

2172624

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
PROJETO MECÂNICO

PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM MEDIDOR DE TORQUE

Autor : Horst Miklautz

Orientador : Prof. Dr. Octávio Maizza Neto

1983

SUMÁRIO

Este trabalho tem como objetivo o projeto e a construção de um dispositivo medidor de torque para ser usado a bordo de um carro elétrico.

O veículo em questão é tracionado por um motor de corrente contínua cujo controle é efetuado por uma unidade eletrônica do tipo 'Chopper'.

Esta unidade de controle foi desenvolvida pela FDTE e está sendo testada e otimizada neste veículo.

Para avaliar de uma forma mais precisa o desempenho da unidade de controle e do carro em geral decidiu-se construir um sistema de aquisição de dados com o qual se pretende gravar em fita cassete os valores referentes à velocidade, torque, tensão de alimentação, corrente, etc., estando o carro em movimento. Processando-se esses dados posteriormente em um computador é possível a obtenção de gráficos que mostrem qualitativa e quantitativamente o desempenho (rendimentos, potências, etc.) do controle e do veículo como um todo.

O medidor de torque é um dos elementos principais do sistema de aquisição de dados pois é necessário para determinação da potência fornecida pelo motor e portanto, indistintamente, para cálculo do rendimento.

O trabalho está assim dividido:

- Escolha do tipo de medidor de torque levando em conta o espaço disponível, a montagem existente e os recursos disponíveis sempre tendo em vista as especificações.
- Construção do medidor, dividida em duas partes: fixação do motor no carro e construção do medidor propriamente dito.
- Calibração do medidor
- Medições de torque estando o carro em movimento.

Anexos estão os desenhos de fabricação das peças de fixação do motor bem como gráficos e também fotografias do medidor de torque durante as diversas fases de montagem e quando pronto e instalado no veículo.

INDICE:CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO

- Especificações 1
- Montagem existente e espaço disponível 1
- Diferentes meios para medir o torque 2
- Tipo de medidor 3

CAPÍTULO II - FIXAÇÃO DO MOTOR NO VEÍCULO

- Fixação do motor na base 5
- Montagem da base no carro 6

CAPÍTULO III - PROJETO DA HASTE

- Avaliação dos esforços máximos 7
- Dimensionamento da haste 7
- Funcionamento dos extensômetros elétricos 9
- Circuito elétrico de medição 11

CAPÍTULO IV - CALIBRAÇÃO DO MEDIDOR

- Determinação da constante de proporcionalidade 14

CAPÍTULO V - MEDIÇÕES DE TORQUE A BORDO DO CARRO ELÉTRICO

- Comportamento do medidor 15

BIBLIOGRAFIA 16ANEXOS

- Relatório do ensaio para determinação das características de desempenho do motor
- Gráficos
- Desenhos de fabricação das peças de fixação do motor
- Fotografias

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO

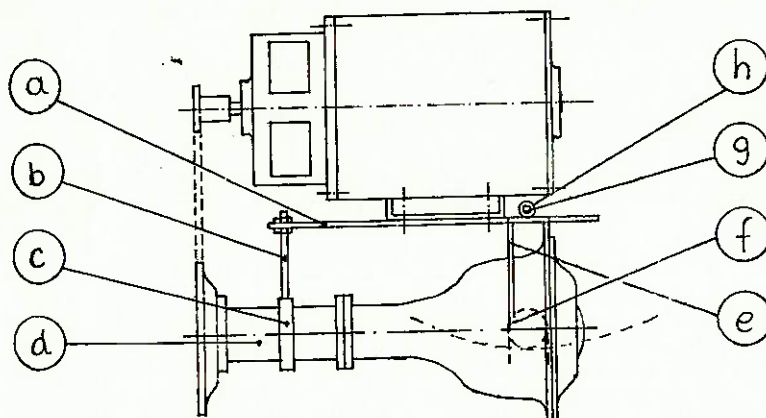
Especificações:

Primeiramente é preciso conhecer as características de desempenho desejadas para o medidor de torque a ser construído. Ficou definido que:

- o sinal de saída deve ser na forma de uma tensão que é diretamente proporcional ao torque fornecido pelo motor.
- deve ser possível medir torques nos dois sentidos de rotação.
- o medidor deve influir o mínimo possível no desempenho do carro.
- o funcionamento do medidor não deve ser influenciado de forma significativa pelos movimentos e oscilações do carro.

Montagem existente e espaço disponível:

A montagem existente antes da instalação do medidor era a seguinte:



O motor estava parafusado a uma base (a) que por sua vez era fixada ao diferencial em dois pontos: um na parte anterior e outro sobre a fixação do feixe de molas.

A fixação anterior era constituída de um parafuso (b) soldado a uma argola (c) que estava encaixada sobre o tubo (d). Esse parafuso, dotado de porca e contra-porca, servia para posicionar a base verticalmente, ajustando-se assim a tensão na cor

rente.

A fixação posterior era da seguinte forma: uma peça com perfil em U (e) estava soldada ao suporte das molas (f). A base era fixada à peça em U por meio de dois pinos (g) que se encaixavam dentro dos tubos (h). Assim era possível girar a base em torno desse eixo transversal, o que é necessário para se regular a tensão na corrente.

Foi estudada a opção de se instalar o motor (com o medidor) no espaço disponível à frente do diferencial, sendo então a transmissão de força feita por um eixo telescópico com cruzetas, por exemplo. Nesse caso seria necessário instalar também um redutor, o que não era praticamente possível pois o espaço disponível era limitado.

Decidiu-se então adotar o mesmo tipo de montagem, mesmo sabendo que todo o conjunto de tração estava sendo suportado apenas pelo feixe de molas. A desvantagem que existe nesse caso é que o feixe de molas, além de suportar o peso do carro e compensar as irregularidades do piso está sujeito ao momento transmitido pelas rodas ao chão. Isto faz com que todo o conjunto motor-diferencial gire levemente em torno do eixo das rodas quando o conjunto está sujeito ao torque reativo devido à força transmitida pelas rodas ao chão.

Diferentes meios para medir o torque:

Nesse caso, existem basicamente duas alternativas para se medir o torque fornecido:

- no eixo de saída do motor
- no suporte do motor

Tendo em vista que desejamos trabalhar com um sinal elétrico é mais fácil medir o torque no suporte do motor pois este se encontra em repouso, o que obviamente já não acontece com o eixo. Para medir o torque no eixo seria necessário utilizar um sistema de escovas para transmitir o sinal elétrico. Isso implica na fabricação de um eixo revestido de materiais especiais e também um porta-escovas. Além disso as tolerâncias de fabricação teriam que ser menores e existe o problema de oxidação e sensibilidade à sujeira, o que eventualmente tornaria obrigatória a construção de um ambiente protegido.

Pelos motivos acima expostos decidiu-se medir o tor-

que através da reação (isto é, no suporte do motor).

Para medir o torque podem ser utilizados basicamente todos os recursos que se prestam para medir forças, por exemplo extensômetros elétricos (Strain Gages) e cristais piezoelétricos.

O uso de extensômetros elétricos é mais simples que o de sensores piezoelétricos pois estes últimos necessitam ser ligados a amplificadores de altíssima impedância que não comuns aqui no Brasil. Já os extensômetros elétricos podem ser usados em conjunto com amplificadores operacionais comuns, o que torna seu uso muito mais fácil.

Decidimos então usar extensômetros elétricos.

O extensômetro elétrico relaciona a deformação com uma mudança de sua resistência. Podem ser medidas deformações positivas e negativas (tração e compressão), sendo as variações de resistência positiva e negativa respectivamente.

Basta agora dispor esses extensômetros em locais convenientes para os quais conhecemos a relação deformação x torque fornecido pelo motor, relação essa que depende basicamente do arranjo geométrico e dos materiais envolvidos.

Tipo de medidor:

A maneira mais simples é montar o motor de tal forma que também sua carcaça possa girar em torno do seu eixo e restringir então esse grau de liberdade por uma haste de dimensões bem definidas. Esta haste, sujeita à flexão, recebe então os extensômetros que permitem que se conheça a deformação e, consequentemente, o torque que se quer medir. A disposição dos extensômetros na haste e sua ligação elétrica está descrita no Capítulo III.

Um medidor desse tipo atende às especificações desejadas:

- ligando convenientemente os extensômetros temos um sinal diretamente proporcional ao torque fornecido pelo motor.
- é possível medir torques em ambos os sentidos de rotação.
- o medidor praticamente não influi no desempenho do carro, pois a fixação é rígida e o momento de inércia do eixo do motor permanece praticamente inalterado (o que seria diferente se medíssemos o torque no eixo).

- o funcionamento do medidor praticamente não é afetado pelos movimentos do carro pois o motor é fixado pelo seu centro de massa, o que elimina os efeitos devido ao balanço do carro em torno do eixo longitudinal (os esforços são suportados pelos mancais). A influência do movimento vertical pode ser anulada dispondo-se os extensômetros de forma que o sinal de saída se insensível às deformações oriundas de esforços de tração e compressão pura na haste.

Nos capítulos seguintes está descrita a construção dos suportes do motor e da base e o dimensionamento da haste.

CAPÍTULO II - FIXAÇÃO DO MOTOR NO VEÍCULO

As dimensões da base foram determinadas de tal forma que houvesse espaço suficiente para a fixação dos mancais e para que pudesse ser usado o sistema de fixação existente.

Fixação do motor na base:

Para garantir que apenas a haste seja responsável de impedir o giro da carcaça o motor foi montado na base com o auxílio de dois mancais de rolamento, que permitem um giro da carcaça com um atrito bastante reduzido. (Ver fig. 1)

Decidimos usar mancais autocompensadores para corrigir eventuais desalinhamentos. Foram usados mancais ROLMAX que apresentam a vantagem de serem blindados e pré-lubrificados.

Fixação traseira: foi parafusada ao motor a peça A (ver desenho de fabricação anexo) cuja função é dupla. Uma das funções é a de fazer o acoplamento do anel interno do rolamento do mancal traseiro com a carcaça do motor. A outra função é a de impedir o giro da carcaça, por intermédio da haste cuja extremidade é fixa na base. (Ver fig. 2)

A altura do mancal em relação à base é regulável pois os parafusos de fixação podem ser deslocados dentro de rasgos verticais correspondentes. (Ver fig. 1)

O mancal traseiro é do tipo SLFE $\varnothing 17$ 1000G e está fixo à base por intermédio de dois parafusos M6x30 sobre dois distanciadores $\varnothing 16 \times \varnothing 8 \times 12$. A peça A foi fixada à carcaça do motor com 7 parafusos M6x25, tendo sido feita a rosca na própria carcaça pois havia material disponível.

O movimento da extremidade da haste é restringido por dois blocos soldados à base. A extremidade da haste, envolta por uma fita de borracha, é fixa por um parafuso entre os dois blocos. Temos assim uma fixação rígida e isenta de folgas. (Fig. 2)

Fixação dianteira: é um pouco mais complicada pois aí está localizado o eixo de saída do motor. A peça B (ver desenho de fabricação anexo) foi parafusada à parte dianteira da carcaça. Sua função é acoplar a carcaça do motor à pista interna do rolamento do mancal dianteiro e também permitir a montagem da

peça que suporta o pinhão ao eixo do motor. Para maior clareza ver a fig. 3. A fixação da peça B à carcaça do motor é feita por 8 parafusos M3x15.

O mancal dianteiro é do tipo NP $\varnothing 70$ 1000G e está fixo à base por meio dos parafusos M12x140 sobre os distanciadores $\varnothing 44 \times \varnothing 14 \times 52$. Esses distanciadores servem para posicionar o mancal na altura correta em relação à base. (fig. 4)

Na pista interna do rolamento do mancal dianteiro existe um parafuso para se fixar o motor axialmente.

Montagem da base no carro:

Foi mantido o sistema anterior. Na parte traseira o mesmo pino une o centro dos tubos soldados à base e ao perfil em U respectivamente. Na parte dianteira o parafuso existente foi substituído por um triângulo tensor, tendo se aproveitado a argola. Ver fig. 5.

Foi necessário o uso de um adaptador-espaçador na ponta do eixo inferior. Isso foi necessário para alinhar a coroa com o pinhão, que nessa nova montagem foi deslocado para a frente para que fosse possível instalar a fixação traseira. (Fig.6)

CAPÍTULO III - PROJETO DA HASTE

Avaliação dos esforços máximos:

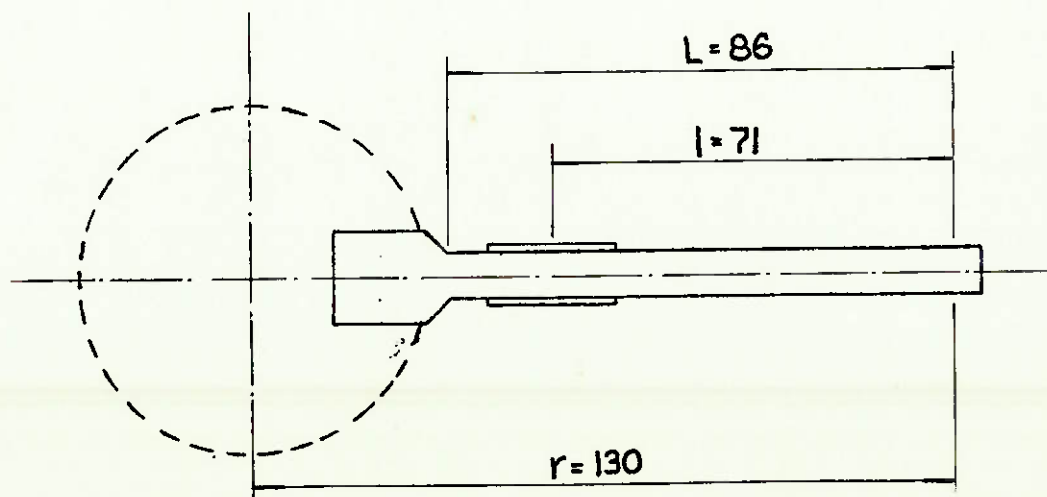
Para podermos dimensionar corretamente a haste, que será solicitada à flexão, precisamos conhecer primeiramente qual a força máxima que atuará em sua extremidade. De posse desse valor podemos então, conhecendo também o material e a geometria, definir qual a secção da mesma.

Para o motor em questão sabemos que o conjugado é máximo na partida. Como esse valor não estava disponível foi necessário fazer uma estimativa. Analisando o relatório que contém os resultados obtidos no ensaio para determinação das características de desempenho do motor notamos que o conjugado está diretamente ligado com o valor da corrente que passa pela armadura, independentemente da rotação e da tensão aplicada. Outro dado que era disponível é que a corrente na partida estava sendo limitada em 200A. Foi feito o gráfico 1 ($C \times I_{arm}$) com a ajuda do qual foi possível estimar o torque (conjugado) de partida. O valor estimado foi

$$C_{\max} = 62,2 \text{ N.m}$$

Dimensionamento da haste:

Como conhecemos agora o torque máximo que é fornecido pelo motor podemos calcular a força máxima que atuará na extremidade da barra. Na figura abaixo estão indicadas as dimensões que são necessárias para o cálculo da secção resistente e posteriormente, para o ganho dos extensômetros.



Cálculo da força máxima:

Aplicando a própria definição de torque resulta:

$$F_{\text{m}\bar{\text{a}}\text{x}} = \frac{C_{\text{m}\bar{\text{a}}\text{x}}}{r} = \frac{62,2 \text{ N.m}}{0,13 \text{ m}} \quad \text{donde resulta}$$

$$\underline{F_{\text{m}\bar{\text{a}}\text{x}} = 478 \text{ N}}$$

Cálculo da secção:

O material escolhido para a haste é SAE 1045 temperado em óleo e revenido a 450°C. Para esse material nessas condições

$$\tau_{\text{escoamento}} = 90000 \text{ psi} = 62 \text{ Kgf/mm}^2 = 607 \text{ N/mm}^2$$

Adotaremos um coeficiente de segurança ao escoamento igual a 5, por causa da concentração de tensões no engastamento e por causa da possibilidade de ocorrência de choques. Assim

$$\tau_{\text{admissível}} = \frac{607 \text{ N/mm}^2}{5} = 121,5 \text{ N/mm}^2$$

Da resistência dos materiais sabemos que o momento fletor é máximo na secção do engastamento. Nesse ponto o momento fletor vale

$$M_{\text{m}\bar{\text{a}}\text{x}} = F_{\text{m}\bar{\text{a}}\text{x}} \cdot L$$

$$\text{Logo} \quad M_{\text{m}\bar{\text{a}}\text{x}} = 478 \cdot 86 \text{ N.mm} = 41148 \text{ N.mm}$$

$$\text{A tensão correspondente vale} \quad \sigma = \frac{6 M}{bh^2}$$

Essa tensão não deve superar a tensão admissível. Logo:

$$\sigma = \sigma_{\text{adm}} = \frac{6 \cdot M_{\text{m}\bar{\text{a}}\text{x}}}{b \cdot h^2}$$

Como $b = 20$ mm para termos espaço suficiente para colar dois extensômetros lado a lado podemos agora calcular h :

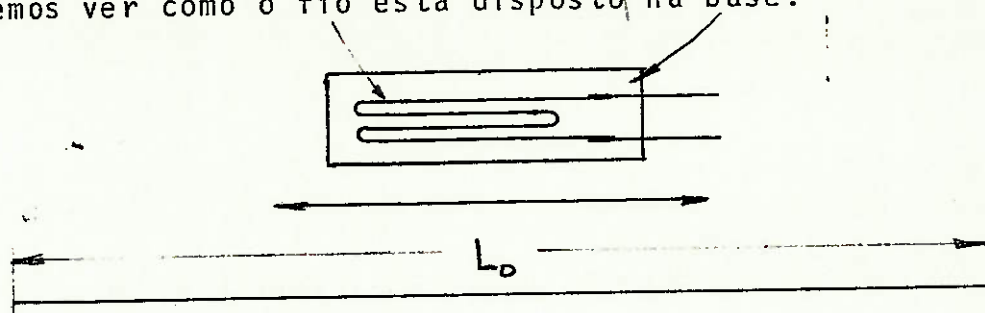
$$h = \sqrt{\frac{6 \cdot M_{\max}}{b \cdot \sigma_{\text{adm}}}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 41148}{20 \cdot 121,5}} = 10,08 \text{ mm}$$

Adotamos $h = 10$ mm

Temos agora definida a secção transversal da haste. Vamos agora determinar a colocação dos extensômetros na haste. Antes, porém, convém explicar de modo mais detalhado o funcionamento dos extensômetros.

Funcionamento dos extensômetros elétricos:

O extensômetro elétrico nada mais é que um fio muito fino (geralmente constantan ou nicromo) que está disposto numa base que pode ser de papel especial ou resina. Na figura abaixo podemos ver como o fio está disposto na base.



Tudo se passa como se um comprimento L_0 de fio muito fino na direção de sensibilidade. O extensômetro é colado na superfície da peça alinhando-se a direção de sensibilidade com a direção na qual se quer medir a tensão.

Estando o extensômetro colado ao material sua deformação será sempre a mesma do material ao qual está solidário. Como consequência dessa deformação (ΔL) temos uma mudança de resistência (ΔR) que decorre das mudanças geométricas e de resistividade que ocorrem no fio. Essas mudanças geométricas são a alteração do comprimento do fio e alteração de sua secção transversal.

Para cada tipo de extensômetro existe uma constante que é chamada G.F. (Gage Factor)

$$G.F. = \frac{\Delta R/R_0}{\Delta L/L_0}$$

Para extensômetros metálicos G.F. não varia com $\Delta L/L_0$ e seu valor se situa entre 2 e 5. O extensômetro usado é da marca BLH (fig. 7). Pode medir deformações até uma ordem de grandeza de 2% e admite uma corrente máxima de 25 mA, quando colado em superfície metálica.

Falta agora relacionar ΔR com a tensão no material, o que é bastante simples. Como

$$\sigma = E \cdot \epsilon \quad \text{onde } \epsilon = \Delta L/L_0 \quad \text{temos que}$$

$$\sigma = E \cdot \frac{\Delta R/R_0}{GF} \quad \text{donde } \frac{\Delta R}{R_0} = \frac{GF}{E} \cdot \sigma$$

Como os valores de $\Delta R/R_0$ são muito pequenos (da ordem de 10^{-6}) a sua medida exige o uso da ponte de Wheatstone. Isto será discutido posteriormente quando falarmos do circuito elétrico.

Vamos agora calcular qual a relação entre a tensão (σ) e o conjugado (C) para podermos relacionar $\Delta R/R_0$ com C.

Como o momento fletor cresce à medida que nos afastamos da ponta da haste é interessante dispor os extensômetros o mais longe possível da extremidade. Vamos apenas deixar um pequeno espaço a partir do engastamento para não colocar os extensômetros na zona de concentração de tensões. Os extensômetros foram colados na haste na posição indicada nas fig. 8 e 9. A colagem foi efetuada com Araldite 24h e posteriormente os extensômetros foram encapsulados em borracha para proteção contra umidade e intempéries. (borracha de silicone, transparente)

Na secção onde foram colados os extensômetros o momento fletor vale

$$M = F \cdot l$$

$$\text{Sabemos também que } F = C/r \quad \text{Logo} \quad M = C \cdot \frac{l}{r}$$

$$\text{Como já visto anteriormente } \sigma = \frac{6 \cdot M}{bh^2} = \frac{6 \cdot l}{r \cdot b \cdot h^2} \cdot C$$

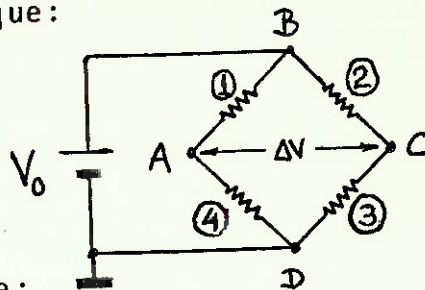
Analisando um extensômetro elétrico isoladamente temos que:

$$\frac{\Delta R}{R_0} = \frac{GF}{E} \cdot \sigma \quad \text{Logo} \quad \frac{\Delta R}{R_0} = \frac{GF}{E} \cdot \frac{6 \cdot l}{r \cdot b \cdot h^2} \cdot C$$

Circuito elétrico de medição:

Foi mencionada anteriormente a necessidade de se usar uma ponte de Wheatstone. Ligando-se quatro extensômetros a uma ponte de Wheatstone (ver fig.) temos que:

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \frac{-\Delta R_1}{4R_0} + \frac{+\Delta R_2}{4R_0} - \frac{-\Delta R_3}{4R_0} + \frac{+\Delta R_4}{4R_0}$$



Analisando a expressão acima vemos que:

- variações de mesmo sinal somam-se; variações de sinais opostos subtraem-se para braços opostos.
- variações de mesmo sinal subtraem-se; variações de sinais opostos somam-se para braços adjacentes.

No nosso caso vamos então dispor os extensômetros 1 e 3 de um lado da haste e os extensômetros 2 e 4 do outro. Vale a pena ressaltar dois aspectos:

- como variações de mesmo sinal subtraem-se para braços adjacentes nosso medidor de torque não é afetado por eventuais forças de tração ou compressão na barra.
- variação simultânea e idêntica nas temperaturas dos quatro extensômetros não alteram as condições de equilíbrio da ponte.

Já sabemos agora qual a disposição dos extensômetros na haste. Vamos agora então calcular quanto vale $\Delta V/V_0$. Para isso vamos supor que a tensão é de compressão no lado onde estão os extensômetros 1 e 3 e consequentemente é de tração no lado onde estão os extensômetros 2 e 4. Para o caso inverso apenas muda o sinal de $\Delta V/V_0$. No caso que estamos analisando ΔR_1 e ΔR_3 são negativos e ΔR_2 e ΔR_4 são positivos. Como as tensões são iguais em módulo (flexão pura) temos que:

$$\Delta R = -\Delta R_1 = \Delta R_2 = -\Delta R_3 = \Delta R_4 \quad \text{Logo} \quad \frac{\Delta V}{V_0} = \frac{\Delta R}{R_0}$$

Podemos agora escrever $\frac{\Delta V}{V_0} = \frac{GF \cdot 6 \cdot l}{E \cdot r \cdot b \cdot h^2} \cdot C$

Substituindo: $\frac{\Delta V}{V_0} = \frac{3,42 \cdot 6 \cdot 71}{9 \cdot 21 \cdot 10^3 \cdot 0,13 \cdot 20 \cdot 10^2} \cdot C = 2,7228 \cdot 10^{-5} \cdot C$

No nosso caso vamos alimentar a ponte com $V_0 = 5\text{ V}$ regulados. Assim

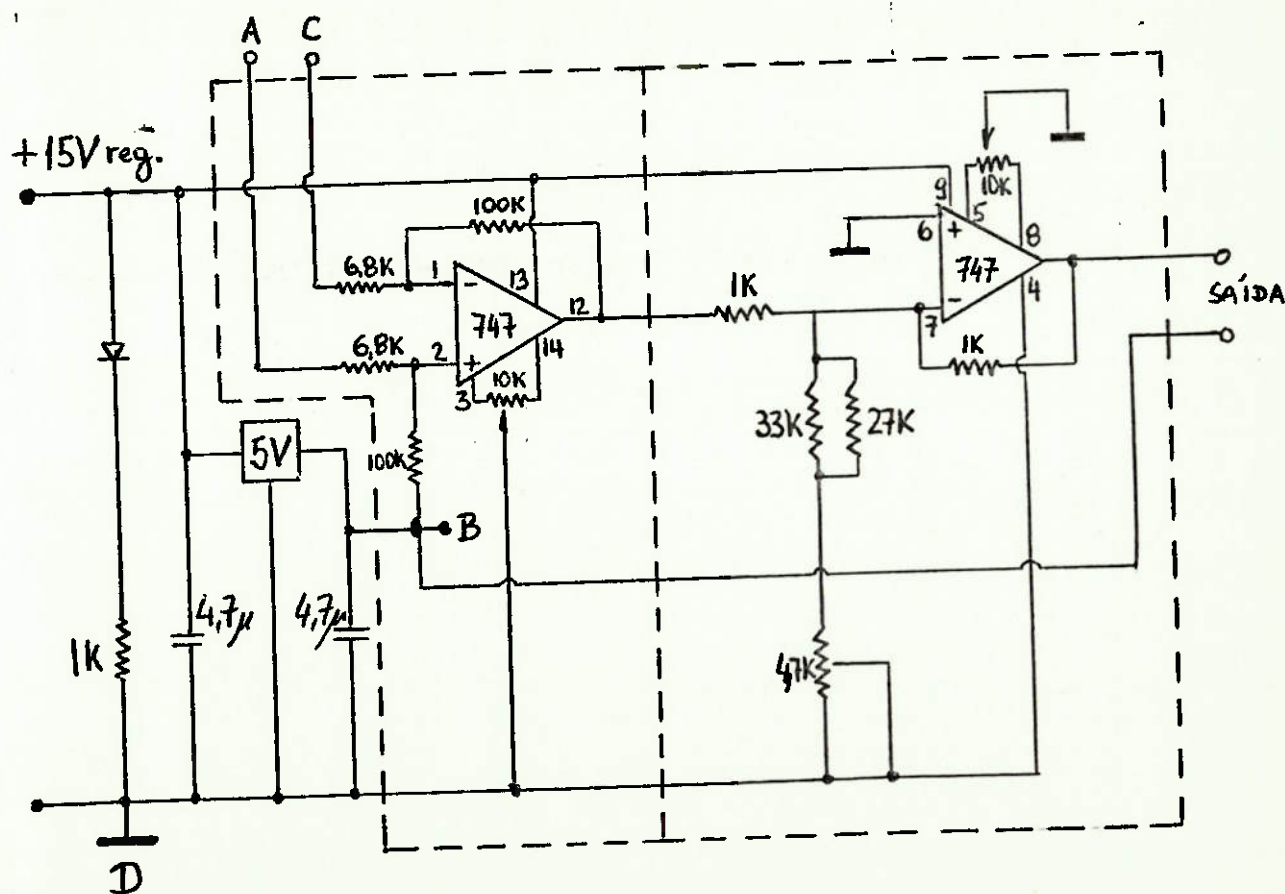
$$V = 0,13614\text{ mV/N.m}$$

Para podermos ler diretamente torques positivos e negativos foi feito o seguinte: quando o torque for nulo o ponteiro de um multímetro deve se situar no meio de uma escala apropriada de tensão. Foi escolhida a escala 0 - 300 mV. Isto quer dizer que a posição de $V = 150\text{ mV}$ deve corresponder à condição de conjugado nulo. Também foi definido que deveria ser possível medir até $\pm 70\text{ N.m}$, o que corresponde às posições de 0 e 300 mV.

Isto quer dizer que precisamos amplificar o sinal na seguinte proporção:

$$\frac{\Delta V'}{\Delta V \cdot C_{\text{máx.}}} = G = \frac{150}{70 \cdot 0,13614} \cong 15,7x$$

Foi então elaborado um amplificador que atendesse a essas exigências. O circuito completo está na figura abaixo:



O circuito conta de um amplificador diferencial e um somador para indicação com ponteiro central no voltímetro.

O amplificador é diferencial para eliminarmos eventuais interferências captadas pelos fios, mesmo tendo sido usados cabos coaxiais aterrados. O ganho do amplificador diferencial é:

$$G_d = \frac{100K}{6,8K} = 14,71$$

O somador anula eventuais desbalanceamentos da ponte e garante que a tensão de saída seja de 150 mV quando o torque for nulo. O somador também apresenta um pequeno ganho que vale:

$$G_s = 1,058$$

estando o potenciômetro de ajuste de 4,7K na sua posição central. O ganho total então vale:

$$G_t = G_d \cdot G_s = 15,56$$

O circuito foi alimentado com 15 V regulados (disponíveis no circuito de controle do motor) para que os 5 V regulados fossem realmente constantes. Se isso não acontecer, ΔV variará de acordo com V_0 , o que não é desejado.

A placa na qual foi montado o circuito foi colocada no interior de uma caixa de alumínio que por sua vez foi fixada perto da haste. Ver fig. 10 e 11.

Como conhecemos agora o ganho total do circuito amplificador podemos agora determinar a constante de proporcionalidade entre torque e ΔV . Como já calculado anteriormente:

$$\Delta V = 0,13614 \text{ mV/N.m}$$

$$\text{Logo } \Delta V' = G_t \cdot \Delta V = 2,118 \text{ mV/N.m}$$

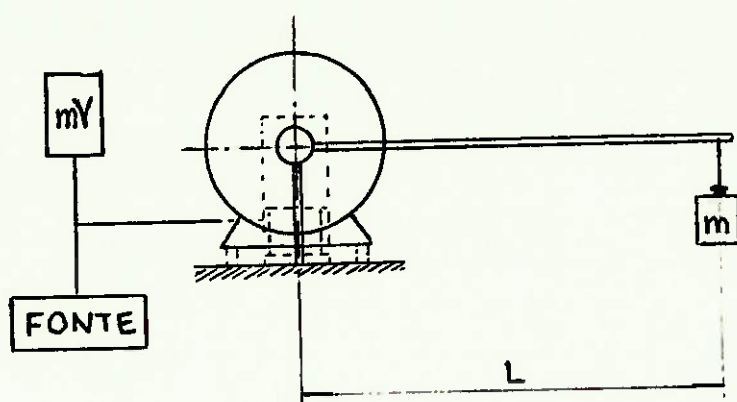
$$\text{Ou então } K = \underline{0,472 \text{ N.m/mV}}$$

Isso quer dizer que podemos medir torques cujo módulo vale no máximo

$$C_{\text{máx}} = \frac{150 \text{ mV}}{2,12 \text{ mV/N.m}} = 70,8 \text{ N.m}$$

CAPÍTULO IV - CALIBRAÇÃO DO MEDIDOR

Para calibrar o medidor foi feita a seguinte montagem:



Com o circuito ligado e com o ponteiro marcando 150 mV foram suspensos diversos pesos na extremidade do perfil de comprimento efetivo L. As leituras obtidas estão na tabela abaixo:

m (Kg)	P (N)	V(mV)	ΔV (mV)	C (N.m)
0,850	8,33	131,5	18,5	8,77
1,700	16,66	112,5	37,5	17,54
2,860	28,03	87,0	63,0	29,52
3,790	37,14	67,0	83,0	39,11
4,705	46,11	50,0	100,0	48,55
5,555	54,44	30,0	120,0	57,33
6,405	62,77	11,5	138,5	66,10

($g = 9,8 \text{ m.s}^{-2}$; $L = 1,053 \text{ m}$; $V_{(C=0)} = 150 \text{ mV}$)

Com os dados obtidos foi construído o gráfico 2 (vide anexos).

Determinação da constante K:

Vemos que o comportamento realmente é linear e determinamos a constante de proporcionalidade K que vale

$$K = \frac{60}{126} = 0,4762 \text{ N.m/mV} \quad (C/\Delta V)$$

Esse resultado difere apenas 0,87% do valor obtido teoricamente. O medidor agora está pronto para ser usado, já que conhecemos qual a relação entre ΔV e C.

CAPÍTULO V - MEDIÇÕES DE TORQUE A BORDO DO CARRO ELÉTRICO

Como até o momento não estava concluída a construção da interface para conectar o medidor de torque a um gravador cassete foi feita uma experiência usando-se o próprio voltímetro. Os valores obtidos foram tabelados abaixo:

V (mV)	ΔV (mV)	C (N.m)	I_{arm} (A)
130	20	9,5	10
125	25	11,9	50
120	30	14,3	55
110	40	19,0	75
95	55	26,2	85
85	65	31,0	90

Os valores acima foram obtidos com o carro em movimento, sendo as três primeiras linhas para velocidade constante no plano e as três últimas obtidas durante diversos instantes em uma subida íngreme. Também tentamos ler qual o torque máximo na saída. O valor encontrado foi

$$\underline{C_{m\acute{a}x} \text{ (partida)} = 66,7 \text{ N.m}}$$

Convém observar que esses dados não são muito precisos pois é uma tarefa muito difícil ler o amperímetro e o multímetro estando o carro em movimento. Servem, no entanto, para ilustrar qualitativamente o funcionamento do medidor. Para isso foi construído o gráfico 3.

A resposta do medidor era razoavelmente rápida. O uso de um instrumento com menor amortecimento mostraria qual a resposta real do medidor. Em todo caso os resultados corresponderam e até superaram as expectativas, bastando agora concluir a interface para iniciar uma análise mais completa do carro e da unidade de controle.

BIBLIOGRAFIA

- Faires, Virgil Moring
"Design of Machine Elements"
Macmillan N.Y. 1943
- Shigley, Joseph Edward
"Mechanical Engineering Design"
Mc Graw Hill USA 1963
- SAE Handbook 1968
- Catálogo de Rolamentos MERIMCO S.A.
Mancais ROLMAX
- Beckwith, Buck, Marangoni
"Mechanical Measurements"
Addison Wesley 1982 3ª Edição
- BLH Handbook
"Strain Gages"
Waltham Massachussetts USA April 1967
- BLH Specifications Catalog
Waltham Massachussetts USA January 1965

ANEXOS :



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA

Telefones: { 227-3227 - Diretoria
227-3130 - Contadoria

Praça Coronel Fernando Prestes, 152
CEP-01124 - CAIXA POSTAL, 6233
SÃO PAULO, S. P. (BRASIL)

RELATÓRIO OFICIAL N.º 30.783

Um motor de corrente contínua com os seguintes dados de
clarados pelo Interessado: Marca: CARMOS; Tipo: Série ;
Potência útil: 1,5 cv.

INTERESSADO:

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
LABORATÓRIO DE SISTEMAS DIGITAIS
Cidade Universitária
São Paulo - SP

OBJETIVO:

Medida da resistência elétrica e da indu-
tância dos enrolamentos; determinação das
características de desempenho e medida
da resistência do isolamento.

CONCLUIDO EM:

07 de outubro de 1982

OBSERVAÇÕES:

Registrado na Secção sob o nº MQ-5543



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA

RELATÓRIO OFICIAL N.º 30.783

Um motor de corrente contínua, com os seguintes dados declarados pelo Interessado: Marca: CARMOS; Tipo: Série; Potência útil: 1,5 cv; Tensão de armadura: 36 V; Corrente de armadura: 45 A; Velocidade: 1700 rpm.

INTERESSADO:- ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
LABORATÓRIO DE SISTEMAS DIGITAIS
Cidade Universitária
São Paulo - SP

OBJETIVO:- Medida da resistência elétrica e da indutância dos enrolamentos; determinação das características de desempenho e medida da resistência do isolamento.

OBSERVAÇÕES:-

- a) Registrado na Secção sob o nº MQ-5543
- b) Ensaios realizados de acordo com a solicitação do Interessado.
- c) Este Relatório abrange exclusivamente as características elétricas apresentadas pelo motor na data em que foi ensaiado.

1. - MEDIDA DA RESISTÊNCIA ELÉTRICA DOS ENROLAMENTOS

1.1. - Condições do Ensaio:-

1.1.1. - Temperatura ambiente média:..... 18 °C

1.1.2. - Temperatura do motor:..... a do ambiente

1.2. - Método de Ensaio:-

1.2.1. - Dupla ponte de Kelvin para medida da resistência elétrica do enrolamento da armadura e do campo série.

1.2.2. - Voltímetro-Amperímetro para medida da resistência elétrica do enrolamento da armadura com escovas através dos terminais "C" e "D" com "A" e "B" abertos.

- segue -



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA

RELATÓRIO OFICIAL N.º 30.783
Fls. 2

3. - Resultados Obtidos:-

- 3.1. - Resistência elétrica do enrolamento da armadura (sem escovas) medida entre 13 lâminas consecutivas:..... 99,3 mΩ.
- 3.2. - Resistência elétrica do enrolamento do campo série:... 43,0 mΩ.
- 3.3. - Resistência elétrica da armadura com escovas em função da corrente, medida entre os terminais "C" e "D" com "A" e "B" em circuito aberto.

CORRENTE DE ARMADURA (A)	10	20	30	40	50	60
RESISTÊNCIA DA ARMADURA (mΩ)	87,0	80,0	76,5	74,0	72,0	70,0

- MEDIDA DA INDUTÂNCIA DOS ENROLAMENTOS

1. - Condições do Ensaio:-

- 1.1. - Idênticas às do item 1.1. (1,2).
- 1.2. - Fonte de alimentação da armadura: bateria de 12 V.
- 1.3. - Corrente de regime: 60 A e 74 A respectivamente para armadura e enrolamento série.

2. - Método de Ensaio:-

Determinação da constante de tempo através do transitório de corrente.

3. - Resultados Obtidos:-

Indutância do enrolamento da armadura:..... 0,8 mH.

Indutância do enrolamento do campo série:..... 7,7 mH.



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA

RELATÓRIO OFICIAL N.º 30.783
Fls. 3

2470

3. - DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DE DESEMPENHO

3.1. - Condições do Ensaio:-

3.1.1. - Alimentação do enrolamento da armadura em corrente contínua através de um retificador trifásico de onda completa.

3.1.2. - Tensão de armadura aplicada entre os terminais "A" e "C": 20 V , 40 V e 60 V.

3.1.3. - Sentido de rotação do motor: anti-horário, visto pela ponta de eixo.

3.2. - Método de Ensaio:-

Freio eletrodinamométrico.

3.3. - Resultados Obtidos:-

3.3.1. - Ensaio com 20 V.

CORRENTE DE ARMADURA (A)	VELOCIDADE (rpm)	CONJUGADO (N.m)	RENDIMENTO (%)
15	1650	1,2	69
20	1300	2,1	72
25	1090	3,3	75
30	925	4,6	74
35	800	6,2	74
40	700	8,0	73
45	630	9,8	72
50	580	11,5	70
55	530	13,4	68
60	500	15,0	66
65	470	16,7	63
70	430	18,3	59
75	400	20,0	56
80	370	21,5	52



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA

RELATÓRIO OFICIAL N.º 30.783
Fls. 4

076

3.3.2. - Ensaio com 40 V.

CORRENTE DE ARMADURA (A)	VELOCIDADE (rpm)	CONJUGADO (N.m)	RENDIMENTO (%)
30	1930	5,0	84
35	1730	6,4	83
40	1580	8,0	83
45	1450	9,7	82
50	1350	11,4	81
55	1290	13,0	80
60	1240	14,5	79
65	1160	16,7	78
70	1130	18,0	76
75	1100	19,5	75
80	1050	21,2	73

3.3.3. - Ensaio com 60 V.

CORRENTE DE ARMADURA (A)	VELOCIDADE (rpm)	CONJUGADO (N.m)	RENDIMENTO (%)
30	3020	4,2	73
35	2730	6,0	82
40	2500	8,0	87
45	2330	9,7	88
50	2200	11,5	88
55	2080	13,0	86
60	2000	14,5	84
65	1900	16,3	83
70	1850	18,0	83
75	1770	20,0	82
80	1720	21,5	81

- segue -



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ELETROTÉCNICA

RELATÓRIO OFICIAL N.º 30.783
Fls. 5

4. - DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DO ISOLAMENTO

4.1. - Condições do Ensaio:-

4.1.1. - Temperatura ambiente média:..... 23 °C.

4.1.2. - Temperatura do motor:..... a do ambiente.

4.2. - Método de Ensaio:-

Megôhmetro de 500 V.

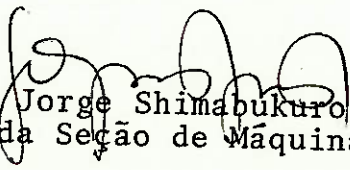
4.3. - Resultados Obtidos:-

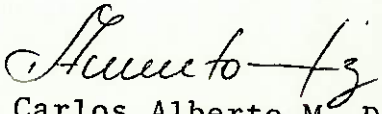
Isolação entre o enrolamento da armadura e o campo série ligado à carcaça:..... 430 k Ω .

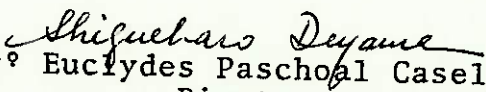
Isolação entre os enrolamentos da armadura e do campo série curto-circuitados entre si e a carcaça:..... 430 k Ω .

Isolação entre o enrolamento do campo série e a armadura ligada à carcaça:..... 19 M Ω .

São Paulo, 07 de outubro de 1982

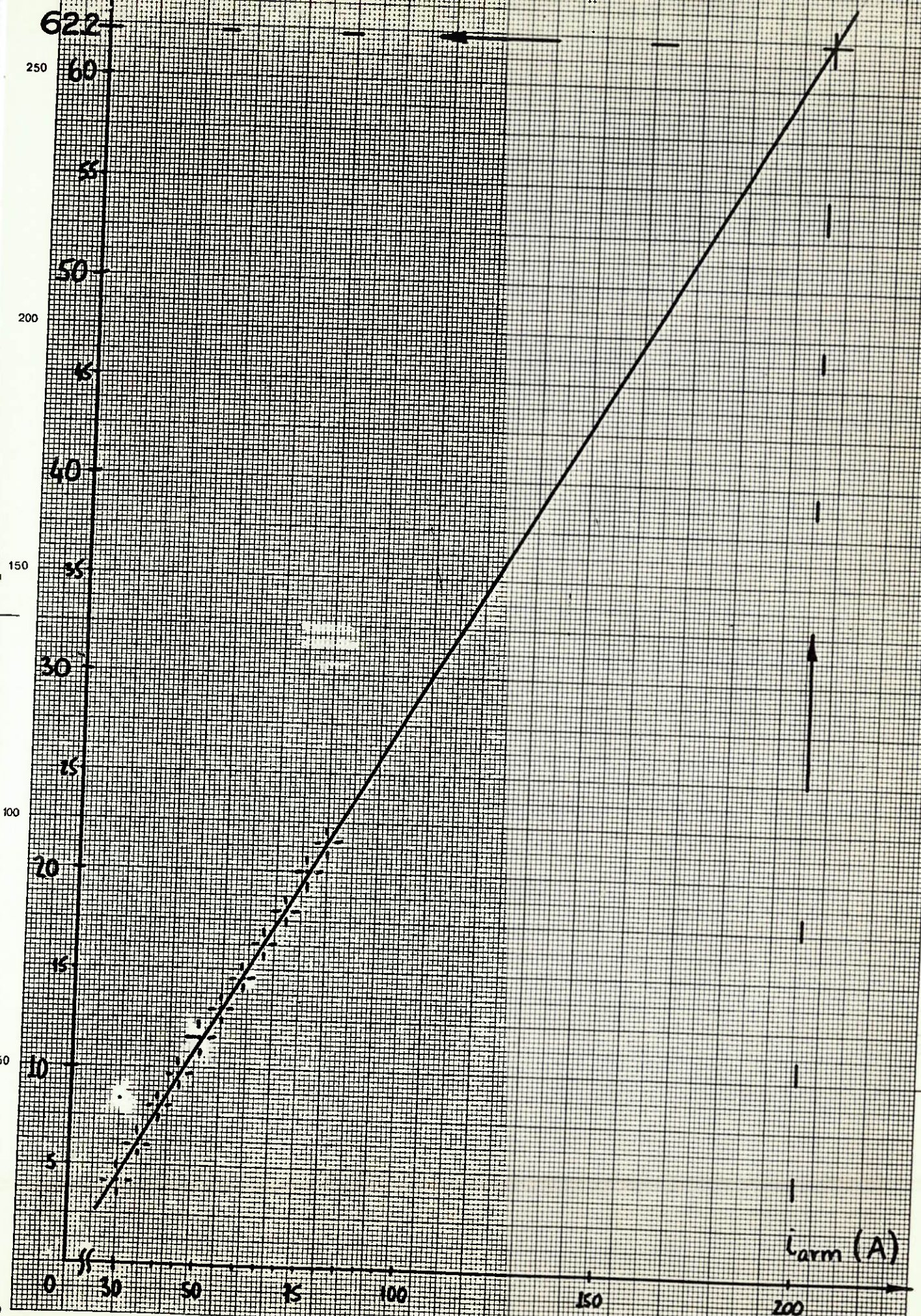

Engº Jorge Shimabukuro
Chefe da Seção de Máquinas


Engº Carlos Alberto M. D. Ferraz
Encarregado do Ensaio


p/ Engº Euclydes Paschoal Casella
Diretor

(N.m)

Gráfico 1: $C \times i_{arm}$ (60V)



m)

Gráfico 2: $C \times \Delta V$

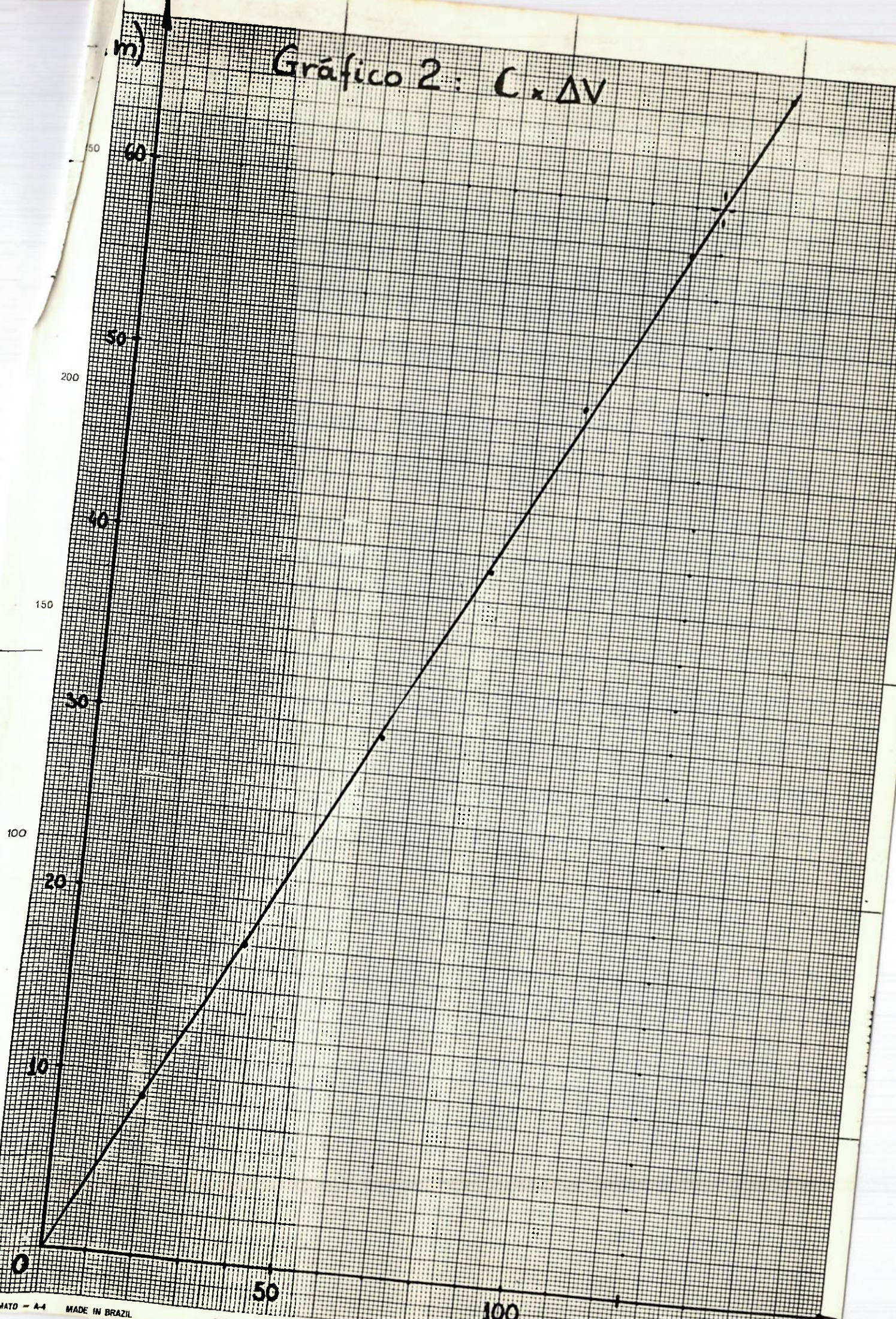
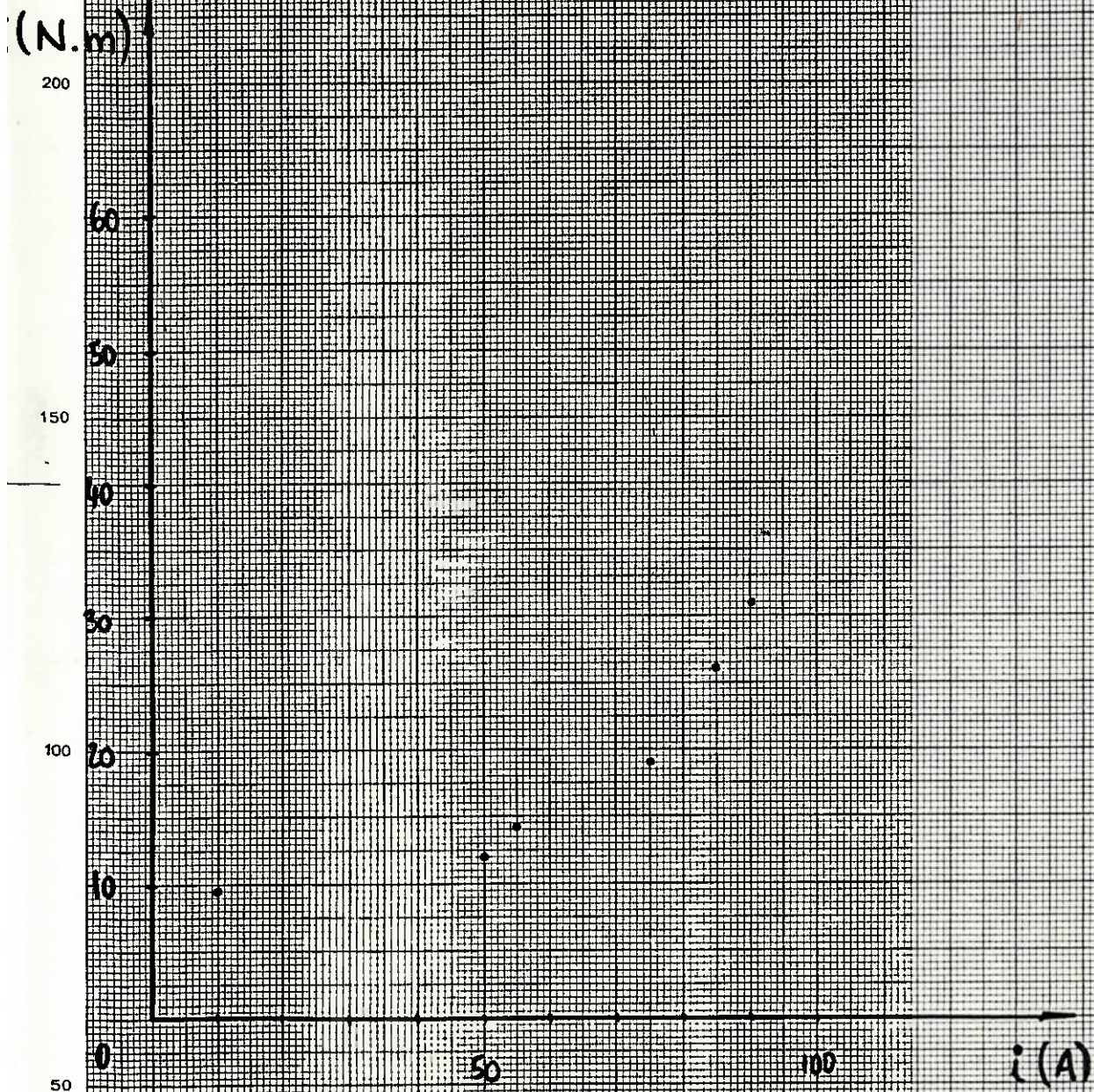
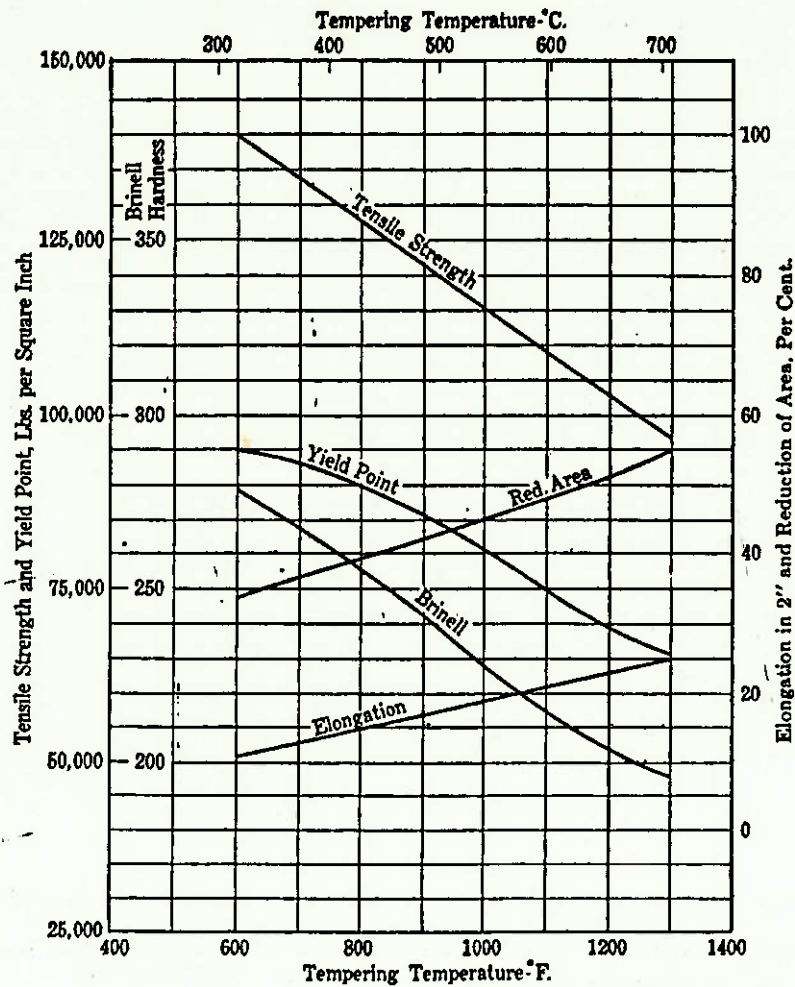


Gráfico 3: $C \times i$



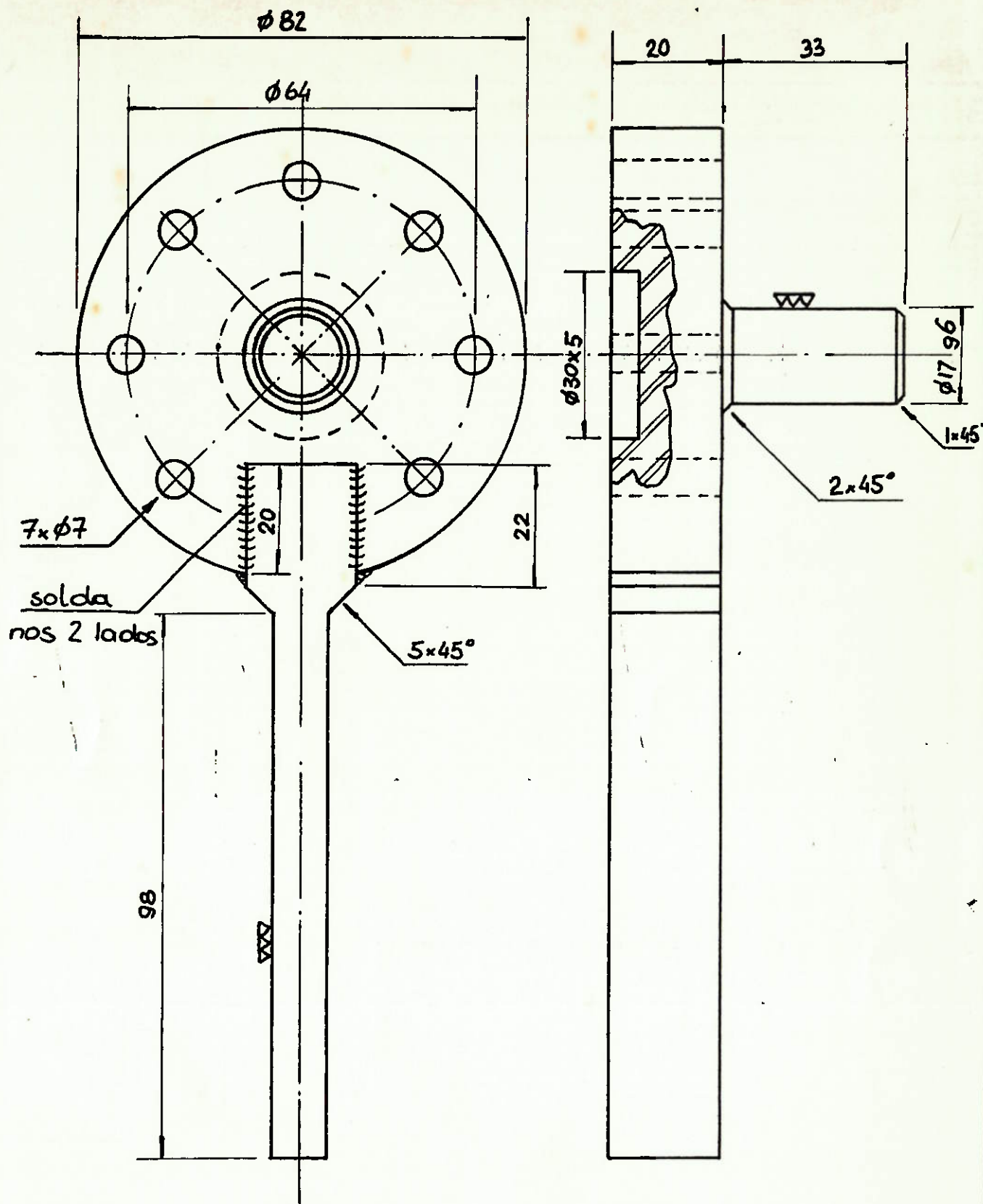


Courtesy International Nickel Co., N.Y.

FIG. 5. THE EFFECT OF HEAT TREATMENT ON CARBON STEEL.

Material, S.A.E. 1045, oil quenched from 1475°-1525° F, tempered as indicated. This chart is a guide to the physical properties that may be expected when the diameter (or thickness) is between $\frac{1}{2}$ and $1\frac{1}{2}$ in. For parts over $1\frac{1}{2}$ in., this chart does not apply.

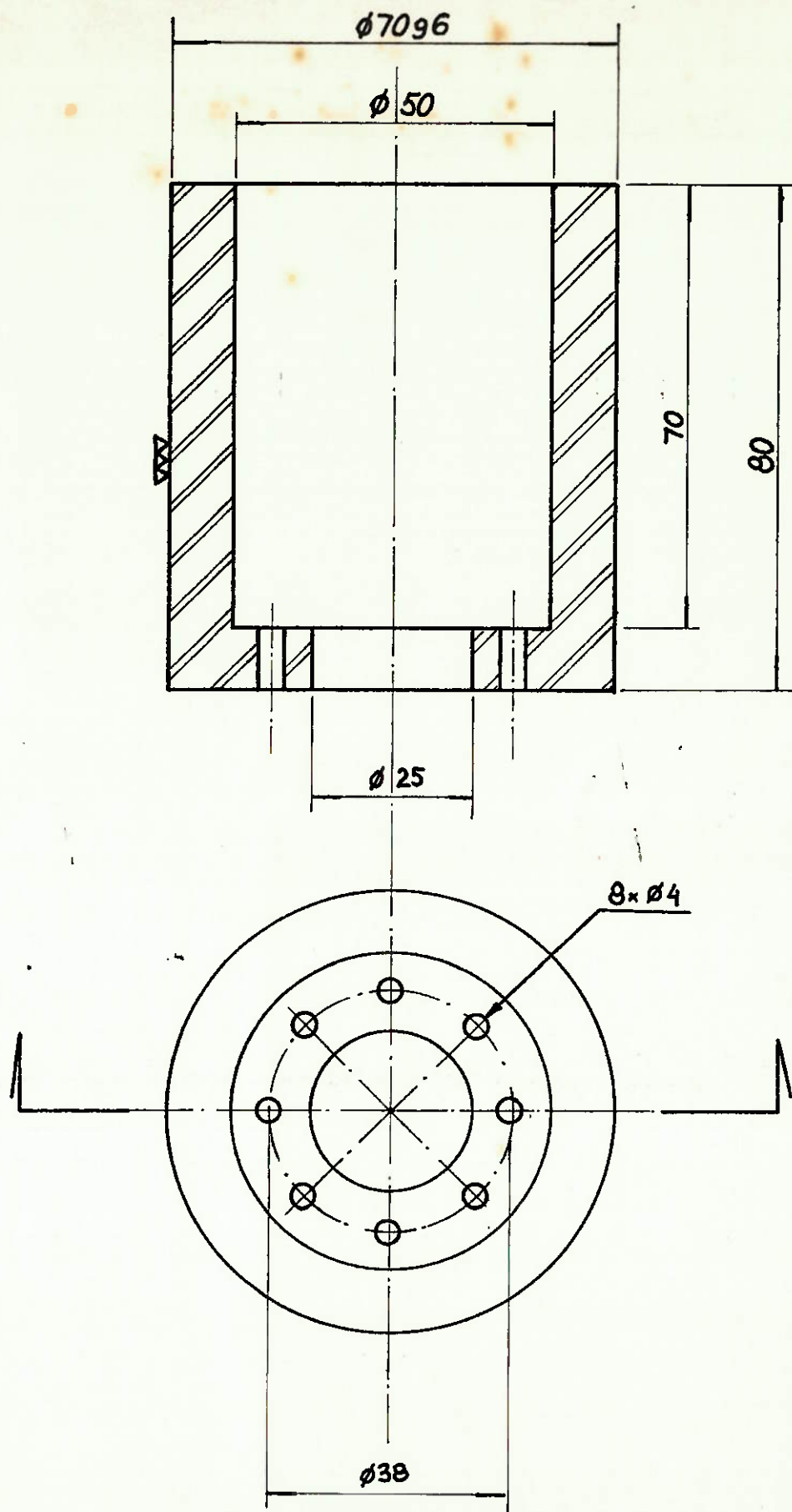
Observe that the percentage of elongation and the percentage of reduction in area decrease (indicating a decreasing ductility) as the ultimate strength and yield point increase. Observe too that the hardness as measured by the Brinell numbers increases with the strength and that the ultimate strength is very closely equal to $500 \times$ (Brinell number). The composition of the material is: carbon, 0.40-0.50%; manganese, 0.60-0.90%; phosphorus, 0.045% max.; sulfur, 0.055% max.



1:1

(∇)

A	Fixação traseira	1	SAE 1045 temp. e rev. 450°C
Pos.	Denominação	Qtde.	Material
EPUSP		Projeto Mecânico	1983



1:1

(V)

B	Fixação dianteira	I	SAE 1040
Pos.	Denominação	Qtde.	Material
EPUSP	Projeto Mecânico	1983	

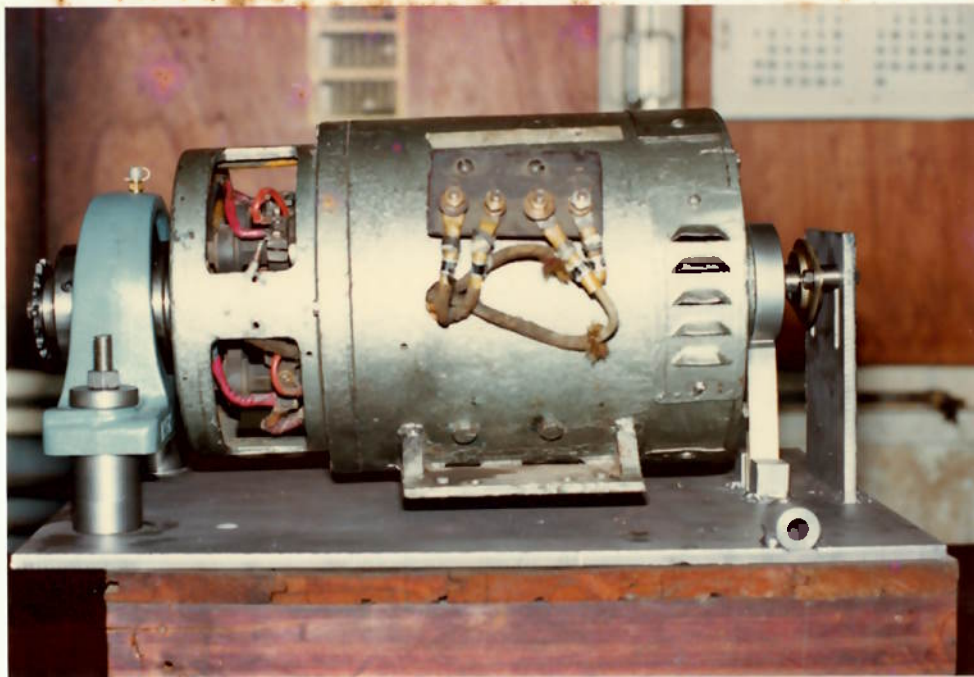


Fig. 1

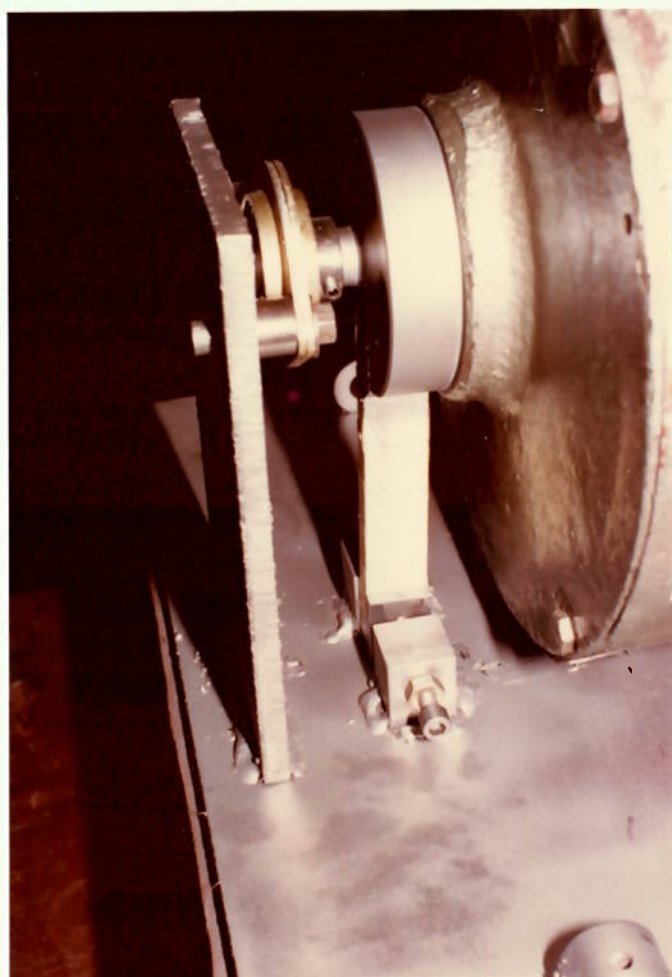


Fig. 2

Fig. 3

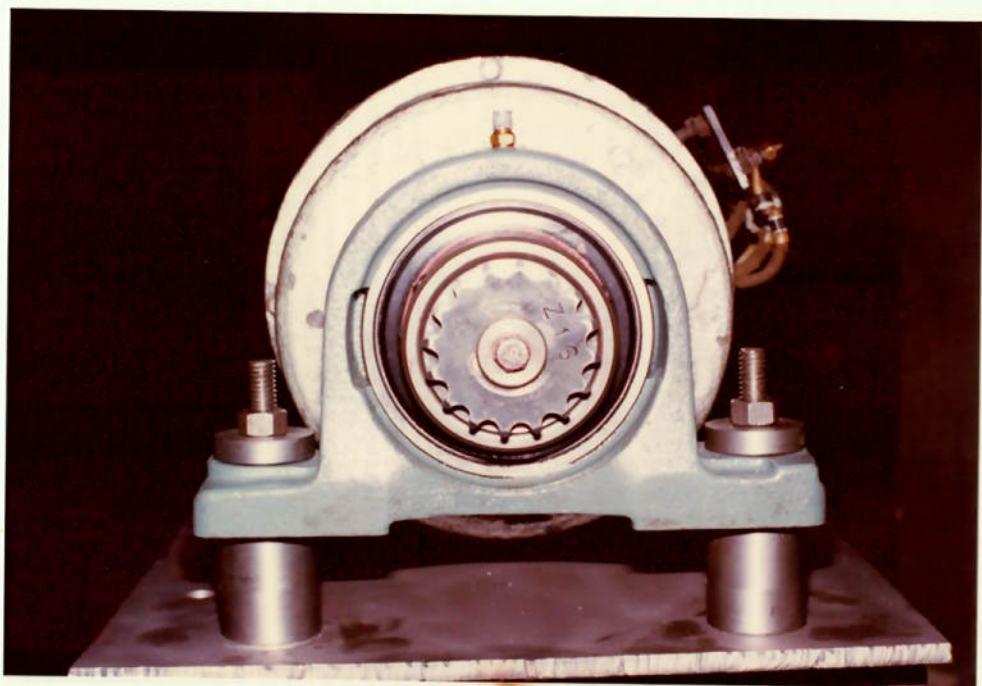
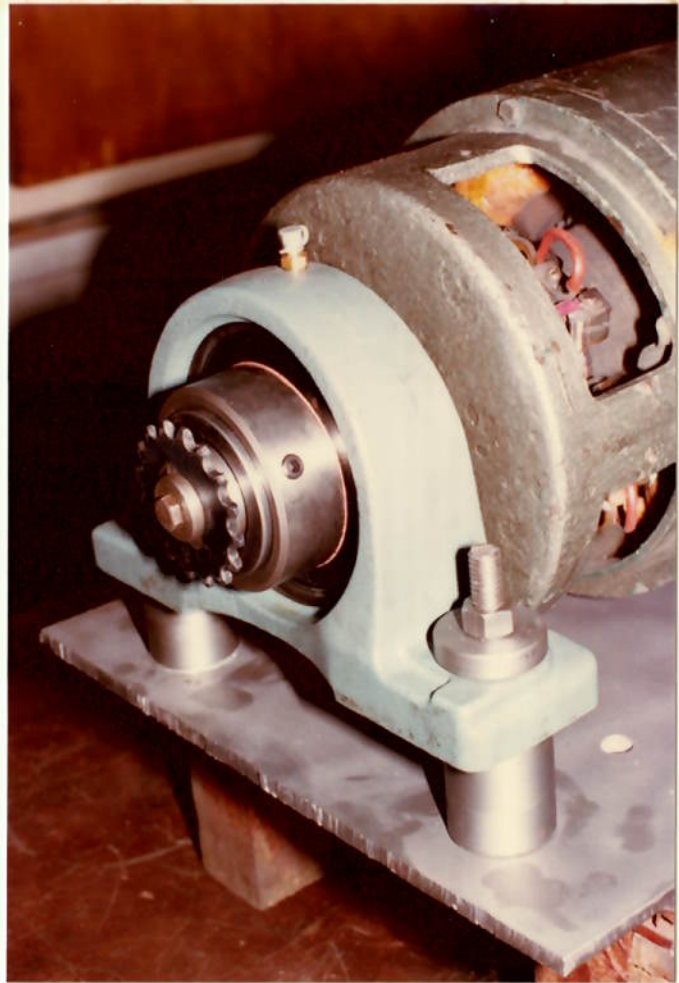


Fig. 4

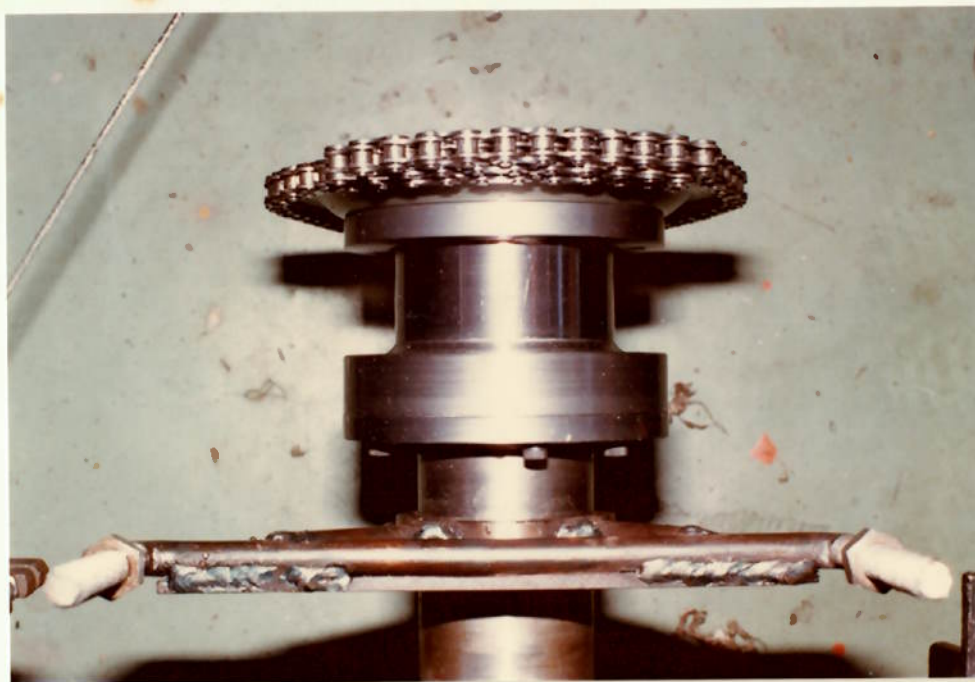


Fig. 5

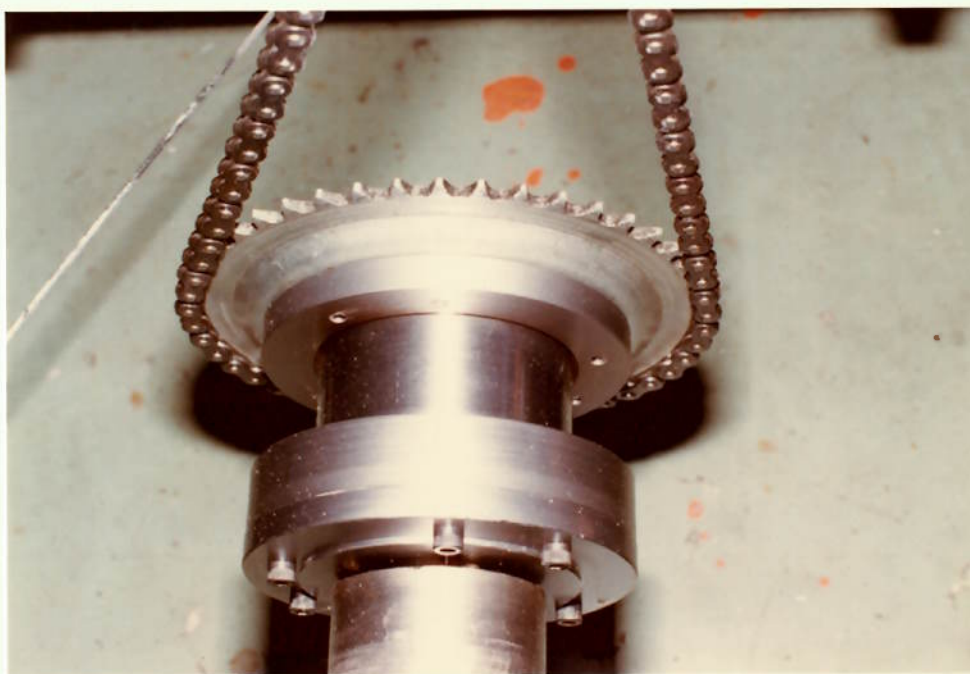


Fig. 6

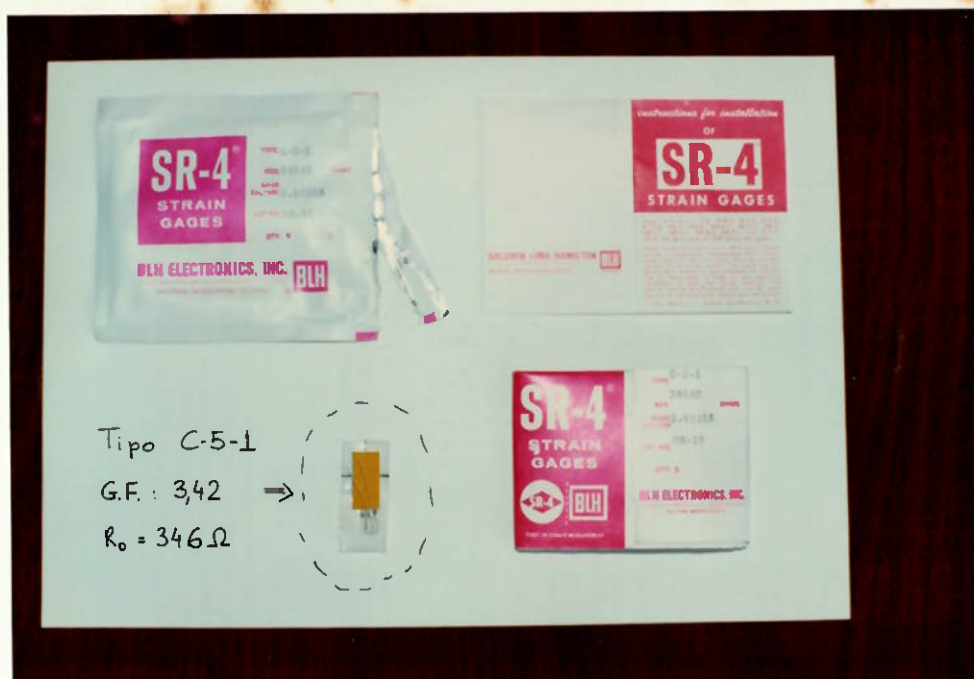


Fig. 7

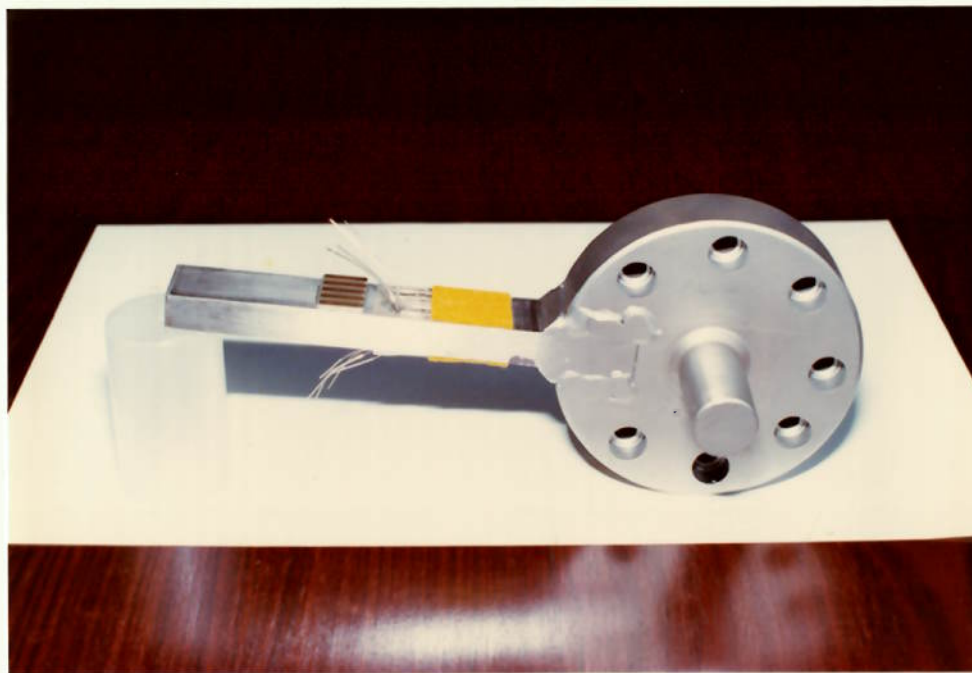


Fig. 8

Fig. 9

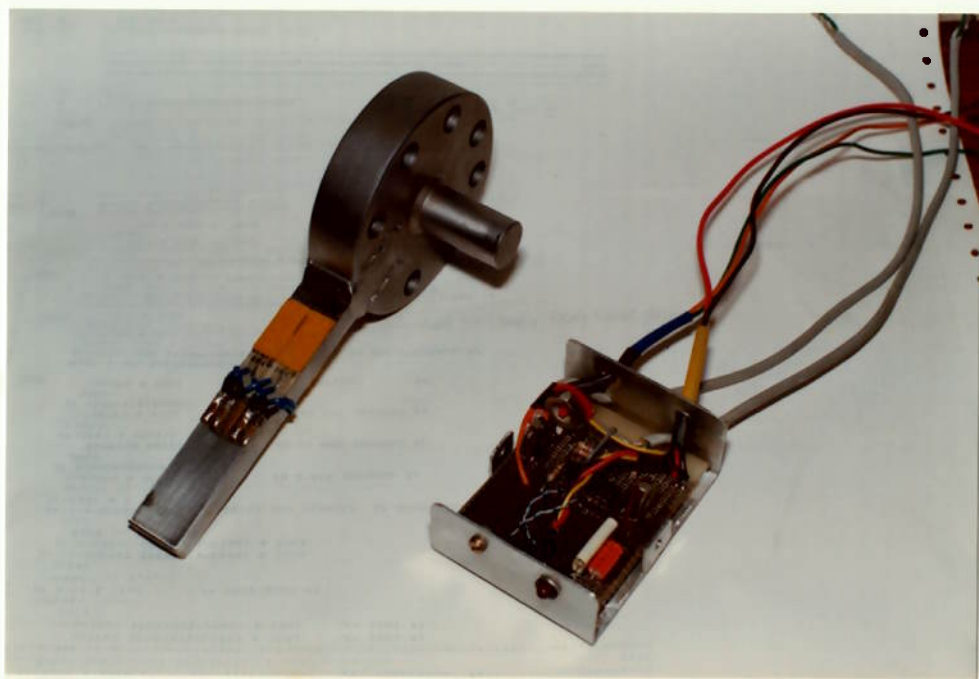


Fig. 10

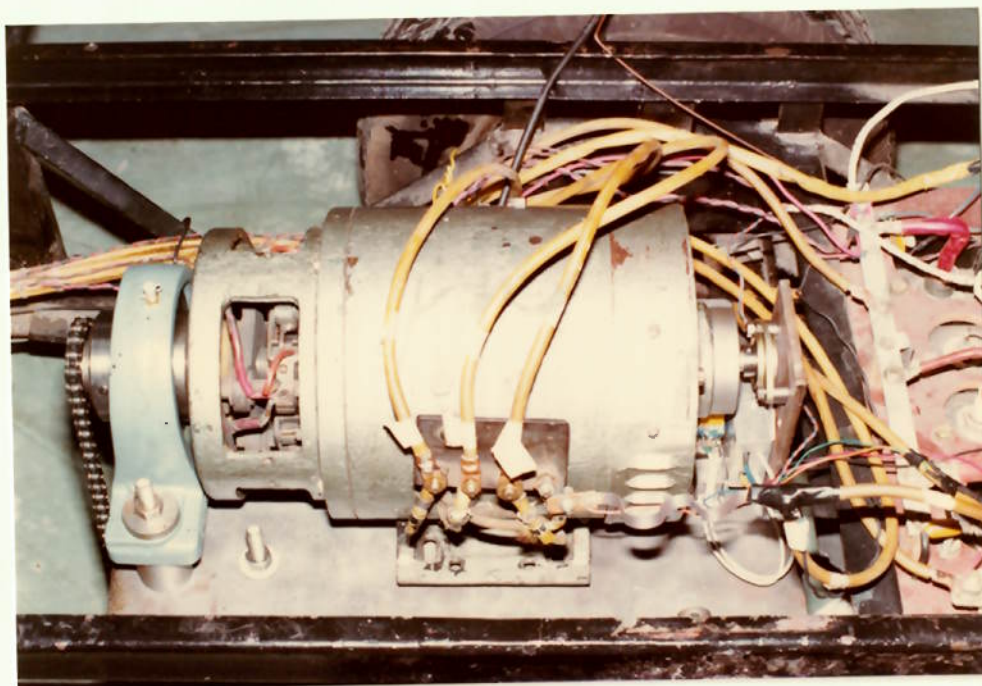


Fig. 13

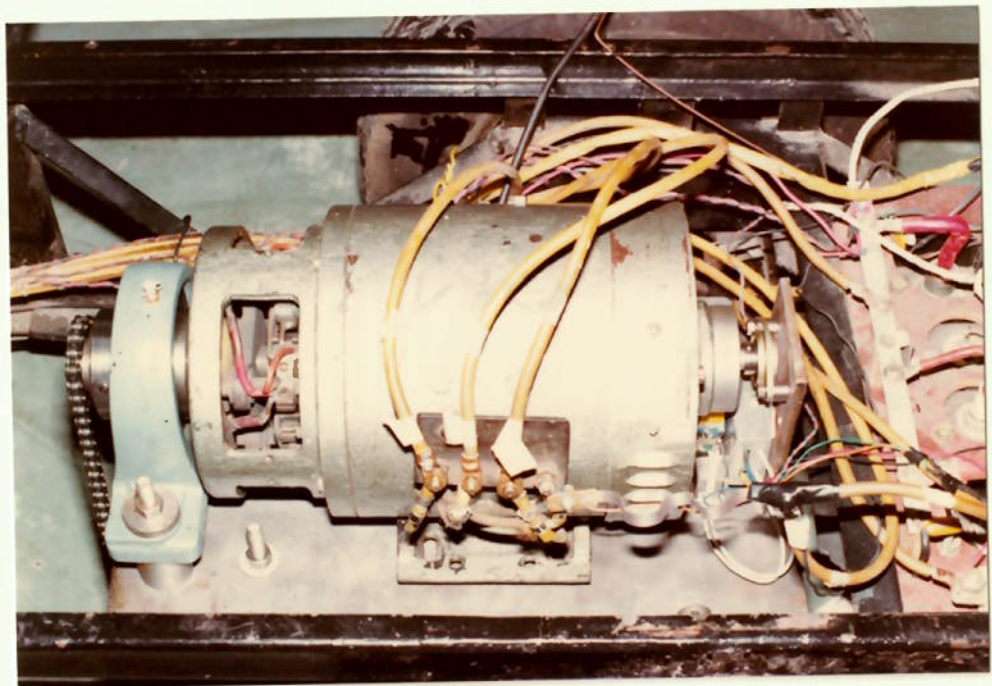


Fig. 13