    switch(entrada)  
    {  
        case 0b00000000:// 100%  
            i=1;  
            m=1;  
  
            ton=59536;  
            break;  
  
        case 0b00000001:// 93%  
            i=1;  
            m=0;  
            ton=59911;  
            toff=65161;  
            break;  
  
        case 0b00000010:// 87%  
            i=1;  
            m=0;  
            ton=60286;  
            toff=64786;  
            break;  
  
        case 0b00000011:// 81%  
            i=1;  
            m=0;  
            ton=60661;  
            toff=64411;  
            break;
```

```
case 0b00000100:// 75%
i=1;
m=0;
  ton=61036;
  toff=64036;
  break;
```

```
case 0b00000101:// 68%
i=1;
m=0;
  ton=61411;
  toff=63661;
  break;
```

```
case 0b00000110:// 62%
i=1;
m=0;
  ton=61786;
  toff=63286;
  break;
```

```
case 0b00000111:// 56%
i=1;
m=0;
  ton=62161;
  toff=62911;
  break;
```

```
case 0b00001000:// 50%
i=1;
m=0;
  ton=62536;
  toff=62536;
  break;
```

```
case 0b00001001:// 43%
i=1;
m=0;
  ton=62911;
  toff=62161;
  break;
```

```
case 0b00001010:// 37%
i=1;
m=0;
  ton=63286;
```

```
    toff=61786;
    break;

    case 0b00001011:// 31%
    i=1;
    m=0;
    ton=63661;
    toff=61411;
    break;

    case 0b00001100:// 25%
    i=1;
    m=0;
    ton=64036;
    toff=61036;
    break;

    case 0b00001101:// 18%
    i=1;
    m=0;
    ton=64411;
    toff=60661;
    break;

    case 0b00001110:// 12%
    i=1;
    m=0;
    ton=64786;
    toff=60286;
    break;

    case 0b00001111:// 6%
    i=1;
    m=0;
    ton=65161;
    toff=59911;
    break;
}
while(TRUE);
}
```

6.1.3- Control en modo ráfaga con frecuencia de 2000Hz

```
#include <16F887.h>
#device adc=16
#FUSES NOWDT           //Sin WDT
#FUSES HS              //Oscilador de alta velocidad, >10Mh
#FUSES NOBROWNOUT
#FUSES NOLVP
#use delay(clock=12000000)

//Variables de Tiempo, preescaler 1, 12MHz//
int16 ton, toff;

//Variables//
int entrada, m, i;

// -----
// -----Interrupción-----
// -----
#int_TIMER1
void TIMER1_isr(void)
{
switch(i)
{
// -----PWM en fase-----
case 1:
    set_timer1(ton);
    setup_ccp1(CCP_PWM_HALF_BRIDGE|CCP_PWM_H_L); //fase
    set_pwm1_duty((int16)58);
    if (m==1){
        i=1; }
    else {
        i=2; }
    break;

// -----PWM apagado-----
case 2:
    set_timer1(toff); //Tiempo que permanece apagado el DC
    set_pwm1_duty((int16)0); //Apagamos el DC
    i=1;
    break;

}} // -----Fin de la interrupción-----

// -----
// -----Programa principal-----
```

```
// -----  
  
void main()  
{  
  setup_timer_1(T1_INTERNAL|T1_DIV_BY_1);    //Interruption con prees= 1  
  setup_timer_2(T2_DIV_BY_1,29,1);  
  enable_interrupts(INT_TIMER1);  
  enable_interrupts(GLOBAL);  
  
  // -----  
  // ---Leo el puerto B y lo comparo con unos valores para ----  
  // ---la asignación de tiempos según cada ciclo de trabajo ----  
  // -----  
  SET_TRIS_B(0XFF);  
  entrada=input_b();  
  
  switch(entrada)  
  {  
    case 0b00000000:// 100%  
      i=1;  
      m=1;  
  
      ton=64036;  
      break;  
  
    case 0b00000001:// 93%  
      i=1;  
      m=0;  
      ton=64129.75;  
      toff=65442.25;  
      break;  
  
    case 0b00000010:// 87%  
      i=1;  
      m=0;  
      ton=64223.5;  
      toff=65348.5;  
      break;  
  
    case 0b00000011:// 81%  
      i=1;  
      m=0;  
      ton=64317.25;  
      toff=65254.75;  
      break;
```

```
case 0b00000100:// 75%
i=1;
m=0;
  ton=64411;
  toff=65161;
  break;
```

```
case 0b00000101:// 68%
i=1;
m=0;
  ton=64504.75;
  toff=65067.25;
  break;
```

```
case 0b00000110:// 62%
i=1;
m=0;
  ton=64598.5;
  toff=64973.5;
  break;
```

```
case 0b00000111:// 56%
i=1;
m=0;
  ton=64692.25;
  toff=64879.75;
  break;
```

```
case 0b00001000:// 50%
i=1;
m=0;
  ton=64786;
  toff=64786;
  break;
```

```
case 0b00001001:// 43%
i=1;
m=0;
  ton=64879.75;
  toff=64692.25;
  break;
```

```
case 0b00001010:// 37%
i=1;
m=0;
  ton=64973.5;
```

```
    toff=64598.5;
    break;

    case 0b00001011:// 31%
    i=1;
    m=0;
    ton=65067.25;
    toff=64504.75;
    break;

    case 0b00001100:// 25%
    i=1;
    m=0;
    ton=65161;
    toff=64411;
    break;

    case 0b00001101:// 18%
    i=1;
    m=0;
    ton=65254.75;
    toff=64317.25;
    break;

    case 0b00001110:// 12%
    i=1;
    m=0;
    ton=65348.5;
    toff=64223.5;
    break;

    case 0b00001111:// 6%
    i=1;
    m=0;
    ton=65442.25;
    toff=64129.75;
    break;
}
while(TRUE);
}
```

6.1.4- Control fase-ráfaga con 50us de desfase

```
#include <16F887.h>
#device adc=16
#FUSES NOWDT           //No WDT
#FUSES HS              //Cristal de más de 10Mhz
#FUSES NOBROWNOUT
#FUSES NOLVP          //No low voltage prgming, B3(PIC16) or
B5(PIC18) used for I/O
#use delay(clock=12000000)

//Variables de Tiempo, preescaler 1, 12MHz//
int16 ton, toff;
int16 tu=65416; //80us en vez de 100 para la corrección de tiempos

//Variables//
int entrada, j, i, m;
int l=1;
// -----
// -----Interrupción-----
// -----
#int_TIMER1
void TIMER1_isr(void)
{
switch(i)
{
// -----PWM solo desfasado-----
case 0:
    set_timer1(toff);
    setup_ccp1(CCP_PWM_HALF_BRIDGE|CCP_PWM_H_H); //180°
    set_pwm1_duty((int16)58);
    i=1;
    break;
// -----PWM en fase-----
case 1:
    set_timer1(ton);
    setup_ccp1(CCP_PWM_HALF_BRIDGE|CCP_PWM_H_L); //fase
    set_pwm1_duty((int16)58);
    if (j==1) {           //J=1 para DC menor de 90%
        i=2; }
    else {                //J=0 para DC mayor de 90%
        if (m==1){
            i=0;
        }else{
            i=1;}}
    break;
// -----PWM desfasado para menos 90%DC-----
```

```
case 2:
    set_timer1(tu); //Tiempo de 100us antes y después de apagarlo
    setup_ccp1(CCP_PWM_HALF_BRIDGE|CCP_PWM_H_H); //180°
    set_pwm1_duty((int16)58);
        if (l==0){
            i=1;
            l=1; }
        else {
            i=3; }
    break;
// -----PWM apagado-----
case 3:
    set_timer1(toff); //Tiempo que permanece apagado el DC
    setup_ccp1(CCP_PWM_HALF_BRIDGE|CCP_PWM_H_I); //180°
    set_pwm1_duty((int16)0); //Apagamos el DC
    i=2;
    l=0;
    break;

}} // -----Fin de la interrupción-----

// -----
// -----Programa principal-----
// -----

void main()
{
    setup_timer_1(T1_INTERNAL|T1_DIV_BY_1); //Interrupción con prees= 1
    setup_timer_2(T2_DIV_BY_1,29,1); //10.0 us overflow, 10.0 us interrupt
    enable_interrupts(INT_TIMER1);
    enable_interrupts(GLOBAL);

// -----
// ---Leo el puerto B y lo comparo con unos valores para -----
// ---la asignación de tiempos según cada ciclo de trabajo -----
// -----
    SET_TRIS_B(0XFF);
    entrada=input_b();

switch(entrada)
{
    case 0b00000000:// 100%
        i=1;
        j=0;
        m=0;
```

```
ton=59536;  
break;
```

```
case 0b00000001:// 93%  
i=1;  
j=0;  
m=1;  
ton=59971;  
toff=65221;  
break;
```

```
case 0b00000010:// 87%  
i=1;  
j=1;  
ton=60346;  
toff=65146;  
break;
```

```
case 0b00000011:// 81%  
i=1;  
j=1;  
ton=60721;  
toff=64771;  
break;
```

```
case 0b00000100:// 75%  
i=1;  
j=1;  
ton=61096;  
toff=64396;  
break;
```

```
case 0b00000101:// 68%  
i=1;  
j=1;  
ton=61471;  
toff=64021;  
break;
```

```
case 0b00000110:// 62%  
i=1;  
j=1;  
ton=61846;  
toff=63646;  
break;
```

case 0b00000111:// 56%

```
i=1;  
j=1;  
  ton=62221;  
  toff=63271;  
  break;
```

case 0b00001000:// 50%

```
i=1;  
j=1;  
  ton=62596;  
  toff=62896;  
  break;
```

case 0b00001001:// 43%

```
i=1;  
j=1;  
  ton=62971;  
  toff=62521;  
  break;
```

case 0b00001010:// 37%

```
i=1;  
j=1;  
  ton=63346;  
  toff=62146;  
  break;
```

case 0b00001011:// 31%

```
i=1;  
j=1;  
  ton=63721;  
  toff=61771;  
  break;
```

case 0b00001100:// 25%

```
i=1;  
j=1;  
  ton=64096;  
  toff=61396;  
  break;
```

case 0b00001101:// 18%

```
i=1;  
j=1;  
  ton=64471;
```

```
    toff=61021;
    break;

    case 0b00001110:// 12%
    i=1;
    j=1;
    ton=64846;
    toff=60646;
    break;

    case 0b00001111:// 6%
    i=1;
    j=1;
    ton=65221;
    toff=60271;
    break;
}
while(TRUE);
}
```

6.1.5- Control fase-ráfaga con 100us de desfase

```

#include <16F887.h>
#device adc=16
#FUSES NOWDT           //No WDT
#FUSES HS              //Cristal de más de 10Mhz
#FUSES NOBROWNOUT
#FUSES NOLVP          //No low voltage prgming, B3(PIC16) or
B5(PIC18) used for I/O
#use delay(clock=12000000)

//Variables de Tiempo, preescaler 1, 12MHz//
int16 ton, toff;
int16 tu=65296; //80us en vez de 100 para la corrección de tiempos

//Variables//
int entrada, j, i, m;
int l=1;
// -----
// -----Interrupción-----
// -----
#int_TIMER1
void TIMER1_isr(void)
{
switch(i)
{
// -----PWM solo desfasado-----
case 0:
    set_timer1(toff);
    setup_ccp1(CCP_PWM_HALF_BRIDGE|CCP_PWM_H_H); //180°
    set_pwm1_duty((int16)58);
    i=1;
    break;
// -----PWM en fase-----
case 1:
    set_timer1(ton);
    setup_ccp1(CCP_PWM_HALF_BRIDGE|CCP_PWM_H_L); //fase
    set_pwm1_duty((int16)58);
    if (j==1) {           //J=1 para DC menor de 90%
        i=2; }
    else {               //J=0 para DC mayor de 90%
        if (m==1){
            i=0;
        }else{
            i=1;}}
    break;
// -----PWM desfasado para menos 90%DC-----

```

```
case 2:
    set_timer1(tu); //Tiempo de 100us antes y después de apagarlo
    setup_ccp1(CCP_PWM_HALF_BRIDGE|CCP_PWM_H_H); //180°
    set_pwm1_duty((int16)58);
        if (l==0){
            i=1;
            l=1; }
        else {
            i=3; }
    break;
// -----PWM apagado-----
case 3:
    set_timer1(toff); //Tiempo que permanece apagado el DC
    setup_ccp1(CCP_PWM_HALF_BRIDGE|CCP_PWM_H_I); //180°
    set_pwm1_duty((int16)0); //Apagamos el DC
    i=2;
    l=0;
    break;

}} // -----Fin de la interrupción-----

// -----
// -----Programa principal-----
// -----

void main()
{
    setup_timer_1(T1_INTERNAL|T1_DIV_BY_1); //Interrupción con prees= 1
    setup_timer_2(T2_DIV_BY_1,29,1); //10.0 us overflow, 10.0 us interrupt
    enable_interrupts(INT_TIMER1);
    enable_interrupts(GLOBAL);

// -----
// ---Leo el puerto B y lo comparo con unos valores para -----
// ---la asignación de tiempos según cada ciclo de trabajo -----
// -----
    SET_TRIS_B(0XFF);
    entrada=input_b();

switch(entrada)
{
    case 0b00000000:// 100%
        i=1;
        j=0;
        m=0;
```

```
ton=59536;  
break;
```

```
case 0b00000001:// 93%  
i=1;  
j=0;  
m=1;  
ton=59971;  
toff=65221;  
break;
```

```
case 0b00000010:// 87%  
i=1;  
j=1;  
ton=60346;  
toff=65446;  
break;
```

```
case 0b00000011:// 81%  
i=1;  
j=1;  
ton=60721;  
toff=65071;  
break;
```

```
case 0b00000100:// 75%  
i=1;  
j=1;  
ton=61096;  
toff=64696;  
break;
```

```
case 0b00000101:// 68%  
i=1;  
j=1;  
ton=61471;  
toff=64321;  
break;
```

```
case 0b00000110:// 62%  
i=1;  
j=1;  
ton=61846;  
toff=63946;  
break;
```

```
case 0b00000111:// 56%  
i=1;  
j=1;  
  ton=62221;  
  toff=63571;  
  break;
```

```
case 0b00001000:// 50%  
i=1;  
j=1;  
  ton=62596;  
  toff=63196;  
  break;
```

```
case 0b00001001:// 43%  
i=1;  
j=1;  
  ton=62971;  
  toff=62821;  
  break;
```

```
case 0b00001010:// 37%  
i=1;  
j=1;  
  ton=63346;  
  toff=62446;  
  break;
```

```
case 0b00001011:// 31%  
i=1;  
j=1;  
  ton=63721;  
  toff=62071;  
  break;
```

```
case 0b00001100:// 25%  
i=1;  
j=1;  
  ton=64096;  
  toff=61696;  
  break;
```

```
case 0b00001101:// 18%  
i=1;  
j=1;  
  ton=64471;
```

```
    toff=61321;
    break;

    case 0b00001110:// 12%
    i=1;
    j=1;
    ton=64846;
    toff=60946;
    break;

    case 0b00001111:// 6%
    i=1;
    j=1;
    ton=65221;
    toff=60571;
    break;
}
while(TRUE);
}
```

6.1.6- Control fase-ráfaga con 150us de desfase

```
#include <16F887.h>
#device adc=16
#FUSES NOWDT           //No WDT
#FUSES HS              //Cristal de más de 10Mhz
#FUSES NOBROWNOUT
#FUSES NOLVP          //No low voltage prgming, B3(PIC16) or
B5(PIC18) used for I/O
#use delay(clock=12000000)

//Variables de Tiempo, preescaler 1, 12MHz//
int16 ton, toff;
int16 tu=65131; //80us en vez de 100 para la corrección de tiempos

//Variables//
int entrada, j, i, m;
int l=1;
// -----
// -----Interrupción-----
// -----
#int_TIMER1
void TIMER1_isr(void)
{
switch(i)
{
// -----PWM solo desfasado-----
case 0:
set_timer1(toff);
setup_ccp1(CCP_PWM_HALF_BRIDGE|CCP_PWM_H_H); //180°
set_pwm1_duty((int16)58);
i=1;
break;
// -----PWM en fase-----
case 1:
set_timer1(ton);
setup_ccp1(CCP_PWM_HALF_BRIDGE|CCP_PWM_H_L); //fase
set_pwm1_duty((int16)58);
if (j==1) {           //J=1 para DC menor de 90%
i=2; }
else {               //J=0 para DC mayor de 90%
if (m==1){
i=0;
}else{
i=1;}}
break;
// -----PWM desfasado para menos 90%DC-----
```

```
case 2:
    set_timer1(tu); //Tiempo de 100us antes y después de apagarlo
    setup_ccp1(CCP_PWM_HALF_BRIDGE|CCP_PWM_H_H); //180°
    set_pwm1_duty((int16)58);
        if (l==0){
            i=1;
            l=1; }
        else {
            i=3; }
    break;
// -----PWM apagado-----
case 3:
    set_timer1(toff); //Tiempo que permanece apagado el DC
    setup_ccp1(CCP_PWM_HALF_BRIDGE|CCP_PWM_H_I); //180°
    set_pwm1_duty((int16)0); //Apagamos el DC
    i=2;
    l=0;
    break;

}} // -----Fin de la interrupción-----

// -----
// -----Programa principal-----
// -----

void main()
{
    setup_timer_1(T1_INTERNAL|T1_DIV_BY_1); //Interrupción con prees= 1
    setup_timer_2(T2_DIV_BY_1,29,1); //10.0 us overflow, 10.0 us interrupt
    enable_interrupts(INT_TIMER1);
    enable_interrupts(GLOBAL);

// -----
// ---Leo el puerto B y lo comparo con unos valores para ----
// ---la asignación de tiempos según cada ciclo de trabajo ----
// -----
    SET_TRIS_B(0XFF);
    entrada=input_b());

switch(entrada)
{
    case 0b00000000:// 100%
        i=1;
        j=0;
        m=0;
```

```
ton=59536;  
break;
```

```
case 0b00000001:// 93%  
i=1;  
j=0;  
m=1;  
ton=59971;  
toff=65221;  
break;
```

```
case 0b00000010:// 87%  
i=1;  
j=0;  
m=1;  
ton=60346;  
toff=64846;  
break;
```

```
case 0b00000011:// 81%  
i=1;  
j=1;  
ton=60721;  
toff=65371;  
break;
```

```
case 0b00000100:// 75%  
i=1;  
j=1;  
ton=61096;  
toff=64996;  
break;
```

```
case 0b00000101:// 68%  
i=1;  
j=1;  
ton=61471;  
toff=64621;  
break;
```

```
case 0b00000110:// 62%  
i=1;  
j=1;  
ton=61846;  
toff=64246;  
break;
```

```
case 0b00000111:// 56%  
i=1;  
j=1;  
  ton=62221;  
  toff=63871;  
  break;
```

```
case 0b00001000:// 50%  
i=1;  
j=1;  
  ton=62596;  
  toff=63496;  
  break;
```

```
case 0b00001001:// 43%  
i=1;  
j=1;  
  ton=62971;  
  toff=63121;  
  break;
```

```
case 0b00001010:// 37%  
i=1;  
j=1;  
  ton=63346;  
  toff=62746;  
  break;
```

```
case 0b00001011:// 31%  
i=1;  
j=1;  
  ton=63721;  
  toff=62371;  
  break;
```

```
case 0b00001100:// 25%  
i=1;  
j=1;  
  ton=64096;  
  toff=61996;  
  break;
```

```
case 0b00001101:// 18%  
i=1;  
j=1;
```

```
ton=64471;
toff=61621;
break;

case 0b00001110:// 12%
i=1;
j=1;
ton=64846;
toff=61246;
break;

case 0b00001111:// 6%
i=1;
j=1;
ton=65221;
toff=60871;
break;
}
while(TRUE);
}
```

6.2- Extractos de las hojas de características



PIC16F882/883/884/886/887

28/40/44-Pin Flash-Based, 8-Bit CMOS Microcontrollers with nanoWatt Technology

High-Performance RISC CPU:

- Only 35 Instructions to Learn:
 - All single-cycle instructions except branches
- Operating Speed:
 - DC – 20 MHz oscillator/clock input
 - DC – 200 ns instruction cycle
- Interrupt Capability
- 8-Level Deep Hardware Stack
- Direct, Indirect and Relative Addressing modes

Special Microcontroller Features:

- Precision Internal Oscillator:
 - Factory calibrated to $\pm 1\%$
 - Software selectable frequency range of 8 MHz to 31 kHz
 - Software tunable
 - Two-Speed Start-up mode
 - Crystal fail detect for critical applications
 - Clock mode switching during operation for power savings
- Power-Saving Sleep mode
- Wide Operating Voltage Range (2.0V-5.5V)
- Industrial and Extended Temperature Range
- Power-on Reset (POR)
- Power-up Timer (PWRT) and Oscillator Start-up Timer (OST)
- Brown-out Reset (BOR) with Software Control Option
- Enhanced Low-Current Watchdog Timer (WDT) with On-Chip Oscillator (software selectable nominal 268 seconds with full prescaler) with software enable
- Multiplexed Master Clear with Pull-up/Input Pin
- Programmable Code Protection
- High Endurance Flash/EEPROM Cell:
 - 100,000 write Flash endurance
 - 1,000,000 write EEPROM endurance
 - Flash/Data EEPROM retention: > 40 years
- Program Memory Read/Write during run time
- In-Circuit Debugger (on board)

Low-Power Features:

- Standby Current:
 - 50 nA @ 2.0V, typical
- Operating Current:
 - 11 μ A @ 32 kHz, 2.0V, typical
 - 220 μ A @ 4 MHz, 2.0V, typical
- Watchdog Timer Current:
 - 1 μ A @ 2.0V, typical

Peripheral Features:

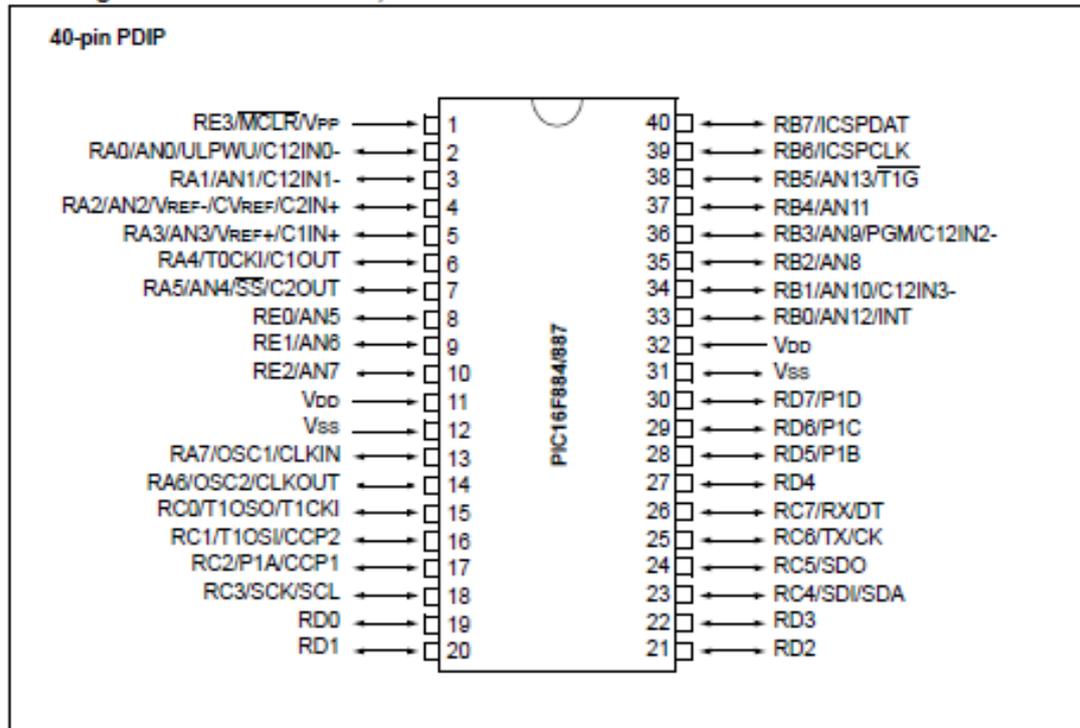
- 24/35 I/O Pins with Individual Direction Control:
 - High current source/sink for direct LED drive
 - Interrupt-on-Change pin
 - Individually programmable weak pull-ups
 - Ultra Low-Power Wake-up (ULPWU)
- Analog Comparator Module with:
 - Two analog comparators
 - Programmable on-chip voltage reference (CVRREF) module (% of V_{DD})
 - Fixed voltage reference (0.6V)
 - Comparator inputs and outputs externally accessible
 - SR Latch mode
 - External Timer1 Gate (count enable)
- A/D Converter:
 - 10-bit resolution and 11/14 channels
- Timer0: 8-bit Timer/Counter with 8-bit Programmable Prescaler
- Enhanced Timer1:
 - 16-bit timer/counter with prescaler
 - External Gate Input mode
 - Dedicated low-power 32 kHz oscillator
- Timer2: 8-bit Timer/Counter with 8-bit Period Register, Prescaler and Postscaler
- Enhanced Capture, Compare, PWM+ Module:
 - 16-bit Capture, max. resolution 12.5 ns
 - Compare, max. resolution 200 ns
 - 10-bit PWM with 1, 2 or 4 output channels, programmable "dead time", max. frequency 20 kHz
 - PWM output steering control
- Capture, Compare, PWM Module:
 - 16-bit Capture, max. resolution 12.5 ns
 - 16-bit Compare, max. resolution 200 ns
 - 10-bit PWM, max. frequency 20 kHz
- Enhanced USART Module:
 - Supports RS-485, RS-232, and LIN 2.0
 - Auto-Baud Detect
 - Auto-Wake-Up on Start bit
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via Two Pins
- Master Synchronous Serial Port (MSSP) Module supporting 3-wire SPI (all 4 modes) and I²C™ Master and Slave Modes with I²C Address Mask

PIC16F882/883/884/886/887

Device	Program Memory	Data Memory		I/O	10-bit A/D (ch)	ECCP/ CCP	EUSART	MSSP	Comparators	Timers 8/16-bit
	Flash (words)	SRAM (bytes)	EEPROM (bytes)							
PIC16F882	2048	128	128	24	11	1/1	1	1	2	2/1
PIC16F883	4096	256	256	24	11	1/1	1	1	2	2/1
PIC16F884	4096	256	256	35	14	1/1	1	1	2	2/1
PIC16F886	8192	368	256	24	11	1/1	1	1	2	2/1
PIC16F887	8192	368	256	35	14	1/1	1	1	2	2/1

PIC16F882/883/884/886/887

Pin Diagrams – PIC16F884/887, 40-Pin PDIP



PIC16F882/883/884/886/887

TABLE 3: PIC16F884/887 40-PIN SUMMARY (PDIP)

IO	Pin	Analog	Comparators	Timers	ECCP	EUSART	MSSP	Interrupt	Pull-up	Basic
RA0	2	AND/ULPWU	C12IN0-	—	—	—	—	—	—	—
RA1	3	AN1	C12IN1-	—	—	—	—	—	—	—
RA2	4	AN2	C2IN+	—	—	—	—	—	—	VREF-/CVREF
RA3	5	AN3	C1IN+	—	—	—	—	—	—	VREF+
RA4	6	—	C1OUT	T0CKI	—	—	—	—	—	—
RA5	7	AN4	C2OUT	—	—	—	SS	—	—	—
RA6	14	—	—	—	—	—	—	—	—	OSC2/CLKOUT
RA7	13	—	—	—	—	—	—	—	—	OSC1/CLKIN
RB0	33	AN12	—	—	—	—	—	IOC/INT	Y	—
RB1	34	AN10	C12IN3-	—	—	—	—	IOC	Y	—
RB2	35	AN8	—	—	—	—	—	IOC	Y	—
RB3	36	AN9	C12IN2-	—	—	—	—	IOC	Y	PGM
RB4	37	AN11	—	—	—	—	—	IOC	Y	—
RB5	38	AN13	—	T1G	—	—	—	IOC	Y	—
RB6	39	—	—	—	—	—	—	IOC	Y	ICSPCLK
RB7	40	—	—	—	—	—	—	IOC	Y	ICSPDAT
RC0	15	—	—	T1OSO/T1CKI	—	—	—	—	—	—
RC1	16	—	—	T1OSI	CCP2	—	—	—	—	—
RC2	17	—	—	—	CCP1/P1A	—	—	—	—	—
RC3	18	—	—	—	—	—	SCK/SCL	—	—	—
RC4	23	—	—	—	—	—	SDI/SDA	—	—	—
RC5	24	—	—	—	—	—	SDO	—	—	—
RC6	25	—	—	—	—	TX/CK	—	—	—	—
RC7	26	—	—	—	—	RX/DT	—	—	—	—
RD0	19	—	—	—	—	—	—	—	—	—
RD1	20	—	—	—	—	—	—	—	—	—
RD2	21	—	—	—	—	—	—	—	—	—
RD3	22	—	—	—	—	—	—	—	—	—
RD4	27	—	—	—	—	—	—	—	—	—
RD5	28	—	—	—	P1B	—	—	—	—	—
RD6	29	—	—	—	P1C	—	—	—	—	—
RD7	30	—	—	—	P1D	—	—	—	—	—
RE0	8	AN5	—	—	—	—	—	—	—	—
RE1	9	AN6	—	—	—	—	—	—	—	—
RE2	10	AN7	—	—	—	—	—	—	—	—
RE3	1	—	—	—	—	—	—	—	Y ⁽¹⁾	MCLR/Vpp
—	11	—	—	—	—	—	—	—	—	VDD
—	32	—	—	—	—	—	—	—	—	VDD
—	12	—	—	—	—	—	—	—	—	VSS
—	31	—	—	—	—	—	—	—	—	VSS

Note 1: Pull-up activated only with external MCLR configuration.

PIC16F882/883/884/886/887

TABLE 1-2: PIC16F884/887 PINOUT DESCRIPTION

Name	Function	Input Type	Output Type	Description
RA0/AN0/ULPWU/C12IN0-	RA0	TTL	CMOS	General purpose I/O.
	AN0	AN	—	A/D Channel 0 Input.
	ULPWU	AN	—	Ultra Low-Power Wake-up Input.
	C12IN0-	AN	—	Comparator C1 or C2 negative Input.
RA1/AN1/C12IN1-	RA1	TTL	CMOS	General purpose I/O.
	AN1	AN	—	A/D Channel 1 Input.
	C12IN1-	AN	—	Comparator C1 or C2 negative Input.
RA2/AN2/VREF-/CVREF/C2IN+	RA2	TTL	CMOS	General purpose I/O.
	AN2	AN	—	A/D Channel 2.
	VREF-	AN	—	A/D Negative Voltage Reference Input.
	CVREF	—	AN	Comparator Voltage Reference output.
	C2IN+	AN	—	Comparator C2 positive Input.
RA3/AN3/VREF+/C1IN+	RA3	TTL	CMOS	General purpose I/O.
	AN3	AN	—	A/D Channel 3.
	VREF+	AN	—	A/D Positive Voltage Reference Input.
	C1IN+	AN	—	Comparator C1 positive Input.
RA4/T0CKI/C1OUT	RA4	TTL	CMOS	General purpose I/O.
	T0CKI	ST	—	Timer0 clock Input.
	C1OUT	—	CMOS	Comparator C1 output.
RA5/AN4/SS/C2OUT	RA5	TTL	CMOS	General purpose I/O.
	AN4	AN	—	A/D Channel 4.
	SS	ST	—	Slave Select Input.
	C2OUT	—	CMOS	Comparator C2 output.
RA6/OSC2/CLKOUT	RA6	TTL	CMOS	General purpose I/O.
	OSC2	—	XTAL	Crystal/Resonator.
	CLKOUT	—	CMOS	Fosc/4 output.
RA7/OSC1/CLKIN	RA7	TTL	CMOS	General purpose I/O.
	OSC1	XTAL	—	Crystal/Resonator.
	CLKIN	ST	—	External clock Input/RC oscillator connection.
RB0/AN12/INT	RB0	TTL	CMOS	General purpose I/O. Individually controlled Interrupt-on-change. Individually enabled pull-up.
	AN12	AN	—	A/D Channel 12.
	INT	ST	—	External Interrupt.
RB1/AN10/C12IN3-	RB1	TTL	CMOS	General purpose I/O. Individually controlled Interrupt-on-change. Individually enabled pull-up.
	AN10	AN	—	A/D Channel 10.
	C12IN3-	AN	—	Comparator C1 or C2 negative Input.
RB2/AN8	RB2	TTL	CMOS	General purpose I/O. Individually controlled Interrupt-on-change. Individually enabled pull-up.
	AN8	AN	—	A/D Channel 8.
RB3/AN9/PGM/C12IN2-	RB3	TTL	CMOS	General purpose I/O. Individually controlled Interrupt-on-change. Individually enabled pull-up.
	AN9	AN	—	A/D Channel 9.
	PGM	ST	—	Low-voltage ICSP™ Programming enable pin.
	C12IN2-	AN	—	Comparator C1 or C2 negative Input.

Legend: AN = Analog Input or output CMOS = CMOS compatible Input or output OD = Open Drain
 TTL = TTL compatible Input ST = Schmitt Trigger Input with CMOS levels
 HV = High Voltage XTAL = Crystal

PIC16F882/883/884/886/887

TABLE 1-2: PIC16F884/887 PINOUT DESCRIPTION (CONTINUED)

Name	Function	Input Type	Output Type	Description
RB4/AN11	RB4	TTL	CMOS	General purpose I/O. Individually controlled interrupt-on-change. Individually enabled pull-up.
	AN11	AN	—	A/D Channel 11.
RB5/AN13/T1G	RB5	TTL	CMOS	General purpose I/O. Individually controlled interrupt-on-change. Individually enabled pull-up.
	AN13	AN	—	A/D Channel 13.
	T1G	ST	—	Timer1 Gate Input.
RB6/ICSPCLK	RB6	TTL	CMOS	General purpose I/O. Individually controlled interrupt-on-change. Individually enabled pull-up.
	ICSPCLK	ST	—	Serial Programming Clock.
RB7/ICSPDAT	RB7	TTL	CMOS	General purpose I/O. Individually controlled interrupt-on-change. Individually enabled pull-up.
	ICSPDAT	ST	TTL	ICSP™ Data I/O.
RC0/T1OSO/T1CKI	RC0	ST	CMOS	General purpose I/O.
	T1OSO	—	XTAL	Timer1 oscillator output.
	T1CKI	ST	—	Timer1 clock input.
RC1/T1OSI/CCP2	RC1	ST	CMOS	General purpose I/O.
	T1OSI	XTAL	—	Timer1 oscillator input.
	CCP2	ST	CMOS	Capture/Compare/PWM2.
RC2/P1A/CCP1	RC2	ST	CMOS	General purpose I/O.
	P1A	ST	CMOS	PWM output.
	CCP1	—	CMOS	Capture/Compare/PWM1.
RC3/SCK/SCL	RC3	ST	CMOS	General purpose I/O.
	SCK	ST	CMOS	SPI clock.
	SCL	ST	OD	I ² C™ clock.
RC4/SDI/SDA	RC4	ST	CMOS	General purpose I/O.
	SDI	ST	—	SPI data input.
	SDA	ST	OD	I ² C data input/output.
RC5/SDO	RC5	ST	CMOS	General purpose I/O.
	SDO	—	CMOS	SPI data output.
RC6/TX/CK	RC6	ST	CMOS	General purpose I/O.
	TX	—	CMOS	EUSART asynchronous transmit.
	CK	ST	CMOS	EUSART synchronous clock.
RC7/RX/DT	RC7	ST	CMOS	General purpose I/O.
	RX	ST	—	EUSART asynchronous input.
	DT	ST	CMOS	EUSART synchronous data.
RD0	RD0	TTL	CMOS	General purpose I/O.
RD1	RD1	TTL	CMOS	General purpose I/O.
RD2	RD2	TTL	CMOS	General purpose I/O.
RD3	RD3	TTL	CMOS	General purpose I/O.
RD4	RD4	TTL	CMOS	General purpose I/O.
RD5/P1B	RD5	TTL	CMOS	General purpose I/O.
	P1B	—	CMOS	PWM output.
RD6/P1C	RD6	TTL	CMOS	General purpose I/O.
	P1C	—	CMOS	PWM output.

Legend: AN = Analog Input or output CMOS = CMOS compatible Input or output OD = Open Drain
 TTL = TTL compatible Input ST = Schmitt Trigger Input with CMOS levels
 HV = High Voltage XTAL = Crystal

PIC16F882/883/884/886/887

TABLE 1-2: PIC16F884/887 PINOUT DESCRIPTION (CONTINUED)

Name	Function	Input Type	Output Type	Description
RD7/P1D	RD7	TTL	CMOS	General purpose I/O.
	P1D	AN	—	PWM output.
RE0/AN5	RE0	TTL	CMOS	General purpose I/O.
	AN5	AN	—	A/D Channel 5.
RE1/AN6	RE1	TTL	CMOS	General purpose I/O.
	AN6	AN	—	A/D Channel 6.
RE2/AN7	RE2	TTL	CMOS	General purpose I/O.
	AN7	AN	—	A/D Channel 7.
RE3/MCLR/VPP	RE3	TTL	—	General purpose input.
	MCLR	ST	—	Master Clear with Internal pull-up.
	VPP	HV	—	Programming voltage.
Vss	Vss	Power	—	Ground reference.
VDD	VDD	Power	—	Positive supply.

Legend: AN = Analog Input or output CMOS = CMOS compatible Input or output OD = Open Drain
 TTL = TTL compatible input ST = Schmitt Trigger Input with CMOS levels
 HV = High Voltage XTAL = Crystal

MOTOROLA
SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

MC14504B

Hex Level Shifter for TTL to CMOS or CMOS to CMOS

The MC14504B is a hex non-inverting level shifter using CMOS technology. The level shifter will shift a TTL signal to CMOS logic levels for any CMOS supply voltage between 5 and 15 volts. A control input also allows interface from CMOS to CMOS at one logic level to another logic level: Either up or down level translating is accomplished by selection of power supply levels V_{DD} and V_{CC} . The V_{CC} level sets the input signal levels while V_{DD} selects the output voltage levels.

- UP Translates from a Low to a High Voltage or DOWN Translates from a High to a Low Voltage
- Input Threshold Can Be Shifted for TTL Compatibility
- No Sequencing Required on Power Supplies or Inputs for Power Up or Power Down
- 3 to 18 Vdc Operation for V_{DD} and V_{CC}
- Diode Protected Inputs to V_{SS}
- Capable of Driving Two Low-Power TTL Loads or One Low-Power Schottky TTL Load Over the Rated Temperature Range



L SUFFIX
CERAMIC
CASE 620



P SUFFIX
PLASTIC
CASE 648



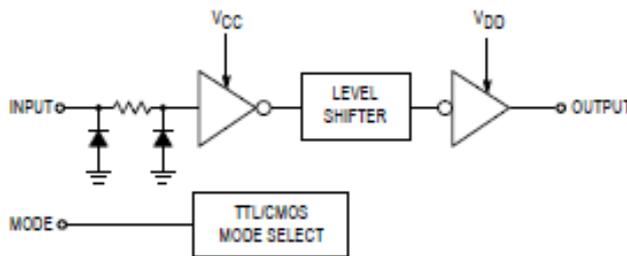
D SUFFIX
SOIC
CASE 751B

ORDERING INFORMATION

MC14XXXBCP Plastic
MC14XXXBCL Ceramic
MC14XXXBD SOIC

$T_A = -55^\circ$ to 125°C for all packages.

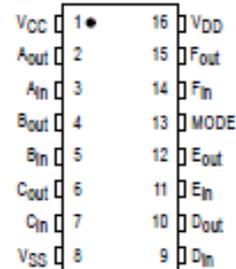
LOGIC DIAGRAM



Mode Select	Input Logic Levels	Output Logic Levels
1 (V_{CC})	TTL	CMOS
0 (V_{SS})	CMOS	CMOS

1/6 of package shown.

PIN ASSIGNMENT



This device contains circuitry to protect the inputs against damage due to high static voltages or electric fields referenced to the V_{SS} pin, only. Extra precautions must be taken to avoid applications of any voltage higher than maximum rated voltages to this high-impedance circuit. For proper operation, the ranges $V_{SS} \leq V_{In} \leq 18\text{ V}$ and $V_{SS} \leq V_{out} \leq V_{DD}$ are recommended.

Unused inputs must always be tied to an appropriate logic voltage level (e.g., either V_{SS} or V_{DD}). Unused outputs must be left open.

REV 3
1/84

© Motorola, Inc. 1995



IR2111(S) & (PbF)

HALF-BRIDGE DRIVER

Features

- Floating channel designed for bootstrap operation
Fully operational to +600V
Tolerant to negative transient voltage
dV/dt immune
- Gate drive supply range from 10 to 20V
- Undervoltage lockout for both channels
- CMOS Schmitt-triggered inputs with pull-down
- Matched propagation delay for both channels
- Internally set deadtime
- High side output in phase with input
- Also available LEAD-FREE

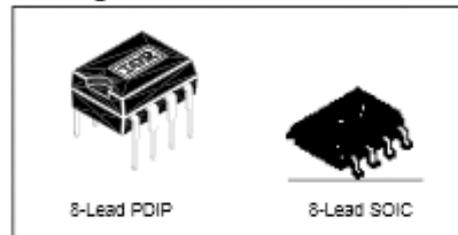
Product Summary

V_{OFFSET}	600V max.
$I_{O+/-}$	200 mA / 420 mA
V_{OUT}	10 - 20V
$t_{on/off}$ (typ.)	750 & 150 ns
Deadtime (typ.)	650 ns

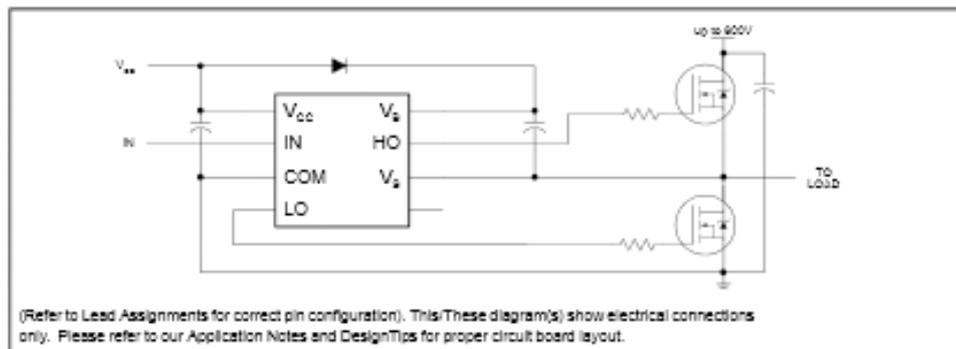
Description

The IR2111(S) is a high voltage, high speed power MOSFET and IGBT driver with dependent high and low side referenced output channels designed for half-bridge applications. Proprietary HVIC and latch immune CMOS technologies enable ruggedized monolithic construction. Logic input is compatible with standard CMOS outputs. The output drivers feature a high pulse current buffer stage designed for minimum driver cross-conduction. Internal deadtime is provided to avoid shoot-through in the output half-bridge. The floating channel can be used to drive an N-channel power MOSFET or IGBT in the high side configuration which operates up to 600 volts.

Packages

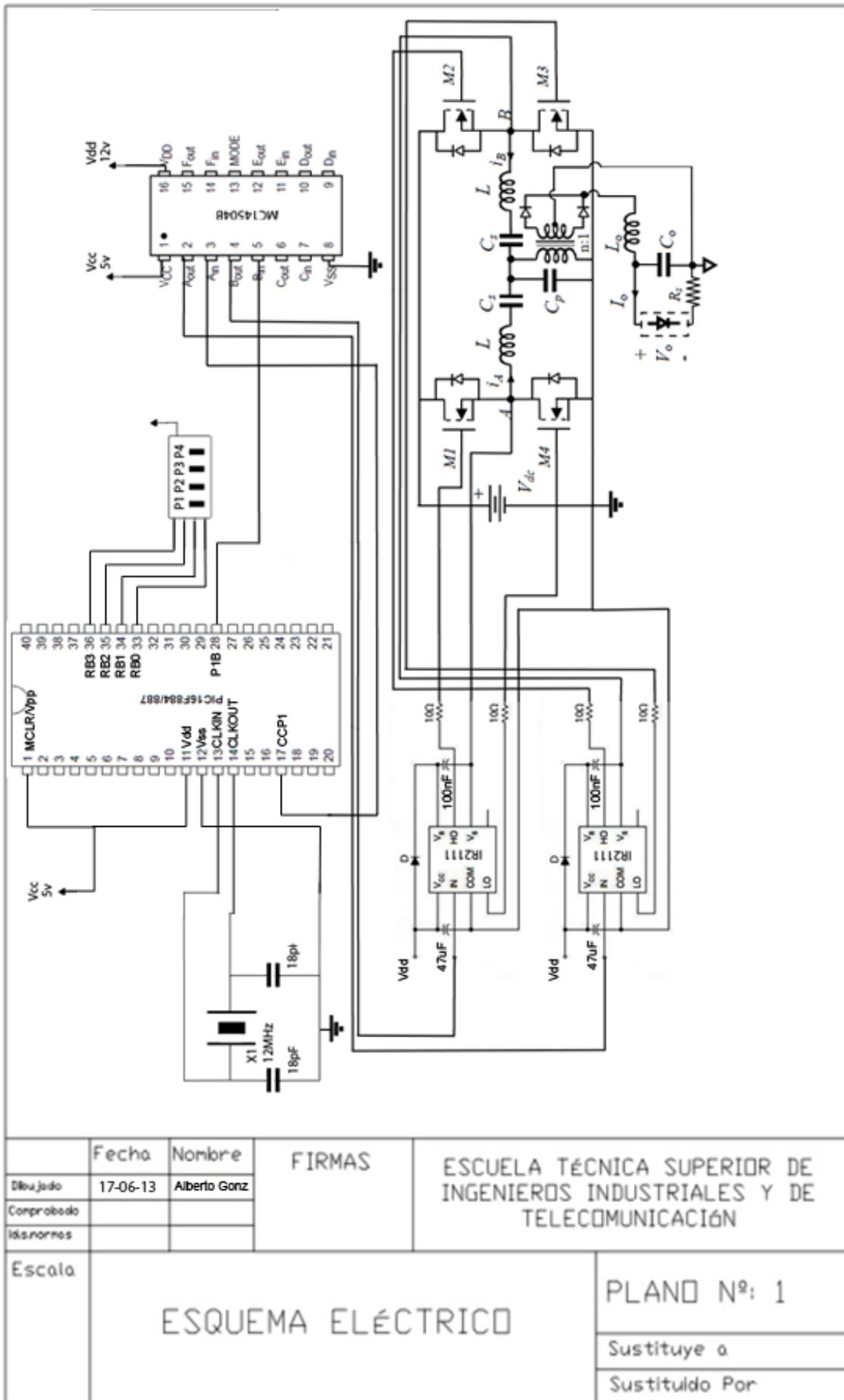


Typical Connection



PLANOS

Controlador de lámparas LEDs con ajuste de la intensidad luminosa



PLIEGO DE CONDICIONES

8-Pliego de Condiciones.

8.1- Descripción del producto

El producto diseñado es el circuito control electrónico mediante un PIC16f887 de una matriz LED y de su circuito resonante.

8.2 Revisión de precios

El precio del circuito variara dependiendo del coste de sus componentes en el momento de su compra a lo que añadirá un coste adicional correspondiente a la mano de obra, a la tecnología utilizada, verificación y construcción.

El presupuesto total que supone la redacción y ejecución del proyecto sufrirá un incremento mensual que se evaluará aplicando a dicho presupuesto la tasa internacional de inflación y el índice de precios al consumo que se establezca.

8.3 Garantía

El periodo de garantía corresponderá con el señalado en el contrato y empezará a contar desde la fecha de aprobación del "Acta de Recepción", hasta que tenga lugar la recepción definitiva.

El Ingeniero Técnico responsable del correcto montaje y funcionamiento tendrá a su cuenta y riesgo las reparaciones por defecto de ejecución o mala calidad de los materiales.

8.4 Disposiciones de ejecución

La construcción del producto se realizara conforme a los materiales y a los procesos definidos en el proyecto, debiendo cumplir con las especificaciones marcadas.

La construcción del producto se deberá realizar en un entorno de trabajo adecuado con disponibilidad de materiales y del equipo necesario para su correcta fabricación y verificación de funcionamiento.

8.5 Verificación y funcionamiento

Se ha realizado la verificación del funcionamiento de cada una de las partes que integran el dispositivo electrónico, así como su totalidad una vez construido, siendo todo ello, previo a la entrega en el plazo de ejecución dado.

8.6 Seguridad e higiene

Se tendrán en cuenta las leyes de seguridad e higiene pertinentes con respecto al trabajo de diseño, así como las referentes a la construcción y verificación del producto final.

8.7 Disposiciones aplicables

De cara a una posible comercialización del proyecto se deberán cumplir una serie de normativas vigentes, entre las que destacan:

-Reglamento electrotécnico para alta tensión, aprobado por el decreto 842/2002 del 2 de Agosto así como las instrucciones complementarias de este reglamento, ICT y modificaciones sucesivas de años posteriores.

-Ordenanza general de seguridad e higiene en el trabajo aprobada por orden ministerial del 9 de Marzo de 1971, del ministerio de trabajo.

- Ley de prevención de riesgos laborales 31/1995 del 8 de Noviembre.
- Normas UNE.
- Normas DIN.
- Normas ISO9000.

PRESUPUESTO

8- Presupuesto

8.1- Introducción

El precio de las placas que componen el circuito de control dependerá del coste de sus componentes en el momento de su compra, además tendremos que añadir el precio de la mano de obra y de la tecnología utilizada en su diseño, verificación y construcción. El presupuesto general total podrá sufrir un incremento mensual que se evaluará aplicando a dicho presupuesto la tasa de inflación y el índice de precios al consumo que establezca en el tiempo transcurrido.

Se realizará un presupuesto para una producción base de 1000 circuitos de iluminación para matriz LEDs con BXRA-C2000.

8.2- Mano de Obra para fabricar 1000 piezas

Para realizar este proyecto se necesitará contratar como mano de obra un oficial de primera, un oficial de segunda y un oficial de tercera. El oficial de primera será el encargado de supervisar la correcta realización del trabajo y suministrar el material necesario para la realización del proyecto. Las funciones del oficial de segunda serán realizar las placas de circuito impreso asegurándose de su correcta fabricación. Finalmente, el oficial de tercera será el encargado del montaje de los componentes electrónicos y la posterior comprobación del funcionamiento.

Para calcular el coste de la mano de obra tendremos que tener en cuenta las horas trabajadas por cada oficial y el coste por hora de cada uno. El cálculo de horas trabajadas por cada oficial es el estimado sobre la fabricación del lote de 1000 unidades.

El tiempo necesario para la fabricación calculado para unidad será de 10 minutos para el oficial de 2ª y 15 minutos para el de 3ª.

Tendremos los siguientes costes de mano de obra, según el convenio regional de siderometalúrgica vigente:

Categoría	Nº Horas Trabajadas	Coste por hora	Coste Total
Oficial 1ª	80	9,86€/hora	788,8 €
Oficial 2ª	167	9,58€/hora	1600 €
Oficial 3ª	250	9,33€/hora	2332 €

El coste total de mano de obra para un lote de 1000 piezas será de:

4720,8 €

8.3- Materias Primas para fabricar 1000 piezas

A continuación se expondrán unas tablas que muestran el precio de los componentes necesarios para la construcción del circuito.

Componente	Valor	Características	€/Ud.	Uds.	Precio total (€)
PIC16f887	-	-	2,91	1	2,91
BXRA C2000	-	Power LED	21	4	84
Cristal oscilador	12MHz	-	1,32	1	1,32
MC14504	-	-	0,91	1	0,91
IR2111	-	-	2,52	2	5,04
Resistencia	3,2Ω	0.5W T. 5%	0,035	3	0,105
Resistencia	10Ω	0.5W T. 5%	0,044	4	0,176
Resistencia	470Ω	0.5W T. 5%	0,97	4	3,88
Condensador	18pF	Cerámico 25V	0,115	2	0,23
Condensador	47uF	Cerámico 25V	0,39	2	0,78
Condensador	22uF	Electrolítico 16V	0,37	2	0,74
Condensador	3,3uF	Cerámico 300V	0,41	1	0,41
Condensador	75nF	Cerámico 400V	0,7	2	1,4
Condensador	7,5nF	1600V	0,55	1	0,55
Diodo	-	2A - 100V	0,41	2	0,82
Diodo	-	1,4A - 100V	0,35	2	0,7
Bobina	706uH	DC - 1mH-2A	8,19	1	8,19
Bobina	-	RM-12 - 2A	4,05	2	8,1
Bobinado	-	ETD29 n=2	2,89	1	2,89
IRF840	-	500v - 8A	1,54	4	6,16
BRXA-C2000	2200LM	1,75A	21	4	84
Switch	-	0,5A - 50Vdc	2,63	5	13,15

El coste total de los componentes y materiales para realizar una unidad electrónica es de 226,461 euros. Como el presupuesto se realiza para un pedido de 1000 unidades, se tendrá un coste total de 226.461 euros.

El coste de las materias primas será de:

226.461 €

8.4- Puesto de Trabajo

Se deberá tener en cuenta que para el montaje de la etapa de control se han utilizado elementos comunes en las estaciones de producción, a continuación detallamos los instrumentos.

Controlador de lámparas LEDs con ajuste de la intensidad luminosa

Descripción	Precio Total (€)
Osciloscopio Digital Tektronix TDS2022C Osciloscopio 200 MHz, 2 CH, 2 GS/s, Pantalla a Color QVGA	1.150
Multímetro, Digital, BENNING MM 1	350,5
Aplicadores y Herramientas PCB	190,35
Soporte de trabajo de soldadura	120,2
Insoladora UV Doble Cara MEGAELECTRONICS 300-030	840
Tanque Triple Tratamiento MEGAELECTRONICS 500-06	600
Cubeta para preparación PCB MEGAELECTRONICS	575
Puntas y Repuestos Soldador	100
Puntas y Repuestos Fresadora	200
MICRO FRESADORA, CONECTOR EUROPEO, 240V, 100W	300
RF Loss Test JDSU OLT-55	550
Rack para PCBs	32,4
Estación de Soldadura AOYUE 2702	271,22

COSTE TOTAL 5.280€

Calcularemos los gastos de amortización de los aparatos y equipos utilizados, sabiendo que su coste de instalación es de 5.280€.

Teniendo en cuenta un período de amortización de 6 años:

Coste amortización = Coste instalación / Periodo amortización

Coste amortización = 5.320,74 € / 6 años

Coste amortización = 886,79 €/año

Teniendo en cuenta que las horas laborables en un año de la empresa serán de 1952 horas (calculando sobre 8 diarias de trabajo, 5 días laborables, 52 semanas anuales, y descontando los 16 días que según el BOE son fiesta en Cantabria). Calcularemos el coste de amortización por hora en esos seis años:

Coste amortización = Coste instalación / Periodo amortización

Coste amortización / hora = 5.320,74 / (1952 horas × 6 años)

Coste amortización / hora = 0.4543 €/hora

Además deberemos calcular el coste de puesto de trabajo teniendo en cuenta la energía eléctrica consumida durante las 497 horas de trabajo que conllevan el lote de 1000 unidades.

Coste puesto de trabajo = Horas Fabricación × (amortización + coste luz)

Coste puesto de trabajo = 497h × (0.4543€/h + (20KW × 0.12KW/h))

Coste del puesto de trabajo:

1.418,59 €

Para un tiempo de fabricación total de 497 horas el coste del puesto de trabajo es de 1.418,59 euros.

El coste de fabricación es la suma de los costes de la mano de obra directa, de las materias primas y del puesto de trabajo. Así que será el siguiente:

Coste de fabricación = MOD + Puesto de trabajo + Materia Prima

Coste de fabricación = 4720,8 € + 1.418,59 € + 226.461 €

• **Coste de fabricación 1000 piezas:**

232.600,39 €

8.5- Gastos Generales y Gastos Sociales

Debe tenerse en cuenta el trabajo de diseño invertido en el producto. Este será el empleado por un Ingeniero Técnico Industrial, cuyo salario asciende a 16.21€ por hora según el convenio.

Si se estima que el tiempo empleado en el diseño es de unas 100 horas; se obtendrá un coste de 1621€. Además del coste de diseño, se tiene en cuenta el trabajo realizado por la asesoría y el trabajo administrativo. Todos estos gastos suponen un 23% de la MOD. El coste final de la MOI será el coste de diseño más el resto de costes indirectos.

Mano de Obra Indirecta (MOI) = Coste de diseño + 23% de MOD

Mano de Obra Indirecta (MOI) = 1.621€ + (0.23·4.720,8€)

Mano de Obra Indirecta (MOI) = 2.706,78 €

Además tendremos otros Gastos Generales que serán el resultado de los gastos generales anuales entre la remuneración anual(MOD) quedándonos un resultado del 14%.

Gastos Generales = 14% de MOD

Gastos Generales = 14% de 4.720,8 €

Gastos Generales = 0.14·4.720,8 € = 660,9€

Gastos Generales:

660,9 €

Los Gastos Sociales serán el coste social anual(MOD+MOI) entre remuneración anual(MOD+MOI) quedándonos un 15% de la suma de mano de obra directa e indirecta.

Tendremos los siguientes Gastos Sociales:

Gastos Sociales = 15 % de (MOI + MOD)

Gastos Sociales = 15 % de (2.706,784+ 4.720,8)

Gastos Sociales:

1.114,13 €

8.6- Coste en Fábrica

El coste en fábrica es la suma de todos los factores anteriormente expuestos, coste de fabricación, mano de obra indirecta, gastos generales totales y gastos sociales.

- Coste de fabricación: 232.600,39 €
- Gastos Generales: 660,9 €
- Gastos Sociales: 1.114,13 €
- Mano de Obra Indirecta: 2.706,78 €

Coste en Fábrica=Coste de fabricación+ GG+ GS+MOI

Coste en Fábrica= 232.600,39 + 660,9 +1.114,13 +2.706,78

- **El coste total en fábrica de 1000 unidades será de:**

237.082,2 €

8.7- Beneficios y Coste Total

Suponiendo que el beneficio que se desea obtener es del 5% del coste total en fábrica y los gastos comerciales son del 4% del coste total; hallaremos el coste final del producto:

Gastos Comerciales = 4 % coste total en fábrica

Gastos Comerciales = 4 % de 237.082,2 €

Gastos Comerciales:

9.483,29 €

Coste Total = Coste en fábrica + Gastos Comerciales

Coste Total = 237.082,2 + 9.483,29

- **Coste Total:**

246.565,49 €

Beneficios = 5% del Coste Total

Beneficios = 0.05·246.565,49 = 12.328,27 €

Beneficios:

12.328,27 €

7.8- Precio de venta

Para calcular el presupuesto final del producto se suman los beneficios al coste total:

Controlador de lámparas LEDs con ajuste de la intensidad luminosa

Coste Total = 246.565,49 €

Producto facturado = Coste total + Beneficios

Producto facturado:

258.893,76 €

Este proyecto tendrá un coste facturado de doscientos cincuenta y ocho mil ochocientos noventa y tres euros con setenta y tres céntimos.

En Santander, a 2 de Julio de 2013.

Firmado:

CONCLUSIONES

10- Conclusiones

El objetivo de este proyecto era la realización del circuito de control para lámparas LEDs con ajuste de la intensidad luminosa con la variación del ciclo de trabajo.

La primer tarea fue seleccionar un microcontrolador que satisficiera las necesidades de control que nos planteaba el circuito, para ello tuve que estudiar las diferentes opciones que nos ofrecían los diferentes fabricante que hay en el mercado.

A continuación se decidieron los métodos de control, para nuestro caso estudiamos 6 métodos diferentes, con diferentes tiempos y frecuencias. Para cada uno de los métodos de control se realizó un programa en CCS para el PIC16f887, teniendo en cuenta sobre todo la rapidez con la que respondía el PIC, por ello se decidió meter las configuraciones de tiempos directamente en el programa para cada método de control, eso, dado que trabajamos con tiempos muy pequeños para el control, nos ayudó a un mejor rendimiento del PIC. No obstante, en los métodos de control en los que usamos desfase de 180°, dado que eran tiempos muy pequeños, tuve que reducirlos ya que se veían alterados por el ciclo de instrucción del PIC.

El uso de los PIC para estas tareas resulta muy versátil dadas las propias características del PIC y a que hace muy sencillo los cambios en el código para diferentes configuraciones. Dada su flexibilidad nos ha proporcionado la capacidad de que mediante unos simples pulsadores seamos capaces de controlar los diferentes ciclos de trabajo dándole a la lámpara LED diferentes intensidades y regulando así su luz.

Los diferentes métodos de control propuestos han resultado bastante satisfactorios dando lugar a un circuito muy versátil, con muy pocos componentes y que proporciona un buen control del convertidor resonante, en el que apenas produce distorsión.

Podemos resumir la experiencia en:

- Aplicar lenguaje de programación C y CCS en la programación de PICs.
- Conocer la familia de los PICs con todas sus prestaciones y posibilidades.
- Estudiar lámparas LED y sus métodos de control.
- La utilización de dispositivos electrónicos para acondicionar señales de control para lámparas LED.

Dado que parece que los LEDs son una opción muy a tener en cuenta en estos tiempos, ya que son unas lámparas de larga duración y de muy bajo consumo, el estudio de cómo controlarlas lo más eficientemente es de suma importancia.

Por último, agradecer a mi tutor D. Christian Brañas Reyes su interés y dedicación en la tutela de este trabajo fin de carrera.

BIBLIOGRAFÍA

11- Bibliografía

11.1- Libros y artículos

- Pulsed Current Source to Drive High-Brightness LED Lamps - C. Brañas, F. J. Azcondo, R. Casanueva, F. J. Díaz, V. M. López, A. Navarro.
- Christian Brañas, Rosario Casanueva, Francisco J. Azcondo, Salvador Bracho, “*Convertidores resonantes, propiedades y aplicaciones para la alimentación de cargas irregulares*”, departamento de Tecnología Electrónica, Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad de Cantabria, 2004.
- José Marcos Alonso Álvarez, “*Inversores resonantes de alta frecuencia*”, Universidad de Oviedo.

11.2- Apuntes

- Electrónica Industrial, F. J. Azcondo
- Microprocesadores, Luciano Alonso Rentería
- Electrónica Digital II, Miguel Ángel Allende
- Oficina Técnica, Blanca Rosa Díaz González

11.3- Direcciones de internet

- <http://www.microchip.com>
- <http://www.todopic.com.ar/foros>
- <http://www.ti.com/>
- <http://www.datasheetcatalog.net>
- <http://www.forosdeelectronica.com>
- <http://www.mikroe.com>
- <http://www.elektor.es>
- <http://es.farnell.com/>
- <http://es.wikipedia.org>

