

Servocomandos

**Trabalho realizado no âmbito do Curso de Técnicos - Nível I
da Federação Portuguesa de Aerodelismo
Área disciplinar: Sistemas de Rádio e Programação de Emissores**

Trabalho realizado por: Vítor Gandarela

26/03/2021

Índice

Secção	1	Os servocomandos	
	1	Introdução	3
	2	Princípio de funcionamento	3
	3	Componentes de um servocomando	4
	4	O motor	4
	5	A mecânica	4
	6	O potenciómetro	6
	7	O circuito eletrónico	6
	8	A caixa	7
	9	Braços de comando	7
Secção	2	Tipologias e cálculo para aplicações	
	10	Analógico e Digital	7
	11	Classificação dos servocomandos	8
	12	Servocomandos especiais	9
	13	Torque requerido	9
	14	Torque útil	10
	15	Outros critérios para a seleção de um servocomando	11
	16	Recomendações e cuidados	12
	17	Fontes das imagens	14
	18	Consultas Web	14
	19	Outras consultas	14

Secção 1 – Os Servocomandos

1. Introdução

Os servocomandos ou servomecanismos, comumente designados apenas por “servos” são equipamentos utilizados num sistema de radiocontrolo que permitem executar ordens de comando num processo com um paralelismo entre os movimentos dos sticks de um emissor e os dos servomecanismos para a referida ordem de comando. Após a receção e descodificação de um sinal (ordem) efetuado pelo recetor a bordo do aeromodelo, este é enviado para o servocomando do canal correspondente para que movimente uma superfície de comando (leme).

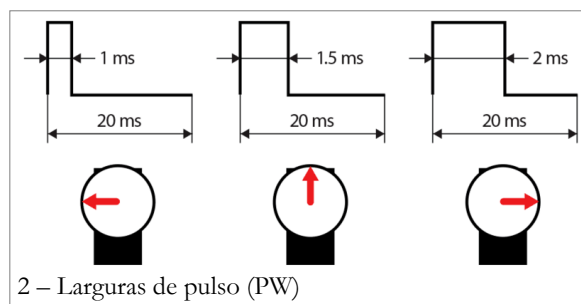
De 3g a 300g, desenvolvendo forças de trabalho de alguns grama a centenas de Kg, rápidos, lentos, com diferentes tipos de motores, formas, caixas, engrenagens, enfim... os servocomandos são comercializados por inúmeras marcas numa variedade estonteante de modelos.



Apesar da sua grande diversidade, têm uma constituição e um modo de funcionamento semelhante.

2. Princípio de funcionamento

Como referido anteriormente, um servocomando executa uma ordem proveniente do recetor. Esta ordem é um impulso elétrico com uma duração variável (sinal) repetida ciclicamente. Os impulsos têm habitualmente uma duração compreendida entre 1ms e 2ms, valores aos quais correspondem os extremos dos seus movimentos, tendo a sua posição central um impulso com a duração de 1,5ms. Estes impulsos são repetidos ciclicamente a uma razão de cerca de cinquenta vezes em cada segundo (50Hz) nos servos analógicos e cerca de trezentas vezes (300Hz) por segundo num servo digital

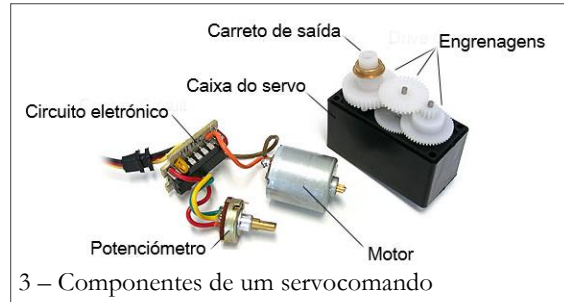


Este é o sistema em que se baseia o sistema de controlo proporcional, implementado nos sistemas de radiocontrolo a partir de meados da década de 60.

Os servocomandos executam habitualmente um movimento de rotação angular de 120° (2 x 60°)

3. Componentes de um servocomando

- Motor
- Mecânica (engrenagens e rolamentos)
- Potenciômetro ou sensores
- Circuito eletrônico
- Caixa (carcaça)
- Braços de comando



4. O Motor

O motor é o responsável por mover o braço do servocomando para a posição pretendida. Os servomecanismos podem ser equipados com vários tipos de motores: motores de ferrite industriais, motores coreless e motores brushless.

	Motor de Ferrite	Motor Coreless	Motor Brushless
Características	- Motor de escovas industrial com núcleo do induzido em ferro (3 ou 5 polos)	- Enrolamento do induzido não tem um núcleo de ferro, sendo habitualmente de plástico	- Motores sem escovas
Pros	- Económico - Robusto	- Pouca inércia (arranque e paragem mais rápidos) - Maior torque dado o maior diâmetro do enrolamento - Maior velocidade	- Maior torque - Maior velocidade - Maior eficiência - Maior longevidade
Contras	- Pesado - Grande inércia para arranque e paragem	- Preço mais elevado	Preço elevado
Aplicações	- Modelos de treino e outros com voo lento	- Situações em que seja necessária grande velocidade de resposta	- Modelos com necessidade de grande torque

5. A mecânica

A parte mecânica de um servocomando compreende o conjunto de rodas dentadas (carretos), responsáveis pela



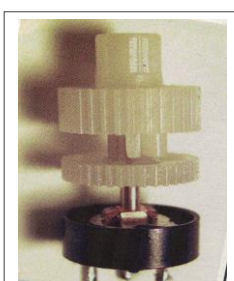
engrenagem de desmultiplicação do motor¹ e eventuais rolamentos de apoio do carreto de saída onde está acoplado o braço de movimento do servocomando.

	Descrição	Pros	Contras	Aplicações
Carretos de Nylon	- Engrenagem em nylon	- Económico - Com pouca folga	- Fragilidade (rutura com vibrações ou impactos)	- Modelos com baixo impacto, vibração e baixo peso (até +/- 4 Kg)
Carretos de Carbonite	- Engrenagens constituídas por uma mistura de nylon e carbono	- Maior resistência que o nylon (cerca de 4 vezes mais resistente)	- Preço mais elevado - Pouca elasticidade	- Modelos em que é exigida uma maior resistência dos servos (acrobaacia, 3D, velocidade)
Carretos metálicos	- Carretos em metal (aço, latão, titânio, etc.)	- Maior resistência - Maior longevidade	- Preço mais elevado - Folga (necessária para o movimento das engrenagens)	- Modelos de grandes dimensões, com necessidade de elevado torque e resistência dos servocomandos

Procurando diminuir o atrito que ocorre dadas as cargas laterais geradas pelo movimento do carreto de saída das engrenagem dos servocomandos contra as paredes da caixa onde este trabalha, os servocomandos de gama média e alta têm um ou dois rolamentos apoiando o seu movimento. Estes rolamentos situam-se na parte superior do carreto de saída e na sua base, este último nos servos de melhor qualidade, o que contribui o bom funcionamento do servocomando e para uma maior longevidade do potenciómetro que está solidário com este carreto.

6. O Potenciómetro

Um potenciómetro é uma resistência variável. Está solidário com o carreto de saída da engrenagem do servocomando onde é colocado o braço de movimento.



5 – Carreto de saída e potenciómetro

Está eletricamente ligado ao circuito eletrónico do servocomando e permite criar uma voltagem variável de acordo com a posição em que se encontra o braço de movimento do servocomando. Esta voltagem variável é enviada para o circuito eletrónico do servocomando² para que este possa comparar a posição atual em que se encontra relativamente a cada ordem de comando que vai recebendo do recetor.

¹ Os motores elétricos trabalham com rotações elevadas. Um sistema de desmultiplicação permite a execução de movimentos com uma velocidade mais baixa e controlada

² Função de feedback

Os potenciômetros dos servos económicos têm pistas resistivas de grafite colocadas num suporte de baquelite. Os servos de melhor qualidade têm pistas resistivas metálicas em suportes cerâmicos com múltiplos contactos elétricos sobre as mesmas de forma a assegurarem uma leitura mais rigorosa da resistência.

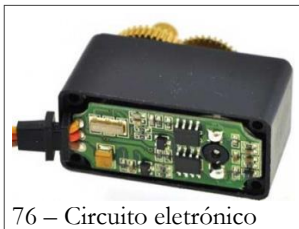
Alguns servos de melhor qualidade têm um cardan apoiado num rolamento para a ligação do carreto de saída ao potenciômetro, o que diminui significativamente a transmissão dos esforços gerados pelo braço de movimento do servocomando ao potenciômetro, melhorando assim a precisão do seu funcionamento e longevidade. Este sistema designa-se por “Potenciômetro indireto”.

Recentemente surgiu no mercado em servocomandos de gama alta a colocação de sensores de efeito hall³ substituindo os potenciômetros com muitas vantagens.

Os potenciômetros muito quentes, com sujidade ou de fraca qualidade, provocam oscilações contínuas ou apresentam movimentos súbitos erráticos do braço do servocomando, sendo muito suscetíveis a vibrações.



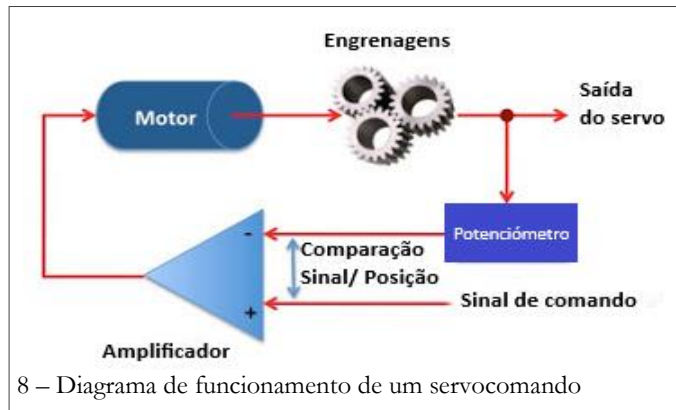
7. O circuito eletrónico



Também designado por amplificador, este circuito converte o sinal proveniente do recetor relativo a uma ordem de comando (impulso com a duração de de 1 a 2 ms) num sinal para a movimentação do motor do servocomando que permite o reposicionamento do seu braço de movimento numa posição correspondente à ordem recebida.

³ Um Sensor de efeito Hall é um transdutor que quando sob a aplicação de um campo magnético, responde com uma variação da sua tensão de saída.(wikipédia)

Cada ordem de comando recebida é comparada neste circuito com a posição atual do potenciômetro (voltagem produzida pela sua posição), enviando posteriormente um sinal para acionamento do motor para o seu reposicionamento de tal forma que este se recoloca numa posição que gere um feedback (voltagem) de igual valor ao do



do sinal recebido com a ordem pretendida. Caso o sinal de feedback gerado pelo potenciômetro seja igual ao do sinal com a ordem proveniente do recetor, o circuito eletrônico não procede à ativação do motor, permanecendo na mesma posição .

8. A caixa

A caixa do servocomando permite integrar todos os seus componentes bem como efetuar a sua fixação na estrutura do aeromodelo. É necessário que seja suficientemente rígida para não se deformar nos esforços próprios da realização do seu trabalho.

As caixas dos servocomandos podem ser em material plástico, metálicas (alumínio) ou mistas. As caixas metálicas, utilizam comumente o alumínio, pois é um metal resistente, leve e que permite uma boa dissipação do calor gerado durante o funcionamento dos servocomandos.



9 – Servocomando c/ cx metálica e vedante de borracha (KST)

Muitos servocomandos têm juntas de silicone ou borracha entre as várias secções das suas caixas de forma a conseguirem a estanquicidade do seu interior.

9. Braços de comando

Os braços de comando estão ligados ao carreto de saída das engrenagens dos servocomandos e executam um movimento angular que é transmitido às superfícies de controlo do modelo (lemes) para a execução das ordens de comando.



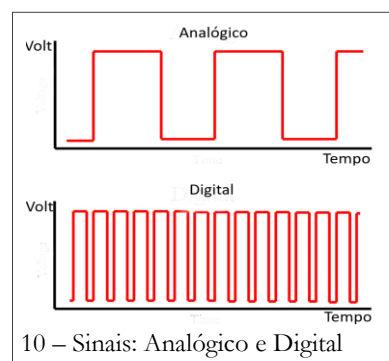


É importante que não se deformem na realização do seu trabalho sob pena de uma menor precisão no controlo do aeromodelo. Nos servocomandos de entrada de gama são fabricados em material plástico, nos servos de melhor qualidade (gama média e alta) são fabricados em plástico reforçado ou metal (alumínio ou titânio).

Secção 2 – Tipologias e cálculo para aplicações

10. Analógico e Digital

A grande diferença entre estes dois tipos de servocomandos reside na sua eletrónica. Tal como já referido anteriormente, os recetores enviam para os servomotores impulsos que após serem processados no seu circuito eletrónico são enviados para o motor do servocomando sob a forma de pulsos (on/off) com uma tensão de 5V e uma duração compreendida entre 1 e 2 ms. Este pulso é repetido com uma frequência de 50Hz⁴ nos servos analógicos e a uma frequência muito superior nos servos digitais.(cerca de 300Hz).



	Servomotores Analógicos	Servomotores Digitais
Características	- Frequência de pulso = 50 Hz	- Frequência de pulso = 300 Hz - Ativação do motor quase continua - Circuito eletrónico com microprocessador
Pros	- Económico	- Maior torque - Maior velocidade - Menor Deadband ⁵ - Maior precisão - Transições de velocidade mais suaves e mais rápidas
Contras	- Pouco torque em pequenos movimentos - Menor precisão em movimentos curtos	- Ruidosos - Maior consumo energético

⁴ 50Hz = repetição de cada ciclo cinquenta vezes em cada segundo = um impulso a cada 20ms

⁵ Deadband é período de tempo em que não é enviada informação para o motor do servocomando

11. Classificação dos servocomandos

Apesar da grande diversidade destes equipamentos, não está definido um sistema standard para a sua classificação. Há sim algumas classificações parciais, de acordo com algumas das suas características específicas. Assim, para além da divisão entre os grupos Digital e Analógico, a referência relativamente ao seu tamanho é, entre outras, uma das classificações mais usuais embora também não universal pois não há uma categorização standard para os seus diferentes tamanhos.

h		
	Peso	Torque
Nano	Menor que 10g	Menor que 0,8Kg
Sub Micro	10 - 15g	0,8 – 1,5Kg
Micro	15 – 25g	1,5 – 2,5Kg
Mini	25 – 40g	2 – 4Kg
Standard	40 - 60g	3 - 5Kg
Grandes	60 – 150g	5 – 20Kg
Gigantes	150 - XXX	Maior que 20Kg

12. Servos especiais

Para o desempenho de algumas tarefas específicas, existem servocomandos com uma conceção diferenciada e menos habitual.

Alguns exemplos neste âmbito:

- Servomotores com dimensões inabituais em função de uma aplicação específica (servos para as asas dos planadores e servos de baixo altura (Slim servos) para aplicação em asas de modelos cuja espessura do perfil assim o exige;
- Servocomandos para acionamento de trens retráteis manuais ou portas de compartimentos com interrupção de atividade no final do seu curso;
- Servocomandos do guincho das velas de veleiros, utilizados em aeromodelos para a movimentação de uma massa para alteração do seu centro de gravidade ou alteração da flecha da asa durante o voo;
- Servocomandos com um movimento linear utilizados nalguns micro modelos de voo indoor em “Bricks” que incluem habitualmente um regulador de velocidade, um recetor e dois servocomandos;

- Servovocomandos que realizam um movimento de 180° (2 x 90°) para utilização em modelos 3D em que seja necessária a rotação de 90° das superfícies de controlo (por ex: estabilizador de planadores 3D)

Servos especiais			
			
11 – Servo de asa (wing servo)	12 - Servo de guincho	13 - Servo de baixa altura (slim servo)	14 – “Brick” c/ 2 servos lineares e recetor

13. Torque⁶ necessário

Um dos elementos mais imediatos a considerar na escolha de um servocomando a aplicar num determinado aeromodelo é o de determinar o torque efetivamente requerido para esse modelo numa situação prática de voo e na sua utilização limite (velocidade máxima do aeromodelo com os movimentos de controlo nas suas deflexões máximas)

A este propósito, várias aproximações são possíveis. A utilização de softwares de cálculo, a utilização de fórmulas de cálculo matemático ou uma abordagem de carácter mais prático, baseada em longos anos de experiência aeromodelística.

Adequação da força de um servocomando para um aeromodelo		Exemplo (Peso modelo = 3Kg)
Modelo com voo lento	Menor que o valor base até uma força equivalente ao peso do modelo	3Kg – 4,5Kg
VALOR BASE	Peso do modelo + 50%	3 Kg + 50% = 4,5Kg
Modelo 3D (motorização potente e grandes superfícies de controlo)	Peso do modelo + 100%	3Kg + 3Kg = 6Kg

No âmbito dos objetivos do presente trabalho, a aproximação prática sugerida é suficiente para uma seleção adequada e responsável dos servocomandos para um aeromodelo.⁷

⁶ Torque é uma medida de força que pode causar um objeto a girar ao redor de um eixo. Assim como a força é o que faz um objeto acelerar em cinemática linear, torque é o que faz com que um objeto adquira aceleração angular. (<https://pt.khanacademy.org/science/physics/torque-angular-momentum/torque-tutorial/a/torque>)

⁷ A título informativo, a multiplex sugere a formula de calculo: Força do servo (g.cm) = largura da superfície de controlo (m) x comprimento (m) x V2 (m/s) x ângulo de deflexão (°).

14. Torque útil

Para além da propensão habitual dos fabricantes para algum exagero na performance anunciada em catálogo dos seus servocomandos, a força útil de trabalho efetivamente possível com um determinado servocomando pode facilmente ver reduzido o valor publicitado dadas várias circunstâncias.

Os fabricantes anunciam um valor de torque máximo para o momento de bloqueio do servocomando pelo que é aconselhável a sua utilização num âmbito de trabalho com valores menos extremos em favor do seu melhor desempenho (maior velocidade e longevidade). Assim, é recomendável utilizar-se um quociente de minoração para o cálculo da força de trabalho útil de um servocomando baseada na sua qualidade.

Calculo do torque útil de um servocomando		Exemplo (Torque catálogo = 3Kg)
Servocomando de entrada de gama	Torque anunciado/ 2 (fator de minoração= 0,5)	3 Kg / 2 = 1,5Kg
Servocomando de gama alta	Torque anunciado/ 1,5 (fator de minoração = 0,75)	3Kg / 1,5 = 2Kg

Assim, para o modelo do exemplo da penúltima tabela, com 3Kg de peso em ordem de voo, este necessitaria para um voo “Sport”⁸ (valor de referência):

- Servos com um torque útil de: $3\text{Kg} \times 1,5 = \mathbf{4,5Kg}$
- Servos de entrada de gama: $4,5\text{Kg} \times 2$ (fator de minoração) = **9Kg** (torque máximo anunciado)
- Servos de gama alta: $4,5\text{Kg} \times 1,5$ (fator de minoração) = **6,250Kg** (torque máximo anunciado)

De salientar a este propósito, que as indicações relativas ao torque de um servocomando são indicadas em Kg.cm. . Isto significa por exemplo que um servocomando que tenha um torque efetivo de 4Kg, será capaz de elevar um peso de 4Kg a partir de um furo do braço de comando situado à distância de 1cm do eixo de rotação do seu carreto de saída. Caso se duplique ou triplique o tamanho do braço de comando, o torque a partir desses pontos passa ser de metade ou um terço do valor anterior ($4\text{Kg}/2 = 2\text{Kg}$ // $4\text{Kg}/3 = 1,33\text{Kg}$).

Assim, é recomendável procurar utilizarem-se braços de comando curtos nos servocomandos e alavancas de comando de dimensões mais generosas nas superfícies de controlo (lemes)⁹.

⁸ Voo Sport – Designação para um voo não muito rápido mas com uma velocidade superior à velocidade de um modelo de treino, realizando alguma acrobacia simples (looping, tonneau, stall turn, etc.)

⁹ Problema do âmbito disciplinar da física (momentos de uma força)

15. Outros critérios para a seleção de um servocomando

Velocidade	<p>Este pode ser um elemento determinante para a seleção de um servocomando quando os requisitos de velocidade são uma prioridade para o tipo de voo ou função que assim o exija (cauda de um helicóptero, voo de modelos muito rápidos, voo 3D, etc.)</p> <p>Habitualmente um servocomando muito rápido não é um servocomando com muito torque e reciprocamente. Nos casos em que reúnem estes dois elementos, têm um preço exponencialmente mais elevado</p> <p>A velocidade de um servocomando é indicada habitualmente por: xx seg./ 60° ou 40°</p> <p>Valores de velocidade usuais:</p> <ul style="list-style-type: none">• Modelo “Sport”, Semi maquete: 0,18 – 0,22/ 60°• Modelo acrobático performante (F3A): 0,08 - 0,12s/ 60°
Marca	<p>A seleção de um servocomando de uma marca conhecida no mercado constitui uma garantia de qualidade, fiabilidade e conhecimento das características dos equipamentos.</p> <p>É possível a aquisição de elementos de substituição ou reposição (carretos, braços de comando, etc.) ao contrário de muitas marcas “brancas” que surgem e desaparecem do mercado de uma forma muito volátil.</p>
Dimensões	<p>Face às dimensões pré concebidas para o alojamento dos servocomandos nos aeromodelos ARF, este fator é um elemento significativo a considerar para a seleção dos servocomandos a instalar. Habitualmente os fabricantes concebem estes compartimentos de acordo com as dimensões dos servocomandos que sugerem utilizar-se de acordo com modelos standard do comércio.</p>

16. Recomendações e cuidados

- A maior parte dos servocomandos têm uma amplitude de voltagem de trabalho de 4,8 – 6V. Quanto mais elevada a voltagem utilizada maior a velocidade e torque disponibilizados pelos servocomandos, aumentando simultaneamente o seu consumo energético.
- A utilização de longos cabos nos servocomandos bem como a utilização de cabos com diâmetros muito reduzidos pode provocar quedas de voltagem que reduzem substancialmente a performance destes equipamentos (diminuição do torque e velocidade). Para os cabos de uma bateria de receção ou para aeromodelos com mais que 4 servos e/ ou com comprimentos de cabos superiores a 0,8m é recomendável a utilização de cabos elétricos com uma secção de pelo menos 0,30mm²

- Em modelos em que seja utilizado um elevado nº de servos ou se utilizem servos com grande consumo energético é recomendável a utilização de caixas de distribuição (Power boxes) dado que um recetor permite apenas valores máximos de corrente elétrica de cerca de 3A.
- Atualmente há um novo tipo de servocomandos que trabalham com voltagens mais elevadas, denominados “HV”¹⁰ que permitem melhores desempenhos ao nível da velocidade, torque e consumo energético bem como podem utilizar uma alimentação elétrica direta a partir de baterias de Lítio 2S (sem regulador)
- É recomendável conhecer o consumo energético em voo dos servocomandos instalados num aeromodelo de forma a dimensionar a capacidade da bateria de receção com uma margem de segurança razoável. Não tendo informação telemétrica para o efeito, uma forma simples de estimar este valor é verificar a capacidade energética recarregada depois de uma sessão de voos, cronometrando o tempo de voo correspondente.



15 – Transmissões de comando sem folgas e com pouco atrito

- As transmissões de comando e linkagens utilizadas devem funcionar sem folgas e sem atrito de forma a evitar um consumo energético excessivo dos servocomandos e assegurar um retorno preciso ao neutro, não devendo fletir ou sofrer deformações durante os momentos de maior esforço.

- Apesar de ser possível uma utilização dos servocomandos superior à sua amplitude de movimento standard (-100 – 100%) tal não é recomendável, deixando esse âmbito de amplitudes apenas para a compensação das variações de trimagem.
- Para a regulação e ajuste dos servocomandos no modelo, um dispositivo controlador de servos (Servo Tester) é uma ferramenta extremamente útil no atelier, dir-se-ia mesmo que quase obrigatória dada a sua utilidade e baixo custo.



16 – Testador de servos

- Nos aeromodelos em que existam muitas vibrações¹¹, é recomendável efetuar a montagem dos servocomandos com as borrachas de amortecimento habitualmente incluídas pelos fabricantes no conjunto dos acessórios dos mesmos.



17 – Sinoblocos de

¹⁰ HV – High Voltage

¹¹ Modelos com motores de combustão e/ ou com motorizações muito potentes

17. Fontes das Imagens

- 1: https://www.modelairplanenews.com/servos-101/#visitor_pref_pop
- 2: https://www.buildlog.net/blog/wp-content/uploads/2017/02/servo_timing.png
https://www.researchgate.net/figure/Components-of-the-servo-motor_fig31_311714269
- 4: <http://www.rcmodelreviews.com/howservoswork.shtml>
- 5, 6: MM
- 6: <https://buggies7.files.wordpress.com/2014/04/online4.jpg>
- 10: <https://www.radiocontrolinfo.com/the-difference-between-analog-and-digital-rc-servos/>
- 11: <https://mks-servo.com/>
- 9, 13: <https://kst-servo-shop.de/>
- 12, 17: <http://www.hitecrd.com/products/servos>
- 14: https://hobbyking.com/pt_pt/2-4ghz-supermicro-systems-dsm2-compatible-receiver-w-brushed-esc-linear-servos.html
- 15: <https://www.espritmodel.com/analog-digital-servos.aspx>
- 16: <https://www.electroniccomp.com/digital-multi-servo-tester-esc-ccpm-consistency-master-speed-control>

18. Consultas WEB

- <http://www.rcmodelreviews.com/howservoswork.shtml>
- <http://techniquemodelisme.free.fr/Modelisme/introduction.htm>
- <https://www.electrical4u.com/servo-motor-servo-mechanism-theory-and-working-principle/>
- <https://electricalbaba.com/basics-of-servomechanism-and-servo-motor/>
- <https://howtomechatronics.com/how-it-works/how-servo-motors-work-how-to-control-servos-using-arduino/>
- <https://www.radiocontrolinfo.com/the-difference-between-analog-and-digital-rc-servos/>
- <https://www.servocity.com/>
- <http://bansky.net/blog/control-servos-from-micro-framework/>
- <http://www.hitecrd.com>
- <https://www.radiocontrolinfo.com>
- https://www.buildlog.net/blog/wp-content/uploads/2017/02/servo_timing.png

19. Outras consultas

- Revista/Modèle Magazine/ N° 678 /N° 679 /N° 682 /N° 689 /N° 696 / N° 773 /N° 774
- Revista/MRA/ N° 800

