

**Renato Trabach da Cunha**

**Caracterização, Calibração do Modelo e Aferição  
de um Atuador Elétrico Linear**

**PROJETO DE GRADUAÇÃO**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA  
MECÂNICA**

Programa de Graduação em  
Engenharia Mecânica

Rio de Janeiro

Junho de 2016

**Renato Trabach da Cunha**

**Caracterização, Calibração do Modelo e Aferição de um  
Atuador Elétrico Linear**

**PROJETO DE GRADUAÇÃO**

Projeto apresentado como requisito para obtenção de  
grau de Bacharel pelo Programa de  
Graduação em Engenharia Mecânica do  
Departamento de Engenharia Mecânica da PUC-Rio.

**Orientador**

Mauro Speranza Neto

**Coorientador**

Allan Nogueira de Albuquerque

**Rio de Janeiro, Junho de 2016**

## **Resumo**

Esse trabalho visa a realização de testes experimentais para caracterização do comportamento dinâmico, determinação de parâmetros do modelo e obtenção de curvas de aferição de um sistema comercial de atuação linear composto por motor elétrico de corrente contínua convencional e transmissão por engrenagens, pinhão e parafuso sem fim. Serão empregados nos testes o controle e o transdutor do próprio sistema em conjunto com interface gráfica em LabVIEW, uma rotina desenvolvida especialmente para a finalidade proposta, que foi usada para obter a tensão lida pelo transdutor em tempo real enquanto ocorre o deslocamento da haste do atuador. A partir da variação da tensão obtida, em função do deslocamento da haste, foi obtida a calibração, a equação da reta que define o deslocamento em função da tensão lida pelo transdutor. Com o deslocamento em função do tempo, foi criada uma rotina para encontrar a velocidade do parafuso de avanço do atuador em tempo real, obtendo os gráficos de velocidade e comparando com os dados fornecidos no catálogo pelo fabricante do atuador elétrico, além de encontrar a curva de caracterização do motor elétrico para fazer o controle, em trabalho futuro, da plataforma.

Após os testes e efetuado um controle para achar as curvas do motor, foi encontrado parâmetros parecidos com o fornecido no catálogo.

**Palavras-chave:** Atuador Linear, caracterização, curvas do motor elétrico, calibração.

## **Abstract**

This work aims to carry out experimental tests to characterize the dynamic behavior, determination of the model parameters and obtain the calibration curves of a commercial system of linear actuator composed of, conventional direct current electric motor gears box. Will be applied at the tests, the control and transducer of the system in conjunction with graphical user interface in LabVIEW, a routine especially designed for the purpose, which was used to obtain the voltage read by the transducer in real-time while the displacement of the leadscrew. From the obtained variation of voltage as a function of the leadscrew displacement, the calibration was obtained, a straight line equation that defines the offset in function of the voltage read by the transducer. After the displacement versus time, was created a routine to find the speed of the leadscrew in real time, obtaining the graphics speed and comparing it with the datasheet provided by the electric actuator manufacturer, in addition to finding the curve characterization of the electric motor to control in the future platform.

After the tests and the control of the system to find the motor curves, was found similar parameters with the provided in the catalog.

**Keywords:** Linear actuator, characterization, electric motor curves, calibration

## Sumário

1. Introdução.....	1
1.1. Objetivos .....	1
1.2. Motivação .....	1
1.3. Revisão Bibliográfica .....	2
1.4. Organização do trabalho .....	3
2. Curvas de calibração do atuador elétrico linear .....	5
2.1. Introdução .....	5
2.2. Descrição do sistema .....	5
2.3. Método de calibração.....	6
2.4. Resultados da calibração.....	7
3. Testes experimentais para caracterização do sistema.....	9
3.1. Introdução .....	9
3.2. Metodologia dos testes .....	9
3.2.1. Filtro Savitzky–Golay .....	11
3.2.2. Aquisição do Sinal .....	12
3.2.3. Testes com Carga .....	13
3.2.4. Curvas do Fabricante.....	15
3.3. Respostas no tempo obtidas.....	17
3.4. Comparação e calibração do modelo teórico.....	20
4. Controle do atuador elétrico linear.....	21
4.1. Introdução .....	21
4.2. Estratégia de controle .....	21
4.2.1. Curvas de Desempenho do Motor Elétrico.....	22
4.3. Resultados.....	24
5. Conclusões e etapas futuras.....	27
5.1. Conclusões.....	27
5.2. Etapas futuras.....	27
Referências .....	28

## Lista de Figuras

FIGURA 1.1 - DISPOSIÇÃO DOS ATUADORES ELÉTRICOS .....	1
FIGURA 2.1 - ESQUEMA DOS COMPONENTES INTERNO DO ATUADOR ELÉTRICO LINEAR .....	5
FIGURA 2.2 - DESENHO EM CAD DO ATUADOR ELÉTRICO LINEAR .....	6
FIGURA 2.3 - BANCADA DE TESTE COM OS EQUIPAMENTOS UTILIZADOS .....	7
FIGURA 2.4 - CURVA DE CALIBRAÇÃO. ....	8
FIGURA 3.1 - BANCADA DE TESTES DESENHADA NO CAD .....	9
FIGURA 3.2 - ESQUEMA DE MONTAGEM PARA OBTENÇÃO DO SINAL .....	10
FIGURA 3.3 - ROTINA CRIADA NO LABVIEW .....	11
FIGURA 3.4 - GRÁFICOS DA VELOCIDADE COM FILTRO DE MEDIANA E FILTRO S.G. ....	12
FIGURA 3.5 - PLACA NI 9205 A ESQUERDA E CHASSI DE CONEXÃO A DIREITA .....	13
FIGURA 3.6 - PLACA E CHASSI DA NATIONAL INSTRUMENTS DURANTE TESTES .....	13
FIGURA 3.7 - CANTONEIRAS DESENHADAS NO CAD.....	13
FIGURA 3.8 - PESOS UTILIZADOS PARA OS TESTES .....	14
FIGURA 3.9 – TESTE HORIZONTAL COM CARGA .....	14
FIGURA 3.10 – TESTE VERTICAL COM CARGA .....	15
FIGURA 3.11 – BANCADA MONTADA PARA REALIZAR OS TESTES.....	15
FIGURA 3.12 - VELOCIDADE X FORÇA .....	16
FIGURA 3.13 - CORRENTE X FORÇA .....	16
FIGURA 3.14 - VELOCIDADE X TEMPO EM TESTES HORIZONTAIS COM PESO.....	17
FIGURA 3.15 - VELOCIDADE X TEMPO EM TESTES HORIZONTAIS SEM PESO.....	18
FIGURA 3.16 - VELOCIDADE X TEMPO EM TESTES VERTICAIS SEM PESO .....	18
FIGURA 3.17 - VELOCIDADE X TEMPO EM TESTES VERTICAIS COM PESO.....	19
FIGURA 4.1 - ESQUEMA DE UMA PONTE H.....	21
FIGURA 4.2 – ESQUEMA DE MONTAGEM DO CONTROLE .....	22
FIGURA 4.3 - DINAMÔMETRO PARA MOTORES ELÉTRICOS .....	23
FIGURA 4.5 - CURVA TORQUE X VELOCIDADE ANGULAR USADA NO CONTROLE DO MOTOR ELÉTRICO .....	24
FIGURA 4.6 - CURVA DE CARACTERÍSTICA DO MOTOR ELÉTRICO A 24V .....	25
FIGURA 4.7 - CURVA DE CARACTERÍSTICA DO MOTOR ELÉTRICO A 18 V .....	25
FIGURA 4.8 - CURVA DE CARACTERÍSTICA DO MOTOR ELÉTRICO A 12 V .....	26
FIGURA 4.9 - CURVA DE CARACTERÍSTICA DO MOTOR ELÉTRICO A 6 V .....	26

## Lista de Tabelas

TABELA 2.1- DADOS EXPERIMENTAIS OBTIDOS.....	7
TABELA 2.2 – INCERTEZAS DE MEDIÇÃO.....	8
TABELA 3.1 – MÉDIA E DESVIO PADRÃO EM TESTES HORIZONTAIS COM PESO.....	17
TABELA 3.2 – MÉDIAS E DESVIO PADRÃO EM TESTES HORIZONTAIS SEM PESO .....	18
TABELA 3.3 - MÉDIA E DESVIO PADRÃO EM TESTES VERTICAIS SEM PESO.....	19
TABELA 3.4 - MÉDIA E DESVIO PADRÃO EM TESTES VERTICAIS COM PESO .....	19

# 1. Introdução

## 1.1. Objetivos

Este trabalho visa analisar experimentalmente parâmetros eletromecânicos, tais como velocidade, tensão e curva do motor elétrico de um atuador elétrico linear, que será utilizado junto com outros de mesmo modelo e fabricante, na construção de uma plataforma plana com três Graus de Liberdade para simulação de movimentos veiculares. Os parâmetros encontrados serão utilizados em simulações para analisar a dinâmica da plataforma e auxiliar na tese de Doutorado do aluno de Pós-Graduação Albuquerque A. N. Na plataforma serão utilizados três atuadores dispostos como na Figura 1.1.

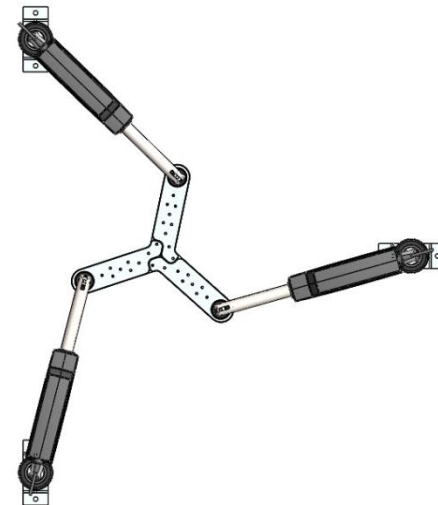


Figura 1.1 - Disposição dos atuadores elétricos

## 1.2. Motivação

Atuadores lineares elétricos podem ser integrados em diversos tipos de mecanismos, sejam eles seriais ou paralelos. Estes últimos, quando comparados com manipuladores em série possuem boa capacidade de posicionamento, elevada capacidade de carga, grande rigidez estrutural, espaço de trabalho reduzido e baixa inércia.



Esse trabalho surgiu como complemento da Tese de Doutorado em desenvolvimento do aluno de pós-graduação Allan Nogueira de Albuquerque, que apresenta um procedimento para a determinação do modelo analítico de um mecanismo plano paralelo com três graus de liberdade por meio da caracterização do fluxo de energia entre seus componentes para implementação de uma estratégia de controle. Este controle será feito no mecanismo plano paralelo que usa estes atuadores lineares elétricos estudados neste trabalho.

### **1.3. Revisão Bibliográfica**

Sistemas mecânicos capazes de movimentar um corpo rígido em relação a um referencial fixo são importantes em diversas aplicações. Um corpo rígido no espaço pode movimentar-se de várias maneiras, com movimentos de translação e rotação. Esses são chamados de Graus de Liberdade do sistema.

O número máximo de Graus de Liberdade de um corpo rígido no espaço não pode exceder seis: três de translação em direções mutuamente ortogonais e três de rotação em torno de cada eixo desse sistema coordenado. A posição e a orientação do corpo rígido, também chamados de pose, podem ser descritas por coordenadas generalizadas. Habitualmente são usadas as coordenadas de um ponto e os ângulos que definem sua orientação, mas nada impede que outro conjunto de parâmetros seja escolhido para definir de forma única a pose do efetuador. Se existe a possibilidade de controlar um ou mais Graus de liberdade do corpo rígido através de sistemas mecânicos ou eletrônicos esse sistema pode ser chamado de robô (MERLET, 2000). Nos dias de hoje os robôs mais populares, tanto na indústria quanto na área acadêmica, são aqueles que apresentam características antropomórficas, remetendo muitas vezes a verdadeiros braços humanos. Conhecidos como robôs seriais, esses são construídos por uma sucessão de elos conectados ao seu antecessor e sucessor por meio de juntas com um ou mais graus de liberdade que permitem, por exemplo, a rotação do corpo rígido em torno de

um determinado eixo ou o movimento translacional do elo. Robôs paralelos são mecanismos com cadeias fechadas que apresentam bom desempenho em termos de precisão, rigidez e capacidade de manipular cargas pesadas (MERLET, 2006). O primeiro projeto de manipulador paralelo que se tem registro data de 1931 (GWINNETT et. al., 1931), mas foi na década de 60 que Gough e Whitehall desenvolveram essa tecnologia em uma máquina de teste para pneus (GOUGH et al., 1962), seguidos por Stewart com seu simulador de voo que deu a relevância ao assunto. Dentre as diferentes aplicações de sistemas de posicionamento modernos utilizando dispositivos robóticos paralelos podemos destacar: simuladores de voo, máquinas ferramentas, manipuladores cirúrgicos, sistemas de locomoção bípedes, entre outros. Pelo fato de serem constituídos por uma base fixa ligada a uma única placa móvel por vários atuadores, os manipuladores paralelos apresentam dificuldades provenientes de suas cadeias fechadas. Por outro lado, essa disposição apresenta vantagens frente aos robôs seriais quanto à rigidez, precisão e velocidade de posicionamento e razão peso/carga. Suas principais desvantagens, no entanto, referem-se ao espaço de trabalho limitado e à maior complexidade de seus componentes mecânicos. Capaz de reproduzir movimentos com seis Graus de Liberdade com grande precisão, um manipulador paralelo torna-se uma ferramenta conveniente para realizar um estudo sobre amortecedores veiculares, pois é capaz de exercer movimentos que amortecedores são submetidos quando excitados.

#### **1.4. Organização do trabalho**

No Capítulo 2 é descrito o funcionamento de um atuador elétrico e por meio de testes obtidos em laboratório, será mostrada a correlação da tensão elétrica, em Volts, com o deslocamento da haste, em mm e o cálculo das incertezas expandidas do atuador linear elétrico, modelo LA12 do fabricante LINAK, para poder ser feita sua curva de calibração.

No Capítulo 3 são descritos como foram realizados testes para analisar o comportamento do atuador, mostrando seus resultados para determinação experimental de parâmetros físicos do atuador, tais como velocidades com diferentes tensões.

No Capítulo 4, é mostrado o controle utilizado para o atuador elétrico, sua estratégia e resultados.

No Capítulo 5, será apresentada a conclusão e sugestões para trabalhos futuros.

## 2. Curvas de calibração do atuador elétrico linear

### 2.1. Introdução

A calibração, também chamada de aferição, é o conjunto de operações que estabelece a relação entre os valores indicados por um instrumento de medida e os valores correspondentes das grandezas estabelecidas por padrões.

### 2.2. Descrição do sistema

O atuador possui um transdutor de deslocamento com potenciômetro variável linear, um motor elétrico de corrente contínua convencional, limitado a uma alimentação de 24 V que provem energia para o atuador, através do torque e velocidade angular gerados, a energia então é transmitida através de um pinhão e engrenagens para um parafuso de avanço, conforme mostrado na Figura 2.1 o esquema dos componentes internos do atuador. Dependendo da polaridade do motor elétrico esse parafuso pode retrair ou avançar. Na Figura 2.2, é ilustrado o desenho CAD do atuador empregado nos testes.

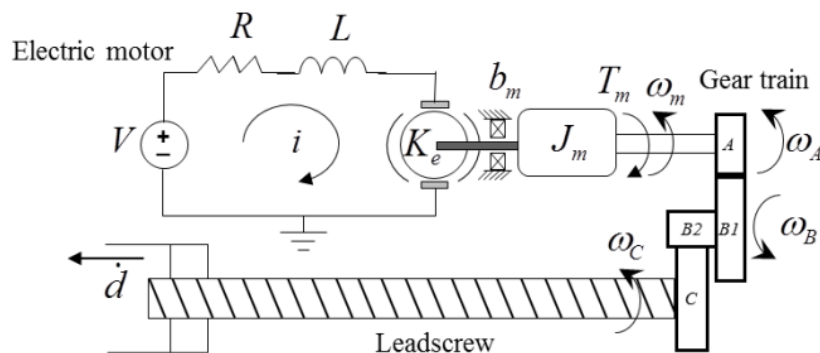


Figura 2.1 - Esquema dos componentes interno do atuador elétrico linear

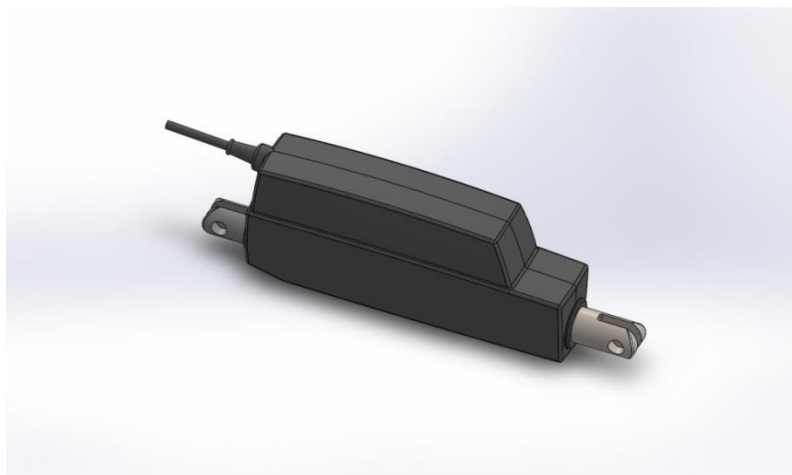


Figura 2.2 - Desenho em CAD do atuador elétrico linear

### 2.3. Método de calibração

Para os testes, tanto o motor elétrico do atuador quanto o transdutor foram alimentados tensão constante de 5 V (menor voltagem capaz de vencer a inércia da haste), O material utilizado foi:

- Multímetro com resolução de 1mV
- 2 fontes de Corrente Direta
- Placa de Corte com resolução de 5mm
- Régua de 30cm com resolução de 1mm
- Atuador linear modelo LA12 do fabricante TECHLINE

A cada 10 mm de deslocamento da haste do atuador, foram anotados os valores da tensão medida nos sensores. Tendo em vista que o máximo de extensão da haste do atuador é de 100 mm, foram anotados 10 valores em 3 testes de extensão e 3 testes de retorno da haste.

A fim de minimizar o erro de leitura, o esquadro foi utilizado para medir com mais precisão o deslocamento da haste. O multímetro foi utilizado para medir o sinal em tensão elétrica do transdutor em cada ponto encontrado.



Figura 2.3 - Bancada de teste com os equipamentos utilizados

O atuador foi fixado na bancada sobre a placa de corte utilizando a marca de 25 cm da placa de corte como referência. Com isso, foram encontrados os dados apresentados na Tabela 2.1.

Tabela 2.1- Dados Experimentais obtidos.

Leituras no padrão	Série 1		Série 2		Série 3		Média das leituras	Desvio Padrão
	Aperto	Retorno	Aperto	Retorno	Aperto	Retorno		
(mm)	(V)	(V)	(V)	(V)	(V)	(V)	(V)	(V)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000
10	0,47	0,45	0,45	0,43	0,43	0,45	0,45	0,013
20	0,99	1,01	0,96	0,95	0,99	0,97	0,98	0,021
30	1,48	1,54	1,53	1,49	1,50	1,50	1,51	0,022
40	1,99	2,04	2,00	2,02	1,99	2,02	2,01	0,021
50	2,55	2,57	2,56	2,52	2,54	2,56	2,55	0,018
60	3,06	3,10	3,08	3,09	3,04	3,09	3,08	0,021
70	3,58	3,63	3,60	3,61	3,60	3,62	3,61	0,018
80	4,12	4,13	4,09	4,11	4,06	4,12	4,11	0,026
90	4,55	4,62	4,57	4,58	4,58	4,59	4,58	0,023
100	4,98	4,98	4,98	4,99	4,99	4,98	4,98	0,005

## 2.4. Resultados da calibração

Apresentado na Figura 2.4, a equação aproximada da reta encontrada é  $y = 19,591x + 0,4179$ , sendo  $y$  o deslocamento (em mm) e  $x$  a tensão elétrica (em V).

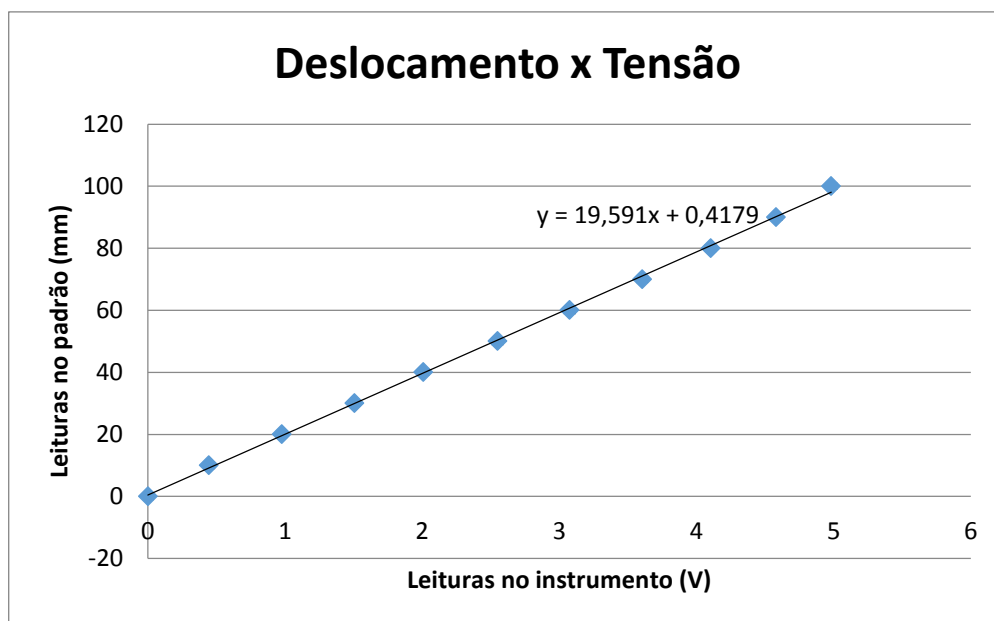


Figura 2.4 - Curva de calibração.

Levando em consideração apenas o desvio padrão para cálculo de incerteza expandida, pois as medições tiradas não tem muita precisão, sendo  $k = 2$  para um intervalo de confiança de 96%, foi encontrada a variação do deslocamento com a equação encontrada da reta, tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Incertezas de medição

Deslocamentos pela média	Incerteza do desvio padrão	Deslocamento pela incerteza	Incerteza	Incerteza
(mm)	±(V)	± (mm)	±(%)	± (mm)
0,42	0,000	0,000	0,00	0,00
9,15	0,027	0,521	5,69	0,52
19,56	0,042	0,827	4,23	0,83
29,92	0,044	0,853	2,85	0,85
39,76	0,042	0,819	2,06	0,82
50,37	0,035	0,695	1,38	0,70
60,68	0,043	0,834	1,37	0,83
71,05	0,035	0,686	0,97	0,69
80,84	0,052	1,014	1,25	1,01
90,18	0,046	0,908	1,01	0,91
98,05	0,010	0,202	0,21	0,20

### **3. Testes experimentais para caracterização do sistema**

#### **3.1. Introdução**

Com o objetivo de obter parâmetros para modelos teóricos para futuros trabalhos, foram realizados testes para verificar as velocidades de extensão e retração do parafuso de avanço, sofrendo influência de carga e sem carga, na horizontal e vertical, para realizar tais testes, o atuador foi fixado em uma bancada (Figura 3.1) a fim de minimizar deslocamentos que pudessem gerar erros de leitura para comparar com os valores fornecidos pelo fabricante do atuador, além de calcular suas respectivas incertezas, médias e desvios padrões.

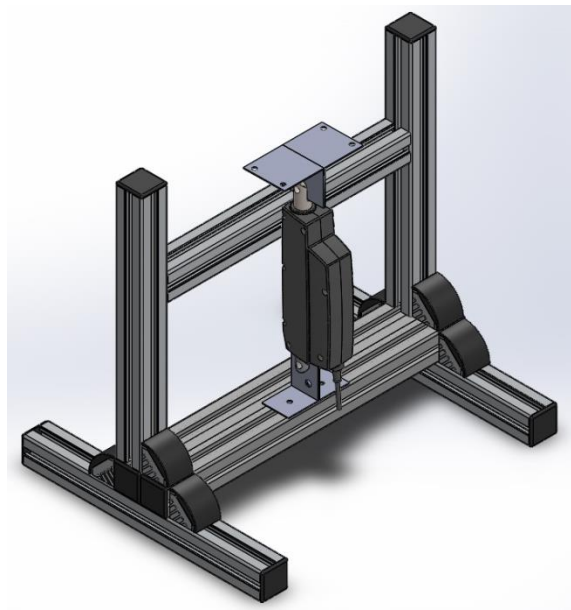


Figura 3.1 - Bancada de testes desenhada no CAD

#### **3.2. Metodologia dos testes**

Para os testes, conforme descrito no Capítulo 2, foram utilizadas as mesmas fontes e atuador. O transdutor foi alimentado por uma tensão constante de 5 V, pois foi calibrado com esse valor, vindo de uma fonte de corrente direta, enquanto a tensão do motor elétrico foi



variada em 6 V, 12 V, 18 V e 24 V, na figura 3.2 abaixo mostra o esquema das ligações do motor e atuador com as fontes e a placa de captação de sinal da National Instruments

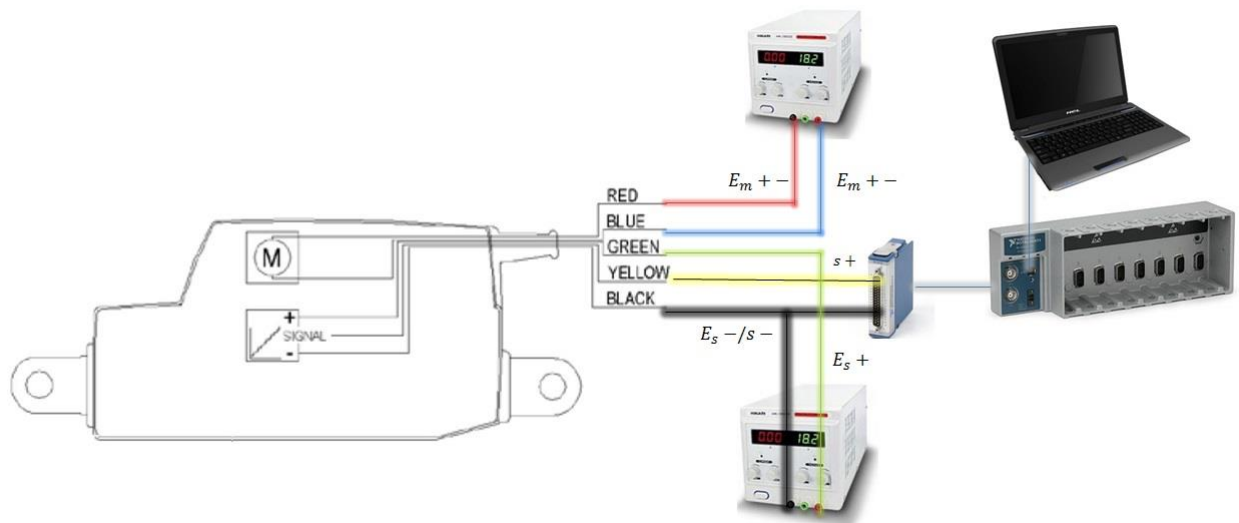


Figura 3.2 - Esquema de montagem para obtenção do sinal

Conforme foi analisado pela curva de calibração do Capítulo 2, a tensão do transdutor varia com o deslocamento do parafuso de avanço do transdutor. Para conseguir analisar essa tensão em tempo real a fim de obter o deslocamento e a velocidade, foi criada uma rotina no programa LabVIEW (Figura 3.3) com auxílio do MATLAB para gerar gráficos.

O LabVIEW permite a obtenção da tensão elétrica lida pelo transdutor em tempo real, com a programação desenvolvida, essa tensão é transformada, a partir da curva de calibração obtida anteriormente, no deslocamento da haste. Depois é feita sua derivada no tempo para obter a velocidade instantânea. Como as leituras dos sinais tinha muito ruído e por consequência suas velocidades variavam muito, foi usado o filtro Savitzky–Golay a fim de atenuar os ruídos e diminuir a variação de velocidade obtida.

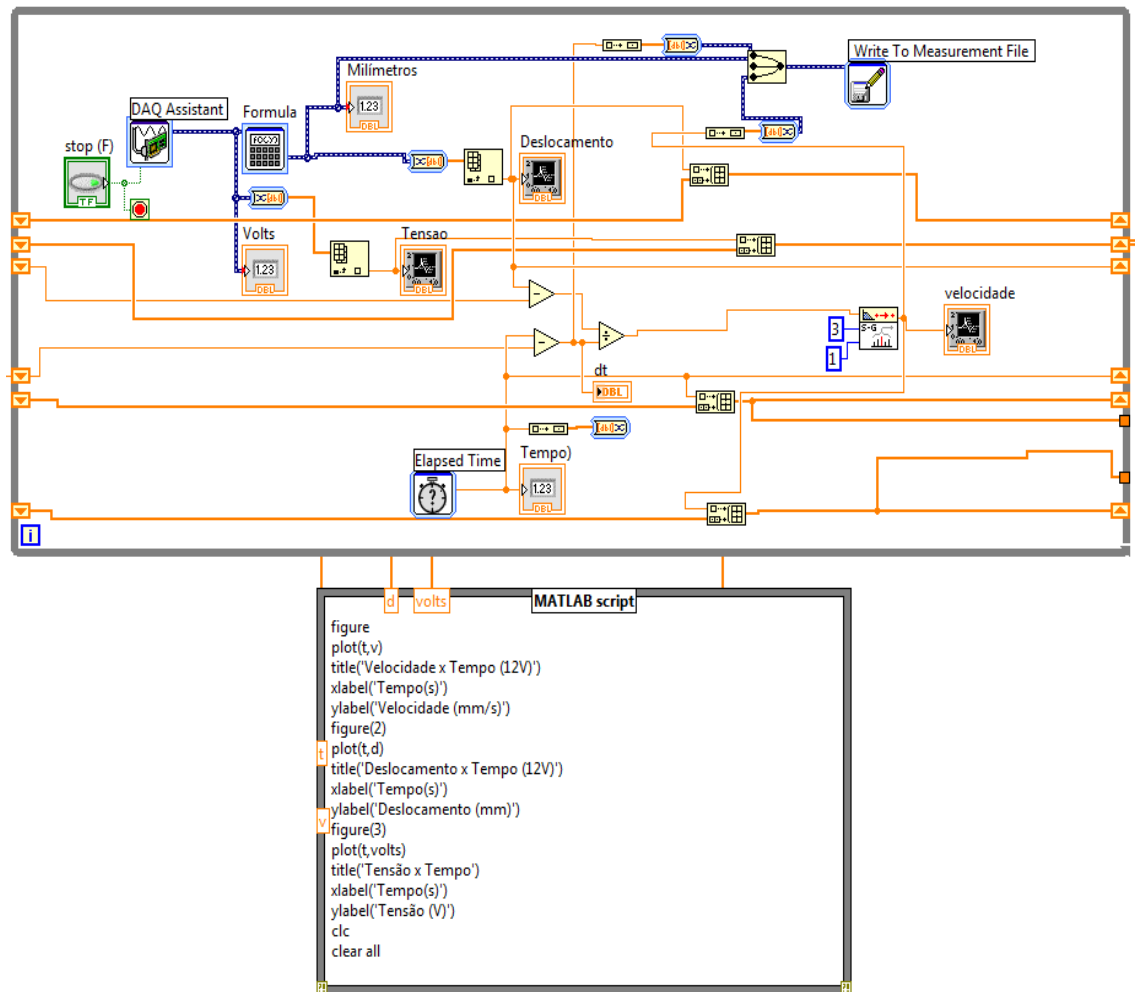


Figura 3.3 - Rotina criada no LabVIEW

### 3.2.1. Filtro Savitzky–Golay

O filtro de Savitzky–Golay é um filtro digital muito usado para suavização de dados com pouca distorção de sinal. Descrito pela primeira vez em 1964 por Abraham Savitzky e Marcel J. E. Golay, o filtro funciona por uma convolução, processo matemático que consiste em produzir uma função a partir de duas outras, que utiliza dois pontos adjacentes com um polinômio de grau baixo e pelo método de mínimos quadrados, são alocados novos pontos. Quando os pontos estão equidistantes, uma solução analítica é encontrada e aplicada em todos os dados recebidos para suavizar o sinal. A principal vantagem desta aproximação é que tende a preservar características da distribuição inicial tais como os máximos e mínimos relativos.

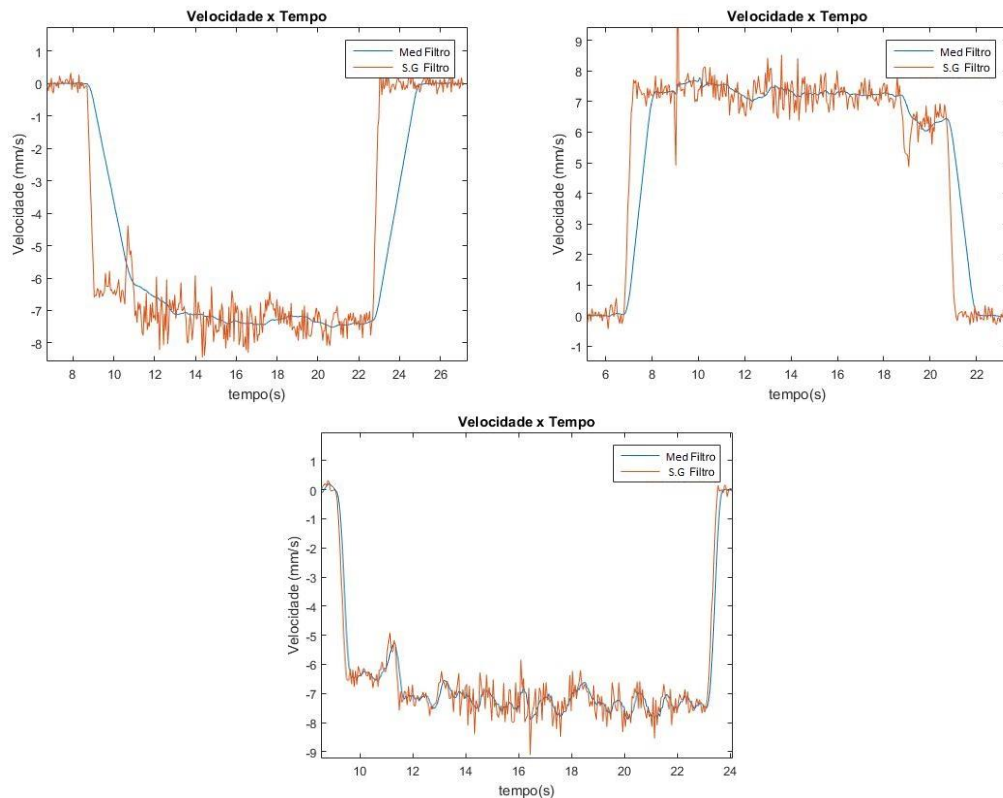


Figura 3.4 - Gráficos da velocidade com filtro de mediana e filtro S.G.

Como demonstrado nos gráficos acima (Figura 3.4) foi comparado o uso do filtro Savitzky–Golay com o filtro de medianas com diferentes graus de atenuação de curva, mostrando que o filtro Savitzky–Golay é o que menos deforma a geometria da curva.

### 3.2.2. Aquisição do Sinal

Para leitura do sinal em tempo real, é usada a placa de aquisição NI 9205 (Figura 3.5 - Placa NI 9205 a esquerda e chassi de conexão a direita) de entradas analógicas, na Figura 3.6 é demonstrado na bancada de teste, o Chassi da National Instruments juntamente com a placa NI9205 conectada ao chassi, ligado diretamente em uma entrada usb do computador que rodará a rotina do LabVIEW.



Figura 3.5 - Placa NI 9205 a esquerda e chassi de conexão a direita



Figura 3.6 - Placa e chassi da National Instruments durante testes

### 3.2.3. Testes com Carga

Para os testes de carga, foram fabricadas 2 cantoneiras (figura 3.7) a fim de fixar os pesos no atuador, sendo a esquerda para fixar os pesos no parafuso de avanço e a direita usada para fixar o atuador na base da bancada de testes.

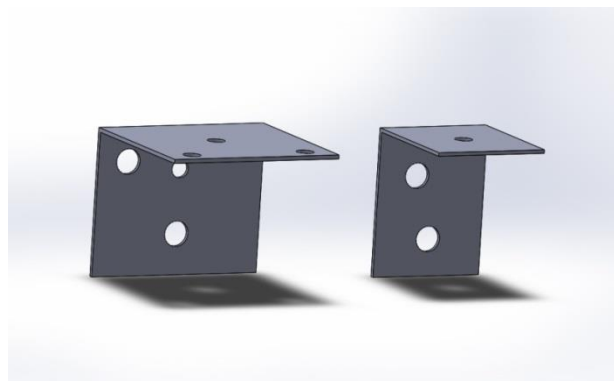


Figura 3.7 - Cantoneiras desenhadas no CAD

Foram utilizados pequenos pesos totalizando 942,5 g (Figura 3.8) na realização dos testes de carga.



Figura 3.8 - Pesos utilizados para os testes

Para realizar o teste vertical com carga, os pesos foram fixados na ponta do parafuso de avanço e aparafusados na cantoneira e nos testes horizontais os pesos foram alinhados com o furo do parafuso de avanço e novamente fixados na cantoneira, como mostrados na figura 3.9.

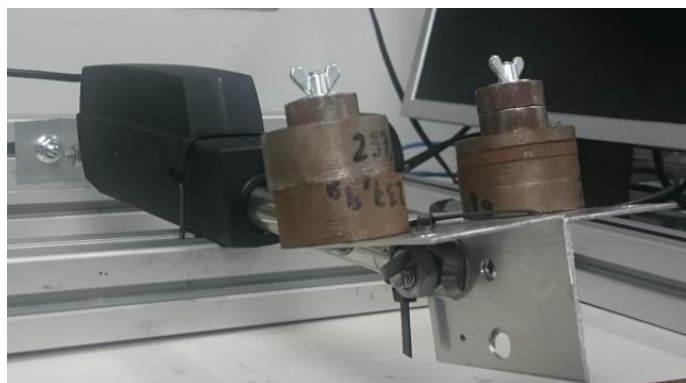


Figura 3.9 – Teste horizontal com carga

Como mostrado na figura 3.10, a cantoneira foi fixada na ponta do parafuso de avanço e assim foi realizado os testes com carga.

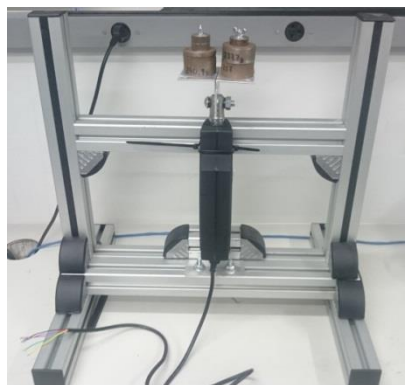


Figura 3.10 – Teste vertical com carga

Abaixo, na figura 3.11, podemos ver a bancada junto com todos aparelhos utilizados para realizar dos testes

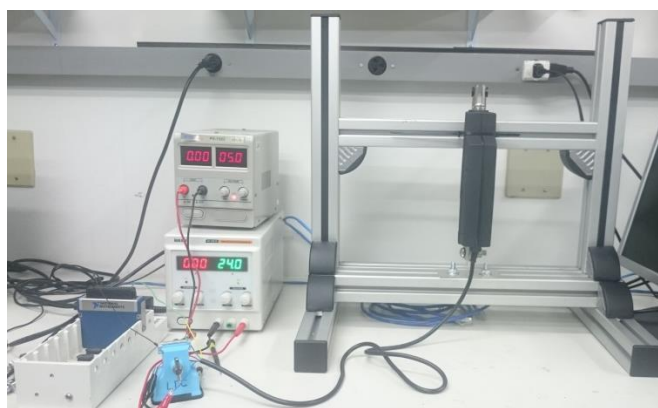


Figura 3.11 – Bancada montada para realizar os testes

### 3.2.3. Curvas do Fabricante

A seguir, analisarei as curvas, de Velocidade x Carga (Figura 3.12 ) e Corrente x Carga (figura 3.13) ambos quando o atuador é alimentado por uma tensão de 24V, retiradas do catálogo do atuador fornecidas pelo fabricante LINAK, a fim de comparar com os resultados obtidos pelos testes, sendo o atuador estudado nesse trabalho em questão é 6mm de passo.

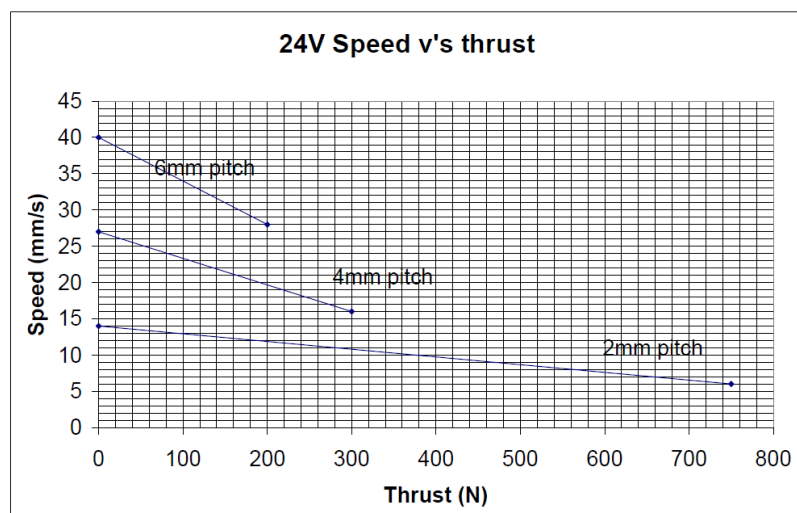


Figura 3.12 - Velocidade x Força

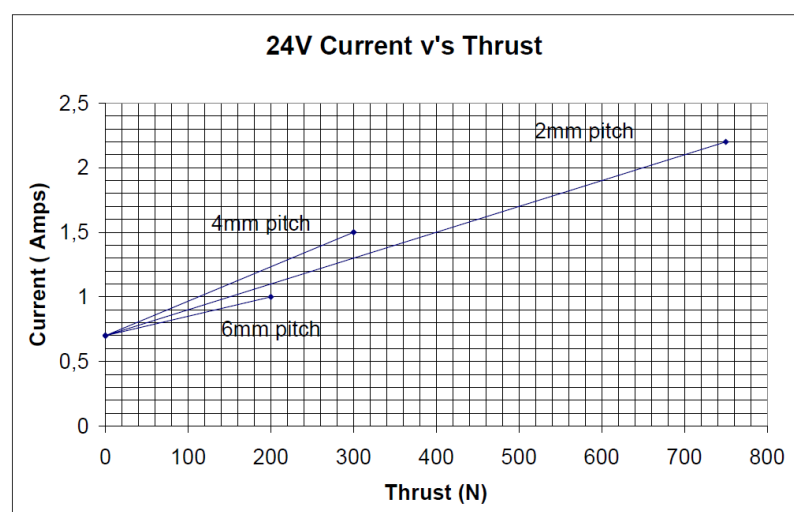


Figura 3.13 - Corrente x Força

Pelos gráficos acima, podemos analisar que o motor elétrico ao ser alimentado por uma tensão de 24 V sua velocidade máxima é de 40 mm/s, quando existir alguma carga atuando no parafuso, podemos notar a diminuição de sua velocidade, existindo uma carga de 200 N (20 kg) a sua velocidade é de 27 mm/s. Logo quanto maior a carga, menor a velocidade do avanço do parafuso.

Já na curva de corrente x força, vemos que quanto maior a força exercida sobre o atuador, maior é a corrente exigida pelo motor elétrico, chegando ao máximo de 1A.

### 3.3. Respostas no tempo obtidas

Após a realização de todos os testes, os resultados foram plotados no mesmo gráfico e dos dados obtidos pelo LabVIEW, foi feita a média dos valores máximos obtidos para análise da velocidade máxima. Para ser mais clara a comparação, os valores negativos de velocidade se referem à retração do parafuso de avanço, enquanto os positivos ao seu avanço.

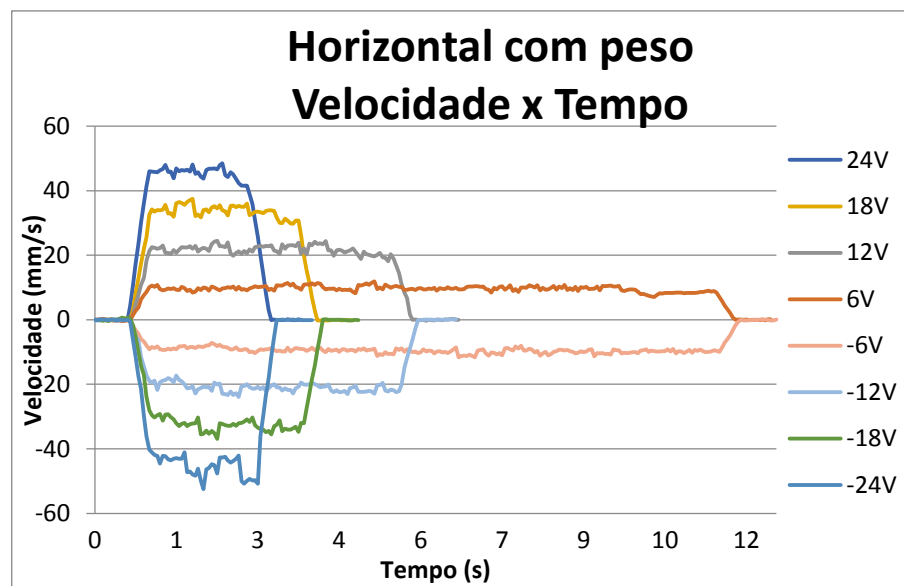


Figura 3.14 - Velocidade x Tempo em testes horizontais com peso

Tabela 3.1 – Média e desvio padrão em testes horizontais com peso

Ida	Média (mm/s)	Desvio Padrão
6V	9,66	0,86
12V	21,78	1,36
18V	33,67	1,91
24V	45,57	1,78

Volta	Média (mm/s)	Desvio Padrão
6V	-9,56	0,79
12V	-21,00	1,34
18V	-32,62	1,80
24V	-45,76	3,18



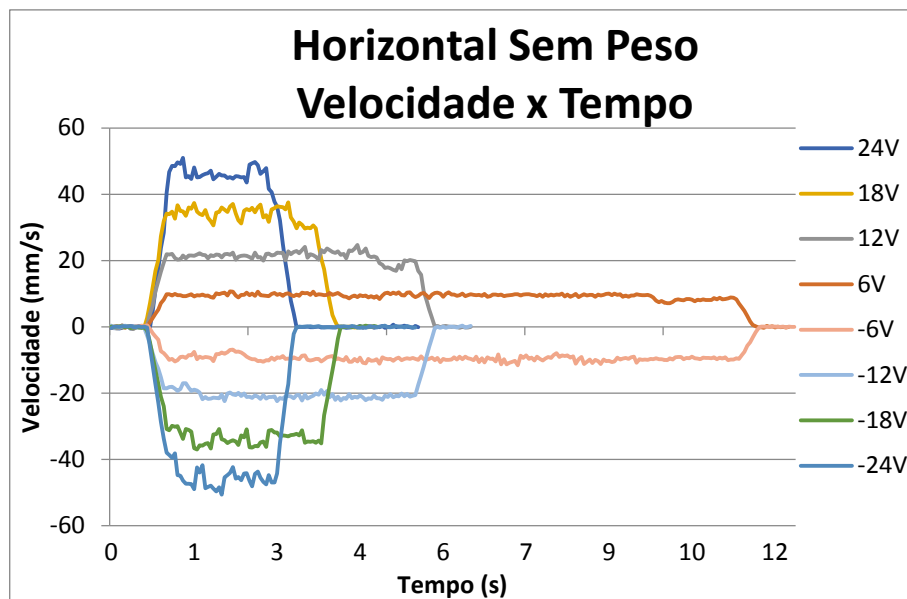


Figura 3.15 - Velocidade x Tempo em testes horizontais sem peso

Tabela 3.2 – Médias e desvio padrão em testes horizontais sem peso

Ida	Média (mm/s)	Desvio Padrão
6V	9,43	0,68
12V	21,35	1,51
18V	34,02	2,24
24V	46,58	1,85

Volta	Média (mm/s)	Desvio Padrão
6V	-9,55	0,77
12V	-20,75	1,05
18V	-33,50	1,99
24V	-46,05	2,14

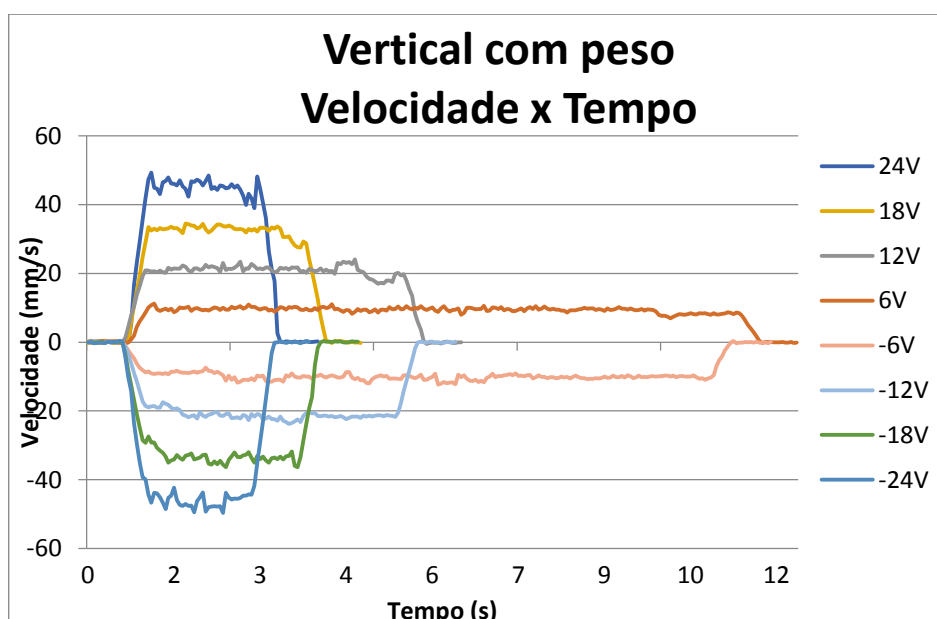


Figura 3.16 - Velocidade x Tempo em testes verticais sem peso

Tabela 3.3 - Média e desvio padrão em testes verticais sem peso

Ida	Média (mm/s)	Desvio Padrão	Volta	Média (mm/s)	Desvio Padrão
6V	9,41	0,72	6V	-10,10	0,84
12V	20,94	1,43	12V	-21,25	1,22
18V	32,58	1,60	18V	-33,36	1,78
24V	45,23	2,17	24V	-46,16	1,83

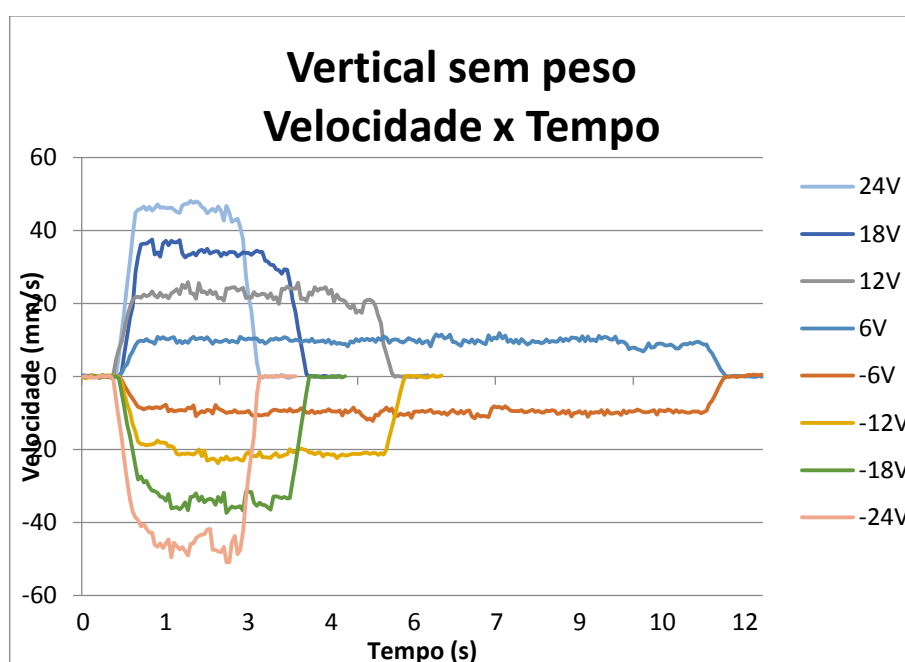


Figura 3.17 - Velocidade x Tempo em testes verticais com peso

Tabela 3.4 - Média e desvio padrão em testes verticais com peso

Ida	Média (mm/s)	Desvio Padrão	Volta	Média (mm/s)	Desvio Padrão
6V	9,70	0,85	6V	-9,68	0,72
12V	22,35	1,74	12V	-21,05	1,30
18V	33,79	2,22	18V	-33,64	2,25
24V	45,70	1,58	24V	-45,73	2,67

Com a obtenção das velocidades (figuras 3.14, 3.15, 3.16 e 3.17), podemos analisar que quanto maior a tensão de alimentação do motor, sua velocidade também aumenta, como temos um sinal com muito ruído, sua a velocidade apresentou altos valores de variação como pode ser visto nos picos dos gráficos. Apesar de terem sido feito testes de carga, a variação da velocidade em todos os testes não foi significativa, como demonstrado nas tabelas 3.1, 3.2, 3.3 e 3.4.

### **3.4. Comparação e calibração do modelo teórico**

Analisando os dados obtidos em comparação com o modelo fornecido pelo fabricante LINAK do atuador linear elétrico modelo LA12, podemos ver que a velocidade máxima a tensão de 24 V é maior do que o esperado. No catálogo o fabricante diz que sua maior velocidade é de 40 mm/s, enquanto o valor achado fica em torno de 45 mm/s.

## 4. Controle do atuador elétrico linear

### 4.1. Introdução

Ponte H é um circuito de Eletrônica de potência que pode determinar o sentido da corrente, a polaridade da tensão e a tensão em um dado sistema ou componente. Tem como principal função o controle de velocidade e sentido de motores DC, podendo também ser usado para controle da saída de um gerador DC ou como inversor monofásico.

Seu funcionamento dá-se pelo chaveamento de componentes eletrônicos usualmente utilizando do método de MPL (Modulação por Largura de Pulso), uma técnica de modulação usada para enviar sinais permitindo o controle de alimentação de tensão em motores elétricos. Envolve a modulação de sua razão cíclica para controlar o valor da alimentação entregue à carga, para determinar além da polaridade, o módulo da tensão em um dado ponto de um circuito, sua velocidade angular e torque.

Com esse controle, é possível obter parâmetros do motor elétrico do atuador, tais como, Potência, Velocidade Angular, Torque, Corrente e Eficiência para cada alimentação de tensão, o que servirá para realizar o controle da plataforma que deverá ser construída.

### 4.2. Estratégia de controle

O termo Ponte H, é derivado da representação gráfica típica deste circuito que é controlado pelos 4 interruptores (S1,S2,S3 e S4) da Figura 4.1

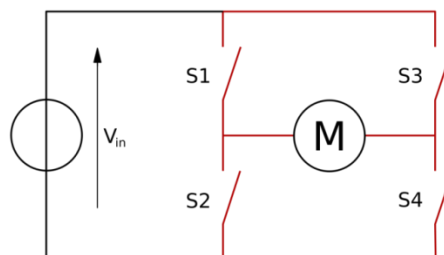


Figura 4.1 - Esquema de uma ponte H

Quando os interruptores S1 e S4 estão fechados, o motor é alimentado por uma tensão e funciona normalmente. Se S2 e S3 estiverem fechados, o motor também funciona. Porém com usa polaridade invertida.

O controle tipo “speed” funciona com base em dois parâmetros, a Frequência, velocidade em que se abre e fecham os interruptores e o Ciclo de Trabalho, porcentagem de tempo em que o interruptor permanece fechado, em essência é a quantidade de Potência em que o motor é alimentado.

Esse circuito chamado de ponte H permanece fechando e abrindo os interruptores causando uma frequência alta, enquanto o Ciclo de Trabalho corresponde a velocidade máxima do motor, ao reduzir o Ciclo de Trabalho para metade do tempo, encontra-se a metade da tensão máxima, esquematizado na figura 4.1.

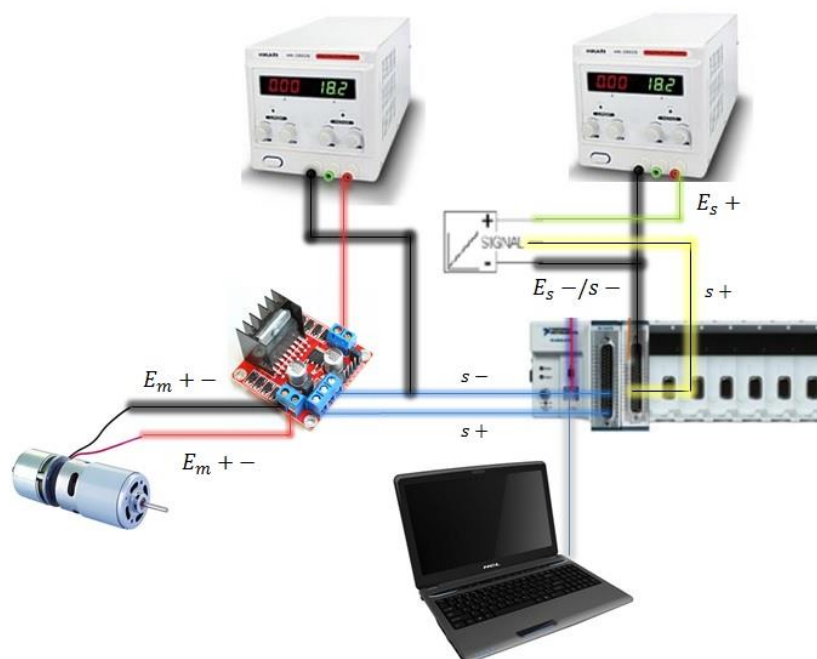


Figura 4.2 – Esquema de montagem do controle

#### 4.2.1. Curvas de Desempenho do Motor Elétrico

Motores elétricos estão presentes no dia a dia de todos os setores da sociedade, desde máquinas industriais até máquinas domésticas por serem eficientes e relativamente baratos.

Porém para desempenhar as funções requeridas, é impreterivelmente conhecer seu comportamento físico-mecânico, o sistema desenvolvido mede e adquire dados referentes às principais grandezas envolvidas em análises de motores. Entre elas estão: a tensão entre os terminais do motor CC, a corrente e o torque exigidos pelo motor em diversas velocidades e com diversas simulações de carga (das mais leves às mais pesadas), além da velocidade angular do eixo do motor.

Para analisar esse comportamento do motor, foi utilizado um dinamômetro construído especialmente para análise de pequenos motores de corrente contínua do Laboratório de Desenvolvimento de Controle (figura.4.3)

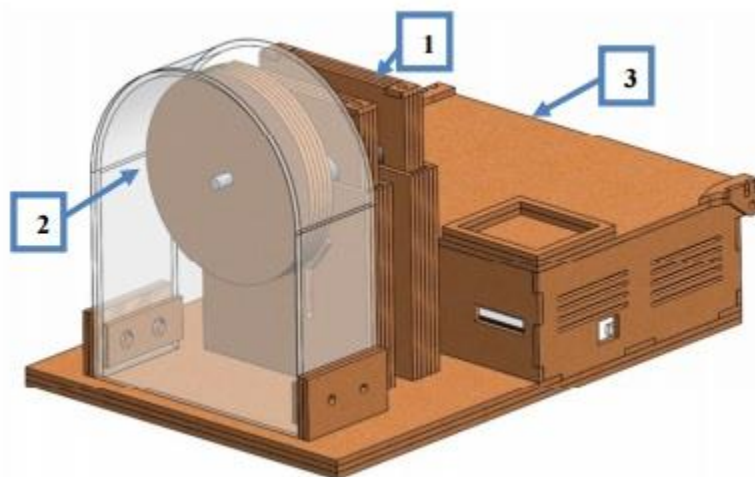


Figura 4.3 - Dinamômetro para motores elétricos

O motor é fixado no dinamômetro e tem seu eixo acoplado a um disco de inércia, protegido por uma capa de acrílico. Neste disco encontra-se o ímã do sensor de efeito Hall, responsável pela medição de velocidade angular. A alimentação do motor é feita por uma fonte regulável e um sensor de corrente é acoplado ao circuito de alimentação e comando. Na unidade de controle do dinamômetro, se encontra um micro controlador (ponte H), que processa os sinais dos sensores. O micro controlador recebe os sinais de comando por meio de um programa de computador (LabVIEW) e os envia devidamente processados ao circuito

elétrico de acionamento. Com o dinamômetro em operação (eixo do motor adquire torque e velocidade angular, ou seja, potência) os sinais dos sensores (velocidade angular, tensão e corrente elétrica) são enviados ao micro controlador que, por sua vez, os reenvia processados ao programa MatLab, que gera as curvas de comportamento do motor testado.

### 4.3. Resultados

Para cada tensão de teste, foi achada uma curva característica do motor (figura 4.5, 4.6, 4.7 e 4.8), onde estão a potência, a corrente x torque, a velocidade angular x torque e a eficiência do motor, além das curvas de Torque x Velocidade Angular. (figura 4.4)

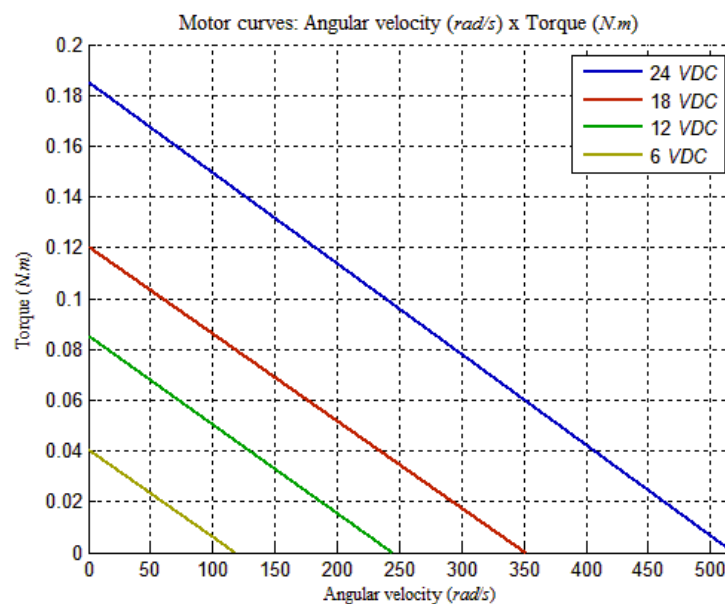


Figura 4.4 - Curva Torque x Velocidade angular usada no controle do motor elétrico

A curva de Torque x Velocidade angular é a mais importante para fazer o controle de um sistema, pois é necessário saber como essas duas grandezas estão relacionadas com a tensão de alimentação, para se caso houver alguma excitação no sistema e precisar de torque ou velocidade angular diferente, o sistema se corrige aumentando ou diminuindo sua tensão.

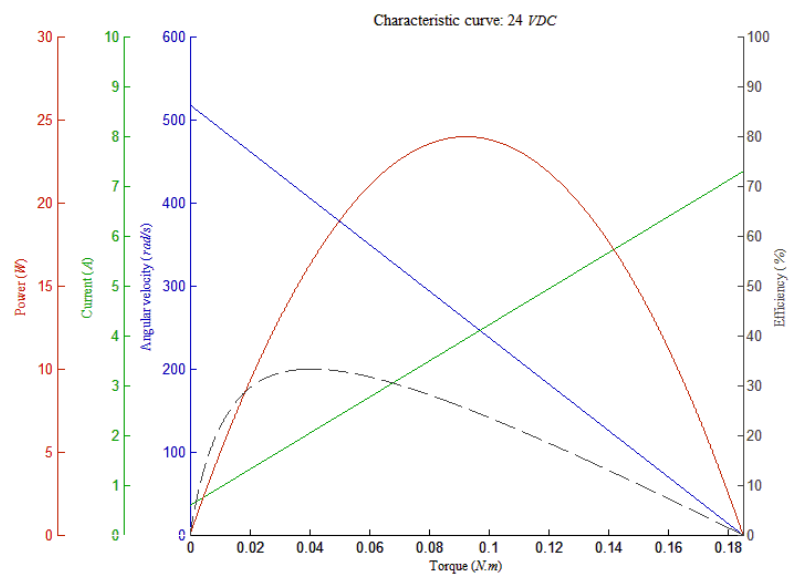


Figura 4.5 - Curva de característica do motor elétrico a 24V

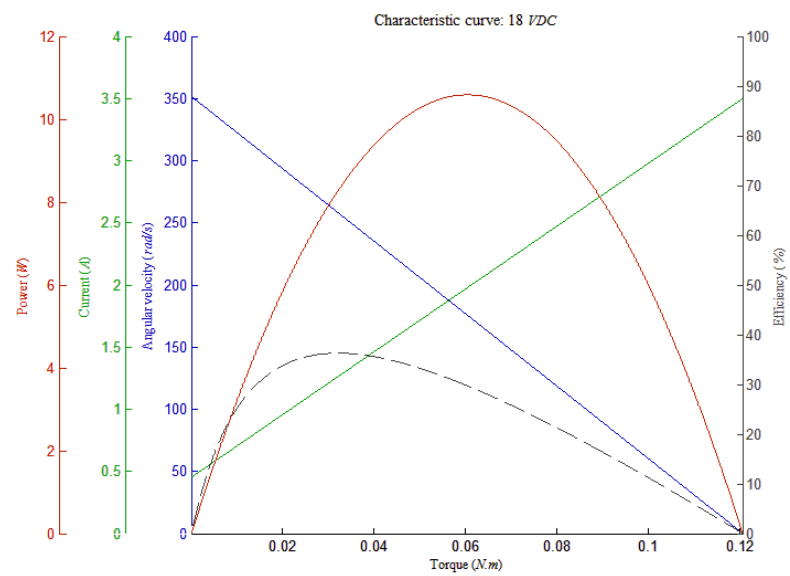


Figura 4.6 - Curva de característica do motor elétrico a 18 V



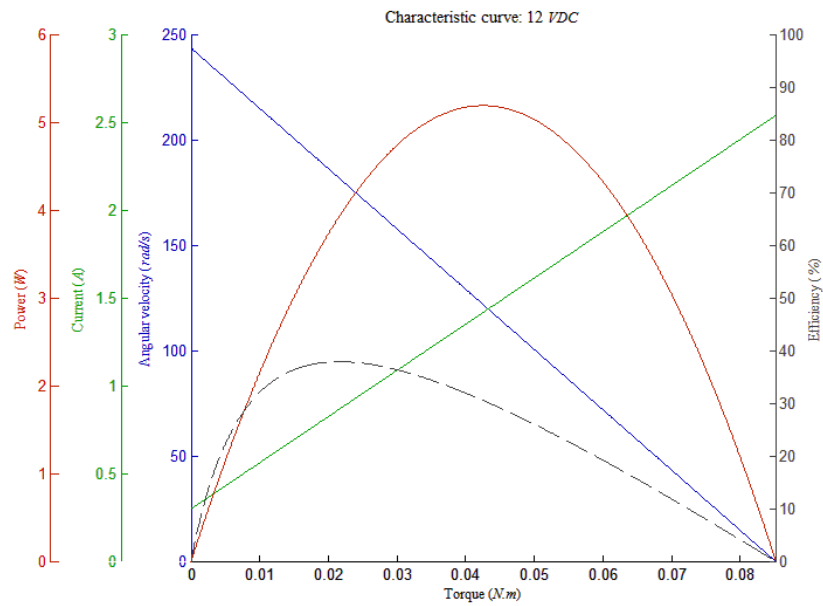


Figura 4.7 - Curva de característica do motor elétrico a 12 V

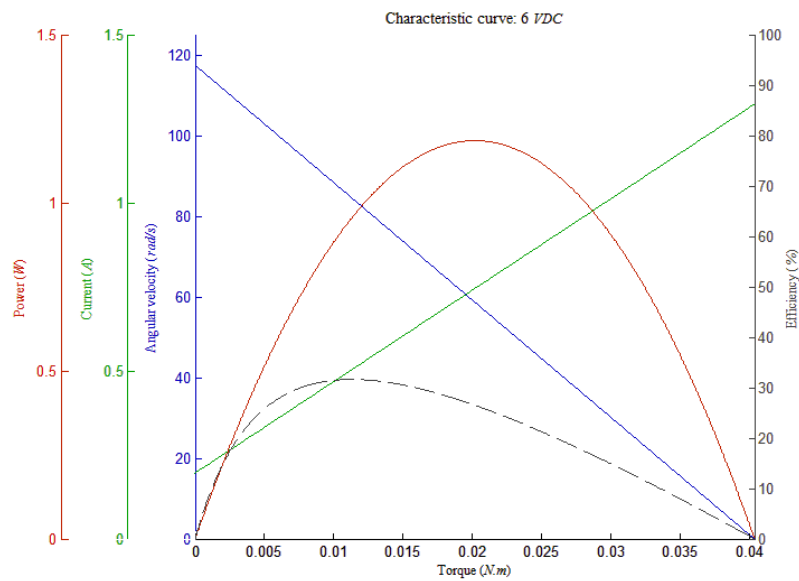


Figura 4.8 - Curva de característica do motor elétrico a 6 V

Podemos ver a partir desses gráficos, o comportamento do motor elétrico, a variação do seu torque, potência, corrente, velocidade angular e sua eficiência com diferentes tensões alimentando o motor.

## **5. Conclusões e etapas futuras**

### **5.1. Conclusões**

Neste trabalho foi feita a análise dos parâmetros de um atuador elétrico linear, obtendo a calibração do atuador, suas velocidades máximas em diferentes tensões e suas curvas características do motor elétrico, além de ter obtido a curva para controle. A velocidade encontrada pelos testes experimentais se aproxima da fornecida no catálogo do fabricante.

### **5.2. Etapas futuras**

Para trabalhos futuros, deve-se implementar a curva para controle encontrada, analisar as curvas e validar seu emprego através de testes.

Também deve-se diminuir as incertezas das curvas de calibração do atuador usando instrumentos calibrados para obtenção de novas curvas.

Além de obter parâmetros da dinâmica do sistema de atuação a partir das curvas obtidas nos testes.

## Referências

ALBUQUERQUE, A. N. **Dinâmica e Controle de Mecanismos Paralelos Inseridos em uma Estrutura HIL – Hardware in the Loop: Integração Modelo Analítico Fechado, Transdutores Inerciais e Atuadores Elétricos Lineares.** Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Mecânica, Tese de Doutorado (em andamento). Rio de Janeiro, Brasil, 2016.

DASGUPTA B., MRUTHYUNJAYA, , **“The Stewart Platform: a Review”**, Mechanical and Machinery Theory, vol. 35, Amsterdam, Holanda, 2000

SIEBEN, Vincent. **A High Power H-Bridge**, 2003

Savitzky, Abraham; Golay, Marcel J.E. **Smoothing and differentiation of data by simplified least squares procedures.** »Analytical Chemistry. p. 1627-1639,1964

IEEE SIGNAL PROCESSING MAGAZINE p. 111-117

FAPERJ & PIUES/PUC-Rio **Física e Matemática do Ensino Médio Aplicadas a Sistemas de Engenharia** Rio de Janeiro, 05 de Maio de 2015.

## **Anexos**

## ACTUATOR LA12/LA12 PLC



Thanks to the small size and outstanding performance, the LA12 actuator provides a practical and cost-effective alternative to traditional pneumatic systems and gear motors.

The LA12 is a member of the TECHLINE™ Family it is characterized by its robust design allowing the actuator to be used in harsh conditions. The LA12 is designed to meet the challenge, based on the philosophy that it must be able to operate under extreme conditions. The actuator is ideal for mobile “off-highway” equipment such as agricultural, forestry and construction machines.

### List of contents

Features/Options .....	2
Technical specifications .....	2
PLC, energy consumption .....	3
Ordering example .....	4
Installation dimensions .....	5
Actuator connections .....	6/7
I/O specifications .....	8/9/10
Positioning .....	11
Tests .....	12/13/14
Standards .....	15
Graphs for speed and current .....	16/17
Duty cycle .....	17/18
Stroke table .....	19/20

**Features:**

- 12V/24V DC permanent magnetic motor
- Max. thrust 750 N
- Reinforced glass fibre piston rod
- Compact design
- Protection class: IPX1
- Colour: black
- Straight cable's without plug
- Back fixture available in 2 different variants: 01 or 02 (factory mounted)
- Built-in limit switches (not adjustable)
- High-strength plastic housing protects motor and gear

**Options:**

- Reed-switch
- Potentiometer (Max. 100 mm stroke length)
- Hall-sensor for (PLC-option)
- Long life absolute feedback (HALL - Potentiometer)
- Easy to use interface – with integrated power electronics for direct PLC connection
- Stainless steel inner tube and piston rod eye
- Back fixtures in aluminum or stainless steel
- Protection class: IP66 for the types 12xx00-xxxxxxx
- Protection class: IP66 for outdoor use (dynamic), furthermore the actuator can be washed down by a high pressure cleaner ( IP69K – static) for the types 12xx/02/03-xxxxxxx

**Usage:**

- Duty cycle up to 20 % or max. 12 min./hour at 0-20°C ambient temperature
- Ambient temperatures: -20° to + 40°C
- Typical noise level dB (A) 55-57, measuring method DS/EN ISO 3746, actuator not loaded.

**Technical specifications:**

New Type	Old Type	Spindle Pitch (mm)	Thrust max. Push/Pull (N)	Self-lock max. (Push) (N)	Self-lock max. (Pull) (N)	Typical speed 0/full load (mm/s)		Stroke length (in steps of 30mm.)			Typical Amp. at full load (A) 24V - 12V	
12XX00-1XXX12XX	12.1	2	750	750	375	14	5	40	-	130	-	4.6
12XX00-1XXX24XX	12.1	2	750	750	375	14	6	40	-	130	2.2	-
12XX00-2XXX12XX	12.2	4	300	300	150	27	16	40	-	130	-	2.5
12XX00-2XXX24XX	12.2	4	300	300	150	27	16	40	-	130	1.5	-
12XX00-3XXX12XA	12.3	6	200	200	100	40	28	40	-	130	-	2.2
12XX00-3XXX24XA	12.3	6	200	200	100	40	28	40	-	130	1.0	-

**Self locking ability**

The H-bridge ensures that the motor is shorted when the relays are inactive. This is necessary to improve the self-locking of the actuator.



The Piston Rod Eye is only allowed to turn 0 - 90 degrees.

**Safety for the PLC connection**

Integrated safety – The Integrated Electronic Overload Protection (EOP) circuit ensures that the actuator and machinery will not be damaged due to an unforeseen overload situation.

Furthermore the motor temperature is monitored, if the actuator is used with a higher duty cycle than recommended, the actuator will stop before it is overheated and damaged. In all situations where the actuator stops because of safety reasons it gives a signal that can be used for error messages etc.

**End-stop monitoring for the PLC connection**

The built-in end-stop switch ensures that the actuator stops when reaching end of stroke, individual signals for both end-stops are available to the user.

**Relative or absolute positioning for the PLC connection**

Relative positioning – By means of a magnetic disc and a hall sensor in the PLC-actuator, it is possible to have encoder pulses with an accuracy down to 0.5 mm per pulse. This signal can be connected directly to the PLC's standard digital input.

Absolute positioning – As an alternative the user can have a 0–10 V analogue signal from a potentiometer integrated in the PLC-actuator (max. stroke 100 mm). This signal can be connected directly to an analogue PLC input.

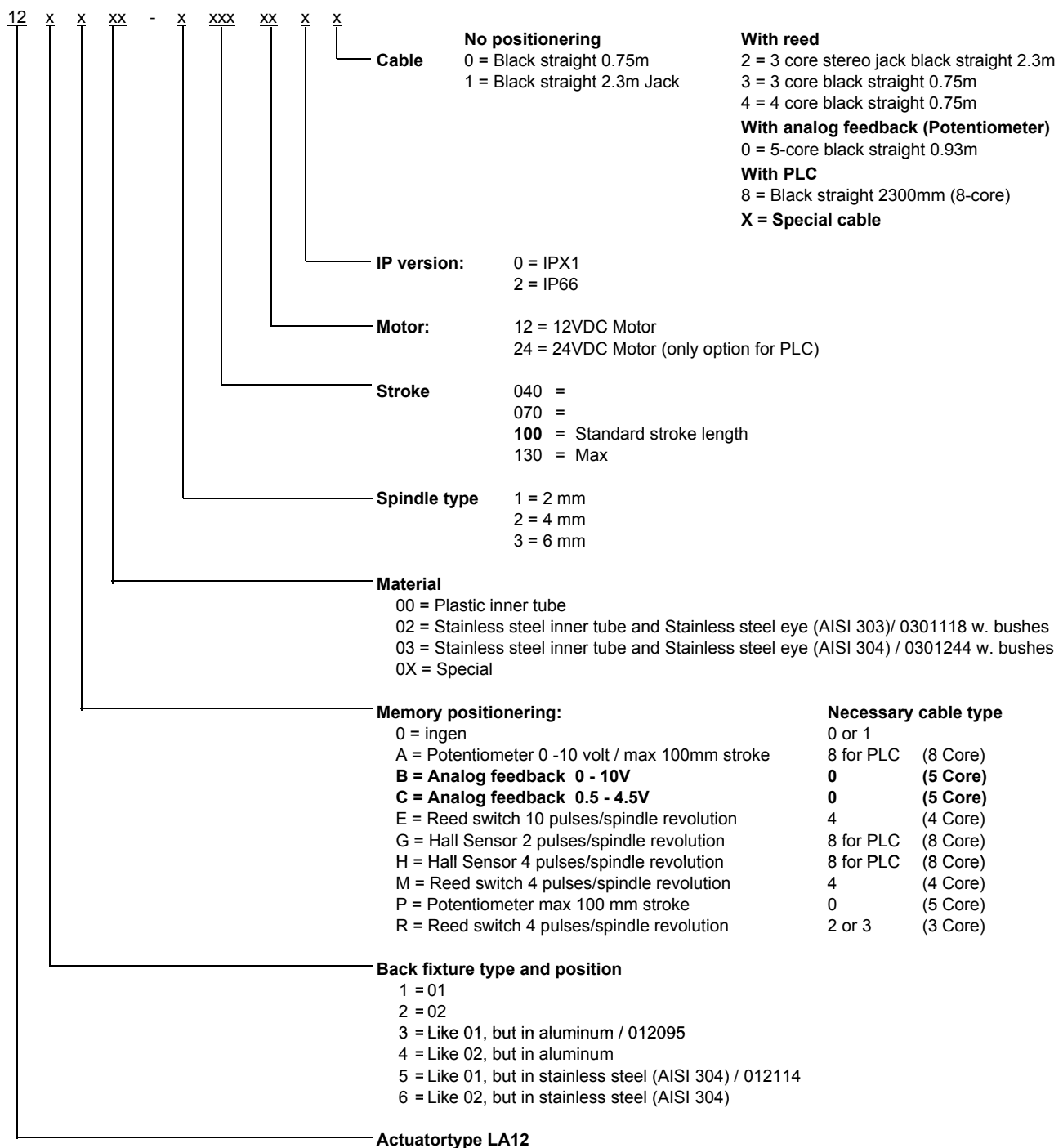
**Low energy consumption**

During recent years energy consumption has been more and more important to the end users of production equipment. Compared to pneumatic systems the energy consumption is considerably lower.

***The LA12 does not have the option: Manual lowering.***

***If manual lowering is needed recommend the customer to use an actuator with Manual Lowering.***

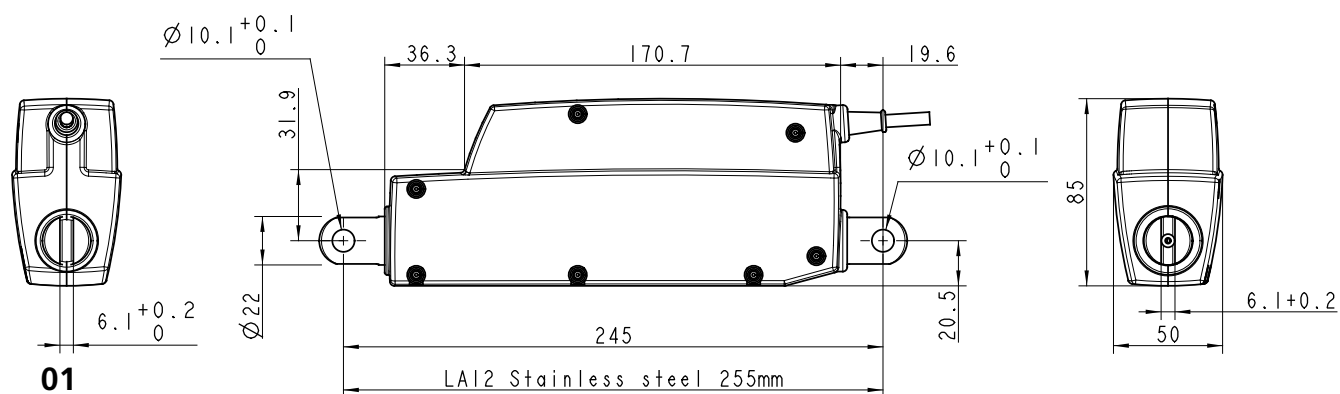
## Ordering example:



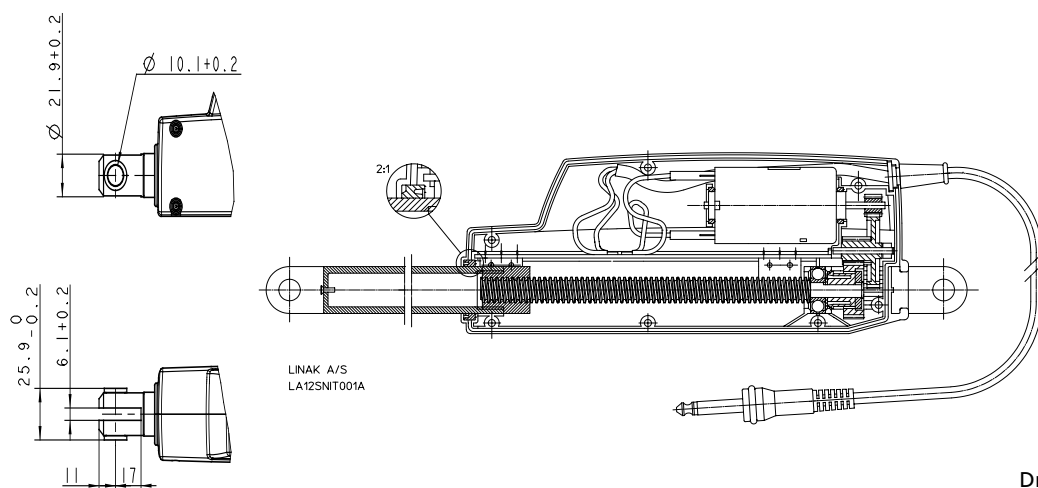
Example: LA12.1M-100-24-02 IPX1  
122M00-11002404

Position B-C will be released Jan./2010



**Dimensions:**

Drawing no.: LA12001C

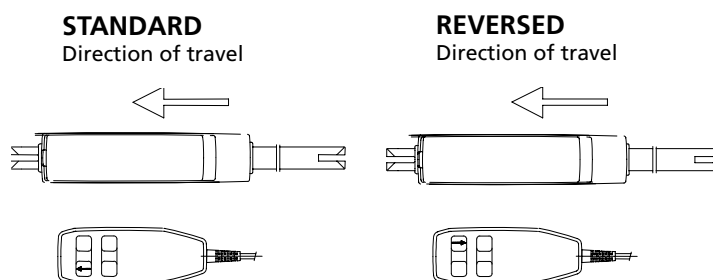
**Piston rod eye:**

Drawing no.: LA12SNIT001A

Drawing no.: 012902\_3



Beware of the direction of travel when ordering LA12 with Jack Plug.



Specifications are subject to change without prior notice.

**LINAK SALES BACK-UP**  
16th. edition 2012-06-13

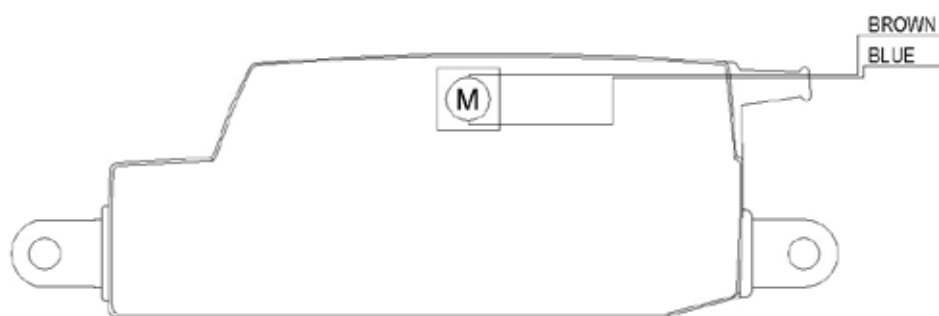
**Actuator connections**

Figure 1 Basic Actuator without positioning 12xxxxxxxxxx0

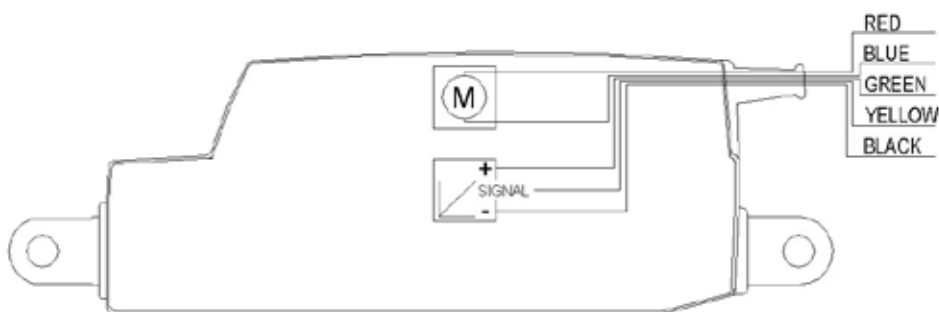


Figure 2 Actuator with absolute positioning 12xPxxxxxxxxxx0

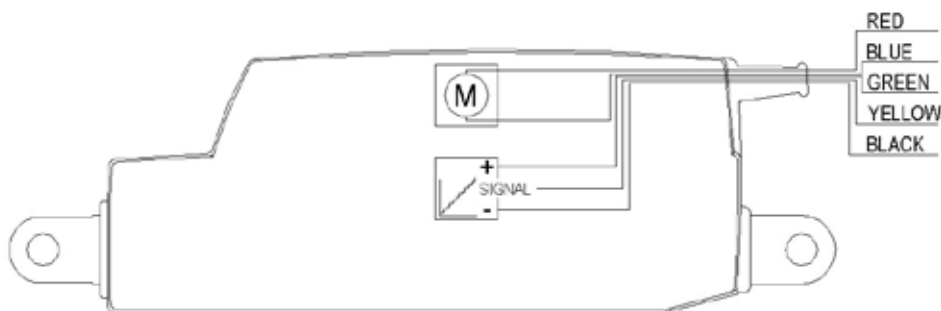


Figure 3 Actuator with absolute positioning 12xBxxxxxxxxxx0 & 12xCxxxxxxxxxx0

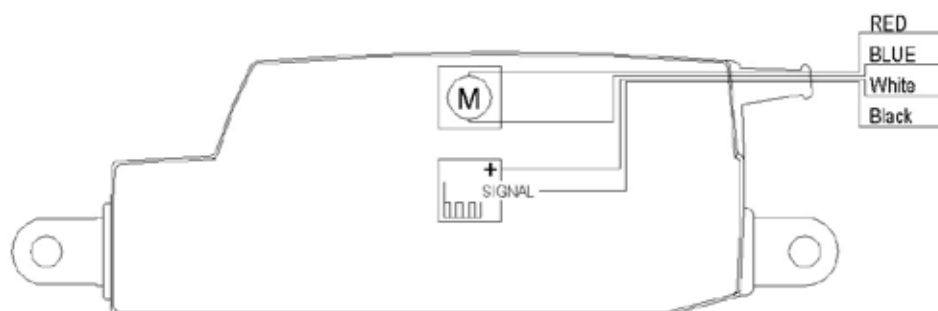


Figure 4 Actuator with Relative positioning 12xExxxxxxx4 &amp; 12xMxxxxxxx4

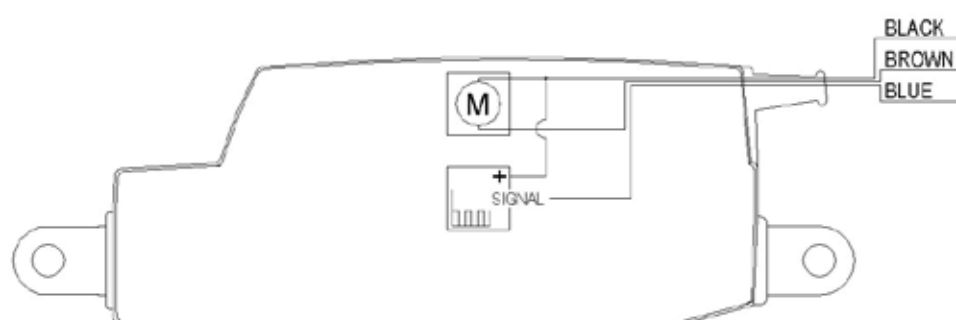


Figure 5 Actuator with Relative positioning 12xRxxxxxxx2/3

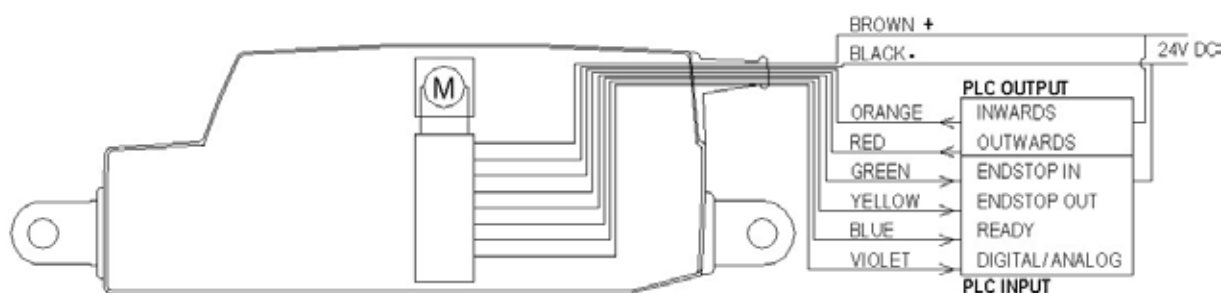



Figure 6 Actuator with built in H bridge 12x0/G/H/Axxxxxxx8


**I/O specifications: Power supply - Motor**

Item	Specification	Comment
Power supply		
Input voltage	12 VDC, $\pm 15\%$ 24 VDC, $+ 15\%$ / $-30\%$	
Duty cycle	10% at max. load	See graphs Duty Cycle versus load
Input current	0.5 - 4.8 Amp. depending on load and voltage (see graphs)	Winding isolation class F (155 degrees)
End stop	Built-in limit switches (not adjustable)	
Max. fuse	5A	


**I/O specifications: Absolute positioning**

Item	Specification	Comment
Absolute positioning		
Potentiometer	SLIDE POTENTIOMETER, 10k Ohm	The stroke length is limited to maximum 100 mm
Input Voltage		
Output range	1 K ohm = 0 mm stroke 11 K ohm = 100 mm stroke	A stroke length of 70 mm gives a deflection of $70/100 = 70\%$
Output protection	1 K ohm protection resistor	
The maximum effect	0.1 W	
Linearity	$\pm 20\%$	
Connection	Supply: Green Signal out: Yellow Ground: Black	See figure 2
Minimum lifetime	15.000 cycles	
The average lifetime	40.000 cycles	

**I/O Specifications: Absolute positioning**

Item	Specification	Comment
Absolute positioning		
Hall Potentiometer	The actuator can be equipped with an electronic circuit that gives an analog feedback signal when the actuator moves.	
Input Voltage	9 -28VDC	
Output voltage	0 -10V or 0,5 – 4,5V 0V / 0,5V = Fully retracted 10V / 4,5V= Fully extended	Always full resolution from the output, whatever stroke length is selected
Linearity		
Current consumption	Current consumption is max. 40mA	Also when actuator is not running
Connection	Supply: Green Signal out: Yellow Ground: Black	See Figure 3
Reset function	When the actuator activates one of the end stops switches	In cases where the feedback gets out of sync.

**I/O Specifications: Relative positioning 4 Wires**

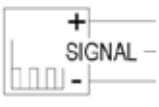
Item	Specification	Comment
Relative positioning	The actuator can be equipped with a Reed sensor and a spindle magnet. In this way you can have pulses from the actuator when it moves. The output signal is a PNP signal.	
Input Voltage	10-28VDC	
Output voltage	Same as input voltage	Potential free signal
Current consumption	N/A	
Switching capacity	750mA, max.	
Switched Power	10 Watt max.	
Resolution	Type "M" 4 poles magnet 2mm pitch = 0.5mm per pulse 4mm pitch = 1.0mm per pulse 6mm pitch = 1.5mm per pulse  Type "E" 10 poles magnet 2mm pitch = 0.2mm per pulse 4mm pitch = 0.4mm per pulse 6mm pitch = 0.6mm per pulse	
Connection	Supply: White Signal out: Black	See Figure 4

Specifications are subject to change without prior notice.

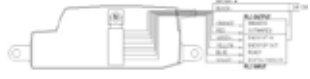
LINAK SALES BACK-UP

16th. edition 2012-06-13

**I/O Specifications: Relative positioning 3 Wires**

Item	Specification	Comment
Relative positioning	The actuator can be equipped with a Reed sensor and a spindle magnet. In this way you can have pulses from the actuator when it moves. The output signal is a PNP signal.	
Input Voltage	Follows the motor supply	
Output voltage	Motor supply	Not potential free signal
Current consumption	N/A	
Resolution	Type "R" 4 poles magnet 2mm pitch = 0,5mm per pulse 4mm pitch = 1,0mm per pulse 6mm pitch = 1,5mm per pulse	
Connection	Motor supply = Black and Brown Signal out: Blue	See Figure 5


**I/O specifications: for the PLC option**


<b>Inputs, signals to actuator</b>	Easy to use interface, with integrated power electronics (H-bridge) for direct PLC connection.	
Outwards	Actuator runs outwards	
Inwards	Actuator runs inwards	
Input Voltage when active Input voltage when inactive	High > 12V Low < 1V	Input impedance = 4KΩ

<b>Outputs, signals from actuator</b>		
In, end switch signal	Signal when end stop inwards is activated	PNP
Out, end switch signal	Signal when end stop outwards is activated	PNP
Ready	When the actuator is ready the signal is "high"	Definition: The power supply is on and the actuator is NOT overloaded
Output Voltage	Input voltage -1V at 0mA out	
Switching capacity	12 mA, Max.	
Switching impedance	1Kohm	

**Positioning: with PLC-option**

For positioning of the actuator we have different possibilities:

Item	Specification	Comment
Digital pulses		
Resolution	Type "G" 4 poles magnet 2mm pitch = 0,5mm per pulse 4mm pitch = 1,0mm per pulse 6mm pitch = 1,5mm per pulse  Type "H" 8 poles magnet 2mm pitch = 0,25mm per pulse 4mm pitch = 0,5mm per pulse 6mm pitch = 0,75mm per pulse	
Frequency	5 - 15Hz	According to load
Repeatability	+/- 0.5mm	Depending on PLC cycletime
Output voltage	24VDC, +15% / -30%	Always the same as input voltage
Switching capacity	2.5mA, Max.	
Switching impedance	4 Kohm	

Item	Specification	Comment
Analog signal		
Potentiometer	Built in 10K ohm sliding potentiometer	
Output signal range	0 - 4 volt for 0 - 40mm stroke 0 - 7 volt for 0 - 70mm stroke 0 - 10 volt for 0 - 100mm stroke	
Overall precision	4% of full scale (100mmstroke)	Dependant of current in common wire
Output protection	1 Kohm protection resistor	

**Environmental test – Climatic:**

<b>Test</b>	<b>Specification</b>	<b>Comment</b>	<b>TRD number</b>
Degrees of protection	EN60529 – IP6x	IP6X - Dust: Dust-tight, No ingress of dust. Actuator is not activated.	TRD2351
	EN60529 – IPx6	IPX6 – Water: Ingress of water in quantities causing harmful effects is not allowed. Duration: 100 litres pr. minute in 3 minutes Actuator is not activated.	TRD2249
	EN60529 – IPx6-dynamic	IPX6 –Connected actuator: Actuator is driving out and in for 3 min. 100(l/min) jet of water is placed at the wiper ring for 3 (min).	TRD2349
	DIN40050 – IP69K	High pressure cleaner: Water temperature: +80°C Water pressure: 80 bar Spray angle: 45° Spray distance: 100mm Duration: From any direction 10 seconds of spraying followed by 10 seconds rest. Actuator is not activated. Ingress of water in quantities causing harmful effects is not allowed.	TRD2350
Salt mist.	EN60068-2-52 (Kb)	Dynamic salt spray test Salt solution: 5% sodium chloride (NaCl) 4 spraying periods, each of 2 hours. Humidity storage 20 days after each. Actuator is power up connected during the test. Exposure time: 10'000 cycles	TRD2570



**Environmental test - Mechanical**

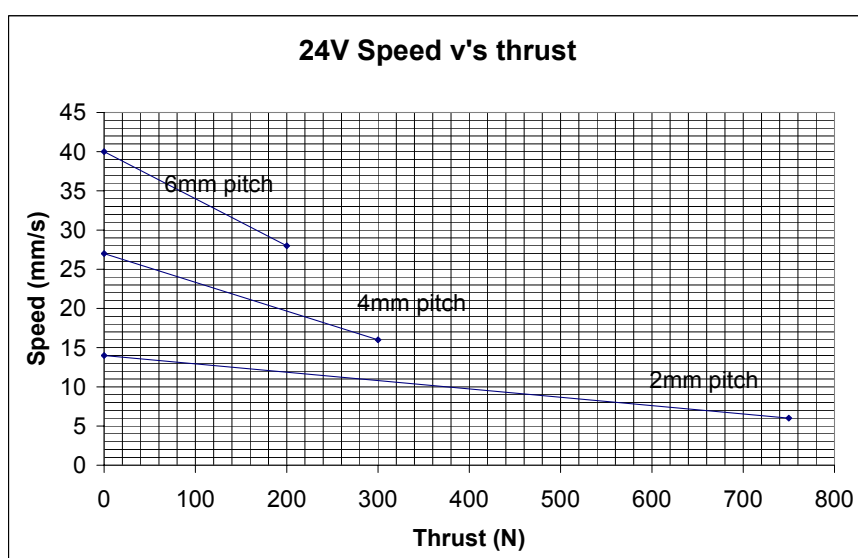
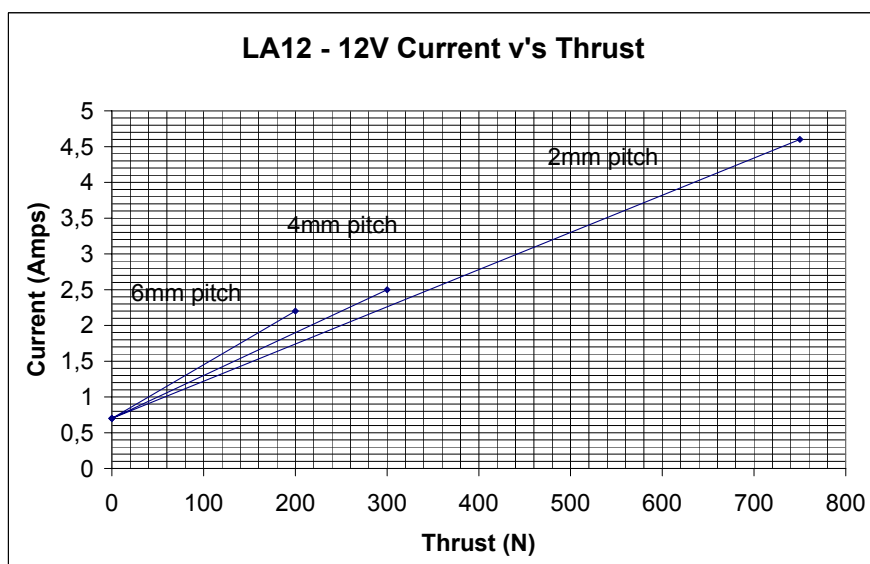
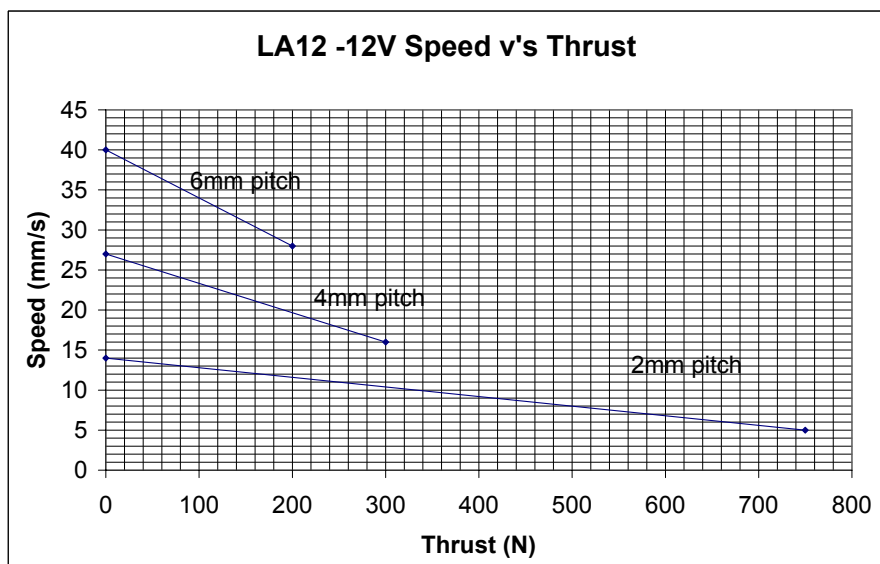
Test	Specification	Comment	TRD number
Low Temperature Soak		Unit powered and operating for 96Hrs @ -40°C	TRD2232
High Temperature Soak		Unit powered and operating for 96Hrs @ 105°C	TRD2233
Mechanical Shock (Handling) - Drop Test	BS2011 Part 2.1 Eb.	400mm drop onto Hardwood bench minimum 40mm thick. Onto all practical edges and faces	TRD2243
Mechanical Shock (Operational)		100 off 400m/sec <sup>2</sup> 6ms shock pulses - in 3 axes.	TRD2229 PART 1
Vibration (Random)		24 hours in each ax. Breakpoint Freq. 10Hz @ 0.005 g <sup>2</sup> /Hz, 150Hz @ 0.060 g <sup>2</sup> /Hz, 220Hz @ 0.080 g <sup>2</sup> /Hz 350Hz @ 0.040 g <sup>2</sup> /Hz	TRD2229 PART 2
Vibration (Resonant Search)		10Hz - 2KHz @ 4G, Rate = 1octave/min	TRD2229 PART 3

**Environmental test – Electrical, it does not apply for the PLC option**

Test	Test method	Test Level	TRD nummer
Radiated emission 10m distance	CISPR 22	79 dB $\mu$ V (QP), 0.15 - 0.5 MHz 66 dB $\mu$ V (AV), 0.15 - 0.5 MHz 73 dB $\mu$ V (QP), 0.5 - 30 MHz 60 dB $\mu$ V (AV), 0.5 - 30 MHz	
Radiated emission 10m distance	CISPR 22	30 dB $\mu$ V/m, 30 - 230 MHz 37 dB $\mu$ V/m, 230 - 1000 MHz	
Specification for radio disturbance and immunity	EN 55016-1-2		
Electromagnetic fields	EN 61000-4-3	12 V/m, 80% AM, 1kHz 80 - 1000 Mhz 3 V/m, 80% AM, 1 kHz 1.4 - 2.0 GHz 1 V/m, 80% AM 2.0 - 2.7 GHz	
ESD	IEC 61000-4-2	$\pm$ 6 kV contact discharge $\pm$ 8 kV air discharge	
Burst transients	IEC 61000-4-4	$\pm$ 2 kV	
Surge transients	IEC 61000-4-5	$\pm$ 2 kV (42 $\Omega$ output)	
Radio frequency common mode	IEC 61000-4-6	10 Vrms, 80% AM 0.15 - 80 MHz	
Power frequency magnetic field immunity test	IEC 61000-4-8		
ESD	ISO 10605	8 kV contact discharge or 15 kV air discharge 330 pF + 2.000 $\Omega$	
Electromagnetic fields	ISO 11452-2 1m distance	30 V/m, 80%AM, 1kHz 80 - 2.700 Mhz	
Narrow Band 1m distance	ISO 13766	52 - 42 dB $\mu$ V/m, 30 - 75 MHz 42 - 53 dB $\mu$ V/m, 75 - 400 MHz 53 dB $\mu$ V/m, 400 - 1000 MHz	
Broad Band 1m distance	ISO 13766	62 - 52 dB $\mu$ V/m, 30 - 75 MHz 52 - 63 dB $\mu$ V/m, 75 - 400 MHz 63 dB $\mu$ V/m, 400 - 1000 MHz	
Conducted transients	ISO 7637-2:2004	Pulses 1,2, 3a, 3b, 4, 5	

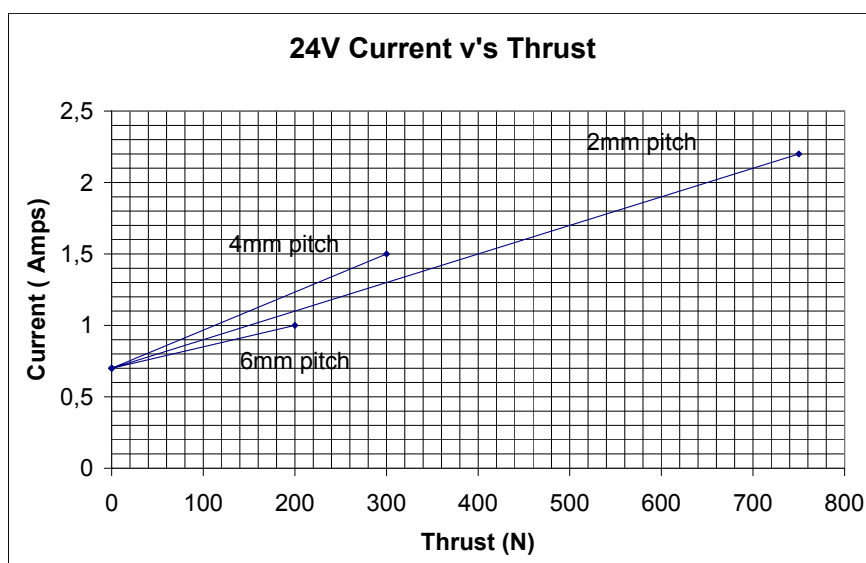
**Complying standards, it does not apply for the PLC option**

<b>Standard</b>	<b>Specification</b>	<b>FOCUS ON</b>
2004/104/EC	Automotive EMC Directive 2004/104/EC on electrical and electronic car components	VEHICLES AND MOBILITY
EN 12184	Electrically powered wheelchairs, scooters and their chargers. Requirements and test methods	
EN/IEC 60204-1	Safety of machinery – Electrical equipment of machines – Part 1: General requirements	INDUSTRIAL AUTOMATION
EN/IEC 60204-32	Safety of machinery – Electrical equipment of machines – Part 32: Requirements for hoisting machines	<ul style="list-style-type: none"> <li>INDUSTRIAL AUTOMATION</li> <li>PLATFORMS AND LIFTS</li> </ul>
EN/IEC 60601-1-2	Medical electrical equipment — Part 1-2: General requirements for basic safety and essential performance — Collateral standard: Electromagnetic compatibility — Requirements and tests	
EN/IEC 61000-6-1	Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 6-1: Generic standards - Immunity for residential, commercial and light-industrial environments	INDUSTRIAL AUTOMATION
EN/IEC 61000-6-2	Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6-2: Generic standards – Immunity for industrial environments	INDUSTRIAL AUTOMATION
EN/IEC 61000-6-3	Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6-3: Generic standards – Emission standard for residential, commercial and light-industrial environments	INDUSTRIAL AUTOMATION
EN/IEC 61000-6-4	Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 6: Generic standards - Section 4: Emission standard for industrial environments	INDUSTRIAL AUTOMATION
EN/ISO 10535	Hoists for the transfer of disabled persons -- Requirements and test methods	
EN/ISO 13766	Earth-moving machinery -- Electromagnetic compatibility	CONSTRUCTION
EN/ISO 14982	Agricultural and forestry machines - Electromagnetic compatibility	<ul style="list-style-type: none"> <li>MOBILE AGRICULTURE</li> <li>OUTDOOR POWER EQUIPMENT</li> </ul>
ISO 7176-21	Wheelchairs -- Part 21: Requirements and test methods for electromagnetic compatibility of electrically powered wheelchairs and scooters, and battery chargers	

**LA12 Curves speed and current:**

Specifications are subject to change without prior notice.

**LINAK SALES BACK-UP**  
16th. edition 2012-06-13

**LA12 Current v's Thrust:**

The above values are average values and made with a stable power supply and an ambient temperature of 20° C.

**Graphs for Duty Cycle:**

The graphs on the next page show which duty cycle can be expected compared to the load. The measurements for the graphs have been made with an ambient temperature of 20°C. If the actuator is used in a higher ambient temperature the duty cycle will decrease.

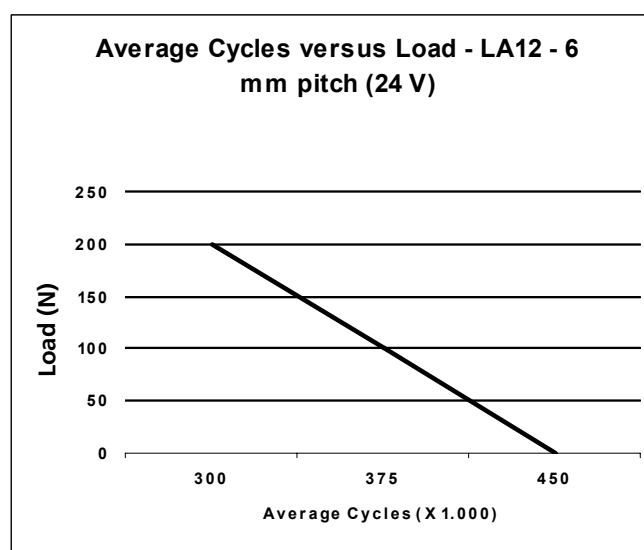
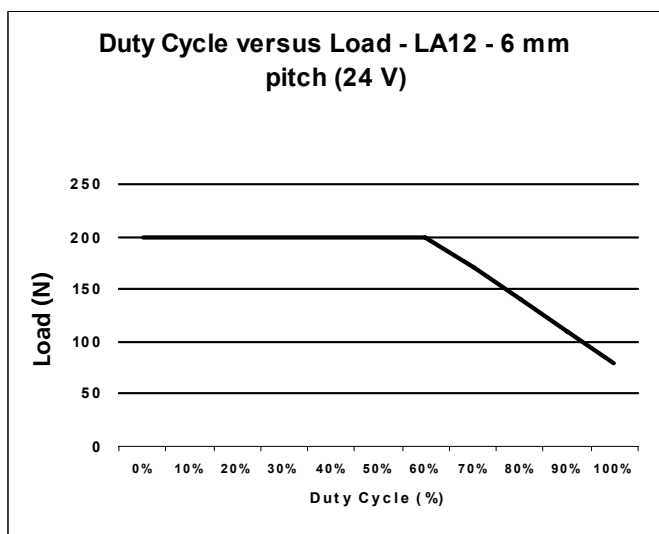
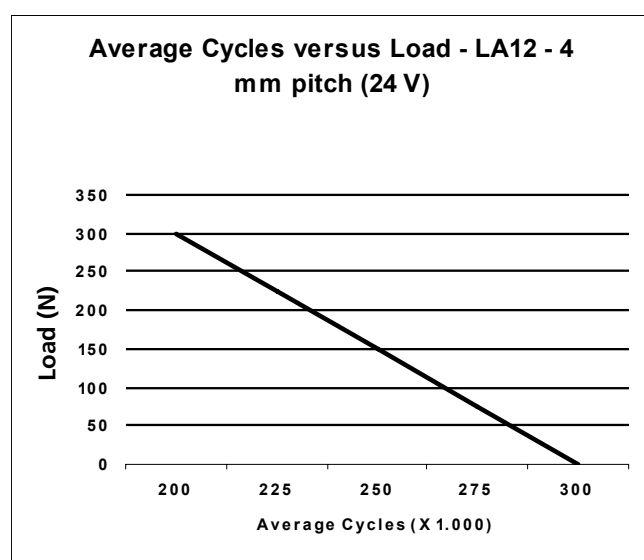
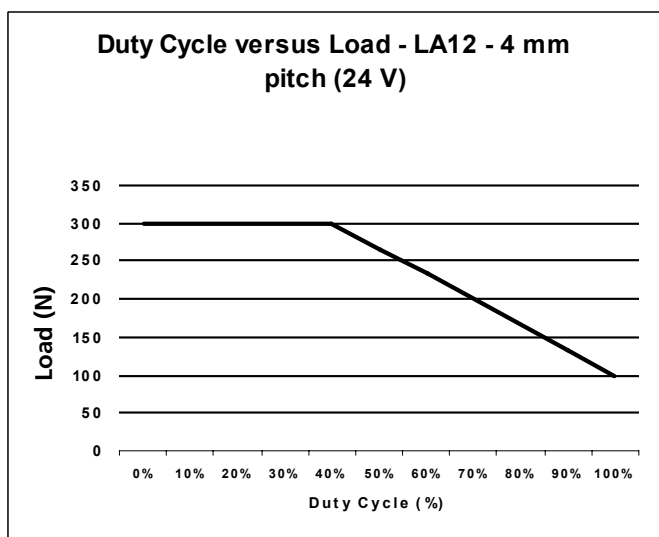
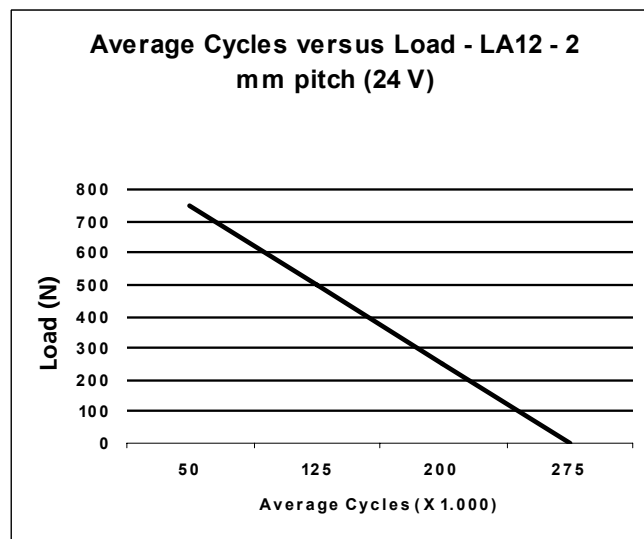
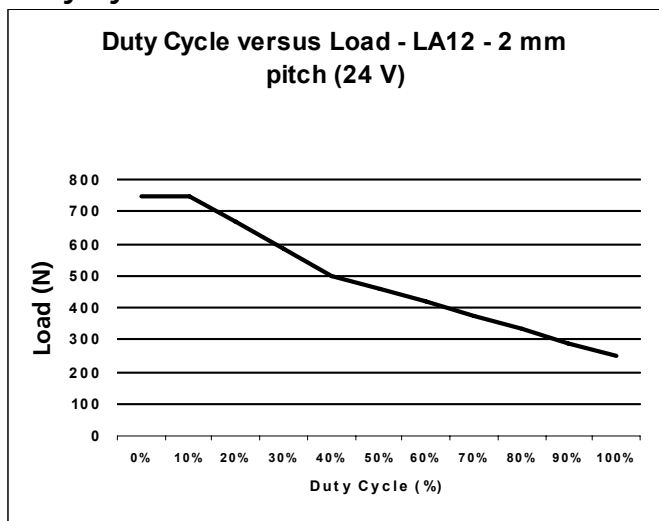
**Test conditions for Duty Cycle and average lifetime:**

The conditions of the tests carried out at LINAK A/S are as follows:

- Actuator running at full stroke ( between both end stop switches )
- Actuator running at max. recommended duty cycle
- Continuous operation 24 hours a day
- No vibrations
- Relatively clean enviroment ( no extreme dust or dirt )



Please note that running the actuator in other conditions than the above mentioned may decrease or increase the duty cycle or lifetime of the actuator. Therefore it is recommended that the customer always tests the actuator in the actual application, to ensure that the actuator fulfills the customers expectations.

**Duty Cycle:**

**Stroke table for LA12:**

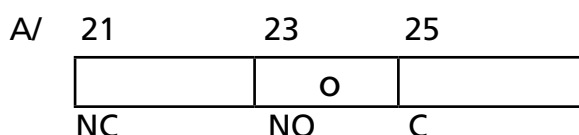
Tolerance for the nominal stroke:  $\pm 2$  mm

Ordered stroke length 108 mm i.e. 107.5 mm nominal stroke  $\pm 2$  mm gives soldering pad 27-C.

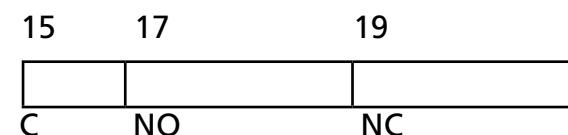
Ordered stroke	Nominal stroke	Soldering pad	Ordered stroke	Nominal stroke	Soldering pad
130	<b>Std.</b> 130	33-C	129; 128	128.25	34-NC
127; 126	126.25	32-C	125; 124	124.5	33-NC
123; 122	122.5	31-C	121; 120	120.75	32-NC
119; 118	118.75	30-C	117	117	31-NC
115	115	29-C	114; 113	113.25	30-NC
112; 111	111.25	28-C	110; 109	109.5	29-NC
108; 107	107.5	27-C	106; 105	105.75	28-NC
104; 103	103.75	26-C	102	102	27-NC
100	<b>Std.</b> 100	25-C	99; 98	98.25	26-NC
96	96.25	24-C	95; 94	94.5	25-NC
93; 92	92.5	23-C	91; 90	90.75	24-NC
89; 88	88.75	22-C	87	87	23-NC
85	85	21-C	84; 83	83.25	22-NC
82; 81	81.25	20-C	80; 79	79.5	21-NC
78; 77	77.5	19-C	76; 75	75.75	20-NC
74; 73	73.75	18-C	72	72	19-NC
70	<b>Std.</b> 70	17-C	69; 68	68.25	18-NC
67; 66	66.25	16-C	65; 64	64.5	17-NC
63; 62	62.5	15-C	61; 60	60.75	16-NC
59; 58	58.75	14-C	57	57	15-NC
55	55	13-C	54; 53	53.25	14-NC
52; 51	51.25	12-C	50; 49	49.5	13-NC
48; 47	47.5	11-C	46; 45	45.75	12-NC
44; 43	43.75	10-C	42	42	11-NC
40	<b>Std.</b> 40	9-C	39; 38	38.25	10-NC
37; 36	36.25	8-C	35; 34	34.5	9-NC
33; 32	32.5	7-C	31; 30	30.75	8-NC
29; 28	28.75	6-C	27	27	7-NC
25	25	5-C	24; 23	23.25	6-NC
			20; 19	19.5	5-NC

**How to place the switches on the PCB:**

Micro switch: stroke = 100 mm



Stroke = 72 mm



A/ "C" is soldered onto no. 25. the largest no.

B/ "NC" is soldered onto no.19, the largest no.

It is possible to have other stroke lengths. With a min. order of 200 pcs. we can move the limit switches on the built-in PCB. See possible stroke lengths and replacement of the limit switches above.

**Stroke table for LA12 PLC:**Tolerance for the nominal stroke:  $\pm 2$  mmOrdered stroke length 104 mm i.e. 103,75 mm nominal stroke  $\pm 2$  mm

gives soldering pad 26-C

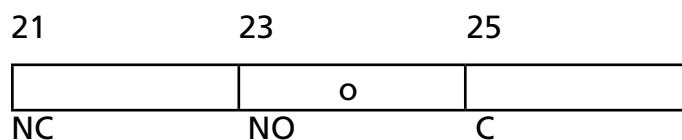
Ordered stroke (mm)	Nominal stroke (mm)	Soldering pad
<b>122 – 130</b>	<b>Std. 130</b>	33-C
120 – 121	120.75	32-NC
118 – 119	118.75	30-C
116 – 117	117	31-NC
<b>107 – 115</b>	<b>115</b>	29-C
105 – 106	105.75	28-NC
103 – 104	103.75	26-C
101 – 102	102	27-NC
<b>092 – 100</b>	<b>Std. 100</b>	25-C
090 – 091	90.75	24-NC
088 – 089	88.75	22-C
086 – 087	87	23-NC
<b>077 – 085</b>	<b>85</b>	21-C
075 – 076	75.75	20-NC
073 – 074	73.75	18-C
071 – 072	72	19-NC
<b>062 – 070</b>	<b>Std. 70</b>	17-C
060 – 061	60.75	16-NC
058 – 059	58.75	14-C
056 – 057	57	15-NC
<b>047 – 055</b>	<b>55</b>	13-C
045 – 046	45.75	12-NC
043 – 044	43.75	10-C
041 – 042	42	11-NC
<b>032 – 040</b>	<b>Std. 40</b>	9-C
030 – 031	30.75	8-NC
028 – 029	28.75	6-C
026 – 027	27	7-NC
<b>000 – 025</b>	<b>25</b>	5-C

**How to place the switches on the PCB:**

Micro switch:

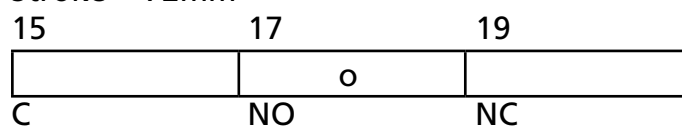
A/

Stroke = 100mm



B/

Stroke = 72mm



A/: "C" is soldered onto no.25, the largest no.

B/: "NC" is soldered onto no.19, the largest no.