

UM ESTUDO SOBRE LIGAÇÕES VIGA-COLUNA EM
ESTRUTURAS DE AÇO

AUTOR: ENG. PIERRE ANTOINE PRELORENTZOU

ORIENTADOR: PROF^a. DR^a. HELENA M. C. CARMO ANTUNES

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS

UM ESTUDO SOBRE LIGAÇÕES VIGA-COLUNA EM
ESTRUTURAS DE AÇO

ENG. PIERRE ANTOINE PRELORENTZOU

DISSERTAÇÃO APRESENTADA À ESCOLA DE
ENGENHARIA DE SÃO CARLOS DA UNIVERSIDADE
DE SÃO PAULO, COMO PARTE DOS REQUISITOS
PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM
ENGENHARIA DE ESTRUTURAS.

SÃO CARLOS, JUNHO DE 1991

ESTE TRABALHO É DEDICADO:

À ANA, PELO APOIO, COMPREENSÃO E PRESENÇA
CONSTANTES;

AOS MEUS FILHOS ANDRÉ, GUI E RENATO, POR
ENTENDEREM UM PAI SEMPRE OCUPADO;

AO BETO, PELA CONCORRÊNCIA LEAL.

AGRADECIMENTOS

À Profa. Dra. Helena M.C. Carmo Antunes, pela orientação e incentivo em todas as fases deste trabalho.

Aos companheiros da área de Estruturas Metálicas do Departamento de Estruturas: José Jairo de Sáles e Roberto Martins Gonçalves, pela imprescindível colaboração.

À FAPESP, pelo auxílio para a parte experimental do trabalho.

Ao Rogério Giglio Ferreira, ao Antonio Valdair Carneiro e ao Bob, pela ajuda nas fases de computação, datilografia e desenhos.

RESUMO

O objetivo deste é estudar as ligações entre vigas e colunas em estruturas de aço, discutindo a sua classificação quanto à rigidez. São analisadas duas ligações em particular: as ligações com chapa de topo e as ligações com cantoneiras de alma.

No capítulo 2 são apresentados modelos teóricos para cálculo, dimensionamento e verificação da rigidez das ligações.

No capítulo 4 são apresentados os resultados de ensaios de laboratório para avaliação das ligações quanto à rigidez.

No capítulo 5 é apresentada uma análise destes resultados e no capítulo 6 estão as considerações finais e as sugestões para a continuação da pesquisa.

A B S T R A C T

The joints of beams and columns in steel structures are studied in this work, by means of the classification of connections related to the stiffness. Two cases are particularly analysed: connections with end plates and with double angle beam. Chapter 2 presents theoretical procedures for design and verification of connection's stiffness.

Results of laboratorial tests for the evaluation of joints' stiffness are shown in chapter 4. In chapter 5 they are discussed. Conclusions and suggestions for continuing this research are presented in chapter 6.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
2. DIMENSIONAMENTO DAS LIGAÇÕES	4
2.1- Classificação das ligações	4
2.2- Ligações com chapas de topo	10
2.2.1- Dimensionamento de ligações com chapa de topo - modelo teórico	11
2.2.2- Dimensionamento de ligações com chapa de topo - modelo de Mann & Morris	18
2.2.3- Comparação entre o modelo teórico e o modelo semi-empírico	24
2.3- Ligações com cantoneiras na alma da viga	32
2.3.1- Dimensionamento das ligações	35
2.3.2- Verificação da rigidez da cantoneira	38
2.3.3- Exemplo de cálculo	43
3. DIMENSIONAMENTO DOS MODELOS E CARGAS A SEREM UTILIZADOS	49
3.1- Avaliação das cargas e esforços nos modelos	49
3.1.1- Avaliação de cargas e esforços nos modelos A e B	52
3.1.2- Verificação dos estados limites últimos e das tensões máximas nos modelos A e B	58
3.1.3- Avaliação de cargas e esforços nos modelos C	85
3.1.4- Verificação dos estados limites últimos e das tensões máximas para os modelos C	90

4. ESTUDOS EXPERIMENTAIS	120
4.1- Ensaio de caracterização	120
4.2- Instrumentação	121
4.3- Esquemas de carregamento	125
4.4- Ensaio preliminares	125
4.5- Resultados dos ensaios	127
5. ANÁLISE DOS RESULTADOS	212
5.1- Ligações com chapas de topo	213
5.2- Ligações com cantoneiras na alma	214
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	216
7. BIBLIOGRAFIA	218

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

O desempenho das ligações entre os elementos de uma estrutura é fator determinante do seu comportamento, qualquer que seja o seu sistema estrutural ou os materiais utilizados.

No caso específico das estruturas metálicas a influência é maior, uma vez que não se tem aí o monolitismo natural das estruturas de concreto armado moldadas "in loco", e as ligações entre as diversas peças passam a determinar o comportamento estrutural individual e de conjunto.

Para as ligações viga-coluna e viga-viga das estruturas de edifícios de andares múltiplos e das plataformas de trabalho, a consideração correta do seu grau de rigidez levará a uma análise mais real do sistema estrutural adotado, resultando em estruturas mais econômicas e com segurança mais uniforme.

Teoricamente, as ligações poderiam ser divididas em articuladas e engastadas ou rígidas. Entretanto, seu próprio dimensionamento conduz a um terceiro tipo intermediário: as ligações semi-rígidas. Trabalhos desenvolvidos por vários pesquisadores confirmam a variação contínua entre os extremos, demonstrando que a rigidez da ligação depende do detalhe da ligação e dos conectores utilizados, assim como dos elementos (viga e coluna) envolvidos.

As principais normas nacionais e estrangeiras, bem como pesquisadores que trataram do assunto, consideravam, até o início da década de 80, os três tipos possíveis, deixando a critério do projetista a utilização de um ou outro tipo. Porém, todos alertavam para a necessidade de se compatibilizarem as hipóteses de cálculo, ainda nas fases de determinação dos esforços e análise da estabilidade da estrutura, com o esquema de ligação a ser adotado durante o detalhamento e fabricação da estrutura.

Nos últimos trabalhos publicados, e nas revisões recentes de normas, com base em resultados experimentais, passaram-se a considerar apenas dois tipos de ligações: as rígidas onde é garantida a continuidade da estrutura e as semi-rígidas.

No capítulo seguinte é dada definição mais precisa desses tipos de ligações.

O desenvolvimento do segmento de mercado de edifícios de andares múltiplos com estruturas de aço e a necessidade de uma análise estrutural mais precisa, considerando inclusive efeitos de segunda ordem, exigirão do projetista um melhor conhecimento do comportamento das ligações, tanto em regime de trabalho como nos estados limites últimos.

Um outro aspecto a ser considerado é o custo final da estrutura, ou melhor, a relação custo/desempenho das ligações. Ligações simples, com detalhes de fácil fabricação e montagem e uso de conectores de baixo custo, normalmente

levam a ligações articuladas ou de baixa rigidez. Por outro lado, as ligações rígidas implicam detalhes mais complexos que consomem mais mão-de-obra, tanto na fabricação como na montagem, e exigem conectores de boa qualidade portanto de custo maior.

O objetivo deste trabalho é analisar dois tipos de ligações, dentre os mais utilizados: as ligações com chapas de topo e as ligações com cantoneiras de alma.

A análise foi desenvolvida em duas etapas:

- comparação entre os modelos de cálculo e dimensionamento das ligações, recomendados pela bibliografia pesquisada, e elaboração de modelos semi-empíricos para verificação da rigidez efetiva da ligação;

- realização de ensaios experimentais para avaliar o comportamento das ligações quanto à rigidez.

CAPÍTULO 2 - DIMENSIONAMENTO DAS LIGAÇÕES

2.1 - CLASSIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES

A classificação das ligações quanto à rigidez, recomendada por diversos autores e adotada em várias normas, segue a seguinte divisão:

-Ligações tipo 1 - Engastadas ou Rígidas

São ligações onde é garantida a continuidade da estrutura e as rotações relativas entre os elementos são restringidas ao máximo, ou seja, durante o carregamento é mantido constante o ângulo entre as barras que concorrem ao nó.

-Ligações tipo 2 - Articuladas

São ligações onde as rotações relativas não são restringidas. No caso de vigas, ligações articuladas transmitem apenas esforços cortantes.

-Ligações tipo 3 - Semi-rígidas

São ligações onde as rotações relativas são restringidas entre 20% e 90% do giro que ocorreria se não houvesse restrição e o momento transmitido através das ligações é maior que zero e menor que o momento de uma estrutura calculada como contínua.

É interessante observar que, de acordo com tal classificação, a grande maioria das ligações ficaria enquadrada no tipo 3. As exceções seriam as ligações com pinos (figura 2a.) para ligações articuladas e as ligações com soldagem direta entre os elementos (figura 1a.) para ligações rígidas. Todas as outras ligações têm o seu grau de rigidez determinado pelo comportamento dos elementos de ligação (cantoneiras, chapas, calços) e pelos conectores utilizados (parafusos, rebites, soldas).

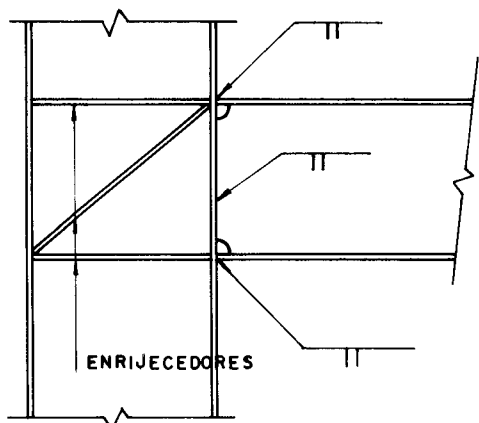
Até as décadas de 60 e 70 essas ligações não eram recomendadas, principalmente pela dificuldade de avaliação do grau de rigidez da ligação e da sua consideração correta no cálculo da estrutura.

Com o desenvolvimento industrial, e conseqüente melhoria dos materiais e serviços, e com a rápida evolução dos computadores e dos "softwares" de análise de estruturas, a utilização das ligações semi-rígidas tornou-se viável.

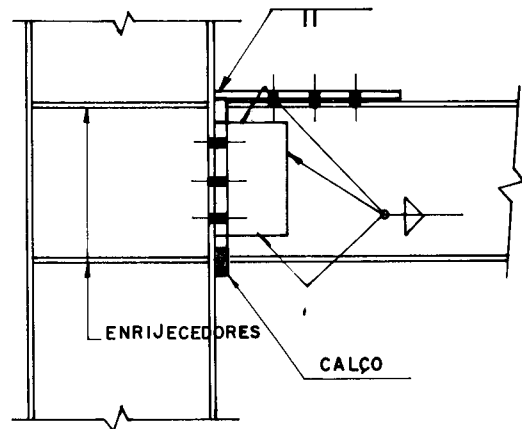
É necessário, portanto, a determinação correta do comportamento das diversas ligações quanto à sua resistência última, bem como quanto à sua rigidez, caracterizada pelo diagrama $M-\phi$, nas diversas fases de carregamento da estrutura.

Nas figuras seguintes estão esquematizadas as ligações mais utilizadas e uma divisão quanto à sua rigidez. Essa classificação é passível de contestação pois, como foi visto, não existe uma divisão clara entre os três tipos, mas uma variação contínua entre os dois extremos, podendo um tipo de ligação ser classificado em mais de uma categoria.

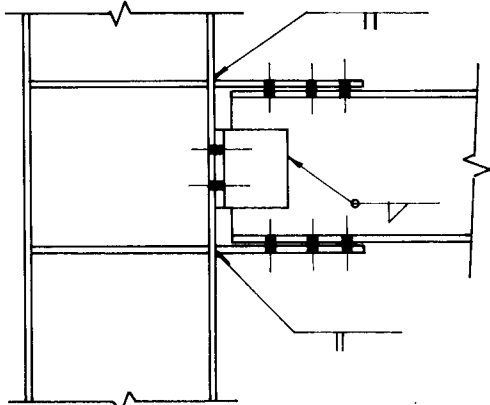
Dentre as ligações, foram escolhidas duas para ensaio, com o propósito de estudar seu comportamento e seu grau de rigidez. Nos itens seguintes estão os modelos de cálculo para dimensionamento das ligações.



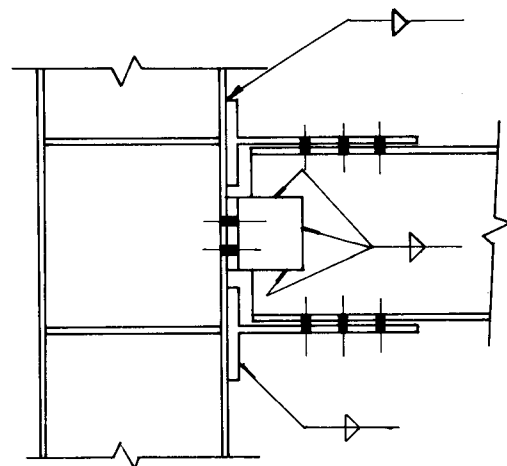
a)



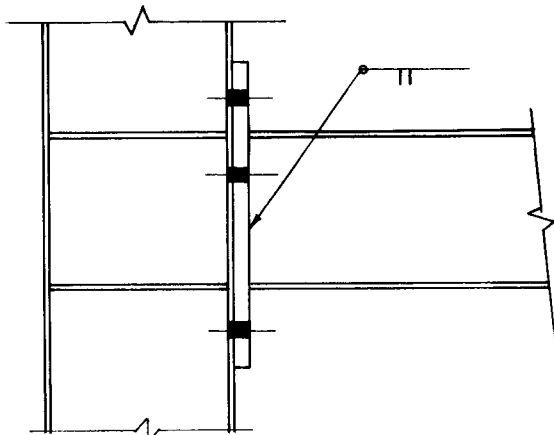
b)



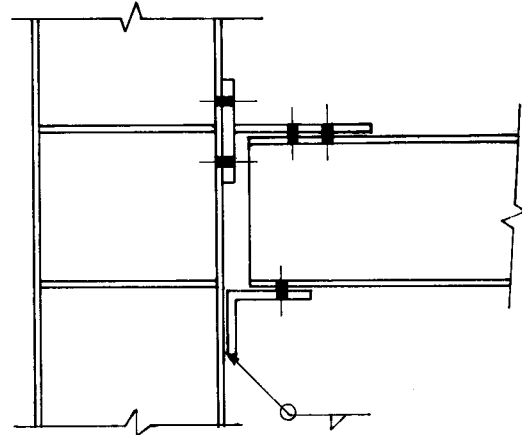
c)



d)



e)



f)

FIGURA 1 - LIGAÇÕES TIPO 1 - ENGASTADAS OU RÍGIDAS

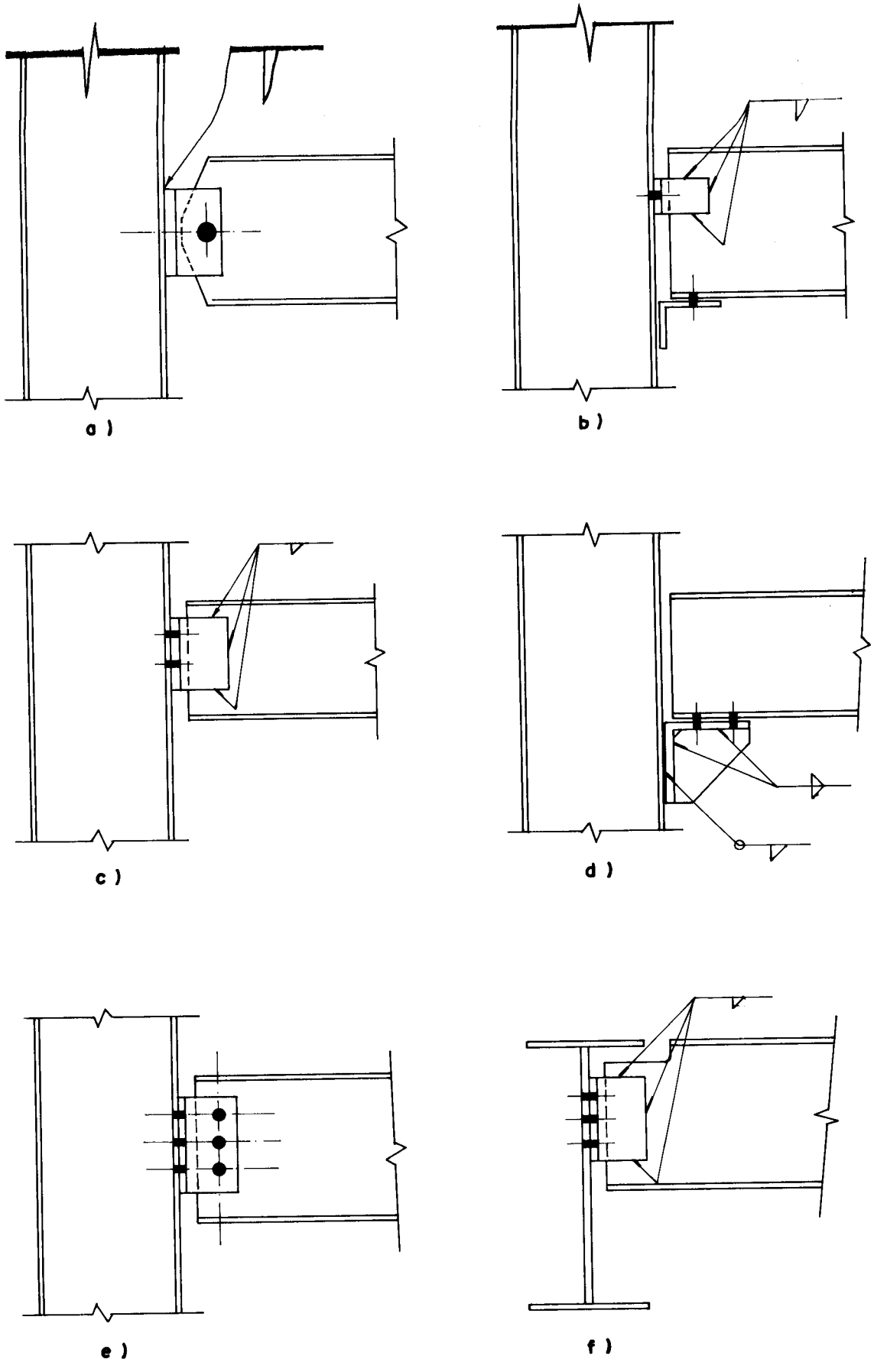


FIGURA 2 - LIGAÇÕES TIPO 2 - ARTICULADAS

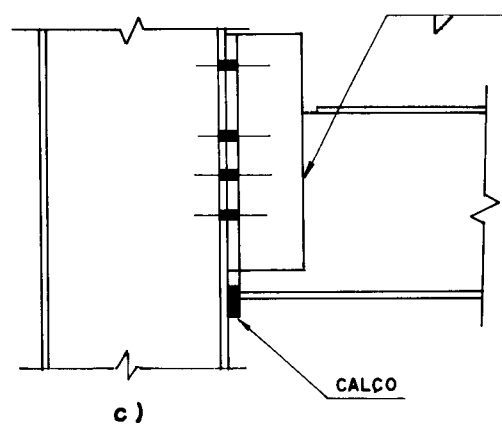
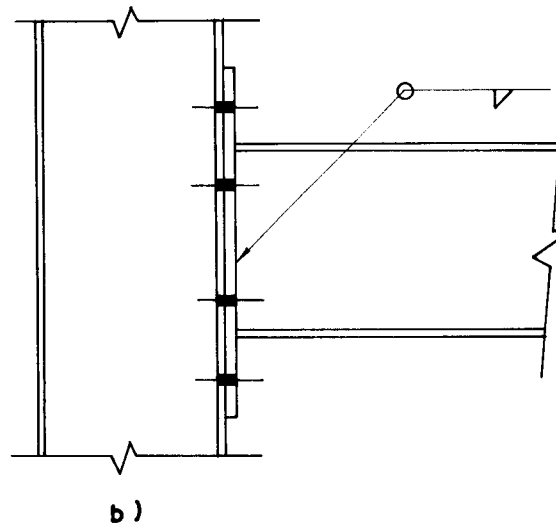
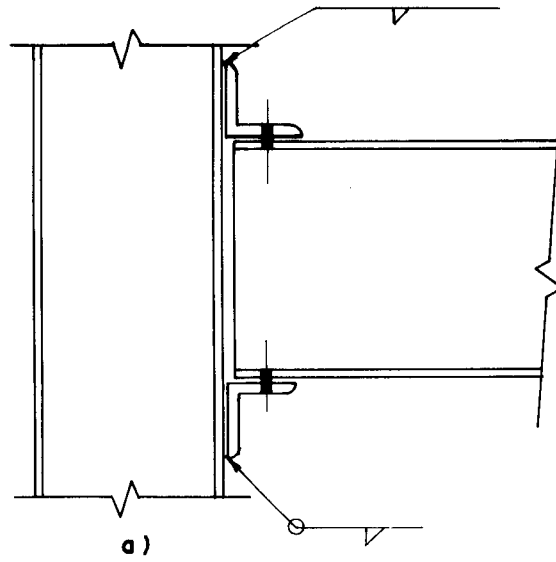


FIGURA 3 - LIGAÇÕES TIPO 3 - SEMI-RÍGIDAS

2.2 - LIGAÇÕES COM CHAPAS DE TOPO

O dimensionamento das ligações viga-coluna com chapas de topo é abordado por vários autores, como Agerskov [1], Douty and McGuire [11], Krishnamurthy [19], Mann & Morris [20], Packer & Morris [22], entre outros. Alguns desenvolveram modelos teóricos e outros, modelos baseados ou calibrados por ensaios de laboratório.

O processo de cálculo utilizado para dimensionamento dos modelos foi baseado no trabalho de Mann & Morris [20] e aferido pelo processo teórico apresentado por Salmon [25]. Neste, os esforços na ligação, devidos ao momento de engastamento, serão absorvidos pela tração no grupo de parafusos junto à mesa tracionada da viga e pelo componente de compressão no contato da chapa de topo com a aba da coluna junto à mesa comprimida da viga. A distribuição das tensões de compressão é substancialmente modificada pelas deformações dos apoios (aba da coluna) e pelas imperfeições de fabricação. Um exemplo dessas imperfeições é a distorção do plano da chapa, em função da soldagem desta ao longo da alma e das abas da viga.

Ensaio realizados por Mann & Morris [20] e Struik & Fischer [30] indicam que a distribuição de tensões fica restrita à região da aba comprimida da viga e que o momento M pode ser substituído por um binário de forças, atuando no nível das abas da viga (figura 4).

Os resultados obtidos por Mann & Morris [20] confirmam a boa aproximação do modelo utilizado quanto ao comportamento da viga, próxima ao apoio e da chapa de topo, com relação à transferência dos esforços para a coluna.

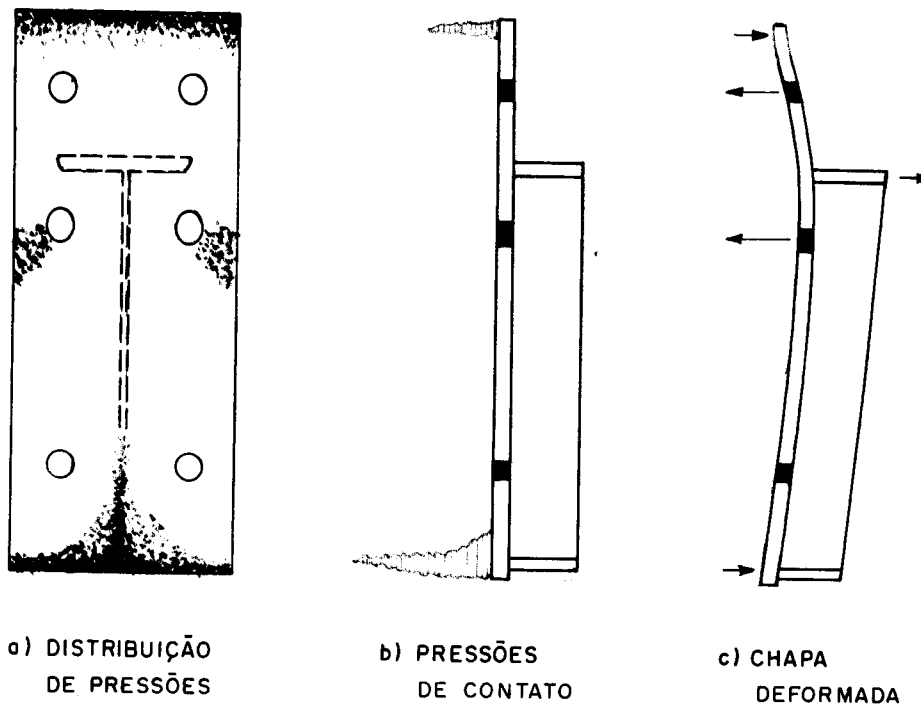


FIGURA 4 - DISTRIBUIÇÃO DE PRESSÕES

2.2.1 - Dimensionamento de ligações com chapa de topo - Modelo Teórico

Outro modelo de cálculo, simples mas bastante próximo do real, é mostrado na figura 5. As hipóteses de comportamento da viga, próximo ao apoio, e da ligação são as mesmas adotadas por diversos autores.

Com esse modelo, pode-se considerar a região junto à mesa tracionada como uma peça em "T", submetida a um esforço de tração e ligada à coluna por quatro parafusos, dispostos simetricamente, conforme mostrado na figura 6.

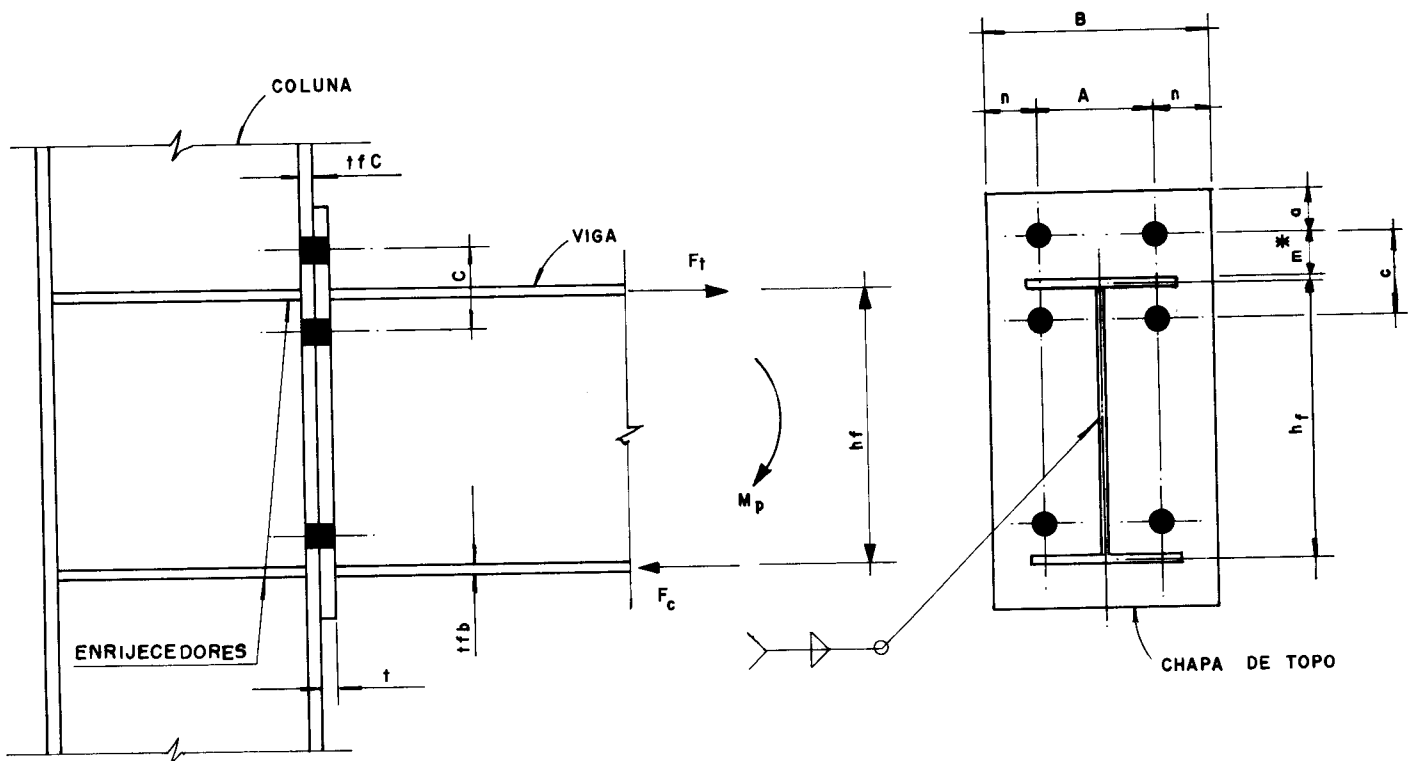


FIGURA 5 - LIGAÇÃO COM CHAPA DE TOPO

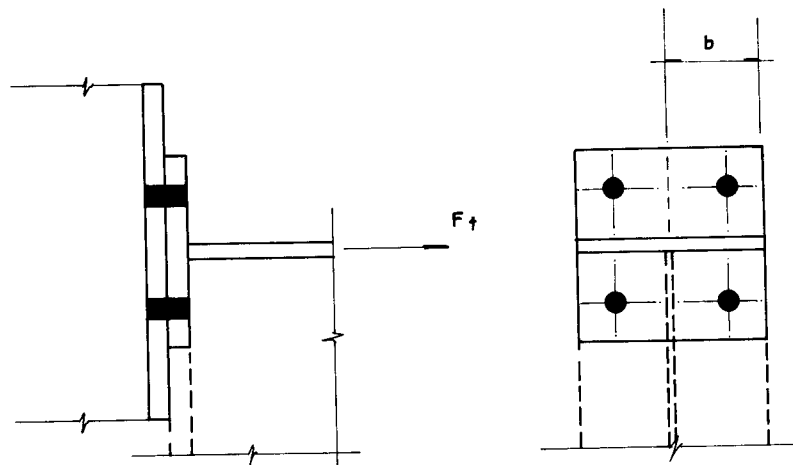
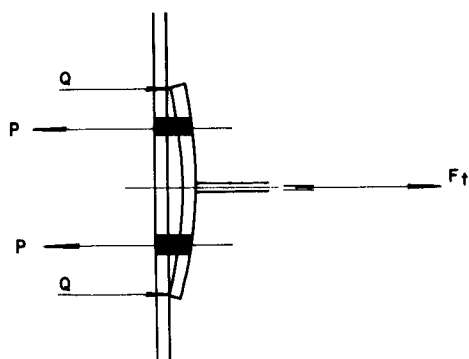


FIGURA 6

Sob a ação do esforço de tração aplicado ao "T", a chapa de ligação e os parafusos deformam-se, conforme mostrado na figura 7.



F_t = FORÇA APLICADA
 P = FORÇA NOS PARAFUSOS
 Q = FORÇA "ALAVANCA"

FIGURA 7

Quando tracionada a alma do "T", a chapa de topo deforma-se; nas extremidades comprimidas contra a coluna, devido à deformação e vinculação com os parafusos, aparece a força Q , chamada de efeito alavanca.

Analisando a condição de equilíbrio do "T", conforme a figura 8, pode-se escrever:

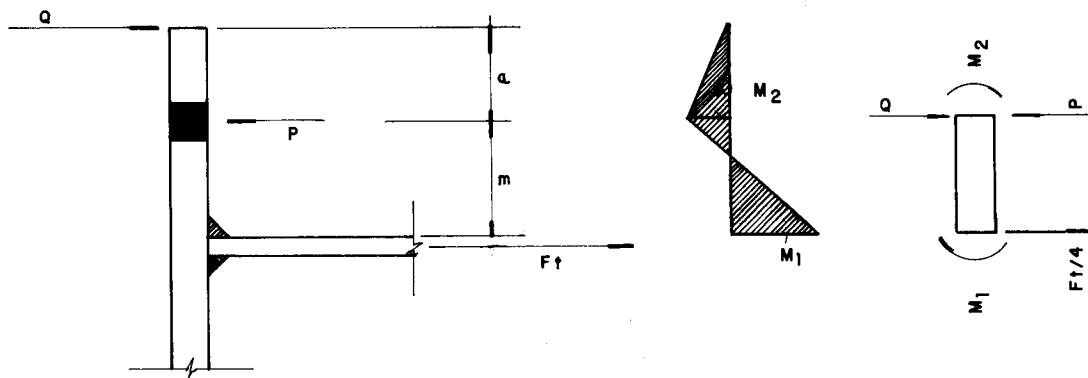


FIGURA 8

$$M_1 + M_2 = \frac{F_t}{4} m \quad (2.2.1)$$

ou fazendo $\frac{F_t}{4} = T$

$$M_1 + M_2 = T.m \quad (2.2.2)$$

onde $M_2 = Q.a$ (2.2.3)

a equação de equilíbrio de forças fornece

$$T + Q = P \quad (2.2.4)$$

Considerando a largura útil da chapa (b) ou a largura colaborante da chapa para cada parafuso conforme indicado na figura 6 a relação entre a área bruta da seção transversal da chapa, junto à alma do "T", e a área líquida no eixo dos parafusos, pode-se escrever:

$$\delta = \frac{(b-d_\phi)t}{bxt} = \frac{b-d_\phi}{b} < 1.0 \quad (2.2.5)$$

onde d_ϕ é o diâmetro do furo.

O momento M_2 pode ser escrito como:

$$M_2 = \left[\frac{M_2}{\delta M_1} \right] \delta M_1 = \alpha \delta M_1 \quad (2.2.6)$$

substituindo (2.2.6) em (2.2.2) tem-se:

$$M_1 + \alpha \delta M_1 = T.m$$

$$M_1 = \frac{T.m}{1+\alpha\delta} \quad (2.2.7)$$

e em (2.2.3)

$$M_1 = \frac{Qa}{\alpha\delta} \quad (2.2.8)$$

Igualando (2.2.7) e (2.2.8) tem-se a força de alavanca.

$$Q = T \frac{m}{a} \left(\frac{\alpha\delta}{1+\alpha\delta} \right) \quad (2.2.9)$$

Conhecidos Q e M_1 duas verificações devem ser efetuadas: o máximo momento fletor na chapa deve ser menor que o momento resistente ($\phi_b M_n$) e o esforço de tração nos parafusos deve ser menor que o resistente. ($\phi_t R_{nt}$), baseado no estado limite de ruptura da parte rosqueada.

Para o momento resistente da chapa, o máximo permitido pela NBR 8800 será:

$M_1 \leq \phi_b M_n = \phi_b \cdot 1,25 \cdot w f_y$ (o momento plástico excederia este limite)

$$M_1 \leq \phi_b M_n = \phi_b \cdot 1,25 \cdot \frac{bt^2}{6} \cdot f_y \quad (2.2.10)$$

De (2.2.10) e (2.2.7) tem-se:

$$t \geq \sqrt{\frac{4,8Tm}{(1+\alpha\delta)\phi_b \cdot b f_y}} \quad (2.2.11)$$

Para o esforço resistente à tração dos parafusos tem-se

Para parafusos com diâmetro entre 12mm e 25mm:

$$\phi_t R_{nt} = \phi_t \cdot 0,75 A_p \cdot f_u$$

Para parafusos com diâmetros superiores a 25mm:

$$\phi_t R_{nt} = \phi_t \cdot 0,95 \cdot A_r \cdot f_u$$

Willian A. Thornton demonstrou em trabalhos publicados que a solução da equação (2.2.11) não é única. Devem ser verificadas as duas condições extremas possíveis e analisado o seu significado físico:

$\alpha = 0$ - que na solução do sistema significa $M_2 = 0$ e $Q = 0$, ou seja, não há efeito alavanca, resultando na maior espessura de chapa.

$$t \geq \sqrt{\frac{4.8Tm}{\phi_b \cdot b \cdot f_y}} \quad (2.2.12)$$

Nesse caso, a chapa seria considerada muito rígida e a tração nos parafusos (2.2.4) seria

$$P = T$$

$\alpha = 1$ - quando o efeito alavanca é máximo e, portanto, tem-se maior tração nos parafusos, M_1 será igual a M_2 (a menos de δ) e igual ao momento resistente máximo da chapa, ou seja, o momento de plastificação. A formação de duas rótulas, uma junto à linha de aplicação da carga e a outra na linha dos parafusos, levará à formação de mecanismo de colapso da chapa.

Para essa situação ter-se-á:

$$t \geq \sqrt{\frac{4.8Tm}{(1+\delta)\phi_b \cdot b \cdot f_y}} \quad (2.2.13)$$

e a força de alvanca será

$$Q = T \frac{m}{a} \left(\frac{\delta}{1+\delta} \right) \quad (2.2.14)$$

e portanto, a força de tração nos parafusos será

$$P = T \left(1 + \frac{m \delta}{a(1+\delta)} \right) \quad (2.2.15)$$

Qualquer valor de α entre 0 e 1 poderá conduzir a uma solução intermediária para a espessura da chapa e para a tração nos parafusos.

Quando se verifica uma ligação com espessura de chapa conhecida, pode-se igualar M_1 ao momento resistente máximo e calcular α pela equação (2.2.7).

Se $\alpha \leq 0$ a chapa é suficientemente rígida e o efeito alavanca será mínimo, podendo ser considerado nulo.

Se $0 < \alpha < 1$ a chapa resiste aos esforços e a configuração adotada é possível.

Se $\alpha \geq 1$ a chapa não é suficiente e haverá formação das rótulas na linha de carga e na linha dos parafusos. Nesse caso, a chapa deverá ser reforçada.

O modelo acima e as equações desenvolvidas foram calibrados através de ensaios que mostraram ser necessário considerar a presença do furo para o parafuso.

Dessa forma, nas fórmulas apresentadas, devem ser usados a' e m' em lugar de a e m , com os seguintes valores:

$$a' = a + \frac{d_\phi}{2}$$

$$m' = m - \frac{d_\phi}{2}$$

sendo d_ϕ o diâmetro do furo.

2.2.2. Dimensionamento de ligações com chapa de topo - Modelo de Mann & Morris [20].

A introdução do cálculo plástico para pórticos de andares múltiplos levantou uma série de problemas, dentre os quais o cálculo das ligações. Com o aparecimento de rótulas nos nós dos pórticos as ligações deveriam resistir a tais momentos. O dimensionamento dessas ligações pode ser feito de duas maneiras: - é que ela resista aos momentos fletores aplicados, ocorrendo a formação de rótulas e, portanto, deformações plásticas na ligação; A segunda é dimensioná-la suficientemente forte para que a rótula se desloque para a viga nas proximidades da ligação.

Na figura 9 é mostrada a distribuição de tensões e deformações nas duas alternativas. É interessante notar que, no segundo caso (rótula na extremidade da viga), a rotação relativa entre as barras é menor, o que é explicado pela maior rigidez da ligação. Se se considerar que em regime de serviço os esforços na extremidade da viga serão menores que o momento de plastificação, o giro relativo será menor ainda.

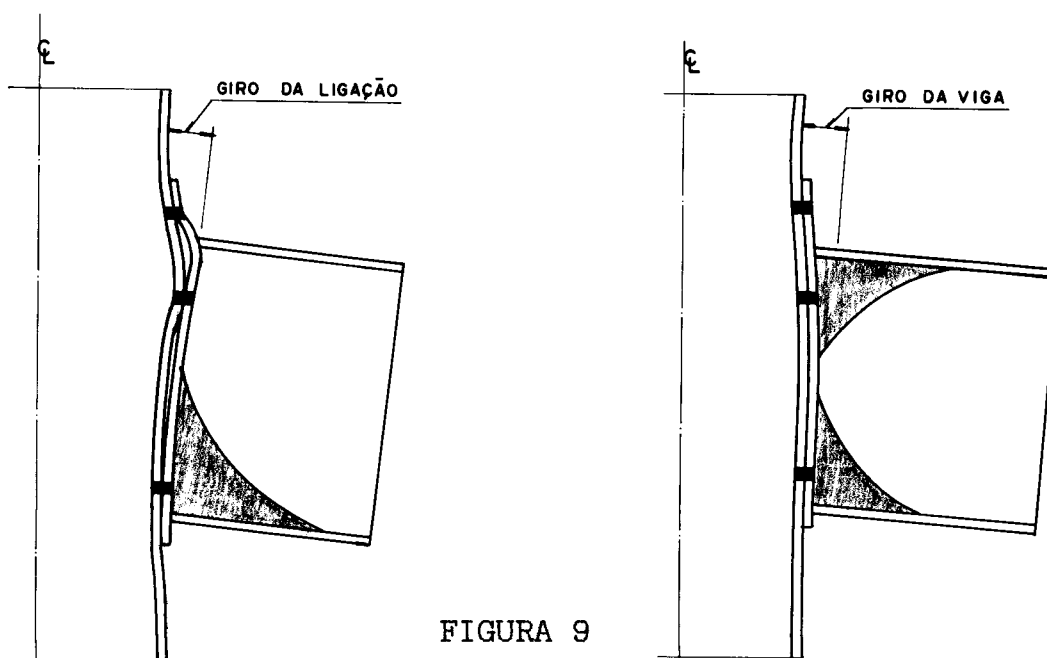


FIGURA 9

A segunda alternativa tem-se mostrado mais recomendada, pois pequenas variações na espessura da chapa de ligação (chapa de topo) produzem mudanças significativas no comportamento geral da ligação. É recomendável também que a possível rótula seja formada em uma região de comportamento bem definido: a viga. Nessa situação, evitar-se-ão também grandes deformações na chapa de topo, e, como foi visto no item anterior, tem-se assim um menor efeito alavanca e um menor esforço nos parafusos.

O modelo resistente é o indicado na figura 5 e as forças F_t e F_c são os esforços que devem ser transmitidos pela ligação.

Os parafusos tracionados devem resistir ao esforço de tração F_t , que também deve ser resistido pelas abas da coluna, sem deformações excessivas.

Os estados limites a serem considerados na região tracionada são os seguintes:

- ruptura dos parafusos;
- colapso da placa de apoio (chapa de topo) pela formação de rótulas;
- ruptura das soldas;
- colapso da aba da coluna;
- ruptura da aba e da alma da coluna.

Na região da coluna que recebe a força de compressão F_c devem ser verificados o esmagamento e a flambagem da alma da coluna.

As recomendações quanto à verificação e dimensionamento das abas da coluna podem ser encontradas em vários trabalhos da bibliografia. No entanto, a que mostrou melhor eficiência foi a colocação de enrijecedores, como os indicados nas figuras 1 e 5.

No dimensionamento dos parafusos tracionados três pontos devem ser analisados:

- a distribuição da força de tração entre as filas superior e inferior de parafusos;
- a força total a ser resistida pelos parafusos;
- o grau de ductibilidade requerido para os parafusos.

A tração nos parafusos é uma combinação da força de tração direta com a força de arrancamento induzida pelo efeito alavanca.

A força direta F_t resulta do momento aplicado e a força do efeito alavanca, da distorção da placa de apoio e da aba da coluna devido à flexão (figura 9).

A distribuição dessas forças entre as filas de parafusos está relacionada com a rigidez da chapa de topo na vizinhança dos parafusos.

No caso da força direta, a fila inferior de parafusos recebe a maior parcela de F_t . Isso ocorre porque a placa de apoio na vizinhança da fila inferior está restringida em três lados, sendo, portanto, mais rígida que a porção da placa na vizinhança da fila superior, que está restringida somente em uma extremidade e, parcialmente, ao longo da extremidade superior.

Todavia, a força de arrancamento devido ao efeito alavanca, é distribuída no sentido oposto.

Nos ensaios realizados por Mann & Morris [20] constatou-se que, com a aproximação do momento aplicado do valor de momento máximo, a força total em cada fila tende a igualar-se.

A força total no grupo de parafusos será, por conseguinte, a soma da força direta F_t com a força resultante do efeito alavanca.

A partir de resultados de ensaios descritos em seu trabalho, Surtess e Mann [31] sugerem aumento de 33% nos valores de F_t , como um razoável limite superior.

Tem-se, então:

$$P_u = \frac{1,33 F_t}{4} = \frac{F_t}{3} \quad (2.2.16)$$

onde P_u é a força última de tração nos parafusos.

Para limitar a força que decorre do efeito alavanca, a distância entre a fila superior de parafusos e a borda da chapa não deve ser menor que 2,5 vezes o diâmetro dos parafusos.

Outras fórmulas semi-empíricas foram desenvolvidas a partir de resultados de ensaios. Contudo, os valores obtidos aproximam-se dos conseguidos com a fórmula acima, que é preferida pela sua simplicidade.

Outra informação obtida nos trabalhos consultados é que a utilização de parafusos de alta resistência pouco alterou a capacidade última da ligação. A utilização de parafusos pré-tracionados é vantajosa, à medida que melhora a rigidez da ligação e mantém a tensão nos parafusos relativamente constante, até o início da plastificação. O resultado terá vantagens maiores em situações em que possa ocorrer a fadiga dos materiais.

A ductibilidade dos parafusos não influenciará a capacidade da ligação, mas representará segurança quanto à distribuição de tensões nos parafusos.

A resistência à força cortante da ligação não foi analisada em alguns trabalhos. Nestes a viga foi apoiada sobre um console soldado na coluna.

Em outros trabalhos, o esforço foi considerado como sendo absorvido pelos parafusos colocados junto à região comprimida da ligação. Tal modelo mostrou-se bastante satisfatório.

No dimensionamento da chapa de topo, uma análise, na fase elástica, como placa mostrou-se não real, pela incerteza das condições de apoio dos contornos da chapa.

Métodos modernos de cálculo foram baseados na hipótese de que charneiras plásticas são formadas na região tracionada, como indicado na figura 10.

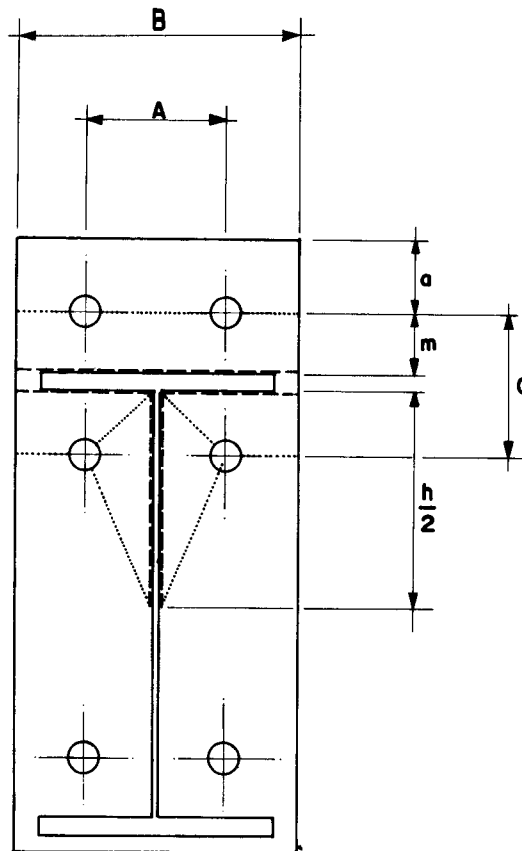


FIGURA 10

Os resultados dos trabalhos experimentais não confirmaram completamente o modelo, mas permitiram a elaboração de fórmulas semi-empíricas para a determinação da espessura da chapa.

A equação (2.2.17) é uma delas, fornecida por Surtees & Mann [32], com base em seus trabalhos.

$$t = \left[\frac{F_t}{f_y \left(\frac{2B}{C} + \frac{h}{A} \right)} \right]^{1/2} \quad (2.2.17)$$

Mann & Morris [20] recentemente chegaram à equação (2.2.18) que fornece melhores resultados para o dimensionamento da chapa de topo

$$t = \left[\frac{F_t \cdot m}{f_y (B - d_\phi)} \right]^{1/2} \quad (2.2.18)$$

Eles sugerem também que o trabalho para deformar os parafusos compensa a perda de resistência da chapa por causa dos furos, podendo a equação (2.2.18) ser reescrita como:

$$t = \left[\frac{F_t \cdot m}{f_y \cdot B} \right]^{1/2} \quad (2.2.19)$$

As equações (2.2.17) e (2.2.19) representam o intervalo de variação para a espessura da chapa de topo.

Tem-se, conseqüentemente:

$$\sqrt{\frac{F_t}{f_y \left(\frac{2B}{C} + \frac{h}{A} \right)}} < t < \sqrt{\frac{F_t \cdot m}{f_y \cdot B}} \quad (2.2.20)$$

Pode-se afirmar que a rigidez da ligação é proporcional a espessura das chapas de topo. Portanto, quando é necessário resistir aos momentos aplicados à ligação com pequenas deformações, ou seja, procura-se uma ligação mais rígida, é recomendável utilizar a equação (2.2.19) que fornece espessuras maiores de chapa.

A geometria da chapa e a posição dos parafusos em relação à mesa tracionada da viga tem grande influência sobre o comportamento da ligação.

Os parafusos devem ser posicionados próximos à mesa tracionada para que o efeito alavanca seja o menor possível. No entanto, essas dimensões devem respeitar os limites recomendados, por problemas de montagem, e os gabaritos de extremidade e de furo a furo, recomendados nas normas.

Para as equações (2.2.17) e (2.2.19) as distâncias recomendadas são:

$$B = 9d$$

$$A = 5d$$

$$C = 6d$$

$$a \geq 2,5d$$

onde d é o diâmetro dos parafusos.

2.2.3 - Comparação entre o modelo teórico e o modelo semi-empírico

A comparação entre os dois modelos de cálculo é interessante para que se possa adotar, no dimensionamento da chapa de topo, um processo de cálculo que forneça resultados cuja posição dentro do intervalo de espessuras recomendadas seja conhecido. A escolha deverá levar em conta os comentários apresentados por Krishnamurthy [19], que mostrou, através de ensaios recentes, que tanto o modelo teórico como os processos semi-empíricos, conduzem a valores conservadores.

Considere-se a ligação da figura 11.

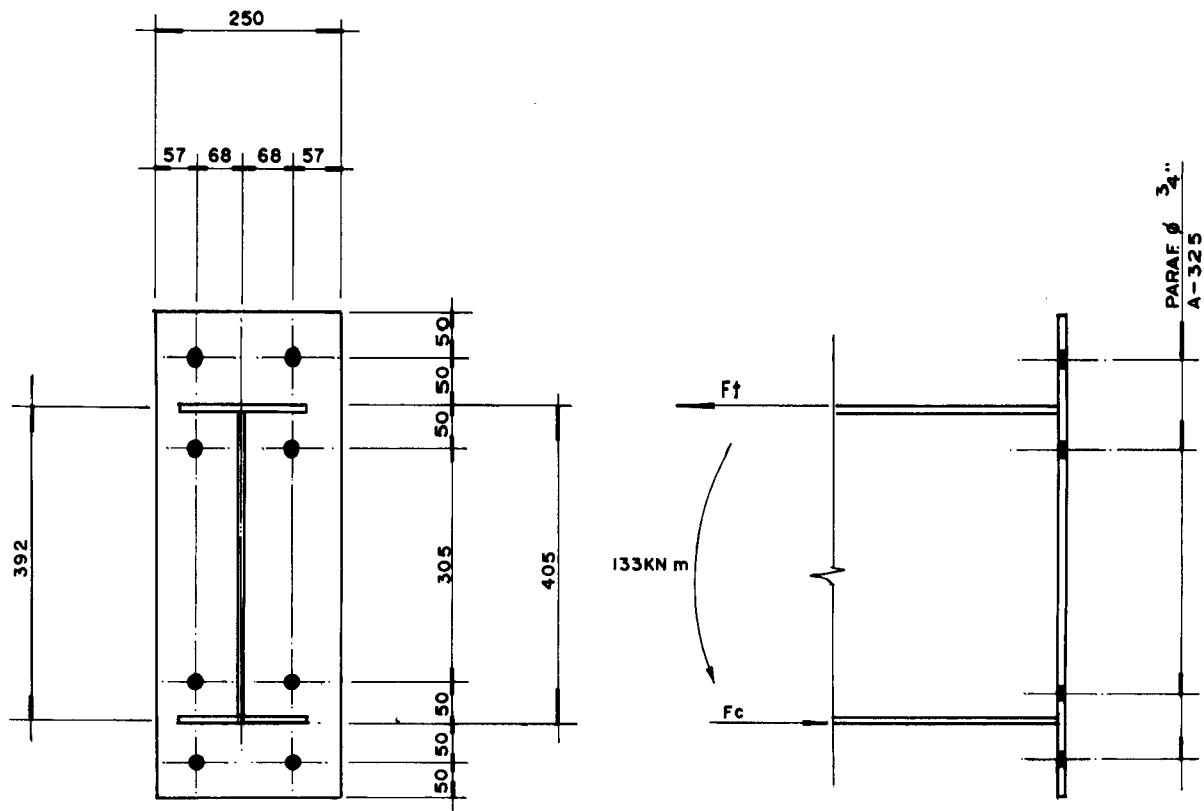


FIGURA 11

-Modelo teórico

$$F_t = \frac{M}{h_f} = \frac{13300}{39,2} = 339,3 \text{ kN}$$

Para $\alpha = 0$

$$t = \sqrt{\frac{4,8 \cdot T \cdot m'}{\phi_b \cdot b \cdot f_y}}$$

$$T = \frac{F_t}{4} = \frac{339,3}{4} = 84,8 \text{ kN}$$

$$m' = m - \frac{d_\phi}{2} = 5,0 - 1,0 = 4,0$$

$$t \geq \sqrt{\frac{4,8 \cdot 84,8 \cdot 4,0}{0,9 \cdot 12,5 \cdot 25,0}}$$

$$t \geq 2,40\text{cm}$$

Para $\alpha = 1$

$$t \geq \sqrt{\frac{4,8 \cdot T \cdot m'}{(1+\delta)\phi_b \cdot b \cdot f_y}}$$

$$\delta = \frac{b-d}{b} \phi = \frac{12,5 - 2,1}{12,5} = 0,83$$

$$t \geq \sqrt{\frac{4,8 \cdot 84,8 \cdot 4,0}{1,83 \cdot 0,9 \cdot 12,5 \cdot 25,0}}$$

$$t \geq 1,78\text{cm}$$

Chapa adotada $t = 1,9\text{cm}$ (3/4")

impondo $M_1 = \phi_b M_n$

$$\phi_b M_n = \phi_b 1,25 \cdot \frac{bt^2}{6} f_y$$

$$\phi_b M_n = 0,9 \cdot 1,25 \cdot \frac{12,5 \cdot 1,9^2}{6} \cdot 25,0$$

$$\phi_b M_n = 211,5\text{kNcm}$$

$$\alpha = \frac{Tm' - M_1}{\delta M_1} = \frac{84,8 \cdot 4,0 - 211,5}{0,81 \cdot 211,5}$$

$$\alpha = 0,745$$

A força de alavanca será

$$Q = \frac{Tm'}{a'} \left(\frac{\alpha\delta}{1+\alpha\delta} \right)$$

$$Q = \frac{84,8 \cdot 4,0}{6,0} \left(\frac{0,745 \cdot 0,83}{1 + 0,745 \cdot 0,83} \right)$$

$$Q = 21,6\text{kN}$$

A tração total no parafuso será

$$P = T + Q$$

$$P = 84,8 + 21,6 = 106,4\text{kN}$$

e a tensão nos parafusos será

$$\sigma = \frac{106,4}{2,85} = 37,3\text{kN/cm}^2$$

Verificando a resistência dos parafusos tem-se

$$\phi_t \cdot R_{nt} = \phi_t \cdot 0,75 \cdot A_p \cdot f_u$$

$$\phi_t \cdot R_{nt} = 0,75 \cdot 0,75 \cdot 2,85 \cdot 82,5 = 132,2\text{kN} > P$$

-Modelo de Mann & Morris

$$F_t = \frac{M}{h} = 339,3\text{kN}$$

a tração máxima nos parafusos será

$$P_u = \frac{1,33 \cdot F_t}{4} = 1,33 \cdot \frac{339,3}{4} = 113,1\text{kN}$$

para dimensionamento da chapa tem-se

$$\sqrt{\frac{F_t}{f_y \left(\frac{2B}{C} + \frac{h}{A} \right)}} < t < \sqrt{\frac{F_t \cdot m}{F_y \cdot B}}$$

$$\sqrt{\frac{339,3}{25,0 \left(\frac{2 \cdot 25,0}{10,0} \right) + \frac{39,2}{13,6}}} < t < \sqrt{\frac{339,3 \cdot 5,0}{25,0 \cdot 25,0}}$$

$$1,31 < t < 1,65$$

Como segundo exemplo considere-se a ligação da figura 12.

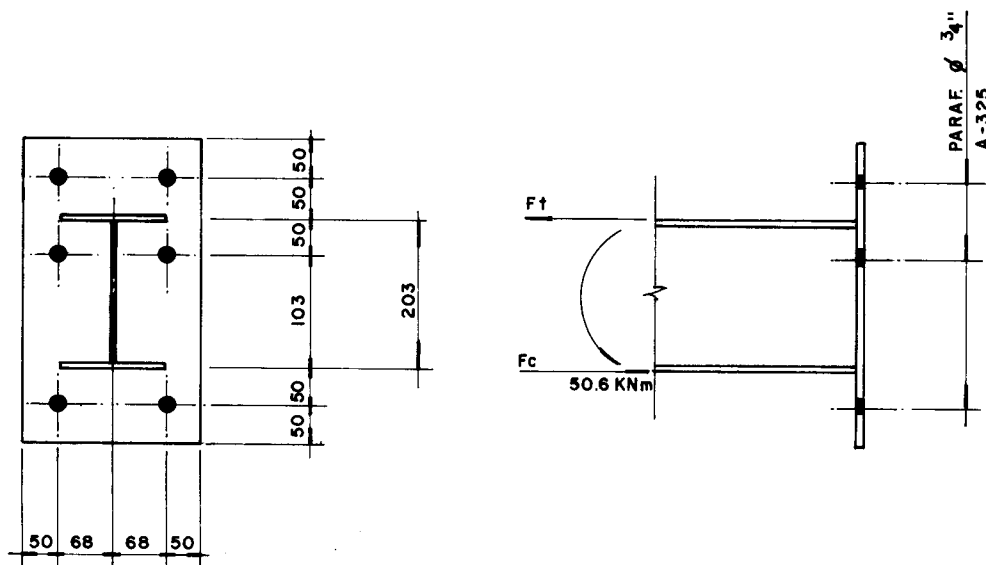


FIGURA 12

- MODELO TEÓRICO

$$F_t = \frac{M}{h} = \frac{50,6}{19,2} = 263,5 \text{ kN}$$

Para $\alpha = 0$

$$T = \frac{F_t}{4} = \frac{263,5}{4} = 65,9 \text{ kN}$$

$$m' = 4,0\text{cm}$$

$$t \geq \sqrt{\frac{4,8.T.m'}{\phi_b \cdot b \cdot f_y}}$$

$$t \geq \sqrt{\frac{4,8.65,9.4,0}{0,9.11,8.25,0}}$$

$$t \geq 2,18\text{cm}$$

Para $\alpha = 1$

$$t \geq \sqrt{\frac{4,8.T.m'}{(1+\delta)\phi_b \cdot b \cdot f_y}}$$

$$\delta = \frac{b - d_\phi}{b} = \frac{11,8 - 2,1}{11,8} = 0,82$$

$$t \geq \sqrt{\frac{4,8.65,9.4,0}{1,82.0,9.11,8.25,0}}$$

$$t \geq 1,62\text{cm}$$

chapa adotada $t = 1,6\text{cm}$ (5/8")

impondo $M_1 = \phi_b M_n$

$$\phi_b M_n = \phi_b 1,25 \cdot \frac{bt^2}{6} f_y$$

$$\phi_b M_n = 0,9.1,25.12,5 \cdot \frac{1,6^2}{6} \cdot 25,0$$

$$\phi_b M_n = 150,0 \text{ kNcm}$$

$$\alpha = \frac{Tm' - M_1}{\delta M_1} = \frac{65,9 \cdot 4,0 - 150,0}{0,81 \cdot 150,0}$$

$$\alpha = 0,935$$

A força da alavanca será

$$Q = \frac{Tm'}{a'} \left(\frac{\alpha \delta}{1 + \alpha \delta} \right)$$

$$Q = \frac{65,9 \cdot 4,0}{6,0} \left(\frac{0,935 \cdot 0,82}{1 + 0,935 \cdot 0,82} \right)$$

$$Q = 19,1 \text{ kN}$$

A tração total no parafuso será

$$P = T + Q$$

$$P = 65,9 + 19,1 = 85,0 \text{ kN} < \phi_t N_n$$

e a tensão nos parafusos será

$$\sigma = \frac{85,0}{2,85} = 29,8 \text{ kN/cm}^2$$

-Modelo de Mann & Morris

$$F_t = \frac{M}{h} = 263,5 \text{ kN}$$

A tração máxima no parafuso será

$$P_u = 1,33 \cdot \frac{263,5}{4} = 87,8 \text{ kN}$$

para o dimensionamento da chapa tem-se

$$\sqrt{\frac{F_t}{f_y \left(\frac{2B}{C} + \frac{h}{A} \right)}} < t < \sqrt{\frac{F_t \cdot m}{F_y \cdot B}}$$

$$\sqrt{\frac{263,5}{25,0 \left(\frac{2 \cdot 25,0}{10,0} + \frac{19,2}{13,6} \right)}} < t < \sqrt{\frac{263,5 \cdot 5,0}{25,0 \cdot 25,0}}$$

$$1,28 < t < 1,45$$

Analisando os exemplos acima e considerando os comentários de Salmon [25] e principalmente os resultados obtidos por Krishnamurthy [19], que mostram que os valores para a espessura da chapa de topo obtidos através das equações (2.2.12), (2.2.13), (2.2.17) e (2.2.19) são conservativos, decidiu-se adotar o modelo de Mann & Morris. Porém, como se procuram ligações com maior rigidez, e os parâmetros a serem recomendados deverão ser explicitamente para um determinado tipo de ligação, adotou-se a equação (2.2.19) para o dimensionamento da chapa de topo.

2.3 - LIGAÇÕES COM CANTONEIRAS NA ALMA DA VIGA

As ligações com cantoneiras na alma da viga são enquadradas no tipo ligações articuladas e são utilizadas para conectar vigas entre si e vigas a colunas.

As ligações típicas mais usadas, estão indicadas na figura 13.

Pelo fato de tais ligações serem classificadas como articuladas procura-se fazer as cantoneiras tão flexíveis quanto possível, ou seja, a espessura da aba da cantoneira deve ser a menor possível.

A verificação da rigidez da ligação assim dimensionada foi avaliada pelo modelo desenvolvido no item 2.3.2.

Das ligações apresentadas na figura 13, a alternativa mais usada é a que utiliza solda na fábrica e parafusos no campo (cantoneira soldada à viga).

Nesse tipo de ligação é prevista folga de aproximadamente 10mm, que permite o giro da viga sem que sua aba entre em contato com a coluna. Caso haja contato, a rigidez da ligação aumenta consideravelmente com o aparecimento de um binário, formado pela compressão junto à aba que entrou em contato com a coluna e a tração nos parafusos. Nessas situações, o colapso da ligação ocorre por ruptura dos parafusos (cisalhamento mais tração) ou por colapso da aba da coluna na região de compressão.

Nas ligações viga-viga com as abas no mesmo nível faz-se um recorte de encaixe na viga que se apóia na outra, conforme está indicado na figura 13. A perda de seção devido ao recorte é principalmente na aba, havendo portanto pequena redução na capacidade da viga para esforços cortantes. Por outro lado, a perda de capacidade para transferência de momento é muito grande, pois as abas estão interrompidas antes da ligação. A possibilidade de transferência de

momento é apenas através da alma, cuja capacidade é quase nula.

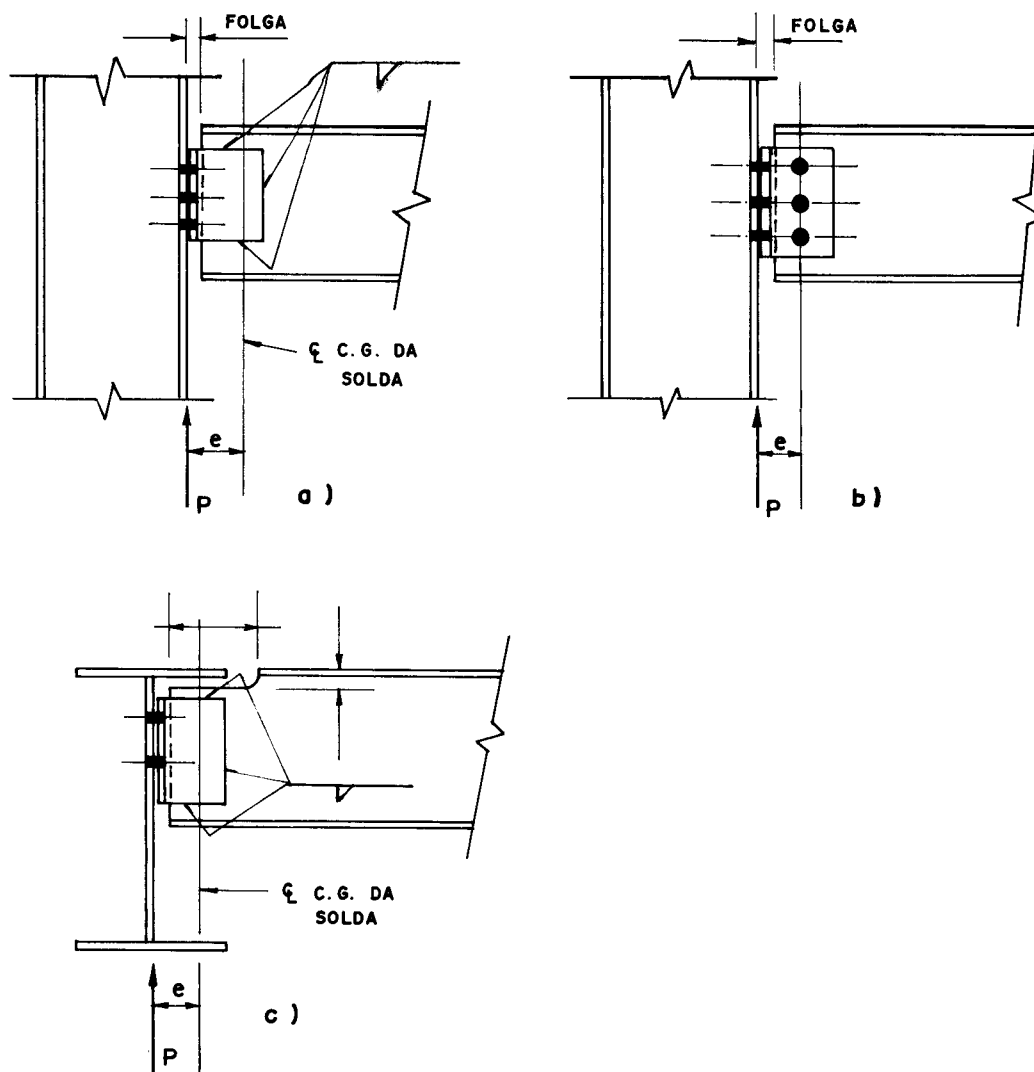


FIGURA 13 - LIGAÇÕES COM CANTONEIRAS NA ALMA DA VIGA

Birkemoe e Gilmor [6] mostraram que as vigas com recorte submetidas a altas tensões de cisalhamento no apoio podem sofrer ruptura ao longo da linha de parafusos (área líquida). O problema surge particularmente nos casos em que há poucos parafusos e em que eles não são distribuídos uniformemente ao longo da altura da alma, como indicado na figura 14.

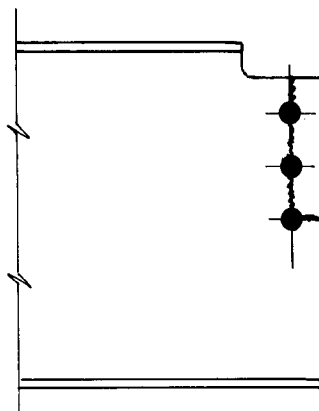


FIGURA 14

2.3.1 - Dimensionamento da ligação

O dimensionamento da ligação adotada nos modelos (cantoneiras soldadas nas vigas e parafusadas nas colunas) deverá verificar os estados limites possíveis de ser atingidos:

- ruptura dos parafusos;
- ruptura da cantoneira;
- ruptura da solda.

A verificação da ruptura dos parafusos será executada de duas maneiras: por cisalhamento e por cisalhamento e tração combinados, considerando a excentricidade de aplicação da carga, conforme indicado na figura 15.

Considerando a ligação esquematizada na figura abaixo:

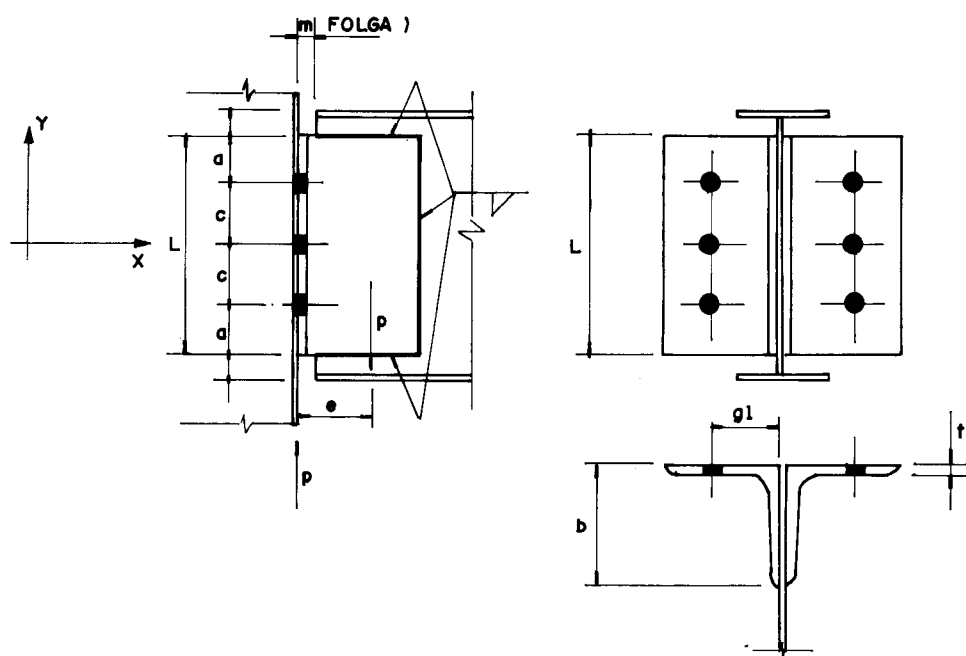


FIGURA 15

a) a carga última P para o estado limite de ruptura da solda será determinada pela análise vetorial, em fase elástica, das tensões na solda.

Para a configuração de solda utilizada

$$I_p = \frac{8.b'^3 + 6.b'.L^2}{12} + \frac{b'^4}{2b'+L} \quad (2.2.21)$$

onde

I_p = momento de inércia polar do cordão de solda

$$b' = b - m$$

$$e = b - \frac{b'^2}{2b' + L} \quad (2.2.22)$$

a força por unidade de comprimento devido a força cortante será:

$$R_v = \frac{P}{2.b' + L} \quad (2.2.23)$$

As máximas componentes R_x e R_y da força por unidade de comprimento, devidas ao momento de torção serão:

$$R_x = \frac{P.e}{I_p} \cdot \frac{L}{2} \quad (2.2.24)$$

$$R_y = \frac{P.e}{I_p} \cdot (e-m) \quad (2.2.25)$$

e a resultante das forças será

$$R = \sqrt{(R_v + R_y)^2 + R_x^2} \quad (2.2.26)$$

A força resistente por unidade de comprimento da solda será:

$$\phi R_{nv} = \phi \cdot 0,60 \cdot A_{vv} \cdot f_v \quad \text{com } \phi = 0,75$$

ou para o comprimento unitário

$$\phi R_{nv} = 0,75 \cdot 0,60 \cdot a \cdot f_v$$

onde \underline{a} é a garganta efetiva da solda.

Para $R = \phi R_{nv}$ obtém-se o valor de \underline{P} ou a garganta efetiva mínima;

- b) para o estado limite de ruptura dos parafusos pode-se calcular \underline{P} considerando ou não a excentricidade \underline{e} da força. Sem isso, os parafusos ficam submetidos apenas a corte simples com:

$$\phi_v R_{nv} = \phi_v \cdot 0,42 \cdot A_p \cdot f_u$$

para parafusos A-325 e A-490, com o plano de corte passando pela rosca, ou para demais parafusos para qualquer posição do plano de corte ou:

$$\phi_v R_{nv} = \phi_v \cdot 0,60 \cdot A_p \cdot f_u$$

para parafusos A-325 e A-490, quando o plano de corte não passa pela rosca.

A mínima espessura t , para que não ocorra o esmagamento, sem considerar a possibilidade de rasgamento, será obtida quando:

$$\phi R_{nv} = \phi R_{n(\text{esmag})} = \phi \alpha A_b \cdot f_u$$

$$\phi R_{nv} = \phi \cdot 3,0 \cdot d \cdot t \cdot f_u$$

A consideração da excentricidade será feita calculando, pelo método vetorial, a tração no parafuso mais solicitado e verificando as exigências do item 7.3.2.5 da NBR 8800;

- c) para o estado limite de ruptura da cantoneira deve-se considerar a possibilidade de rasgamento entre furos ou entre furos e borda, conforme item 7.3.2.4. da NBR8800 ou o cisalhamento na área efetiva da cantoneira.

$$\phi V_n = \phi \cdot 0,60 \cdot A_v \cdot f_y$$

onde

$$A_v = t(L - n \cdot d_\phi) \quad (2.2.27)$$

e d_ϕ é o diâmetro do furo e n o número de parafusos por cantoneira.

2.3.2 - Verificação de rigidez da cantoneira

Considerando a flexão da cantoneira, conforme indicado na figura 16, foram desenvolvidos vários modelos, em elementos finitos, para análise do comportamento da ligação. A partir dos resultados destes modelos, comparados com os obtidos por vários autores e principalmente com os dos ensaios, foi adotado um modelo final e desenvolvidas fórmulas semi-empíricas para o cálculo dos momentos máximos na cantoneira e as deformações e giros que ocorrem na ligação.

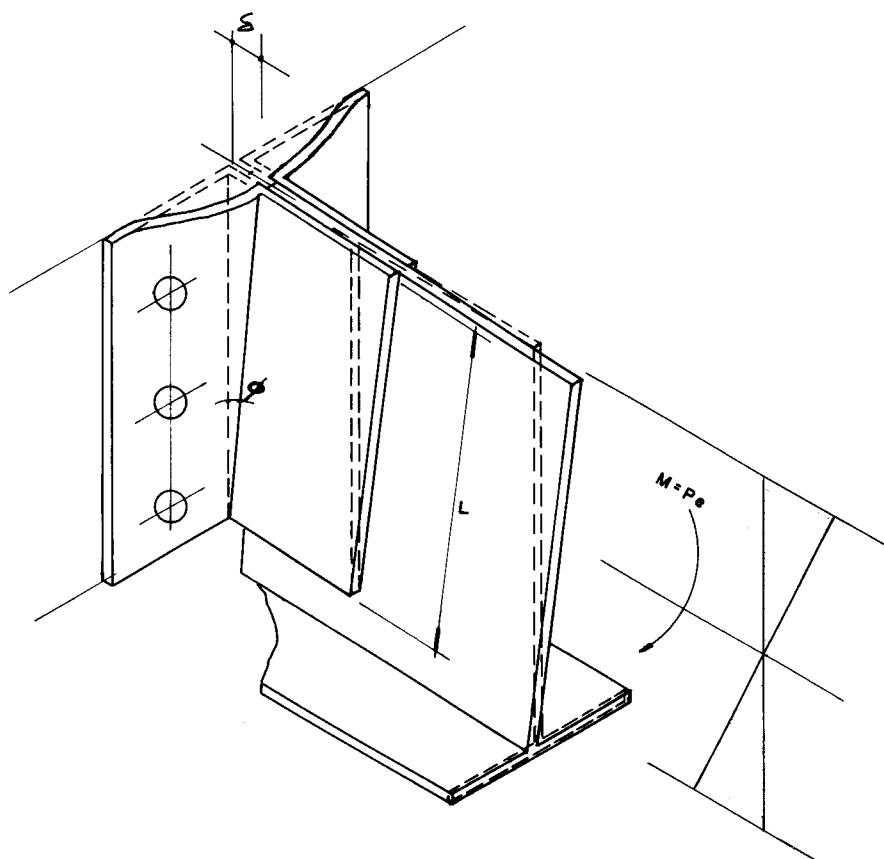


FIGURA 16

Considerando o momento (P.e) aplicado à cantoneira devido à excentricidade da carga, o momento máximo de flexão da aba da cantoneira se dará junto ao parafuso superior ou na junção das duas abas e será igual a:

$$M_{\max} = \frac{P.e.6}{2L^2} \cdot \frac{g-t}{6} \quad (2.2.27)$$

$$M_{\max} = \frac{P.e}{2L^2} (g-t) \text{ por unidade de largura} \quad (2.2.28)$$

onde g é o gabarito de furação

Para o momento calculado acima a tensão máxima em um elemento de comprimento unitário será

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{6M}{t^2}$$

$$\sigma = \frac{3.P.e}{t^2 l^2} (g-t) \quad (2.2.29)$$

A deformação máxima será

$$\delta = \frac{P.e}{E.t^3.L^2} (g-t)^3 \quad (2.2.30)$$

e o giro sofrido pela ligação em decorrência à excentricidade da carga será

$$\phi_{\text{lig.}} = \frac{\delta}{L} \quad (2.2.31)$$

considerando que a aba da cantoneira ligada à viga é rígida o suficiente para que o giro na ligação ocorra em relação ao ponto inferior da cantoneira.

Nessas condições a tração máxima se dará no parafuso superior e será igual a

$$T_1 = \frac{3.P.e}{2Ln} \quad (2.2.32)$$

onde n é o número de parafusos por aba.

A fórmula anterior foi calibrada pelos modelos ensaiados e apresentou resultados satisfatórios, à exceção do modelo com um parafuso por aba, onde ela leva a valores aproximadamente 30% maiores. Entretanto, resolveu-se mantê-la, pois, nesse caso específico, é aconselhável segurança maior no parafuso da ligação.

A rigidez da ligação representada pela constante $k = M/\phi$, onde $M = Pe$ é o momento devido à excentricidade da carga, permite avaliar o comportamento da ligação com relação à capacidade de resistir a momentos externos (M_e). Um momento externo, ou de engastamento da viga, estará limitado pelo aparecimento de rótulas na cantoneira junto à linha de parafusos ou na junção das abas.

O giro final de ligação ($\phi_{lig.}$) e da viga (ϕ_{viga}) será o mesmo, já que as duas estarão solidarizadas pela aba da cantoneira soldada à alma da viga.

De acordo com esse ponto de vista podem ocorrer três casos distintos:

- o giro da cantoneira devido ao momento (P_e) é menor que o giro da viga considerando a ligação articulada. Nesse caso o giro final será menor que o giro da viga e maior que o giro da ligação e seu valor dependerá das tensões na aba da cantoneira. O momento de engastamento M_{eng} será tal que o momento final aplicado à ligação será ($M_{eng} + P_e$) igual ao momento que causa o início de escoamento da cantoneira;

- o giro da cantoneira referente ao momento (P_e) é menor que o giro da viga, considerando a ligação articulada, mas as tensões na aba da cantoneira são iguais a f_y . Nesse caso o giro final será igual ao giro da viga e não aparecerá nenhum momento de engastamento significativo;

- o giro calculado da cantoneira correspondente ao momento (P_e) é maior que o giro da viga, considerando a ligação articulada. Nesse caso também o giro final será igual ao giro da viga, pois a maior rigidez da viga impedirá parcialmente o giro da cantoneira. Para tal situação, a tração nos parafusos e a tensão na aba da cantoneira, resultante da flexão, conforme calculado em (2.2.32) e (2.2.29) serão menores.

2.3.3 - Exemplo de cálculo

Para a ligação da figura 17 será feita a verificação dos estados limites últimos e de sua rigidez ao giro, considerando a carga aplicada $P = 45\text{kN}$.

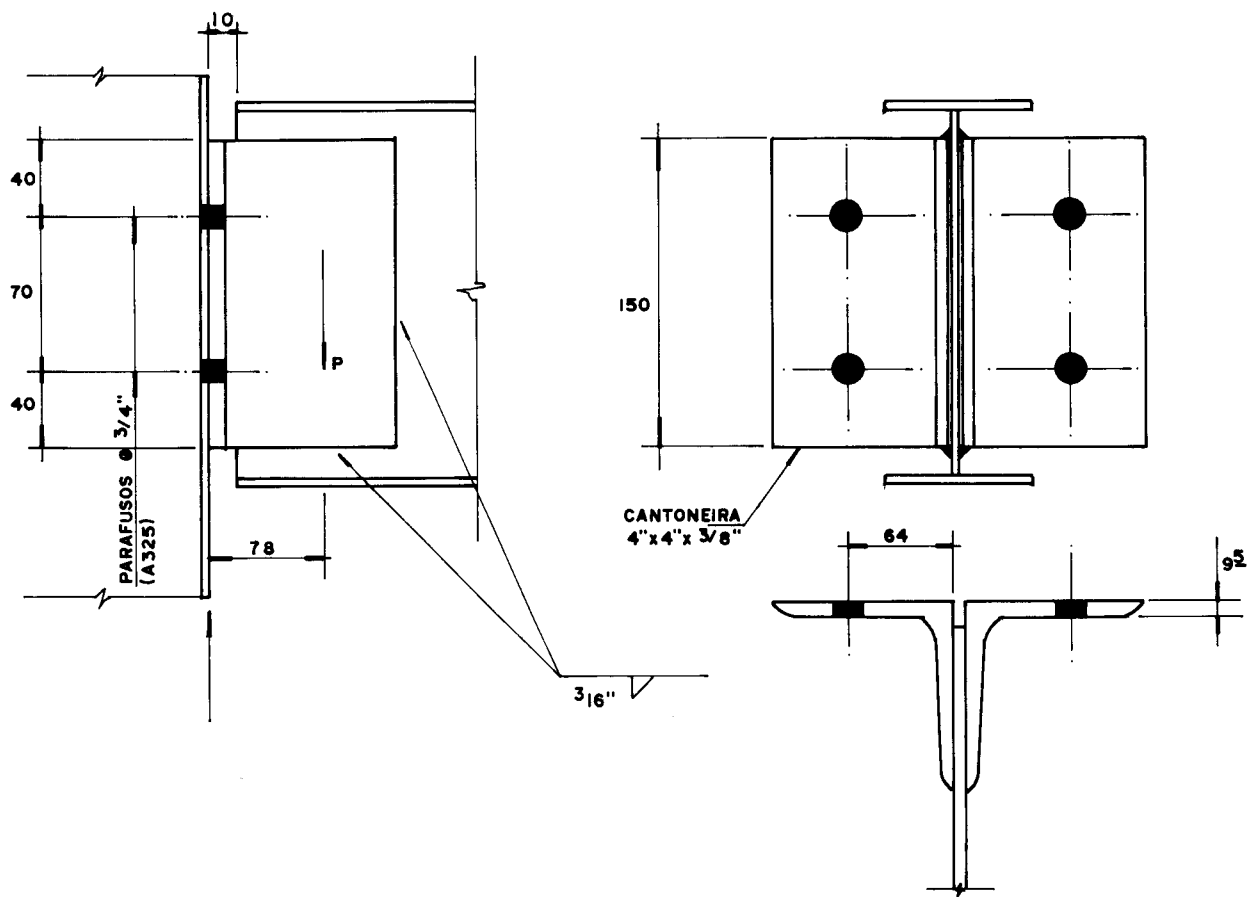


FIGURA 17

a) Verificação do estado limite da solda.

$$I_p = \frac{8b^3 + 6bL^2 + L^3}{12} - \frac{b^4}{2b + L}$$

$$I_p = \frac{8 \cdot 9,4^3 + 6 \cdot 9,4 \cdot 15,0^2 + 15,0^2}{12} - \frac{9,4^4}{2 \cdot 9,4 + 15}$$

$$I_p = 1661 \text{ cm}^4$$

$$e = b - \frac{b'^2}{2b' + L}$$

$$b' = b - m = 10,4 - 1,0 = 9,4 \text{ cm}$$

$$e = 10,4 - \frac{9,4^2}{2 \cdot 9,4 + 15} = 7,8 \text{ cm}$$

$$R_v = \frac{P}{2 \cdot b' + L} = \frac{45,0}{2 \cdot 9,4 + 15,0} = 1,33 \text{ kN/cm}$$

$$R_x = \frac{P \cdot e}{I_p} \cdot \frac{L}{2} = \frac{45,0 \cdot 7,8 \cdot 15,0}{1661 \cdot 2} = 1,58 \text{ kN/cm}$$

$$R_y = \frac{P \cdot e}{I_p} (e - m) = \frac{45,0 \cdot 7,8}{1661} (7,8 - 1,0) = 1,44 \text{ kN/cm}$$

$$R = \sqrt{(R_v + R_y)^2 + R_x^2} = \sqrt{(1,33 + 1,44)^2 + 1,58^2}$$

$$R = 3,19 \text{ kN/cm}$$

A força resistente por unidade de comprimento de solda

$$\phi R_{nv} = \phi \cdot 0,60 \cdot A_v \cdot f_v$$

$$\phi R_{nv} = 0,75 \cdot 0,60 \cdot a \cdot f_w$$

para $a = 0,47$ (3/16")

$$\phi R_{nv} = 0,75 \cdot 0,60 \cdot 0,47 \cdot 41,5 = 8,8 \text{ kN/cm} > R$$

A solda atende a solicitação.

b) Verificação do estado limite de ruptura dos parafusos, considerando a excentricidade de aplicação da carga

- esforços de cisalhamento

$$V = \frac{P}{2n} = \frac{45,0}{4} = 11,2 \text{ kN}$$

- esforços de tração (item 2.3.2)

$$T_1 = \frac{3 \cdot P \cdot e}{2L \cdot n} = \frac{3 \cdot 45,0 \cdot 7,8}{2 \cdot 15 \cdot 0,2} = 17,5 \text{ kN}$$

- resistências ao cisalhamento (corte simples)

$$\phi_v R_{nv} = \phi_v \cdot 0,42 \cdot A_p \cdot f_u$$

$$\phi_v R_{nv} = 0,65 \cdot 0,42 \cdot 2,85 \cdot 82,5 = 64,2 \text{ kN} > V$$

- resistência à tração

$$\phi_t R_{nt} = \phi_t \cdot 0,75 \cdot A_p \cdot f_u$$

$$\phi_t R_{nt} = 0,75 \cdot 0,75 \cdot 2,85 \cdot 82,5 = 132,2 \text{ kN} > T_1$$

e devido a limitação do item 7.3.2.5

$$\phi_t R_{nt} \leq 0,69 \cdot f_u \cdot A_p - 1,93Vd$$

$$\phi_t R_{nt} \leq 0,69 \cdot 82,5 \cdot 2,85 - 1,93 \cdot 11,2$$

$$\phi_t R_{nt} \leq 140,6 \text{ kN} > T_1$$

a espessura t mínima da cantoneira para que não ocorra o esmagamento será:

$$\phi_v R_{nv} = \phi R_n \text{ (esmagamento) =}$$

$$\phi_v R_{nv} = \phi \cdot \alpha \cdot d \cdot t \cdot f_u$$

$$64,2 = 0,75 \cdot 3,0 \cdot 1,9 \cdot t \cdot 40,0$$

$$t = 0,4 \text{ cm} < 0,95 \text{ (3/8)}$$

c) Verificação do estado limite de ruptura da cantoneira:

- rasgamento entre furos e entre furos e borda

$$\phi R_n = \phi \alpha A_b f_u \quad \text{com} \quad \alpha = \frac{4,0}{1,9} - \eta_2 = 2,1$$

$$\phi R_n = 0,75 \cdot 2,1 \cdot 1,9 \cdot 0,95 \cdot 40,0$$

$$\phi R_n = 113,7 \text{ kN} \quad (\text{por parafuso}) > V$$

- cisalhamento de seção efetiva

$$\phi V_n = \phi \cdot 0,60 \cdot A_v \cdot f_y$$

$$\phi V_n = 0,90 \cdot 0,60 \cdot 0,95 \cdot (15,0 - 2 \cdot 2,1) \cdot 25,0$$

$$\phi V_n = 138,5 \text{ kN} > 2V$$

d) Verificação da rigidez

$$M_{\max} = \frac{P \cdot e}{2 \cdot L^2} (g - t)$$

$$M_{\max} = \frac{45,0 \cdot 7,8}{2 \cdot 0,15,0^2} (6,4 - 0,95)$$

$$M_{\max} = 4,25 \text{ kNcm/cm}$$

A tensão será

$$\sigma = \frac{M}{\tilde{W}} = \frac{6M}{t^2}$$

$$\sigma = \frac{6 \cdot 4,25}{0,95^2} = 28,3 \text{ kN/cm}^2 > f_y$$

Nesse caso ocorrerá o início de escoamento da seção transversal da cantoneira.

A deformação máxima será

$$\delta = \frac{P_e}{E \cdot t^3 L^2} (g-t)^3$$

$$\delta = \frac{45,0 \cdot 7,8 \cdot 5,4^3}{20500 \cdot 0,95^3 \cdot 15,0^2} = 0,0140$$

$$\phi = \frac{\delta}{L} = \frac{0,0140}{15,0} = 0,00093$$

onde ϕ é o giro da cantoneira devido ao momento (P.e).

CAPÍTULO 3 – DIMENSIONAMENTO DOS MODELOS E CARGAS A SEREM UTILIZADOS

3.1 - AVALIAÇÃO DAS CARGAS E ESFORÇOS NOS MODELOS

O principal resultado procurado nesta investigação experimental é o comportamento das ligações viga-coluna em regime de trabalho, para obter um parâmetro que caracterize a rigidez da ligação que possa ser utilizado no cálculo de pórticos de edifícios ou plataformas de trabalho.

Os estados limites últimos das ligações foram verificados segundo as indicações do capítulo 2, e garantiu-se que não fossem atingidos em nenhum momento dos ensaios. Da mesma maneira, foram verificadas as vigas dos modelos quanto aos estados limites últimos e limitadas as tensões para que o modelo permanecesse na fase elástica, caracterizada pela proporcionalidade entre tensões e

deformações. Sob tais aspectos e as condições descritas no item 4.3, foram limitadas as cargas aplicadas a cada modelo.

As principais características geométricas dos perfis utilizados para a execução dos modelos estão indicadas na tabela 1.

Os esquemas de ensaio utilizados estão na figura 18 para os modelos A e B e na figura 31 para os modelos C.

Os resultados dos cálculos de verificação estão nas páginas seguintes.

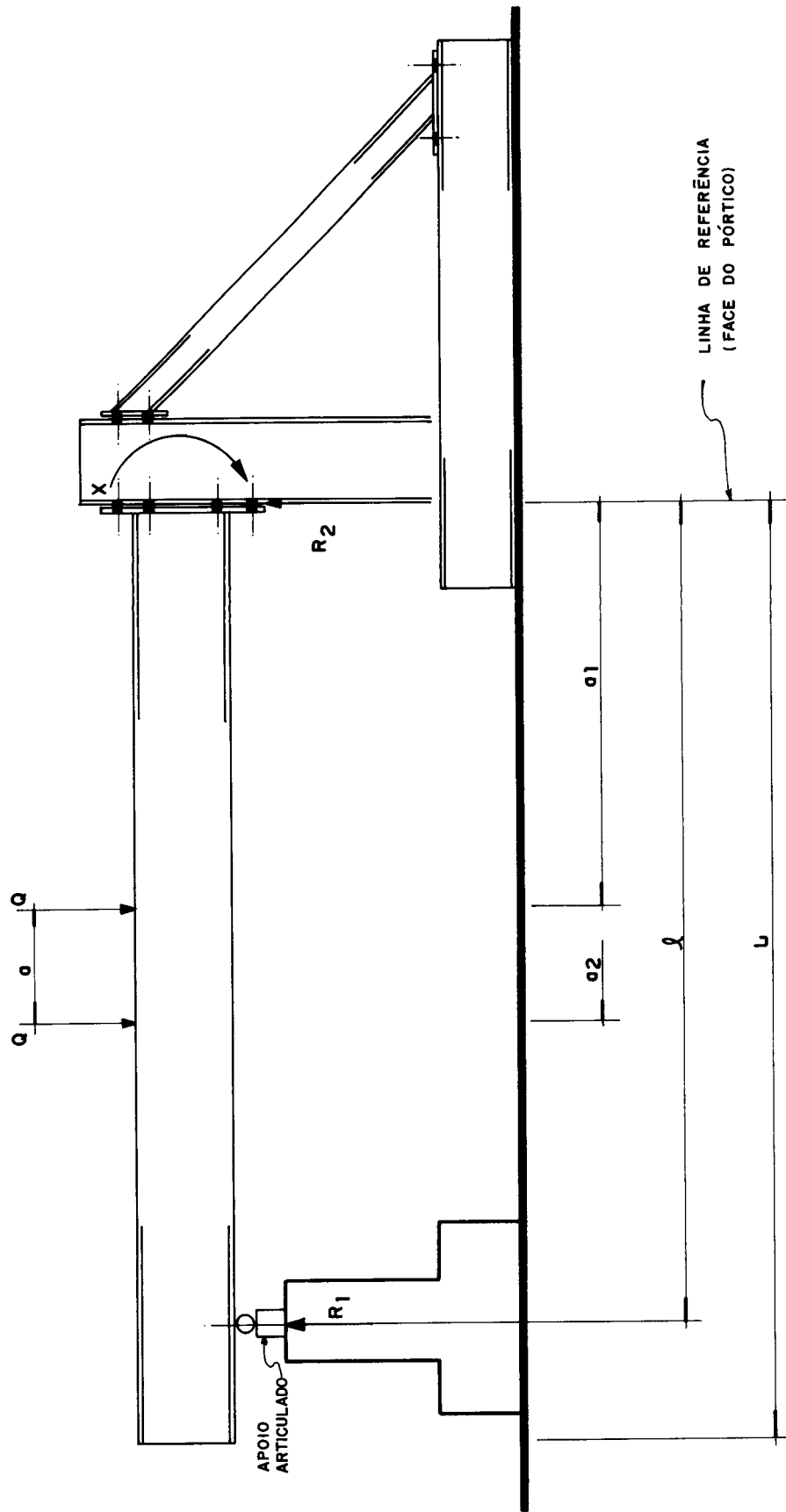


FIGURA 18 - ESQUEMA DE ENSAIO - LIGAÇÕES TIPOS A E B

3.1.1. Avaliação de cargas e esforços nos modelos A e B

Vão Teórico $\ell = 300\text{cm}$

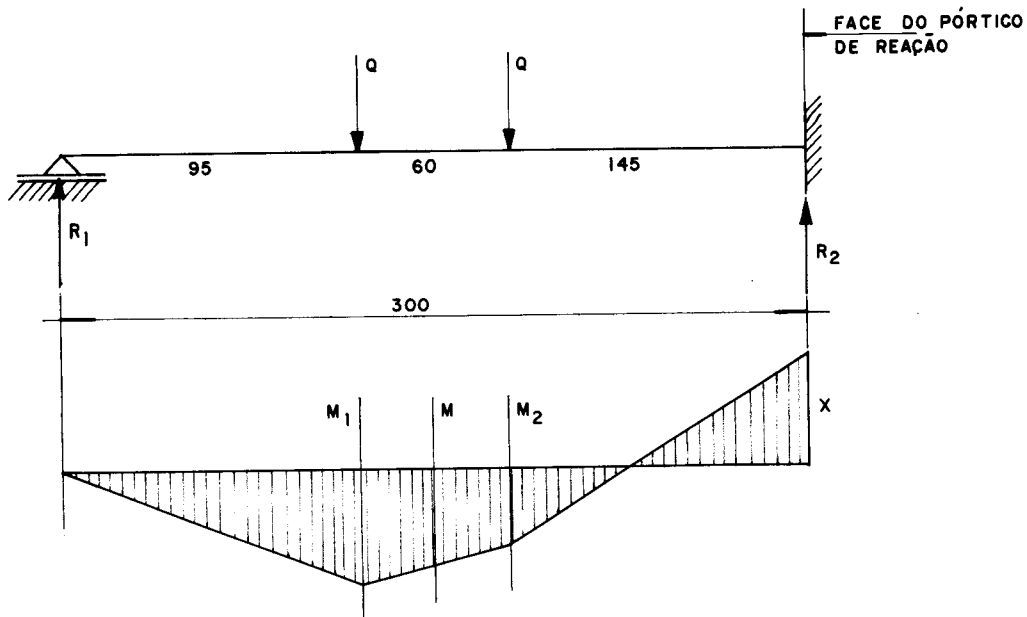


FIGURA 19

$$x_1 = \frac{P_{ab}}{2} (\ell + b)$$

$$x = 99,5Q \text{ (kNcm)}$$

$$R_1 = 0,83Q \text{ (kN)}$$

$$R_2 = 1,17Q \text{ (kN)}$$

$$M_1 = 78,8Q \text{ (kNcm)}$$

$$M_2 = 68,6Q \text{ (kNcm)}$$

$$M = 73,7Q \text{ (kNcm)}$$

Vão Teórico $\ell = 350\text{cm}$

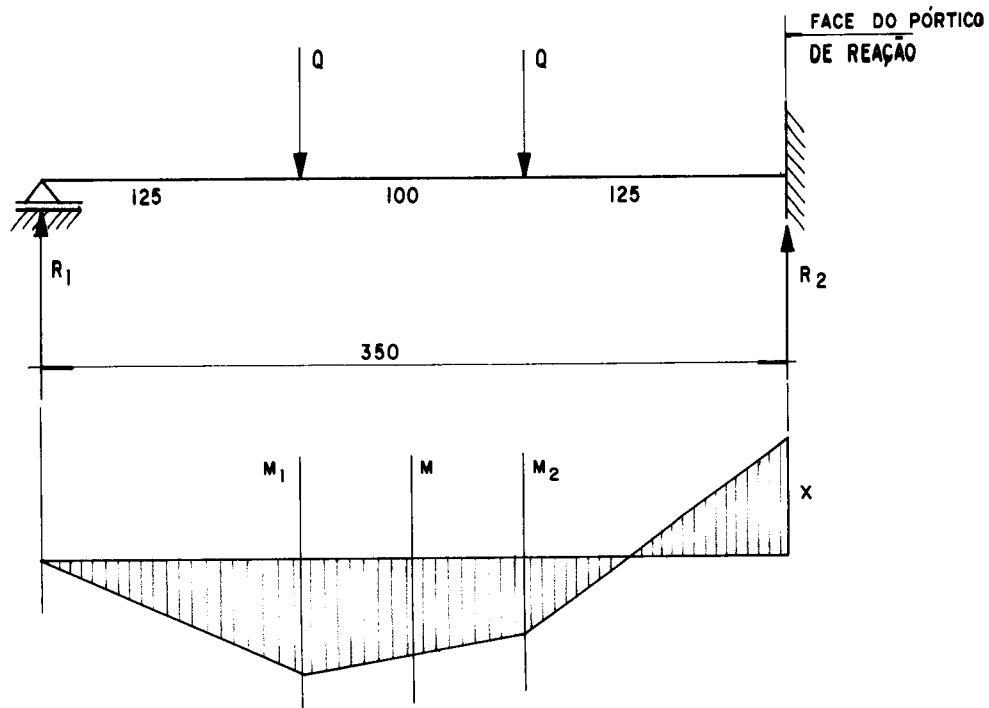


FIGURA 20

$$x_1 = \frac{P_{ab}}{2} (\ell + b)$$

$$x = 121,0Q$$

$$R_1 = 0,66Q$$

$$R_2 = 1,34Q$$

$$M_1 = 82,0Q$$

$$M_2 = 48,0Q$$

$$M = 65,0Q$$

Vão Teórico $\ell = 400\text{cm}$

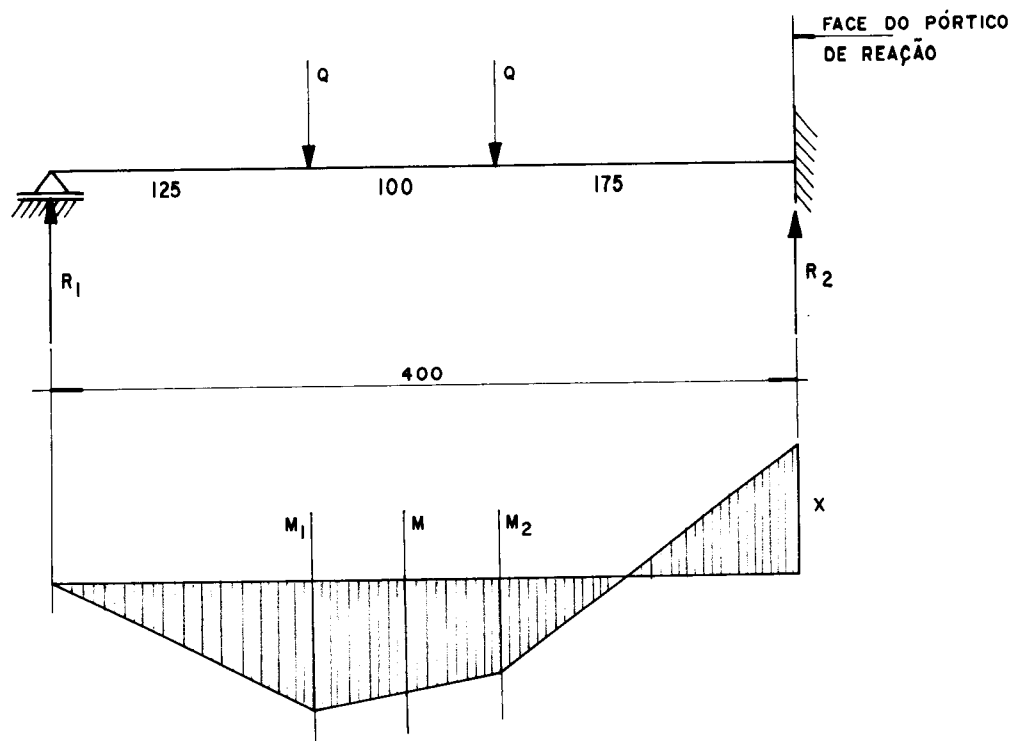


FIGURA 21

$$x_1 = \frac{Q_{ab}}{2\ell^2} (\ell + b)$$

$$x = 133,0Q$$

$$R_1 = 0,79Q$$

$$R_2 = 1,21Q$$

$$M_1 = 99,0Q$$

$$M_2 = 78,0Q$$

$$M = 88,0Q$$

Vão Teórico $\ell = 450\text{cm}$

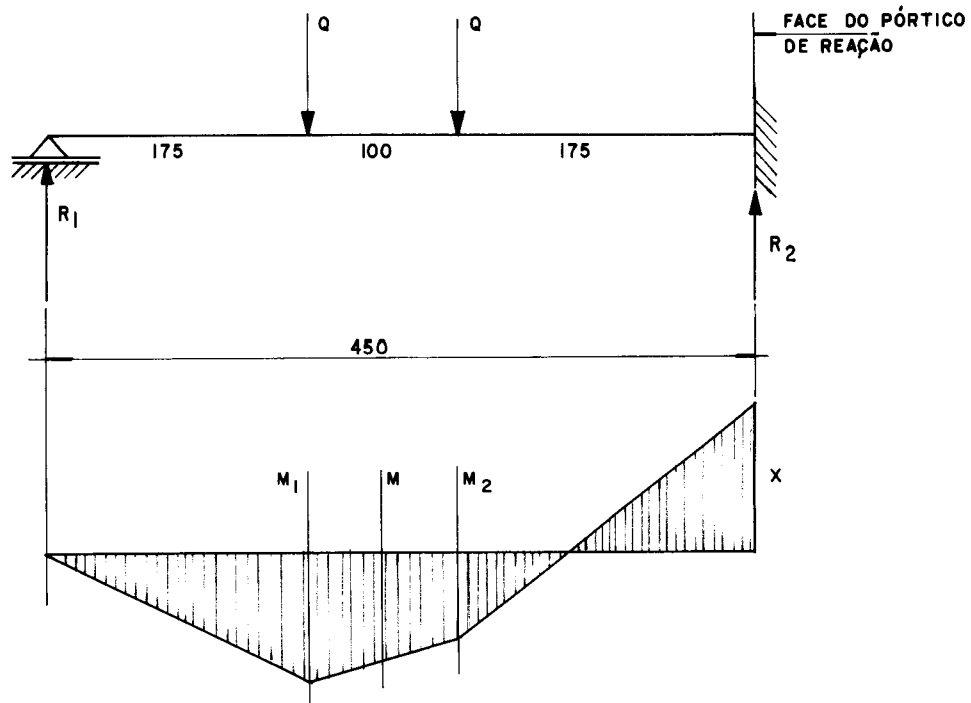


FIGURA 22

$$x_1 = \frac{Q_{ab}}{2\ell^2} (\ell + b)$$

$$x = 160,0Q$$

$$R_1 = 0,64Q$$

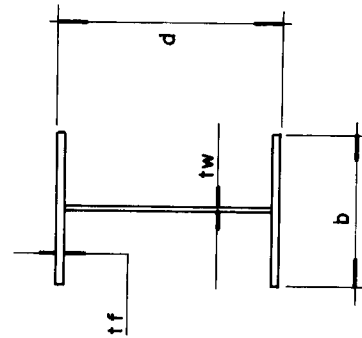
$$R_2 = 1,36Q$$

$$M_1 = 113,0Q$$

$$M_2 = 77,0Q$$

$$M = 95,0Q$$

MODELO	VIGA	d (mm)	b (mm)	t _w (mm)	t _f (mm)	A _g cm ²	I _x cm ⁴	W _x cm ³	Z _x cm ³	I _y cm ⁴	h _f cm
V01	I 6"	152	85	5.8	9.2	23.6	919	121	139	76	14.6
V02	I 8"	203	102	8.9	10.8	38.9	2540	250	291	166	19.2
V03	I 10"	254	122	11.5	12.5	56.9	5610	442	522	312	24.1
V04	I 12"	305	137	14.5	16.7	85.4	11960	784	933	603	28.8
V05	VS 300	305	126	6.3	12.7	49.6	8533	559	590	334	29.2
V06	VS 400	405	150	6.3	12.7	62.0	16602	820	974	715	39.2
V07	VS 450	450	200	6.3	12.7	77.9	27607	1227	1395	1694	43.7
V08	VS 500	550	250	6.3	12.7	93.4	41378	1655	1902	3308	48.7



SEÇÃO TRANSVERSAL TÍPICA

TABELA 1 - CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DAS SEÇÕES

MODELO	VIGA	σ_1 (cm)	σ_2 (cm)	ρ (cm)	L (cm)	Q (KN)	R1 (KN)	R2 (KN)	X (KN cm)	M (KNcm)
V01	I6"	145	205	300	352	20.0	16.6	23.4	1990	1474
V02	I8"	145	205	300	352	40.0	33.2	46.8	3980	2948
V03	I10"	125	225	350	402	60.0	39.6	80.4	7260	3900
V04	I12"	125	225	350	402	70.0	46.2	93.8	8470	4550
V05	VS 300	175	275	400	453	70.0	55.3	84.7	9310	6160
V06	VS 400	175	275	400	453	70.0	55.3	84.7	9310	6160
V07	VS 450	175	275	450	503	70.0	44.8	95.2	11200	6650
V08	VS 500	175	275	450	503	100.0	64.0	136.0	16000	9500

TABELA 2 — DIMENSÕES E CARREGAMENTOS - MODELOS (A) & (B)

3.1.2 - Verificação dos estados limites últimos e das tensões máximas para os modelos A e B.

Os modelos A foram ensaiados conforme esquema da figura 18 com chapas de topo e utilizando parafusos de alta resistência A-325 e os modelos B foram ensaiados conforme o mesmo esquema utilizando parafusos A-307.

Nas páginas seguintes estão os cálculos de verificação dos estados limites últimos das vigas e das ligações, bem como as tensões máximas para cada elemento. Estas verificações foram efetuadas para indicação do processo adotado e para comparação com as leituras obtidas durante os ensaios.

-VIGA V01 (I 6")

Verificação dos estados limites

- Flexão

$$\text{F.L.M} - \frac{b}{2t_f} = \frac{8,5}{2 \cdot 0,92} = 4,6 < \lambda_p \longrightarrow M_n = M_{p\ell}$$

$$\text{F.L.A} - \frac{h}{t_v} = \frac{13,4}{0,58} = 23,1 < y_p \longrightarrow M_n = M_{p\ell}$$

F.L.T - não será verificado pois a viga estará
contraventada lateralmente.

$$M_n = M_{p\ell} = Zf_y$$

$$M_n = 139,0 \cdot 25,0 = 3475 \text{ kNcm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \cdot M_n = 0,9 \cdot 3475 = 3127 \text{ kNcm} > M_{\max} = 1990 \text{ kNcm}$$

A tensão máxima na viga será

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W} = \frac{1990}{121} = 16,4 \text{ kN/cm}^2$$

- Cisalhamento

$$\frac{h}{t_v} = 23,1 < \lambda_p \longrightarrow V_n = V_{p\ell}$$

$$V_{p\ell} = 0,6 \cdot A_w f_y$$

$$V_{p\ell} = 0,6 \cdot 15,2 \cdot 0,58 \cdot 25,0 = 132,2 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = 0,9 \cdot V_{pl} = 0,9 \cdot 132,2 = 119,0 \text{ kN} > V_{\max} = 23,4 \text{ kN}$$

- Dimensionamento da ligação (Mann & Morris)

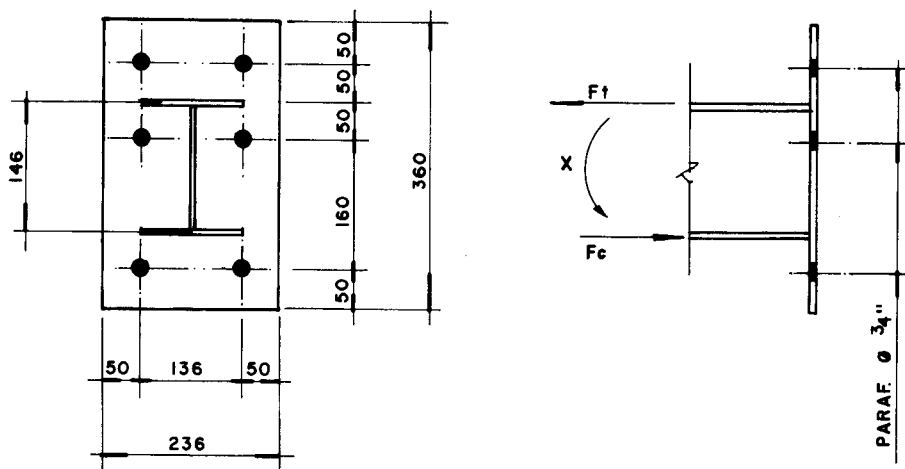


FIGURA 23

$$F_t = \frac{X}{h_f} = \frac{1990}{14,6} = 136,3 \text{ kN}$$

Para os parafusos tem-se

$$P_u = \frac{1,33F_t}{4} = \frac{1,33 \cdot 136,3}{4} = 45,3 \text{ kN}$$

$$\phi_t R_{nt} = \phi_t \cdot 0,75 A_p f_u$$

$$\phi_t R_{nt} = 0,75 \cdot 0,75 \cdot 2,85 \cdot 82,5 = 132,2 \text{ kN} > P_u \quad (\text{A-325})$$

$$\phi_t R_{nt} = 0,65 \cdot 0,75 \cdot 2,85 \cdot 41,5 = 57,6 \text{ kN} > P_u \quad (\text{A-307})$$

A tensão no parafuso será

$$\sigma = \frac{45,3}{2,85} = 15,9 \text{ kN/cm}^2 \rightarrow \text{considerando o efeito alavanca}$$

$$\sigma = \frac{136,3}{4 \cdot 2,85} = 11,9 \text{ kN/cm}^2 \rightarrow \text{sem o efeito alavanca}$$

Para a chapa tem-se:

$$t = \sqrt{\frac{F_t \cdot m}{f_y \cdot B}} = \sqrt{\frac{136,3 \cdot 5,0}{25,0 \cdot 23,6}}$$

$$t = 1,13 \text{ cm} \quad \text{chapa adotada } 1,27 \text{ cm (1/2")}$$

VIGA V02 (I 8")

Verificação dos estados limites

- Flexão

$$\text{F.L.M} - \frac{b}{2t_f} = \frac{10,2}{2.1,08} = 4,7 < \lambda_p \longrightarrow M_n = M_{p\ell}$$

$$\text{F.L.A} - \frac{b}{t_v} = \frac{18,1}{0,89} = 20,3 < \lambda_p \longrightarrow M_n = M_{p\ell}$$

F.L.T - viga contida lateralmente

$$M_n = M_{p\ell} = Z \cdot f_y$$

$$M_n = 291.25,0 = 7275 \text{ kNcm}$$

$$\phi M_n = 0,9M_n = 0,9.7275 = 6547 \text{ kNcm} > M_{\max} = 3980 \text{ kNcm}$$

A tensão na viga será

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W} = \frac{3980}{250} = 15,9 \text{ kN/cm}^2$$

- Cisalhamento

$$\frac{h}{t_v} = 20,3 < \lambda_p \longrightarrow V_n = V_{p\ell}$$

$$V_{p\ell} = 0,6A_v f_y$$

$$V_{p\ell} = 0,6.20,3.0,89.25 = 271,0 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = 0,9 \cdot V_{pl} = 0,9 \cdot 271,0 = 243,9 \text{ kN} > V_{max} = 46,8 \text{ kN}$$

- Dimensionamento da ligação (Mann & Morris)

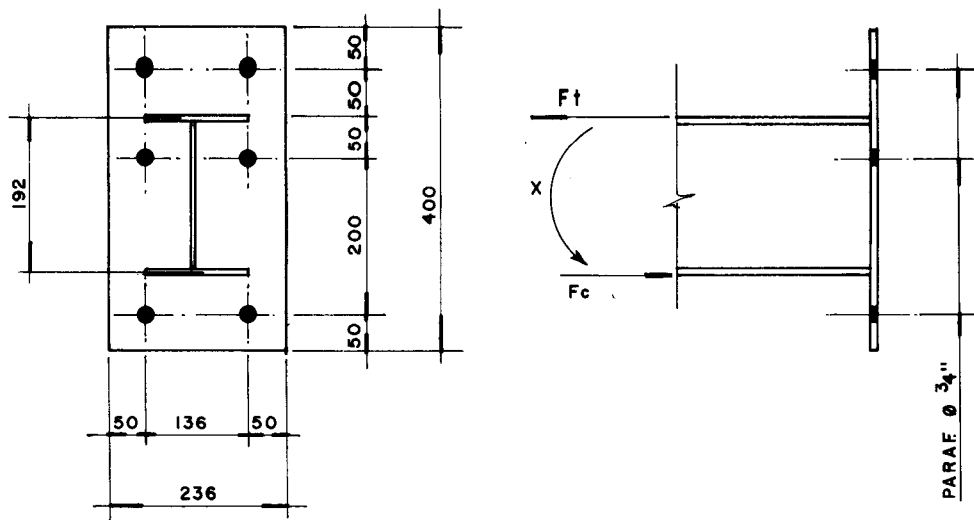


FIGURA 24

$$F_t = \frac{X}{h_f} = \frac{3980}{19,2} = 207,3 \text{ kN}$$

Para os parafusos tem-se

$$P_u = 1,33 \frac{F_t}{4} = \frac{1,33 \cdot 207,3}{4} = 68,9 \text{ kN}$$

$$\phi_t R_{nt} = 132,2 \text{ kN} > P_u \quad (\text{A-325})$$

$$\phi_t R_{nt} = 57,6 \text{ kN} < P_u^* \quad (\text{A-307})$$

(*) Neste ensaio deverá ser observado o comportamento dos parafusos.

A tensão nos parafusos será

$$\sigma = \frac{68,9}{2,85} = 24,2 \text{ kN/cm}^2 \quad \text{com efeito o alavanca}$$

$$\sigma = \frac{207,3}{4.2,85} = 18,2 \text{ kN/cm}^2 \quad \text{sem efeito o alavanca}$$

Para a chapa tem-se

$$t = \sqrt{\frac{F_t \cdot m}{f_y \cdot B}} = \sqrt{\frac{207,3 \cdot 5,0}{25,0 \cdot 23,6}}$$

$$t = 1,32 \text{ cm} \quad \text{chapa adotada 1,59 (5/8)}$$

VIGA V03 (I 10")

Verificação dos estados limites

- Flexão

$$\text{F.L.M} - \frac{b}{2t_f} = \frac{12,2}{2 \cdot 1,25} = 4,9 < \lambda_p \longrightarrow M_n = M_{p\ell}$$

$$\text{F.L.A} - \frac{h}{t_v} = \frac{22,9}{11,5} = 19,9 < \lambda_p \longrightarrow M_n = M_{p\ell}$$

F.L.T. \longrightarrow viga contida lateralmente

$$M_n = M_{p\ell} = Z \cdot f_y$$

$$M_n = 522 \cdot 25,0 = 13050 \text{ kNcm}$$

$$\phi M_n = 0,9 M_n = 0,90 \cdot 13050 = 11745 \text{ kNcm} > M_{\max} = 7260 \text{ kNcm}$$

A tensão na viga será

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W} = \frac{7260}{442} = 16,4 \text{ kN/cm}^2$$

- Cisalhamento

$$\frac{h}{t_v} = 19,9 < \lambda_p \longrightarrow V_n = V_{p\ell}$$

$$V_{p\ell} = 0,6 A_v f_y =$$

$$V_{p\ell} = 0,6 \cdot 25,4 \cdot 1,15 \cdot 25,0 = 438,1 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = 0,9 \cdot V_{pl} = 0,9 \cdot 438,1 = 394,3 > V_{max} = 80,4 \text{ kN}$$

- Dimensionamento da ligação (Mann & Morris)

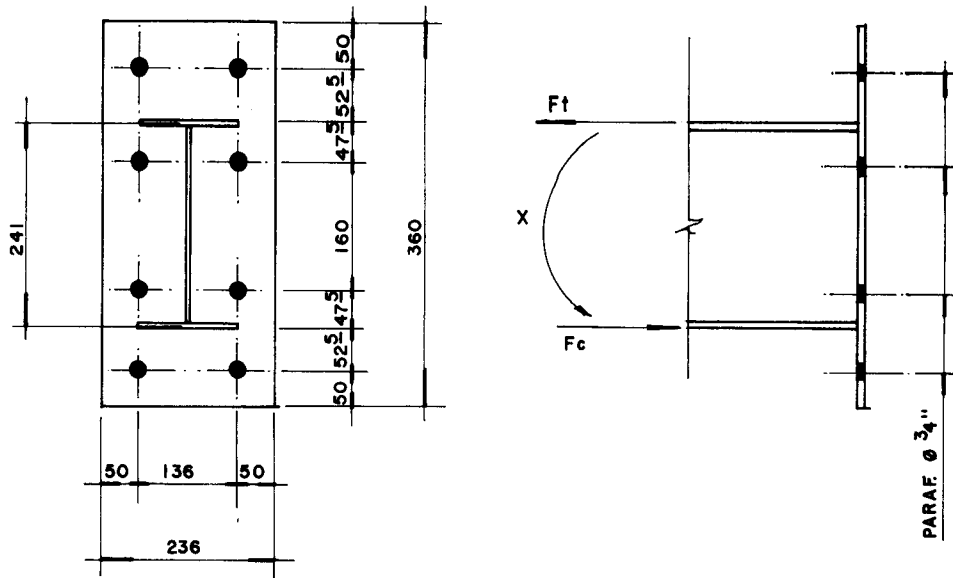


FIGURA 25

$$F_t = \frac{X}{h_f} = \frac{7260}{24,1} = 301,2 \text{ kN}$$

Para os parafusos tem-se

$$P_u = 1,33 \frac{F_t}{4} = 100,1 \text{ kN}$$

$$\phi_t R_{nt} = 132,2 \text{ kN} > P_u \quad (\text{A-325})$$

$$\phi_t R_{nt} = 57,6 \text{ kN} < P_u (*) \quad (\text{A-307})$$

(*) Observar o comportamento dos parafusos durante o ensaio.

A tensão no parafuso será

$$\sigma = \frac{100,1}{2,85} = 35,1 \text{ kN/cm}^2 \text{ com efeito o alavanca}$$

$$\sigma = \frac{301,2}{4,2,85} = 26,4 \text{ kN/cm}^2 \text{ sem efeito o alavanca}$$

Para a chapa tem-se

$$t = \sqrt{\frac{F_t \cdot m}{f_y \cdot B}} = \sqrt{\frac{301,2 \cdot 4,7}{25,0 \cdot 23,6}}$$

$$t = 1,55 \text{ cm} \quad \text{chapa adotada } 1,9 \text{ (3/4")}$$

VIGA V04 (I 12")

Verificação dos estados limites

- Flexão

$$\text{F.L.M} - \frac{b}{2t_f} = \frac{13,7}{2 \cdot 1,1,67} = 4,1 < \lambda_p \rightarrow M_n = M_{p\ell}$$

$$\text{F.L.A} - \frac{h}{t_v} = \frac{27,2}{1,45} = 18,7 < \lambda_p \rightarrow M_n = M_{p\ell}$$

F.L.T. \rightarrow viga contida lateralmente

$$M_n = M_{p\ell} = Z \cdot f_y$$

$$M_n = 933.25,0 = 23325 \text{ kNcm}$$

$$\phi M_n = 0,9M_n = 0,9 \cdot 23325 = 20992 \text{ kNcm} > M_{\max} = 8470 \text{ kNcm}$$

A tensão na viga será

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W} = \frac{8470}{784} = 10,8 \text{ kN/cm}^2$$

- Cisalhamento

$$\frac{h}{t_v} = 18,7 < \lambda_p \rightarrow V_n = V_{p\ell}$$

$$V_{p\ell} = 0,6A_v f_y =$$

$$V_{p\ell} = 0,6 \cdot 30,5 \cdot 1,45 \cdot 25,0 = 663,4 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = 0,9 \cdot V_{p\ell} = 0,9 \cdot 663,4 = 597,1 \text{ kN} > V_{\max} = 93,8 \text{ kN}$$

- Dimensionamento da ligação (Mann & Morris)

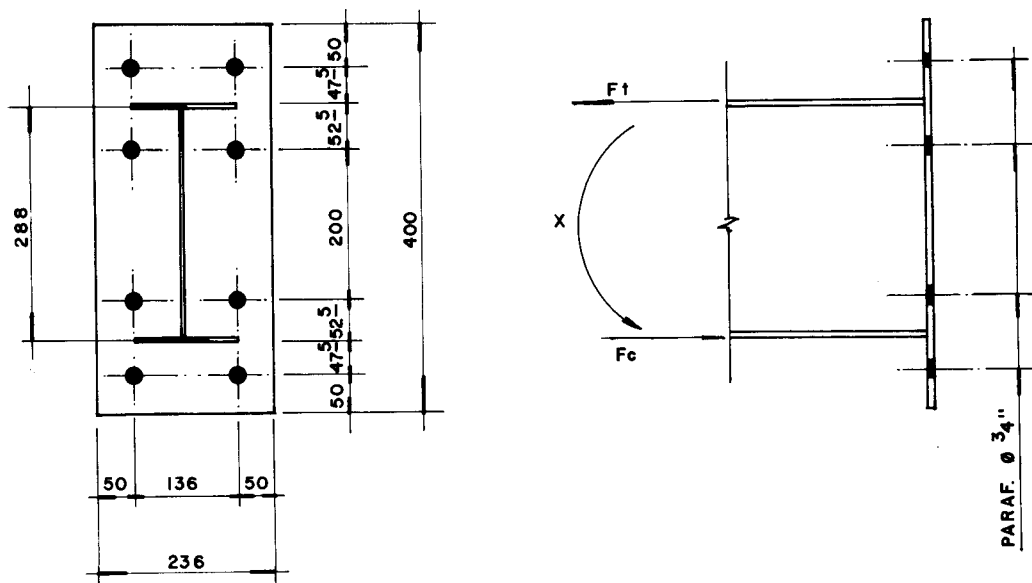


FIGURA 26

$$F_t = \frac{X}{h_f} = \frac{8470}{28,8} = 294,0 \text{ kN}$$

Para os parafusos tem-se

$$P_u = \frac{1,33 F_t}{4} = \frac{1,33 \cdot 294,0}{4} = 97,8 \text{ kN}$$

$$\phi_t R_{nt} = 132,2 \text{ kN} > P_u \quad (\text{A 325})$$

$$\phi_t Rn_t = 57,6 \text{ kN} < P_u (*) \quad (\text{A } 307)$$

A tensão nos parafusos será

$$\sigma = \frac{97,8}{2,85} = 34,3 \text{ kN/cm}^2 \quad \text{com efeito o alavanca}$$

$$\sigma = \frac{294,0}{4.2,85} = 25,8 \text{ kN/cm}^2 \quad \text{sem efeito o alavanca}$$

Para a chapa tem-se:

$$t = \sqrt{\frac{F_t \cdot m}{f_y \cdot B}} = \sqrt{\frac{294,0 \cdot 4,7}{25,0 \cdot 23,6}}$$

$$t = 1,53 \text{ cm} \quad \text{chapa adotada } 1,9 \text{ (3/4")}$$

(*) Observar o comportamento dos parafusos.

VIGA V05 (VS 300)

Verificação dos estados limites

- Flexão

$$\text{F.L.M} - \frac{b}{2t_f} = \frac{12,6}{2 \cdot 1,27} = 4,9 < \lambda_p \longrightarrow M_n = M_{p\ell}$$

$$\text{F.L.A} - \frac{h}{t_v} = \frac{27,9}{0,63} = 44,3 < \lambda_p \longrightarrow M_n = M_{p\ell}$$

F.L.T. \longrightarrow viga contida lateralmente

$$M_n = M_{p\ell} = Z \cdot f_y$$

$$M_n = 590 \cdot 25,0 = 14750 \text{ kNcm}$$

$$\phi M_n = 0,9 M_n = 0,90 \cdot 14750 = 13275 \text{ kNcm} > M_{\max} = 9310 \text{ kNcm}$$

A tensão na viga será

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W} = \frac{9310}{559} = 16,6 \text{ kN/cm}^2$$

- Cisalhamento

$$\frac{h}{t_v} = 44,3 < \lambda_p \longrightarrow V_n = V_{p\ell}$$

$$V_{p\ell} = 0,6 A_v f_y$$

$$V_{p\ell} = 0,6 \cdot 27,9 \cdot 0,63 \cdot 25,0 = 263,6 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = 0,9 \cdot V_{p\ell} = 0,9 \cdot 263,6 = 237,3 \text{ kN} > V_{\max} = 84,7 \text{ kN}$$

- Dimensionamento da ligação (Mann & Morris)

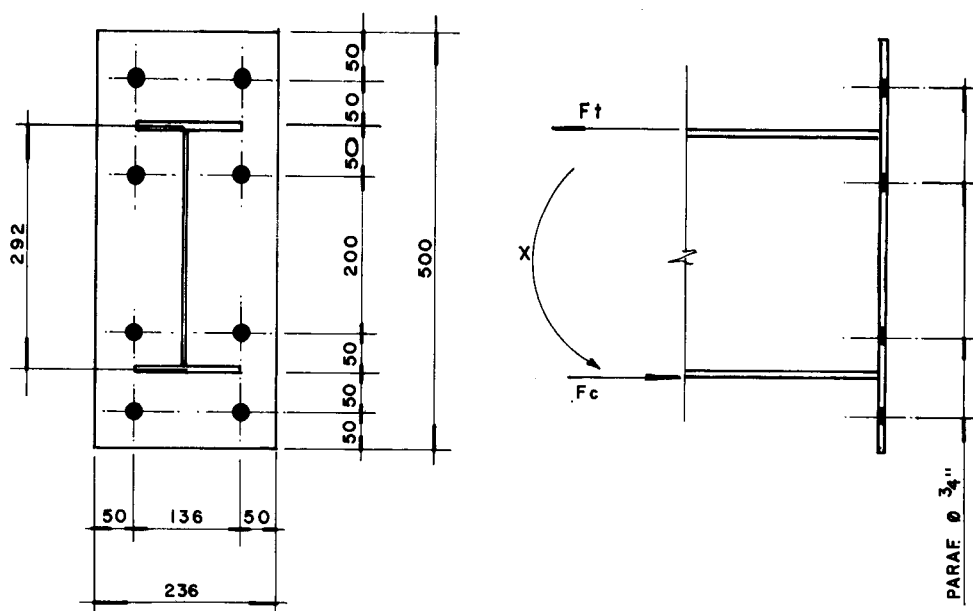


FIGURA 27

$$F_t = \frac{X}{h_f} = \frac{9310}{29,2} = 318,8 \text{ kN}$$

Para os parafusos tem-se:

$$P_u = \frac{1,33 F_t}{4} = \frac{1,33 \cdot 318,8}{4} = 106,6 \text{ kN}$$

$$\phi_t Rn_t = 132,2 \text{ kN} > P_u \quad (\text{A-325})$$

$$\phi_t Rn_t = 57,6 \text{ kN} < P_u (*) \quad (\text{A-307})$$

(*) Observar o comportamento dos parafusos durante o ensaio

A tensão nos parafusos será

$$\sigma = \frac{106,0}{2,85} = 37,2 \text{ kN/cm}^2 \text{ com efeito o alavanca}$$

$$\sigma = \frac{318,8}{4.2,85} = 27,9 \text{ kN/cm}^2 \text{ sem efeito o alavanca}$$

Para a chapa tem-se:

$$t = \sqrt{\frac{F_t \cdot m}{f_y \cdot B}} = \sqrt{\frac{318,8 \cdot 5,0}{25,0 \cdot 23,6}}$$

$$t = 1,64 \text{ cm} \quad \text{chapa adotada } 1,9\text{cm (3/4")}$$

VIGA V06 (VS 400)

Verificação dos estados limites

- Flexão

$$\text{F.L.M} - \frac{b}{2t_f} = \frac{15,0}{2.1,27} = 5,9 < \lambda_p \longrightarrow M_n = M_{p\ell}$$

$$\text{F.L.A} - \frac{h}{t_v} = \frac{37,9}{0,63} = 60,1 < \lambda_p \longrightarrow M_n = M_{p\ell}$$

$$M_n = M_{p\ell} = Z \cdot f_y$$

$$M_n = 974.25 = 24350 \text{ kNcm}$$

$$\phi M_n = 0,9M_n = 0,90.24350 = 21915 \text{ kNcm} > M_{\max} = 9310 \text{ kNcm}$$

A tensão na viga será

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W} = \frac{9310}{820} = 11,3 \text{ kN/cm}^2$$

- Cisalhamento

$$\frac{h}{t_v} = 60,1 < \lambda_p \longrightarrow V_n = V_{p\ell}$$

$$V_{p\ell} = 0,6A_v f_y$$

$$V_{p\ell} = 0,6.37,9.0,63.25,0 = 358,1 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = 0,9 \cdot V_{pl} = 0,9 \cdot 358,1 = 322,3 \text{ kN} > V_{\max} = 84,7 \text{ kN}$$

- Dimensionamento da ligação (Mann & Morris)

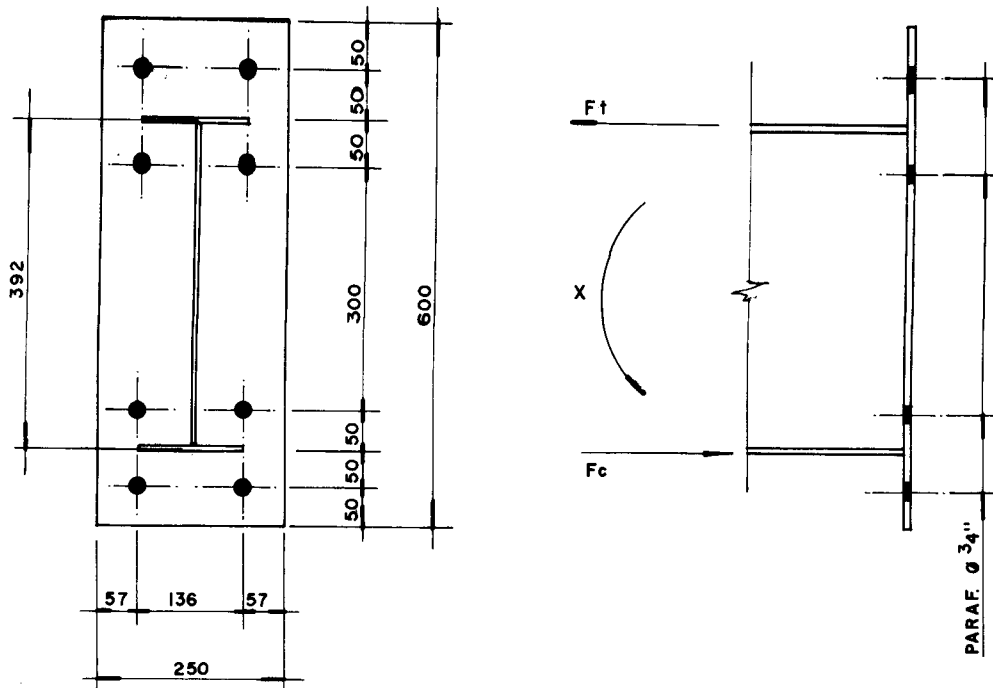


FIGURA 28

$$F_t = \frac{X}{h_f} = \frac{9310}{39,2} = 237,5 \text{ kN}$$

Para os parafusos tem-se

$$P_u = \frac{1,33 \cdot 237,5}{4} = 79,0 \text{ kN}$$

$$\phi_t R_{nt} = 132,2 \text{ kN} > P_u \quad (\text{A-325})$$

$$\phi_t R_{nt} = 57,6 \text{ kN} < P_u (*) \quad (\text{A-307})$$

(*) Observar o comportamento dos parafusos durante o ensaio.

A tensão nos parafusos será

$$\sigma = \frac{79,0}{2,85} = 27,7 \text{ kN/cm}^2 \text{ com efeito alavanca}$$

$$\sigma = \frac{2375}{4.2,85} = 20,8 \text{ kN/cm}^2 \text{ sem efeito alavanca}$$

Para a chapa tem-se

$$t = \sqrt{\frac{F_t \cdot m}{f_y \cdot B}} = \sqrt{\frac{237,5 \cdot 5,0}{25,0 \cdot 25,0}}$$

$$t = 1,38 \text{ cm} \quad \text{chapa adotada } 1,9\text{cm (3/4")}$$

VIGA V07 (VS 450)

Verificação dos estados limites

- Flexão

$$\text{F.L.M} - \frac{b}{2t_f} = \frac{20,0}{2 \cdot 1,27} = 7,9 < \lambda_p \longrightarrow M_n = M_{p\ell}$$

$$\text{F.L.A} - \frac{h}{t_v} = \frac{44,7}{0,63} = 71,0 < \lambda_p \longrightarrow M_n = M_{p\ell}$$

F.L.T. \longrightarrow viga contida lateralmente

$$M_n = M_{p\ell} = Z \cdot f_y$$

$$M_n = 1395,25,0 = 34875 \text{ kNcm}$$

$$\phi M_n = 0,9 M_n = 0,90 \cdot 34875 = 31387 \text{ kNcm} > M_{\max} = 11200 \text{ kNcm}$$

A tensão na viga será

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W} = \frac{11200}{1227} = 9,1 \text{ kN/cm}^2$$

- Cisalhamento

$$\frac{h}{t_v} = 71,0 < \lambda_p \longrightarrow V_n = V_{p\ell}$$

$$V_{p\ell} = 0,6 A_v f_y$$

$$V_{p\ell} = 0,6 \cdot 44,7 \cdot 0,63 \cdot 25,0 = 422,4 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = 0,9 \cdot V_{p\ell} = 0,9 \cdot 422,4 = 380,2 \text{ kN} > V_{\max} = 95,2 \text{ kN}$$

- Dimensionamento da ligação (Mann & Morris)

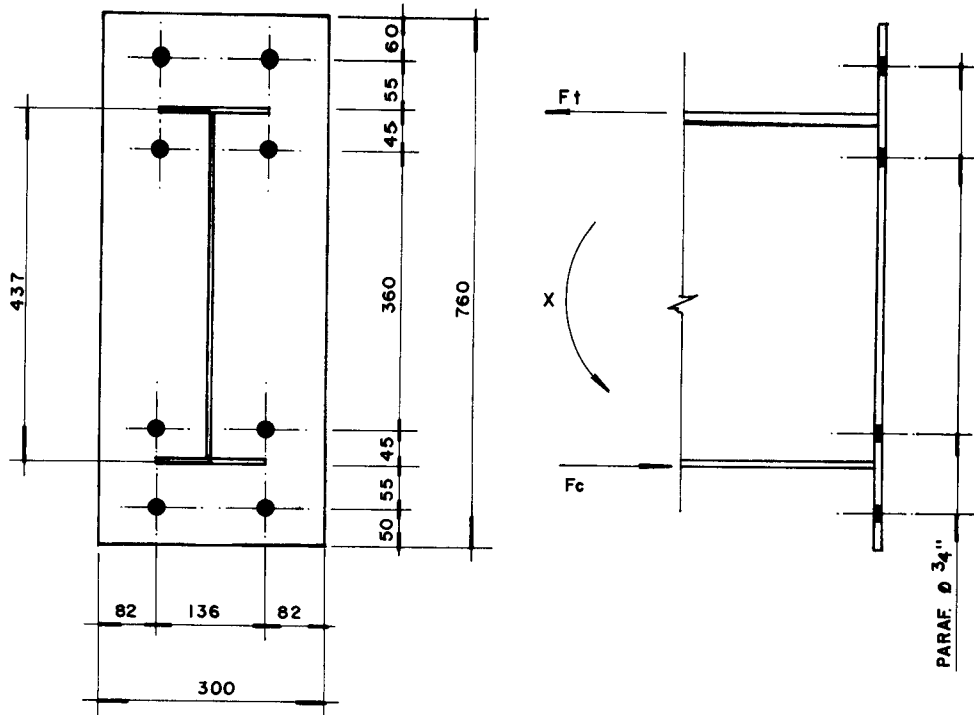


FIGURA 29

$$F_t = \frac{X}{h_f} = \frac{11200}{43,7} = 256,3 \text{ kN}$$

Para os parafusos tem-se:

$$P_u = \frac{1,33 F_t}{4} = \frac{1,33 \cdot 256,3}{4} = 85,2 \text{ kN}$$

$$\phi_t R_{n_t} = 132,2 \text{ kN} > P_u \quad (\text{A-325})$$

$$\phi_t R_{n_t} = 57,6 \text{ kN} < P_u (*) \quad (\text{A-307})$$

(*) Observar o comportamento dos parafusos durante o ensaio.

A tensão nos parafusos será

$$\sigma = \frac{85,2}{2,85} = 29,9 \text{ kN/cm}^2 \text{ com efeito o alavanca}$$

$$\sigma = \frac{2563}{4.2,85} = 22,5 \text{ kN/cm}^2 \text{ sem efeito o alavanca}$$

Para a chapa tem-se:

$$t = \sqrt{\frac{F_t \cdot m}{f_y \cdot B}} = \sqrt{\frac{256,3 \cdot 5,5}{25,0 \cdot 30,0}}$$

$$t = 1,37 \text{ cm} \quad \text{chapa adotada } 1,9\text{cm (3/4")}$$

VIGA V08 (VS 500)

Verificação dos estados limites

- Flexão

$$\text{F.L.M} - \frac{b}{2t_f} = \frac{25,0}{2 \cdot 1,27} = 9,8 < \lambda_p \longrightarrow M_n = M_{p\ell}$$

$$\text{F.L.A} - \frac{h}{t_v} = \frac{47,4}{0,63} = 75,0 < \lambda_p \longrightarrow M_n = M_{p\ell}$$

F.L.T. \longrightarrow viga contida lateralmente

$$M_n = M_{p\ell} = Z \cdot f_y$$

$$M_n = 1902 \cdot 25,0 = 47550 \text{ kNcm}$$

$$\phi M_n = 0,9 M_n = 0,9 \cdot 47550 = 42795 \text{ kNcm} > M_{\max} = 16000 \text{ kNcm}$$

A tensão na viga será

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W} = \frac{16000}{1655} = 9,7 \text{ kN/cm}^2$$

- Cisalhamento

$$\lambda = 94,0 > \frac{h}{t_v} = 75 > \lambda_p = 71$$

$$V_n = \frac{\lambda_p}{\lambda} V_{p\ell}$$

$$V_{p\ell} = 0,6A_v f_y$$

$$V_{p\ell} = 0,6 \cdot 47,4 \cdot 0,63 \cdot 25,0 = 447,9 \text{ kN}$$

$$V_n = \frac{71}{94} \cdot 447,9 = 4240 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = 0,9 \cdot 4240 = 3816 \text{ kN} > V_{\max} = 136,0 \text{ kN}$$

- Dimensionamento da ligação² (Mann & Morris)

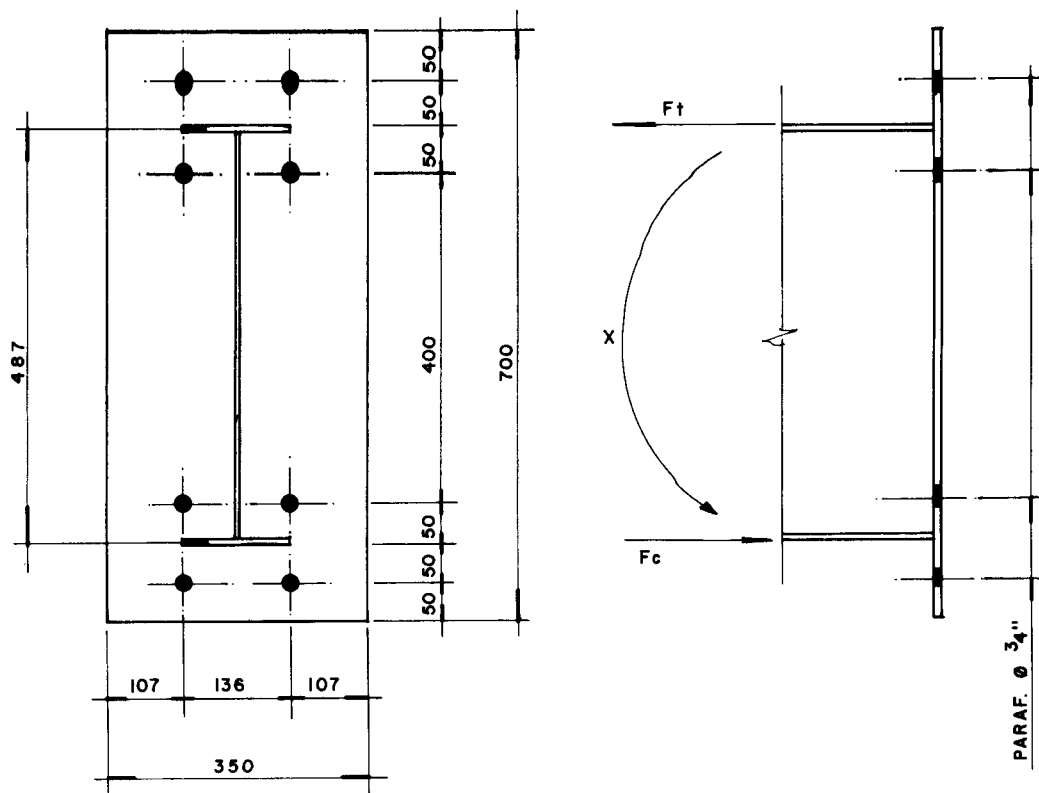


FIGURA 30

$$F_t = \frac{X}{h_f} = \frac{16000}{48,7} = 328,5 \text{ kN}$$

Para os parafusos tem-se:

$$P_u = \frac{1,33 F_t}{4} = 109,2 \text{ kN}$$

$$\phi_t Rn_t = 132,2 \text{ kN} > P_u \quad (\text{A-325})$$

$$\phi_t Rn_t = 57,6 \text{ kN} < P_u (*) \quad (\text{A-307})$$

(*) Observar o comportamento dos parafusos durante o ensaio.

A tensão nos parafusos será

$$\sigma = \frac{109,2}{2,85} = 38,3 \text{ kN/cm}^2 \quad \text{com efeito o alavanca}$$

$$\sigma = \frac{328,5}{4.2,85} = 28,8 \text{ kN/cm}^2 \quad \text{sem efeito o alavanca}$$

Para a chapa tem-se:

$$t = \sqrt{\frac{F_t \cdot m}{f_y \cdot B}} = \sqrt{\frac{328,5 \cdot 5,0}{25,0 \cdot 35,0}}$$

$$t = 1,37 \text{ cm} \quad \text{chapa adotada 1,9cm (3/4")}$$

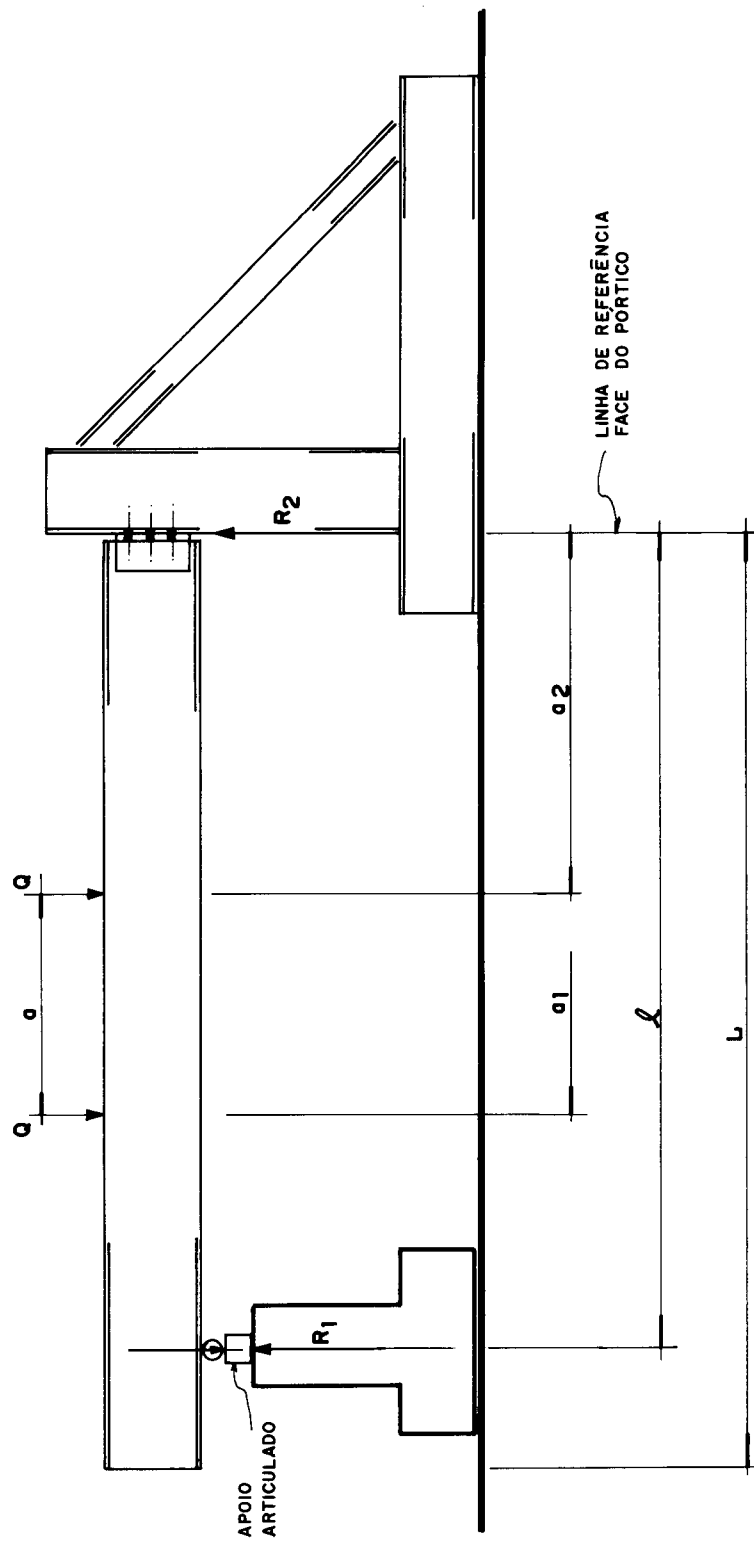


FIGURA 31 - ESQUEMA DE ENSAIO - LIGAÇÃO TIPO C

3.1.3 - Avaliação de cargas e esforços nos modelos C

Vão Teórico $\ell = 300\text{cm}$

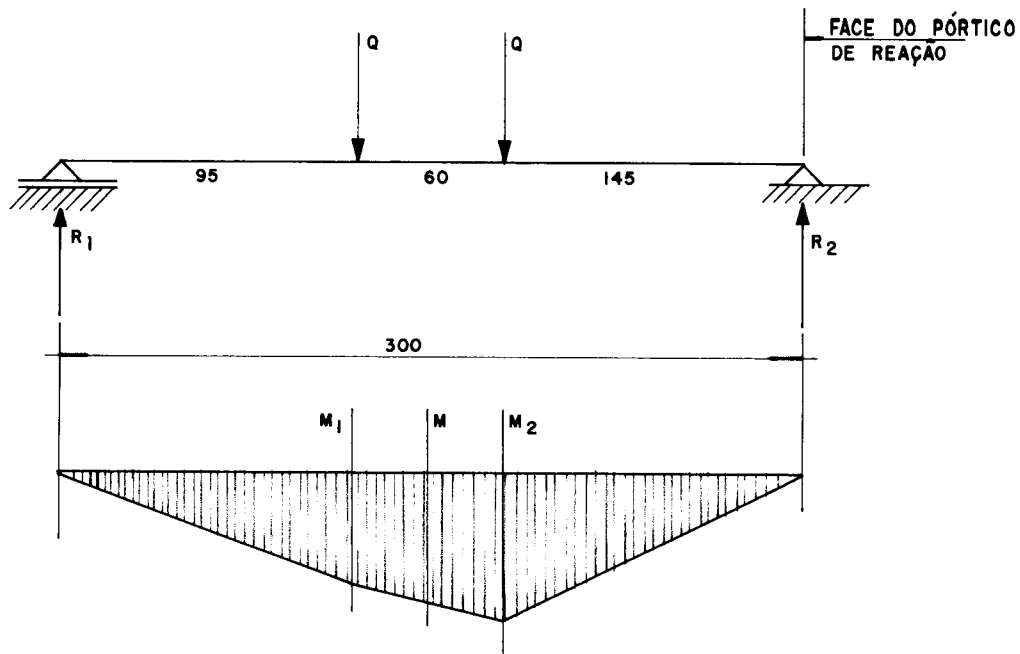


FIGURA 32

$$M = \frac{Qab}{\ell}$$

$$R_1 = 1,17Q \quad (\text{kN})$$

$$R_2 = 0,83Q \quad (\text{kN})$$

$$M_1 = 111,0Q \quad (\text{kNcm})$$

$$M_2 = 121,0Q \quad (\text{kNcm})$$

$$M = 116,0Q \quad (\text{kNcm})$$

Vão Teórico $l = 350\text{CM}$

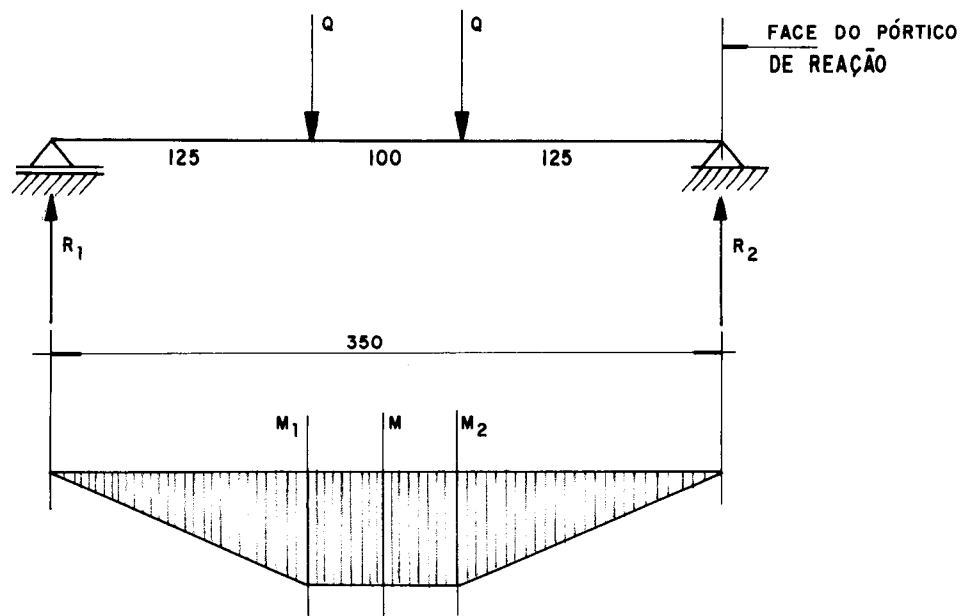


FIGURA 33

$$M = \frac{Qab}{l}$$

$$R_1 = 1,0Q \text{ (kN)}$$

$$R_2 = 1,0Q \text{ (kN)}$$

$$M_1 = 125,0Q \text{ (kNcm)}$$

$$M_2 = 125,0Q \text{ (kNcm)}$$

$$M = 125,0Q \text{ (kNcm)}$$

Vão Teórico $l = 400\text{cm}$

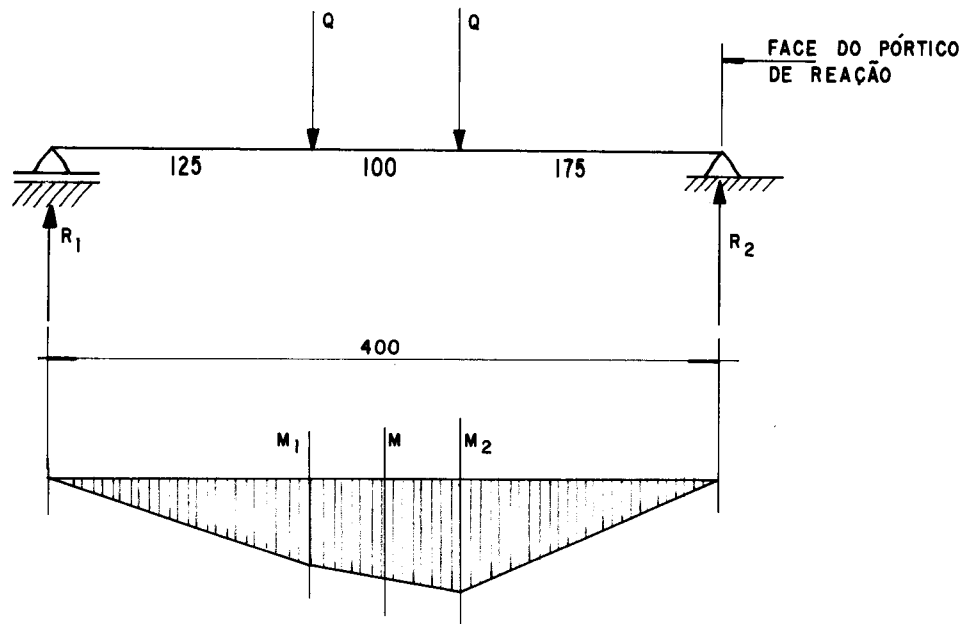


FIGURA 34

$$M = \frac{Qab}{l}$$

$$R_1 = 1,12Q \text{ (kN)}$$

$$R_2 = 0,88Q \text{ (kN)}$$

$$M_1 = 141,0Q \text{ (kNcm)}$$

$$M_2 = 153,0Q \text{ (kNcm)}$$

$$M = 147,0Q \text{ (kNcm)}$$

Vão Teórico $l = 450\text{cm}$

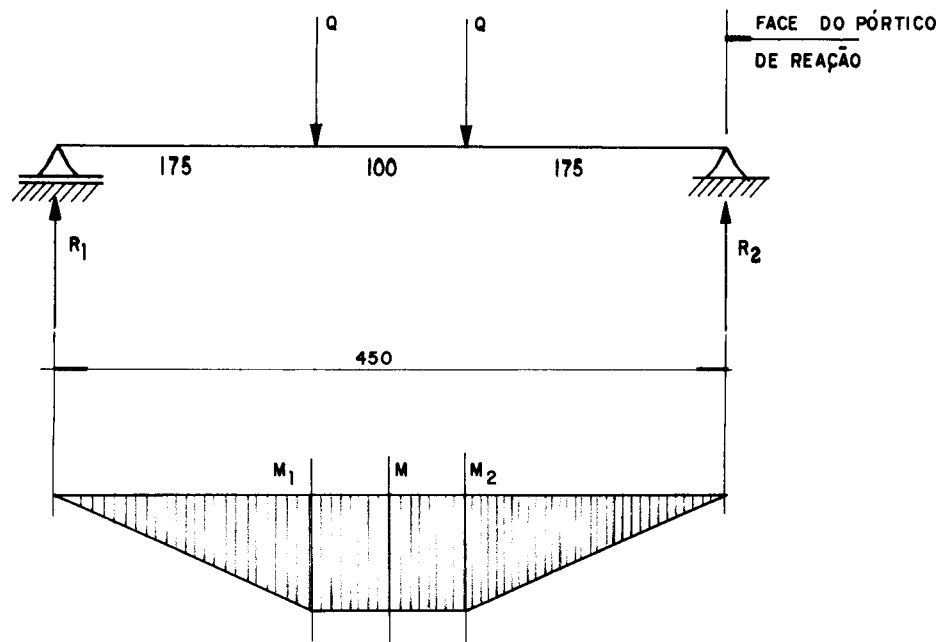


FIGURA 35

$$M = \frac{Qab}{l}$$

$$R_1 = 1,0Q \text{ (kN)}$$

$$R_2 = 1,0Q \text{ (kN)}$$

$$M_1 = 175,0Q \text{ (kNcm)}$$

$$M_2 = 175,0Q \text{ (kNcm)}$$

$$M = 175,0Q \text{ (kNcm)}$$

MODELO	VIGA	a1 cm	a2 cm	l cm	L cm	Q KN	R1 KN	R2 KN	M KNcm
V01	I 6"	145	205	300	352	20.0	23.4	16.6	2320
V02	I 8"	145	205	300	352	40.0	46.8	33.2	4640
V03	I 10"	125	225	350	402	45.0	45.0	45.0	5625
V04	I 12"	125	225	350	402	50.0	50.0	50.0	6250
V05	VS 300	175	275	400	453	50.0	56.0	44.0	7350
V06	VS 400	175	275	400	453	60.0	67.2	52.8	8820
V07	VS 450	175	275	450	503	60.0	60.0	60.0	10500
V08	VS 500	175	275	450	503	75.0	75.0	75.0	13125

TABELA 3 - DIMENSÕES E CARREGAMENTOS - MODELOS (C)

3.1.4 - Verificação dos estados limites últimos e das tensões máximas para os modelos C

Os modelos C foram ensaiados, conforme esquema da figura 31, com cantoneiras soldadas à alma da viga e parafusadas no pórtico de reação, utilizando parafusos do tipo A-325.

Nas páginas seguintes estão os cálculos de verificação dos estados limites últimos das vigas e das ligações e as tensões máximas para cada elemento. O principal resultado procurado é a rigidez da ligação indicada pela deformação máxima e o giro da ligação.

A tensão na cantoneira indicará uma possível reserva de resistência da ligação para momento externo.

As demais tensões calculadas servirão para comparar com as leituras obtidas nos ensaios.

VIGA V01 I 6"

Verificação dos estados limites

Do item 3.1.2 tem-se para

- Flexão

$$\phi_b M_n = 3127 \text{ kNcm} > M_{\max} = 2320 \text{ kNcm}$$

A tensão máxima na viga será

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W} = \frac{2320}{121} = 19,2 \text{ kN/m}^2$$

- Cisalhamento

$$\phi V_n = 119,0 \text{ kN} > V_{\max} = 23,4 \text{ kN}$$

-Dimensionamento da ligação

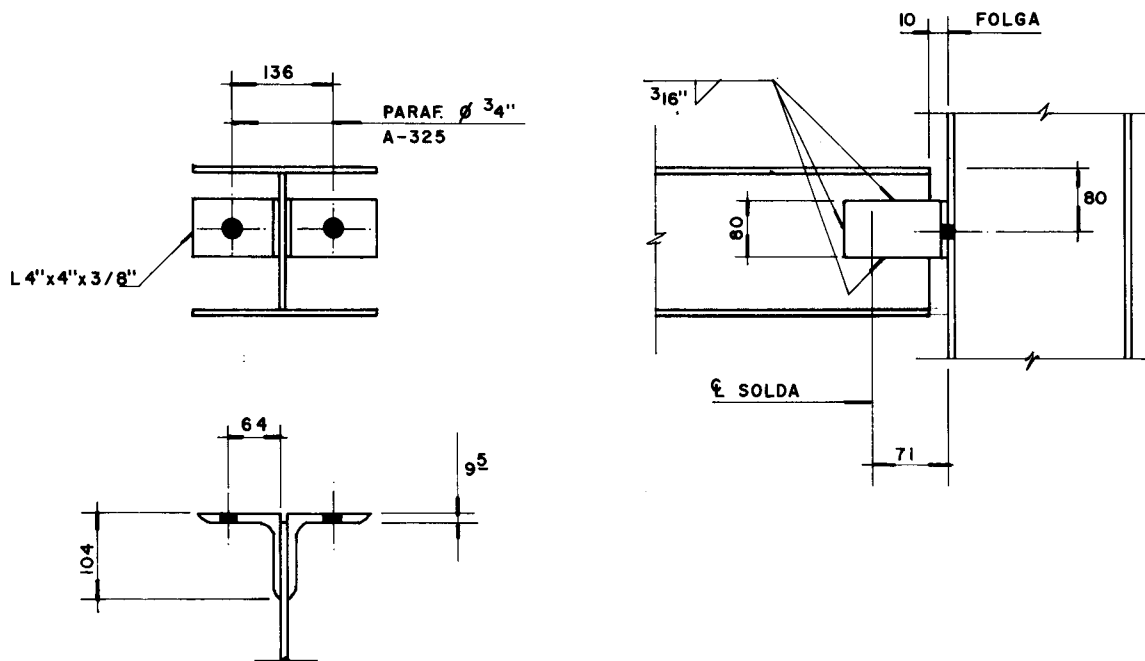


FIGURA 36

a) Verificação do estado limite da solda

$$I_p = \frac{8 \cdot b'^3 + 6b' \cdot L^2 + L^3}{12} - \frac{b'^4}{2b'+L}$$

$$I_p = \frac{8 \cdot 9,4^3 + 6 \cdot 9,4 \cdot 8,0^2 + 8,0^3}{12} - \frac{9,4^4}{2 \cdot 9,4 + 8,0}$$

$$I_p = 606 \text{ cm}^4$$

$$e = b - \frac{b'^2}{2b'+L}$$

$$e = 10,4 - \frac{9,4^2}{26,8} = 7,1 \text{ cm}$$

$$R_v = \frac{P}{2 \cdot b'+L} = \frac{16,6}{26,8} = 0,62 \text{ kN/cm}$$

$$R_x = \frac{Pl}{I_p} \cdot \frac{L}{2} = \frac{16,6 \cdot 7,1}{606} \cdot \frac{8,0}{2} = 0,78 \text{ kN/cm}$$

$$R_y = \frac{Pe}{I_p} (e-m) = \frac{16,6 \cdot 7,1}{606} \cdot 6,1 = 1,19 \text{ kN/cm}$$

$$R = \sqrt{(R_v + R_y)^2 + R_x^2} = \sqrt{(0,62 + 1,19)^2 + 0,78^2}$$

$$R = 1,97 \text{ kN/cm}$$

A força resistente por unidade de comprimento de solda é

$$\phi R_{nv} = \phi 0,60 A_v f_v$$

para $a = 0,47$ (3/16")

$$\phi R_{nv} = 0,75 \cdot 0,60 \cdot 0,47 \cdot 41,5 = 8,8 \text{ kN/cm} > R$$

b) Verificação do estado limite de ruptura dos parafusos, considerando a excentricidade de aplicação da carga ($\phi 3/4 - A/325$)

$$V = \frac{P}{2n} = \frac{16,6}{2} = 8,3 \text{ kN}$$

$$T_1 = \frac{3 \cdot P \cdot e}{2 \cdot L \cdot n} = \frac{3 \cdot 16,6 \cdot 7,1}{2 \cdot 8,0 \cdot 1} = 22,1 \text{ kN}$$

-resistência ao cisalhamento (corte simples)

$$\phi_x R_{nv} = \phi_v 0,42 A_{pv} f_u$$

$$\phi_v R_{nv} = 0,65 \cdot 0,42 \cdot 2,85 \cdot 82,5 = 64,2 \text{ kN} > V$$

-resistência à tração

$$\phi_t R_{nt} = \phi_t 0,75 A_p f_u$$

$$\phi_t R_{nt} = 0,75 \cdot 0,75 \cdot 2,85 \cdot 82,5 = 132,2 \text{ kN} > T_1$$

-para a tração e cisalhamento combinados

$$\phi_t R_{nt} \leq 0,69 f_u A_p - 1,93 V_a V_d$$

$$\phi R_{nt} \leq 0,69.8,5.2,85 - 1,93.8,3$$

$$\phi R_{nt} \leq 146,2 \text{ kN} > T_1$$

a espessura t mínima da cantoneira para que não ocorra esmagamento será

$$\phi R_{ny} = \phi R_{n(\text{esmag.})} = \phi \alpha d t f_u$$

$$64,2 = 0,75.3,0.1,9t.40,0$$

$$t_{\min} = 0,4 \text{ cm}$$

c) Verificação do estado limite da ruptura da cantoneira
-rasgamento entre furos e entre furos e borda.

$$\phi R_n = \phi \alpha A_b f_u$$

$$\phi R_n = 0,75.2,1.1,9.0,95.40,0$$

$$\phi R_n = 113,7 \text{ kN (por parafuso)}$$

-cisalhamento da seção efetiva

$$\phi x_n = \phi 0,60 A_v f_y$$

$$\phi V_n = 0,90.0,60.0,95(80-2,1)25$$

$$\phi V_n = 75,6 \text{ kN (por cantoneira)}$$

d) Verificação da rigidez

$$M_{\max} = \frac{P \cdot e}{2L^2} (g-t)$$

$$M_{\max} = \frac{16,6 \cdot 7,1}{2,8,0^2} (5,4)$$

$$M_{\max} = 4,97 \text{ kNcm/cm}$$

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{4,97 \cdot 6}{0,95^2} = 33,0 \text{ kN/m}^2$$

Nesse caso, ocorrerá o início de escoamento da seção da cantoneira.

A deformação máxima será

$$\delta = \frac{P \cdot e}{E \cdot t^3 \cdot L^2} (g-t)^3$$

$$\delta = \frac{16,6 \cdot 7,1 \cdot 5,4^3}{20500 \cdot 0,95^3 \cdot 8,0^2} = 0,0165$$

$$\phi = \frac{\delta}{L} = \frac{0,0165}{80} = 0,00206$$

VIGA V02 - I 8"

Verificação dos estados limites

Do item 2.1.2. tem-se para

- Flexão

$$\phi_b M_n = 6547 \text{ kN cm} > M_{\max} = 4640 \text{ kNcm}$$

A tensão máxima será

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W} = \frac{4640}{250} = 18.6 \text{ kN/cm}^2$$

- Cisalhamento

$$\phi V_n = 243,9 \text{ kN} > V_{\max} = 46,8 \text{ kN}$$

- Dimensionamento de ligação

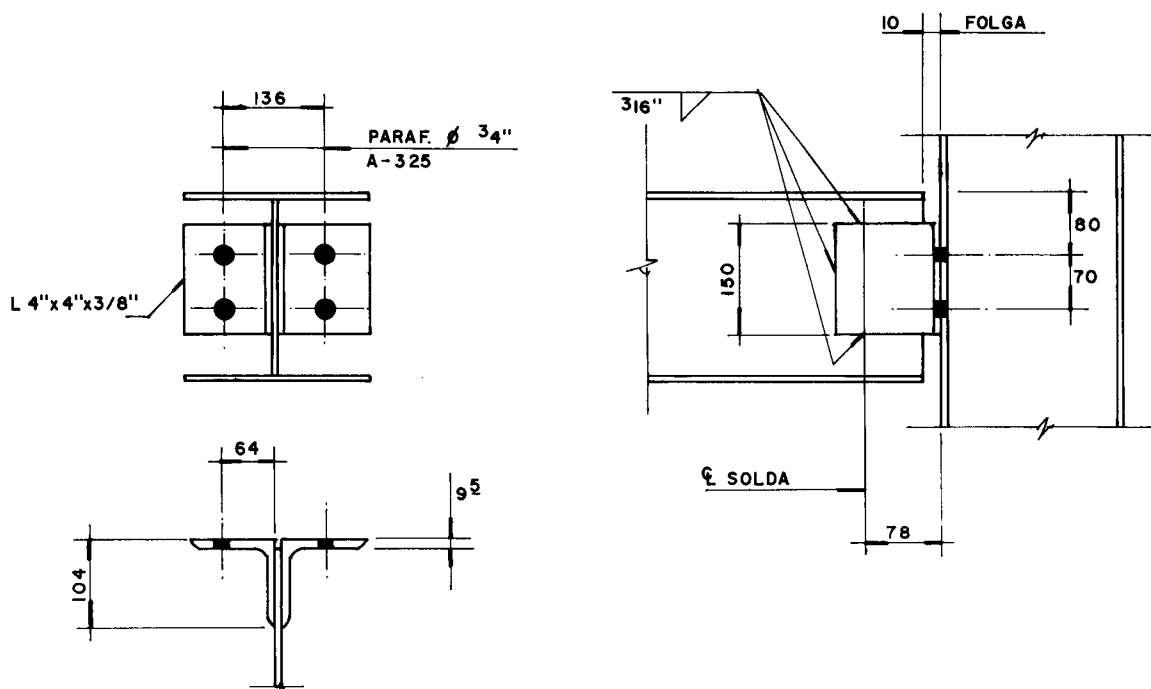


FIGURA 37

a) Verificação do estado limite da solda

$$I_p = \frac{8 \cdot b'^3 + 6b' \cdot L^2 + L^3}{12} - \frac{b'^4}{2b'+L}$$

$$I_p = \frac{8 \cdot 9,4^3 + 6 \cdot 9,4 \cdot 15,0^2 + 15,0^3}{12} - \frac{9,4^4}{2 \cdot 9,4 + 15,0}$$

$$I_p = 1661 \text{ cm}^4$$

$$e = b - \frac{b'^2}{2b'+L}$$

$$e = 10,4 - \frac{9,4^2}{33,8} = 7,8 \text{ cm}$$

$$R_v = \frac{P}{2 \cdot b'+L} = \frac{33,2}{33,8} = 0,98 \text{ kN/cm}$$

$$R_x = \frac{Pe}{I_p} \cdot \frac{L}{2} = \frac{33,2 \cdot 7,8 \cdot 15,0}{1661 \cdot 2} = 1,17 \text{ kN/cm}$$

$$R_y = \frac{Pe}{I_p} (e-m) = \frac{33,2 \cdot 7,8 \cdot 6,8}{1661} = 1,06 \text{ kN/cm}$$

$$R = \sqrt{(R_v + R_y)^2 + R_x^2} = \sqrt{(0,98 + 1,06)^2 + 1,17^2}$$

$$R = 2,35 \text{ kN/cm}$$

A força resistente por unidade de comprimento da solda com $a = 0,47$ (3/16) é

$$\phi R_{nv} = 8,8 \text{ kN/cm} > R$$

b) Verificação do estado limite de ruptura dos parafusos, considerando a excentricidade de aplicação da carga ($\phi 3/4 - A-325$)

$$V = \frac{P}{2n} = \frac{33,2}{2 \cdot 2} = 8,3 \text{ Kn}$$

$$T_1 = \frac{3Pe}{2Ln} = \frac{3 \cdot 33,2 \cdot 7,8}{2 \cdot 15 \cdot 0,2} = 12,9 \text{ kN}$$

-resistência ao cisalhamento (corte simples)

$$\phi_x R_{nv} = 64,2 \text{ kN}$$

-resistência à tração

$$\phi_t R_{nt} = 132,2 \text{ kN}$$

-para a tração e cisalhamento combinados

$$\phi_t R_{nt} \leq 162,2 - 1,93V_d$$

$$\phi_t R_{nt} \leq 162,2 - 1,93 \cdot 8,3 = 146,2 \text{ kN}$$

a espessura t mínima será a mesma da viga anterior e também das seguintes $t_{\min} = 0,4 \text{ cm}$

c) Verificação do estado limite de ruptura da cantoneira

-rasgamento entre furos e entre furos e borda - esta verificação será dispensada nesta e nas próximas vigas pois foram mantidos os mesmos gabaritos de extremidade e entre furos

-cisalhamento da seção efetiva

$$\phi V_n = \phi 0,60 A_v f_y$$

$$\phi V_n = 0,90 \cdot 0,60 \cdot 0,95(15,0 - 2 \cdot 2,1) 25,0$$

$$\phi V_n = 138,5 \text{ kN (por cantoneira)}$$

d) Verificação da rigidez

$$M_{\max} = \frac{P \cdot e}{2L^2} (g-t)$$

$$M_{\max} = \frac{33,2 \cdot 7,8}{2 \cdot 15^2} (5,4) = 3,11 \text{ kNcm/cm}$$

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{3,11 \cdot 6}{0,95^2} = 20,6 \text{ kN/cm}^2$$

A deformação máxima será:

$$\delta = \frac{P \cdot e}{E \cdot t^3 \cdot L^2} (g-t)^3$$

$$\delta = \frac{33,2 \cdot 7,8 \cdot 5,4^3}{20500 \cdot 0,95^3 \cdot 15,0^2} = 0,0103 \text{ cm}$$

$$\phi = \frac{\delta}{L} = \frac{0,0103}{15,0} = 0,00069$$

VIGA V03 - I 10"

Verificação dos estados limites

Do item 3.1.2 tem-se para:

- Flexão

$$\phi_b M_n = 11745 \text{ kN cm} > M_{\max} = 5625 \text{ kNcm}$$

A tensão máxima será

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W} = \frac{56250}{442} = 12,7 \text{ kN/cm}^2$$

- Cisalhamento

$$\phi V_n = 394,3 \text{ kN} > V_{\max} = 45,0 \text{ kN}$$

- Dimensionamento de ligação

ver item 2.2.3.

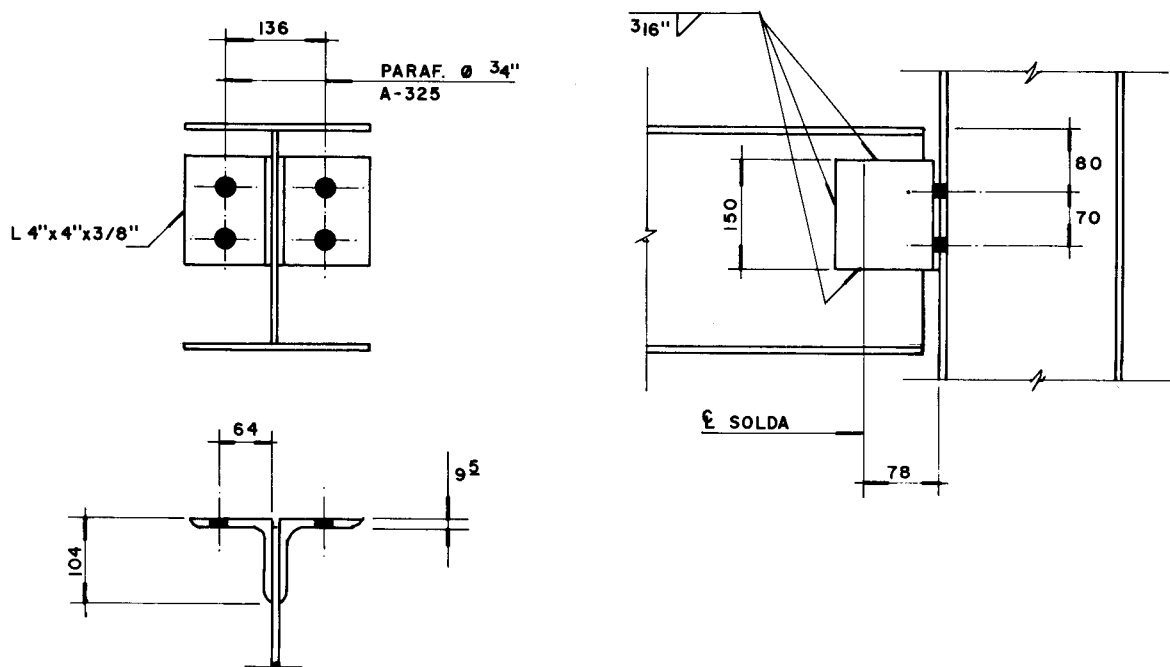


FIGURA 38

VIGA V04 I 12"

Verificação dos estados limites

Do item 3.1.2 tem-se-para:

- Flexão

$$\phi_b M_n = 20992 \text{ kN cm} > M_{\max} = 6250 \text{ kNcm}$$

A tensão máxima será

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W} = \frac{6250}{784} = 8,0 \text{ kN/cm}^2$$

- Cisalhamento

$$\phi V_n = 597,1 \text{ kN} > V_{\max} = 50,0 \text{ kN}$$

-Dimensionamento da ligação

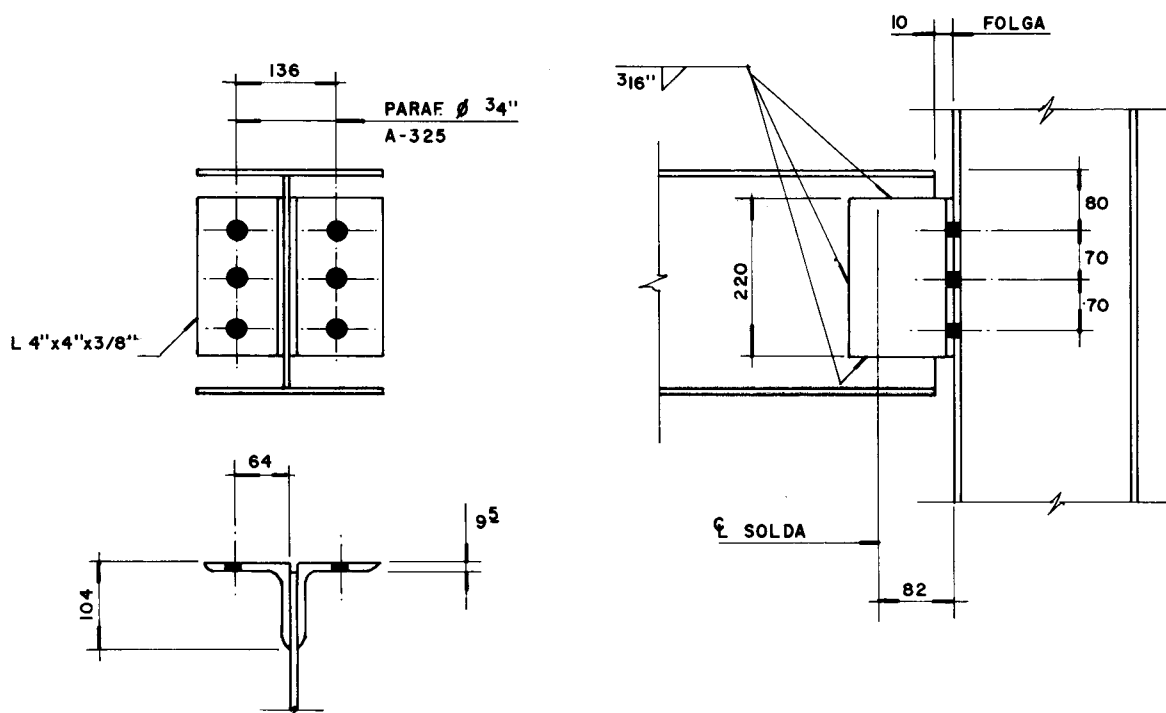


FIGURA 39

a) Verificação do estado limite da solda

$$I_p = \frac{8 \cdot b'^3 + 6b' \cdot L^2 + L^3}{12} - \frac{b'^4}{2b' + L}$$

$$I_p = \frac{8 \cdot 9,4^3 + 6 \cdot 9,4 \cdot 22,0^2 + 22,0^3}{12} - \frac{9,4^4}{2 \cdot 9,4 + 22,0}$$

$$I_p = 3524 \text{ cm}^4$$

$$e = b - \frac{b'^2}{2b' + L}$$

$$e = 10,4 - \frac{9,4^2}{40,8} = 8,2 \text{ cm}$$

$$R_v = \frac{P}{2 \cdot b' + L} = \frac{50,0}{40,8} = 1,22 \text{ kN/cm}$$

$$R_x = \frac{Qe}{I_p} \cdot \frac{L}{2} = \frac{50,0 \cdot 8,2 \cdot 22,0}{3524 \cdot 2} = 1,28 \text{ kN/cm}$$

$$R_y = \frac{Pe}{I_p} (e - m) = \frac{50,0 \cdot 8,2}{3524} \cdot 7,2 = 0,84 \text{ kN/cm}$$

$$R = \sqrt{(R_v + R_y)^2 + R_x^2} = \sqrt{(1,22 + 0,84)^2 + 1,28^2}$$

$$R = 2,42 \text{ kN/cm}$$

A força resistente por unidade de comprimento de solda com $a = 0,47$ (3/16) é

$$\phi R_{nv} = 8,8 \text{ kN/cm} > R$$

b) Verificação do estado limite de ruptura dos parafusos, considerando a excentricidade de aplicação da carga ($\phi 3/4 - A-325$)

$$V = \frac{P}{2 \cdot n} = \frac{50,0}{2 \cdot 3} = 8,3 \text{ kN}$$

$$T_1 = \frac{3 \cdot P \cdot e}{2 \cdot L \cdot n} = \frac{3 \cdot 50,0 \cdot 0,8,2}{2 \cdot 22,0 \cdot 3} = 9,3 \text{ kN}$$

-resistência ao cisalhamento (corte simples)

$$\phi_x R_{nv} = 64,2 \text{ kN}$$

-resistência à tração

$$\phi_t R_{nt} = 132,2 \text{ kN}$$

-para a tração e cisalhamento combinados

$$\phi_t R_{nt} \leq 162,2 - 1,93V_d$$

$$\phi_t R_{nt} \leq 146,2 \text{ kN}$$

c) Verificação do estado limite de ruptura da cantoneira

-Cisalhamento da seção efetiva

$$\phi V_n = \phi 0,60 A_v f_y$$

$$\phi V_n = 0,90 \cdot 0,60 \cdot 0,95 (22,0 - 3 \cdot 2,1) \cdot 25,0$$

$$\phi V_n = 201,3 \text{ kN (por cantoneira)}$$

d) Verificação da rigidez

$$M_{\max} = \frac{P \cdot e}{2L^2} (g-t)$$

$$M_{\max} = \frac{50,0 \cdot 8,2}{2 \cdot 22,0^2} (5,4) = 2,29 \text{ kNcm/m}$$

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{2,29 \cdot 6}{0,95^2} = 15,2 \text{ kN/cm}^2$$

A deformação máxima será

$$\delta = \frac{P \cdot e}{E \cdot t^3 \cdot L^2} (g-t)^3$$

$$\delta = \frac{50,0 \cdot 8,2 \cdot 5,4^3}{20500 \cdot 0,95^3 \cdot 22,0^2} = 0,0076 \text{ cm}$$

$$\phi = \frac{\delta}{L} = \frac{0,0076}{22,0} = 0,00034$$

VIGA V05 VS 300

Verificação dos estados limites

Do item 3.1.2 tem-se para:

- Flexão

$$\phi_b M_n = 13275 \text{ kN cm} > M_{\max} = 7350 \text{ kNcm}$$

A tensão máxima será

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W} = \frac{7350}{559} = 13,1 \text{ kN/cm}^2$$

- Cisalhamento

$$\phi V_n = 237,3 \text{ kN} > V_{\max} = 56,0 \text{ kN}$$

- Dimensionamento da ligação

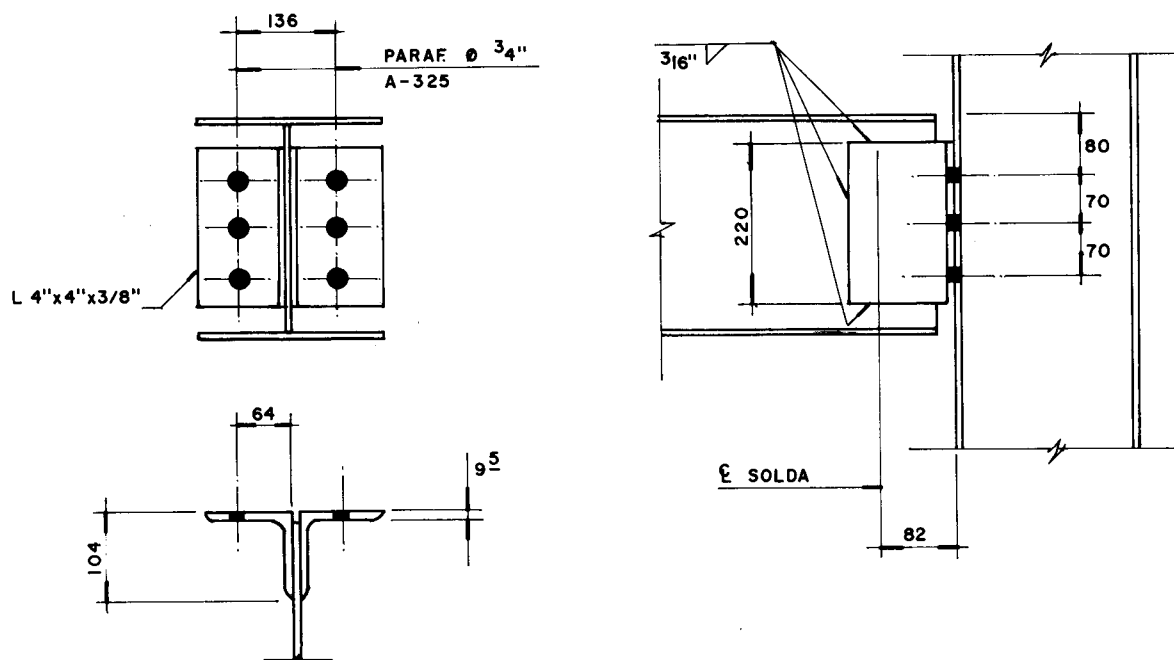


FIGURA 40

a) Verificação do estado limite da solda

$$I_p = \frac{8 \cdot b'^3 + 6b' \cdot L^2 + L^3}{12} - \frac{b'^4}{2b'+L}$$

$$I_p = \frac{8 \cdot 9,4^3 + 6 \cdot 9,4 \cdot 22,0^2 + 22,0^3}{12} - \frac{9,4^4}{2 \cdot 9,4 + 22,0}$$

$$I_p = 3524 \text{ cm}^4$$

$$e = b - \frac{b'^2}{2b'+L}$$

$$e = 10,4 - \frac{9,4^2}{40,8} = 8,2 \text{ cm}$$

$$R_v = \frac{P}{2 \cdot b'+L} = \frac{44,0}{40,8} = 1,08 \text{ kN/cm}$$

$$R_x = \frac{P_{xx}}{I_p} \cdot \frac{L}{2} = \frac{40,0 \cdot 8,2 \cdot 22,0}{3524 \cdot 2} = 1,13 \text{ kN/cm}$$

$$R_y = \frac{Pe}{I_p} (e-m) = \frac{44,0 \cdot 8,2}{3524} \cdot 7,2 = 0,74 \text{ kN/cm}$$

$$R = \sqrt{(R_v + R_y)^2 + R_x^2} = \sqrt{(1,08 + 0,74)^2 + 1,13^2}$$

$$R = 2,14 \text{ kN/cm}$$

A força resistente por unidade de comprimento de solda com $a = 0,47$ (3/16) é

$$\phi R_{nv} = 8,8 \text{ kN/cm}$$

b) Verificação do estado limite de ruptura dos parafusos, considerando a excentricidade da aplicação da carga ($\phi 3/4$ / A-325)

$$V = \frac{P}{2.n} = \frac{44,0}{2.3} = 7,3 \text{ kN}$$

$$T_1 = \frac{3.P.e}{2.L.n} = \frac{3.44,0.8,2}{2.22,0.3} = 8,2 \text{ kN}$$

-resistência ao cisalhamento, à tração e ambos combinados foi verificada no item anterior

c) Verificação do estado limite de ruptura da cantoneira.

- item anterior.

d) Verificação da rigidez

$$M_{\max} = \frac{P.e}{2L^2} (g-t)$$

$$M_{\max} = \frac{44,0.8,2}{2.22,0^2} (5,4) = 2,01 \text{ kNcm/m}$$

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{2,01.6}{0,95^2} = 13,4 \text{ kN/cm}^2$$

A deformação máxima será

$$\delta = \frac{P.e}{E.t^3.L^3} (g-t)^3$$

$$\delta = \frac{44,0.8,2.5.4^3}{20500.0,95^3.22,0^2} = 0,0067 \text{ cm}$$

$$\phi = \frac{\delta}{L} = \frac{0,0067}{22,0} = 0,00030$$

VIGA V 06 - VS 400

Verificação dos estados limites

Do item 3.1.2 tem-se para:

- Flexão

$$\phi_b M_n = 21915 \text{ kNcm} > M_{max} = 8820 \text{ kNcm}$$

A tensão máxima será

$$\sigma = \frac{M_{max}}{W} = \frac{8820}{820} = 10,8 \text{ kN/cm}^2$$

- Cisalhamento

$$\phi V_n = 322,3 \text{ kN} > V_{max} = 67,2 \text{ kN}$$

- Dimensionamento da ligação

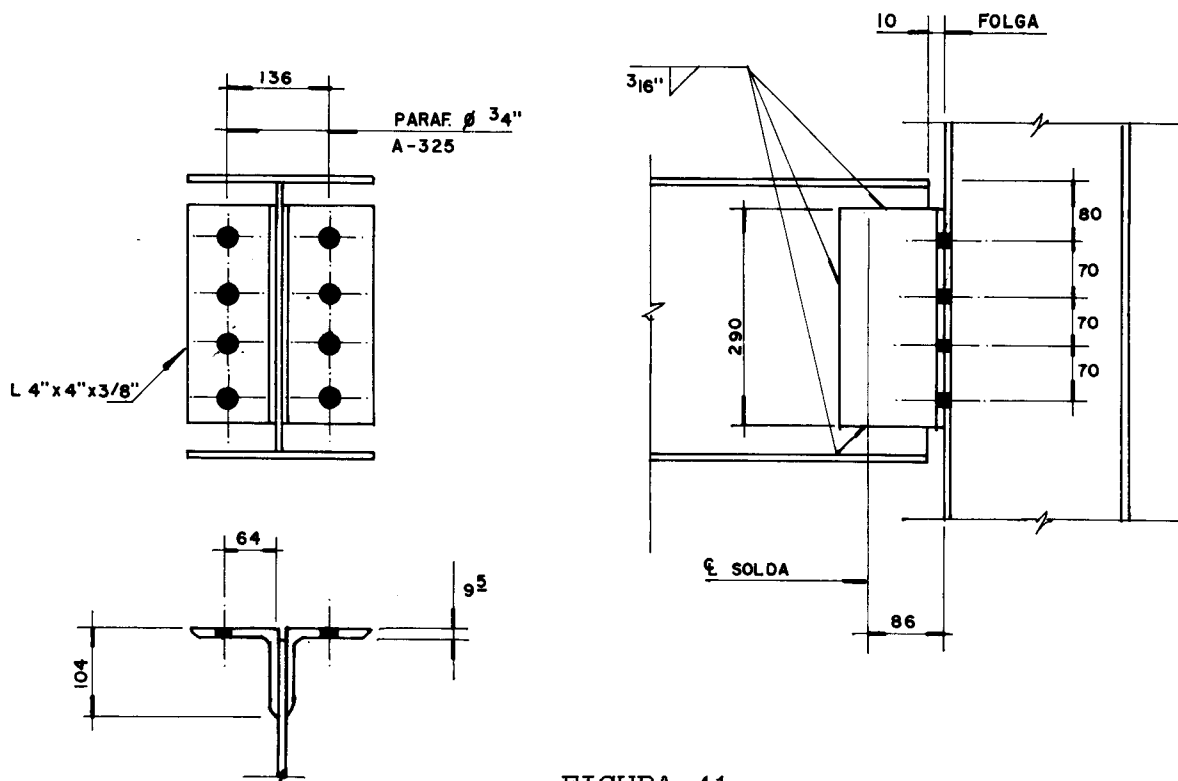


FIGURA 41

a) Verificação do estado limite da solda

$$I_p = \frac{8 \cdot b'^3 + 6b' \cdot L^2 + L^3}{12} - \frac{b'^4}{2b' + L}$$

$$I_p = \frac{8 \cdot 9,4^3 + 6 \cdot 9,4 \cdot 29,0^2 + 29,0^3}{12} - \frac{9,4^4}{2 \cdot 9,4 + 29,0}$$

$$I_p = 6375 \text{ cm}^4$$

$$e = b - \frac{b'^2}{2b' + L}$$

$$e = 10,4 - \frac{9,4^2}{47,8} = 8,6 \text{ cm}$$

$$R_v = \frac{P}{2 \cdot b' + L} = \frac{52,8}{47,8} = 1,10 \text{ kN/cm}$$

$$R_x = \frac{Pe}{I_p} \cdot \frac{L}{2} = \frac{52,8 \cdot 8,6 \cdot 29,0}{6375 \cdot 2} = 1,03 \text{ kN/cm}$$

$$R_y = \frac{Pe}{I_p} (e - m) = \frac{52,8 \cdot 8,6}{6375} \cdot 7,6 = 0,54 \text{ kN/cm}$$

$$R = \sqrt{(R_v + R_y)^2 + R_x^2} = \sqrt{(1,10 + 0,54)^2 + 1,03^2}$$

$$R = 1,94 \text{ kN/cm}$$

A força resistente por unidade de comprimento de solda com $a = 0,47$ (3/16) é

$$\phi R_{nv} = 8,8 \text{ kN/cm}$$

b) Verificação do estado limite de ruptura dos parafusos, considerando a excentricidade de aplicação da carga ($\phi 3/4 - A-325$)

$$V = \frac{P}{2 \cdot n} = \frac{52,8}{2 \cdot 4} = 6,6 \text{ kN}$$

$$T_1 = \frac{3 \cdot P \cdot e}{2 \cdot L \cdot n} = \frac{3 \cdot 52,8 \cdot 8,6}{2 \cdot 29,0 \cdot 4} = 5,9 \text{ kN}$$

-resistência ao cisalhamento, à tração e ambos combinados verificada nos exemplos anteriores.

c) Verificação do estado limite de ruptura da cantoneira

-cisalhamento da seção efetiva

$$\phi V_n = \phi 0,60 A_v f_y$$

$$\phi V_n = 0,90 \cdot 0,60 \cdot 0,95 (29,0 - 4 \cdot 2,1) 25,0$$

$$\phi V_n = 264,2 \text{ kN (por cantoneira)}$$

d) Verificação da rigidez

$$M_{\max} = \frac{P \cdot e}{2L^2} (g-t)$$

$$M_{\max} = \frac{52,8 \cdot 8,6}{2 \cdot 29,0^2} (5,4) = 1,45 \text{ kNcm/m}$$

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{1,45 \cdot 6}{0,95^2} = 9,7 \text{ kN/cm}^2$$

A deformação máxima será

$$\delta = \frac{P \cdot e}{E \cdot t^3 \cdot L^2} (g-t)^3$$

$$\delta = \frac{52,8 \cdot 8,6 \cdot 5,4^3}{20500 \cdot 0,95^3 \cdot 29,0^2} = 0,0048 \text{ cm}$$

$$\phi = \frac{\delta}{L} = \frac{0,0048}{29,0} = 0,00017$$

VIGA V07 - VS 450

Verificação dos estados limites

Do item 3.1.2 tem-se para:

- Flexão

$$\phi_b M_n = 31387 \text{ kNcm} > M_{max} = 10500 \text{ kNcm}$$

A tensão máxima será

$$\sigma = \frac{M_{max}}{W} = \frac{10500}{1227} = 8,6 \text{ kN/cm}^2$$

- Cisalhamento

$$\phi V_n = 380,2 \text{ kN} > V_{max} = 60,0 \text{ kN}$$

- Dimensionamento da ligação

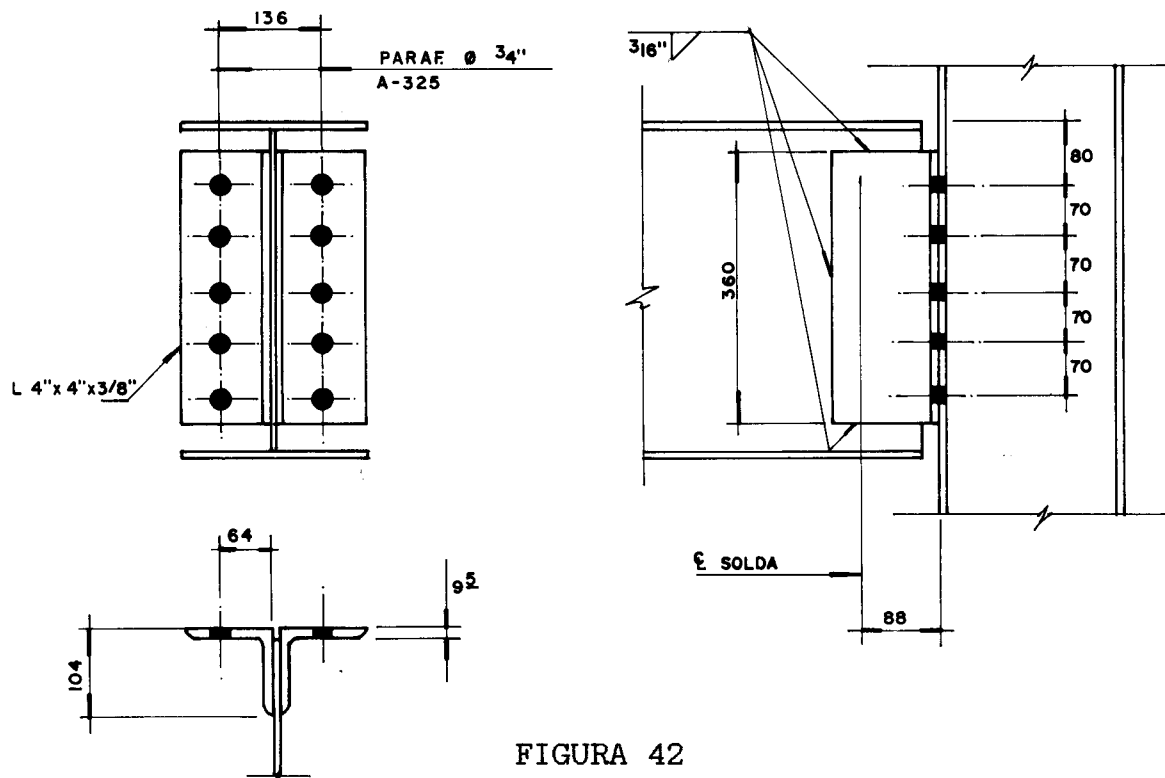


FIGURA 42

a) Verificação do estado limite da solda

$$I_p = \frac{8 \cdot b'^3 + 6b' \cdot L^2 + L^3}{12} - \frac{b'^4}{2b'+L}$$

$$I_p = \frac{8 \cdot 9,4^3 + 6 \cdot 9,4 + 36,0^2 + 36,0^3}{12} = \frac{9,4^4}{2 \cdot 9,4 + 36}$$

$$I_p = 10390 \text{ cm}^4$$

$$e = b - \frac{b'^2}{2b'+L}$$

$$e = 10,4 - \frac{9,4^2}{54,8} = 8,8 \text{ cm}$$

$$R_v = \frac{P}{2 \cdot b'+L} = \frac{60,0}{54,8} = 1,09 \text{ kN/cm}$$

$$R_x = \frac{Pe}{I_p} \cdot \frac{L}{2} = \frac{60,0 \cdot 8,8}{10390} \cdot 18,0 = 0,92 \text{ kN/cm}$$

$$R_y = \frac{Pe}{I_p} (e-m) = \frac{60,0 \cdot 8,8 \cdot 7,8}{10390} = 0,40 \text{ kN/cm}$$

$$R = \sqrt{(R_v + R_y)^2 + R_x^2} = \sqrt{(1,09 + 0,40)^2 + 0,92^2}$$

$$R = 1,75 \text{ kN/cm}$$

A força resistente por unidade de comprimento de solda com $a = 0,47$ (3/16) é

$$\phi R_{nv} = 8,8 \text{ kN/cm}$$

b) Verificação do estado limite de ruptura dos parafusos, considerando a excentricidade da aplicação da carga ($\phi 3/4$ / A-325)

$$V = \frac{P}{2 \cdot n} = \frac{60,0}{2 \cdot 5} = 6,0 \text{ kN}$$

$$T_1 = \frac{3 \cdot P \cdot e}{2 \cdot L \cdot n} = \frac{3 \cdot 60,0 \cdot 8,8}{2 \cdot 36,0 \cdot 5} = 4,4 \text{ kN}$$

-resistência ao cisalhamento, à tração e a ambos combinados verificada nos exemplos anteriores.

c) Verificação do estado limite de ruptura da cantoneira.

-cisalhamento da seção efetiva

$$\phi V_n = \phi 0,60 A_v f_y$$

$$\phi V_n = 0,90 \cdot 0,60 \cdot 0,95 (36,0 - 5 \cdot 2,1) 25,0$$

$$\phi V_n = 327,0 \text{ kN (por cantoneira)}$$

d) Verificação da rigidez

$$M_{\max} = \frac{P \cdot e}{2L^2} (g-t)$$

$$M_{\max} = \frac{60,0 \cdot 8,8}{2 \cdot 36^2} (5,4) = 1,10 \text{ kNcm/cm}$$

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{1,10 \cdot 6}{0,95^2} = 7,3 \text{ kN/cm}^2$$

A deformação máxima será

$$\delta = \frac{P \cdot e}{E \cdot t^3 \cdot L^2} (g-t)^3$$

$$\delta = \frac{60,0 \cdot 8,8 \cdot 5,4^3}{20500 \cdot 0,95^3 \cdot 36,0^2} = 0,0036 \text{ cm}$$

$$\phi = \frac{\delta}{L} = \frac{0,0036}{36,0} = 0,00010$$

VIGA V08 VS 500

Verificação dos estados limites

Do item 3.1.2 tem-se para:

- Flexão

$$\phi_b M_n = 42795 \text{ kN cm} > M_{\max} = 13125 \text{ kNcm}$$

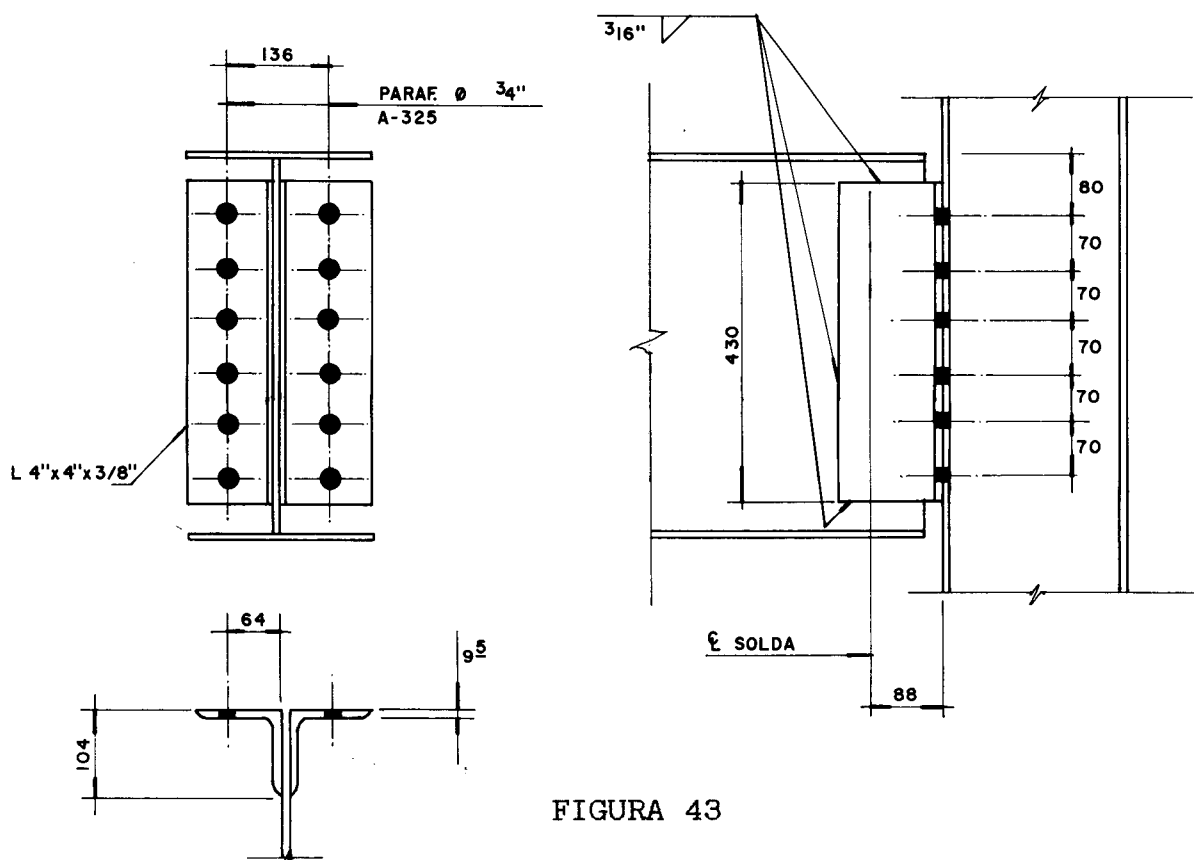
A tensão máxima será

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W} = \frac{13125}{1655} = 7,9 \text{ kN/cm}^2$$

- Cisalhamento

$$\phi V_n = 381,6 \text{ kN} > V_{\max} = 75,0 \text{ kN}$$

- Dimensionamento da ligação



a) Verificação do estado limite da solda

$$I_p = \frac{8 \cdot b'^3 + 6b' \cdot L^2 + L^3}{12} - \frac{b'^4}{2b' + L}$$

$$I_p = \frac{8 \cdot 9,4^3 + 6 \cdot 9,4 \cdot 43,0^2 + 43,0^3}{12} - \frac{9,4^4}{2 \cdot 9,4 + 43,0}$$

$$I_p = 15743 \text{ cm}^4$$

$$e = b - \frac{b'^2}{2b' + L}$$

$$e = 10,4 - \frac{9,4^2}{61,8} = 9,0 \text{ cm}$$

$$R_v = \frac{P}{2 \cdot b' + L} = \frac{75,0}{61,8} = 1,21 \text{ kN/cm}$$

$$R_x = \frac{Pe}{I_p} \cdot \frac{L}{2} = \frac{75,0 \cdot 9,0}{15743} \cdot \frac{43,0}{2} = 0,92 \text{ kN/cm}$$

$$R_y = \frac{Pe}{I_p} (e - m) = \frac{75,0 \cdot 9,0}{15743} \cdot 8,0 = 0,34 \text{ kN/cm}$$

$$R = \sqrt{(R_v + R_y)^2 + R_x^2} = \sqrt{(1,21 + 0,34)^2 + 0,92^2}$$

$$R = 1,80 \text{ kN/cm}$$

A força resistente por unidade de comprimento de solda com $a = 0,47$ (3/16) é

$$\phi R_{nv} = 8,8 \text{ kN/cm}$$

b) Verificação do estado limite de ruptura dos parafusos, considerando a excentricidade da aplicação da carga ($\phi 3/4$ / A-328)

$$V = \frac{P}{2n} = \frac{75,0}{2 \cdot 6} = 6,3 \text{ kN}$$

$$T_1 = \frac{3 \cdot P \cdot e}{2 \cdot L \cdot n} = \frac{3 \cdot 75,0 \cdot 0,9,0}{2 \cdot 43,0 \cdot 6} = 3,9 \text{ kN}$$

-resistência ao cisalhamento, à tração e a ambos combinados verificada nos exemplos anteriores.

c) Verificação do estado limite de ruptura da cantoneira.

-cisalhamento da seção efetiva

$$\phi V_n = \phi 0,60 A_v f_y$$

$$\phi V_n = 0,90 \cdot 0,60 \cdot 0,95(43,0 - 6 \cdot 2,1) 25,0 =$$

$$\phi V_n = 389,9 \text{ kN (por cantoneira)}$$

d) Verificação da rigidez da ligação

$$M_{\max} = \frac{P \cdot e}{2L^2} (g-t)$$

$$M_{\max} = \frac{75,0 \cdot 9,0}{2 \cdot 43,0^2} (5,4) = 0,98 \text{ kNcm/m}$$

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{0,98 \cdot 6}{0,95^2} = 6,5 \text{ kN/cm}^2$$

A deformação máxima será

$$\delta = \frac{P \cdot e}{E \cdot t^3 \cdot L^2} (g-t)^3$$

$$\delta = \frac{75,0 \cdot 9,0 \cdot 0,5 \cdot 4^3}{20500 \cdot 0,95^3 \cdot 43,0^2} = 0,0033 \text{ cm}$$

$$\phi = \frac{\delta}{L} = \frac{0,0033}{43,0} = 0,00008$$

CAPITULO 4 - ESTUDOS EXPERIMENTAIS

4.1 - ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO

Foram executados ensaios para caracterização dos materiais utilizados nos modelos.

Foram ensaiados corpos de prova das chapas utilizadas na fabricação dos perfis soldados e corpos de prova retirados dos perfis laminados, para obtenção dos diagramas tensão/deformação e determinação das características físicas dos materiais. Em função desses resultados, foram limitadas as tensões máximas nos elementos ensaiados.

Os parafusos também foram ensaiados para caracterização de suas propriedades físicas e determinação da carga de ruptura. Com esses dados e com os valores dos esforços determinados no cálculo teórico, foram definidos os valores da pré-tensão a serem aplicados aos parafusos.

4.2 - INSTRUMENTAÇÃO

A instrumentação dos modelos foi realizada de acordo com as informações que seriam necessárias para a correta avaliação do comportamento das ligações.

O principal resultado procurado foi o giro sofrido pela ligação sob determinada carga. Considerando-se que a coluna foi substituída por um pórtico de reação supostamente rígido, o giro da ligação passou a ser o giro da viga, pois as duas estavam solidarizadas pela solda. A leitura desse giro e a comparação com o giro teórico possibilitariam a avaliação do desempenho da ligação. Todavia, com os equipamentos disponíveis, a obtenção de tal giro não alcançou a necessária precisão.

A instrumentação das vigas foi realizada com extensômetros elétricos, para a determinação das deformações e a correspondente avaliação das solicitações em diversas seções transversais. Foram medidos também os deslocamentos (flechas), com o uso de defletômetros mecânicos.

As comparações desses resultados com o modelo teórico permitiram a avaliação do desempenho da ligação e dos momentos de engastamento ocorridos. O modelo teórico utilizado foi o mais próximo possível das condições de ensaio.

As vigas a serem ensaiadas foram instrumentadas com extensômetros elétricos nas seções transversais a $h/2$ e a h da ligação. Foi instrumentada também a seção transversal no meio das duas cargas aplicadas.

As flechas foram medidas nos seguintes pontos:

- nos pontos da aplicação das cargas;
- no ponto central entre as cargas;
- nos pontos entre as cargas e os apoios.

Nas figuras 45 e 46 estão indicados os pontos de leitura e a instrumentação utilizada, respectivamente, para os modelos A, B e C.

Os parafusos utilizados também foram instrumentados com extensômetros elétricos para acompanhamento da pré-tensão aplicada e avaliação dos esforços de tração durante todas as etapas dos ensaios. Optou-se por essa instrumentação porque a pré-tensão dada pelo método da rotação da porca, não fornecia informações a respeito das tensões de tração nos parafusos. Além disso, a utilização do torquímetro não era suficientemente precisa e não fornecia informações acerca das tensões nos parafusos durante os ensaios.

Na figura 44 estão indicados detalhes da instrumentação dos parafusos.

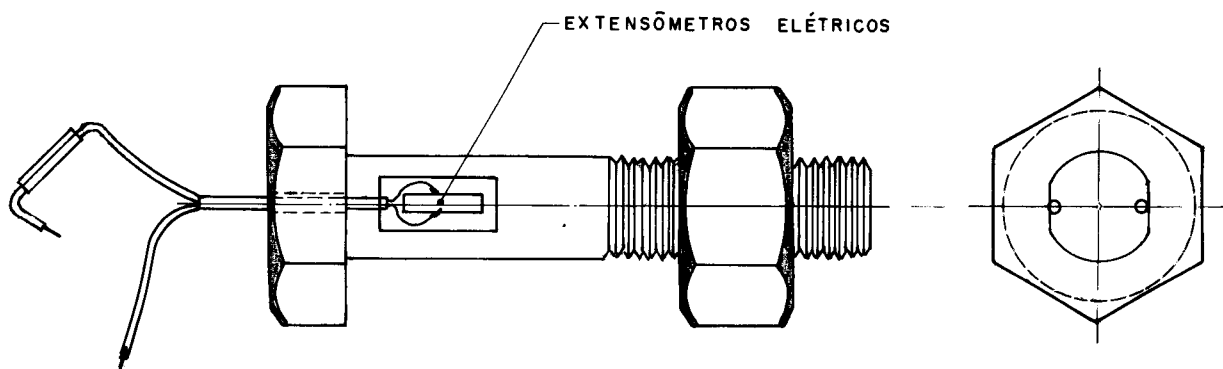
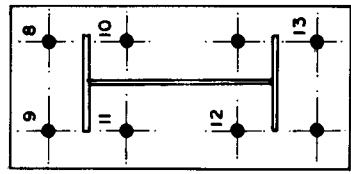
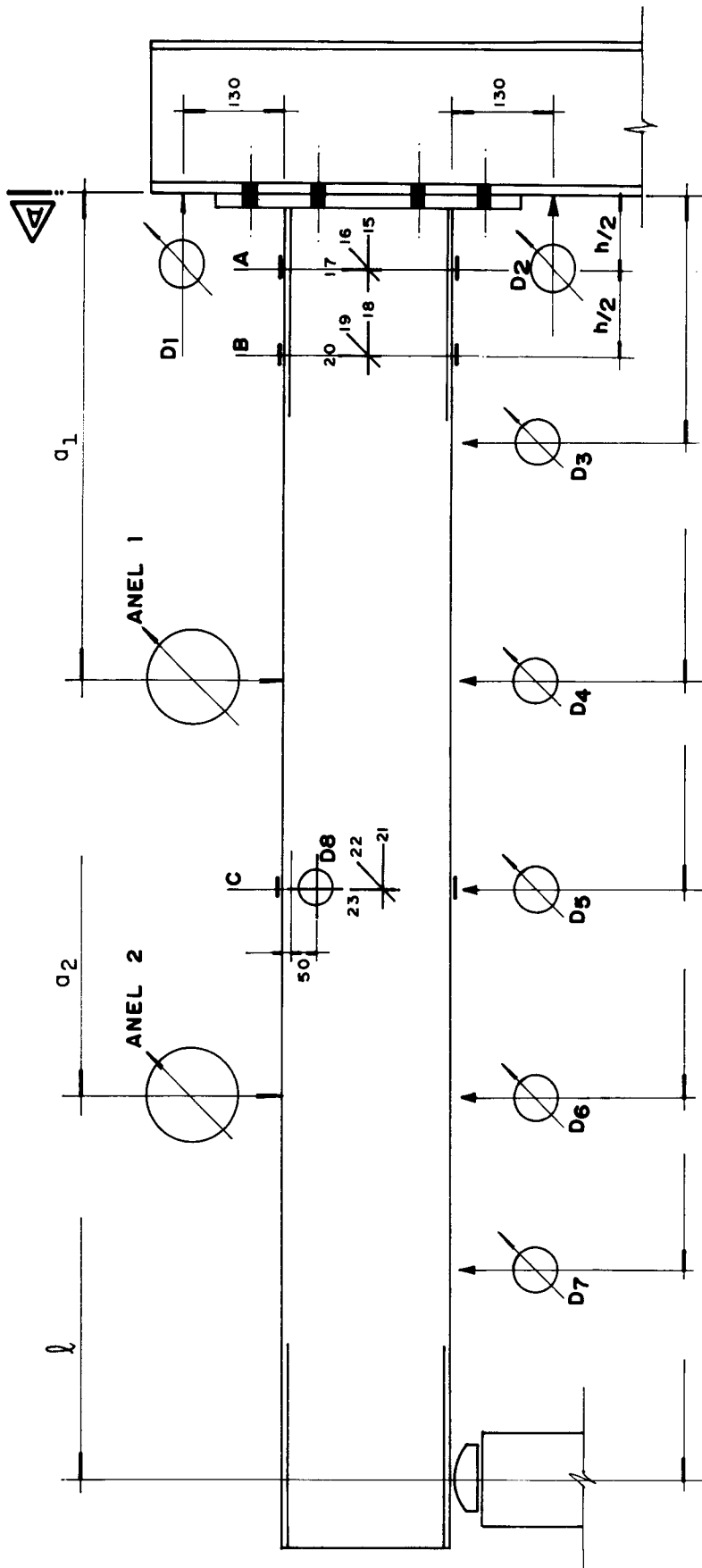


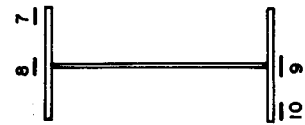
FIGURA 44 - INSTRUMENTAÇÃO DOS PARAFUSOS



CORTE A



A



B



C

FIGURA 45 - INSTRUMENTAÇÃO PARA MODELOS A e B

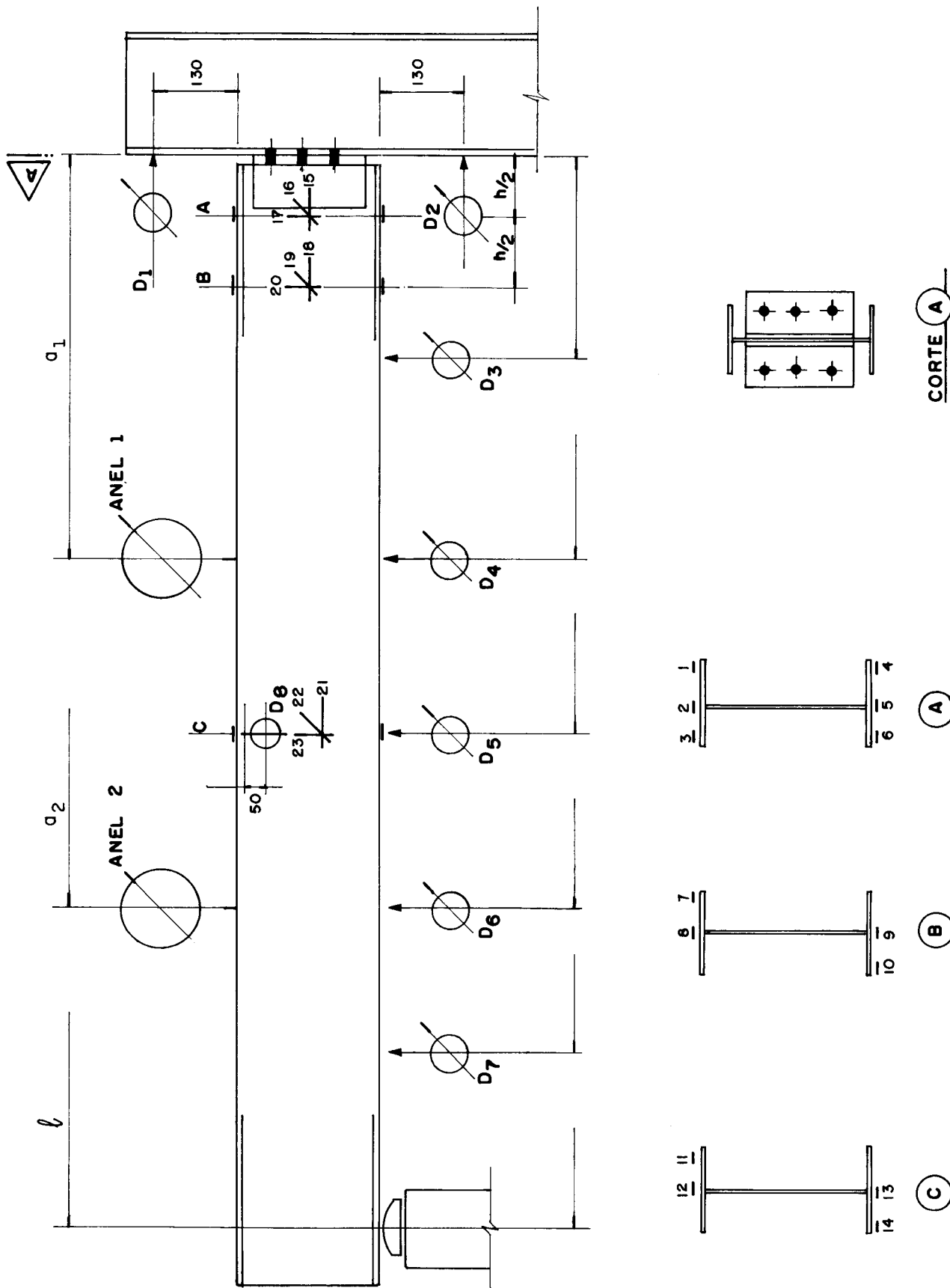


FIGURA 46 - INSTRUMENTAÇÃO PARA MODELOS C

4.3 - ESQUEMAS DE CARREGAMENTO

Para o carregamento dos modelos foram utilizados dois macacos hidráulicos, com capacidade nominal de 200kN cada. O acionamento adotado foi o individual, pois, conforme o esquema de carregamento adotado, a carga aplicada, deveria ser igual nos dois macacos. Um acionamento único levaria a diferenças, devido à eficiência do sistema de cada macaco. Para a leitura e acompanhamento das cargas aplicadas, foram utilizados dois anéis dinamométricos.

A aplicação da carga foi feita simultaneamente nos dois pontos; após a sua estabilização, eram efetuadas as leituras dos extensômetros elétricos e defletômetros.

Foi definido o valor de cada etapa, em função da carga final a ser aplicada.

O descarregamento foi sempre executado em uma única etapa, com a leitura final realizada após a estabilização das deformações.

4.4 - ENSAIOS PRELIMINARES

Para prever possíveis problemas durante os ensaios definitivos foram executados vários ensaios preliminares, para uma análise do comportamento dos pórticos de reação e de carregamento e para uma avaliação do sistema de medição (extensômetros elétricos e defletômetros).

Diante dos resultados e das observações desses ensaios preliminares, foram tomadas algumas decisões quanto aos ensaios definitivos.

- a) Contraventar o pórtico de carregamento para garantir a sua estabilidade e diminuir a sua deformabilidade. Decidiu-se também limitar a carga aplicada a 75kN por macaco e eliminar os ensaios com a V08 - de 500mm de altura.

- b) A configuração inicial de ensaio previa para o lado oposto ao da ligação um apoio articulado móvel, com a instalação de uma célula de carga para leitura das reações. Tal configuração foi abandonada, por se mostrar instável. Foi eliminada a célula de carga e criado um vínculo de garfo para melhorar a estabilidade lateral das vigas.
- c) A estabilidade lateral da viga foi garantida por travamentos, e o seu deslocamento lateral foi acompanhado durante todo o ensaio. Pelo fato das cargas serem aplicadas à mesa superior dos modelos os deslocamentos laterais eram agravados; por esse motivo, também foram limitadas as cargas aplicadas.
- d) As imperfeições geradas na fabricação dos modelos, principalmente a distorção da chapa de topo, oriunda do processo de soldagem, foram contornadas ou minimizadas para que não influíssem nos resultados obtidos.
- e) O comportamento do pórtico de reação, onde estava a ligação a ser ensaiada, mostrou-se satisfatório apresentando apenas pequenos giros, como consequência natural da acomodação da estrutura e do momento de engastamento ali observado. Decidiu-se então carregar o modelo em duas etapas:

-até aproximadamente 50% da carga final do ensaio para escorvamento da estrutura;

-após o descarregamento total da estrutura, era aplicado o ensaio propriamente dito.

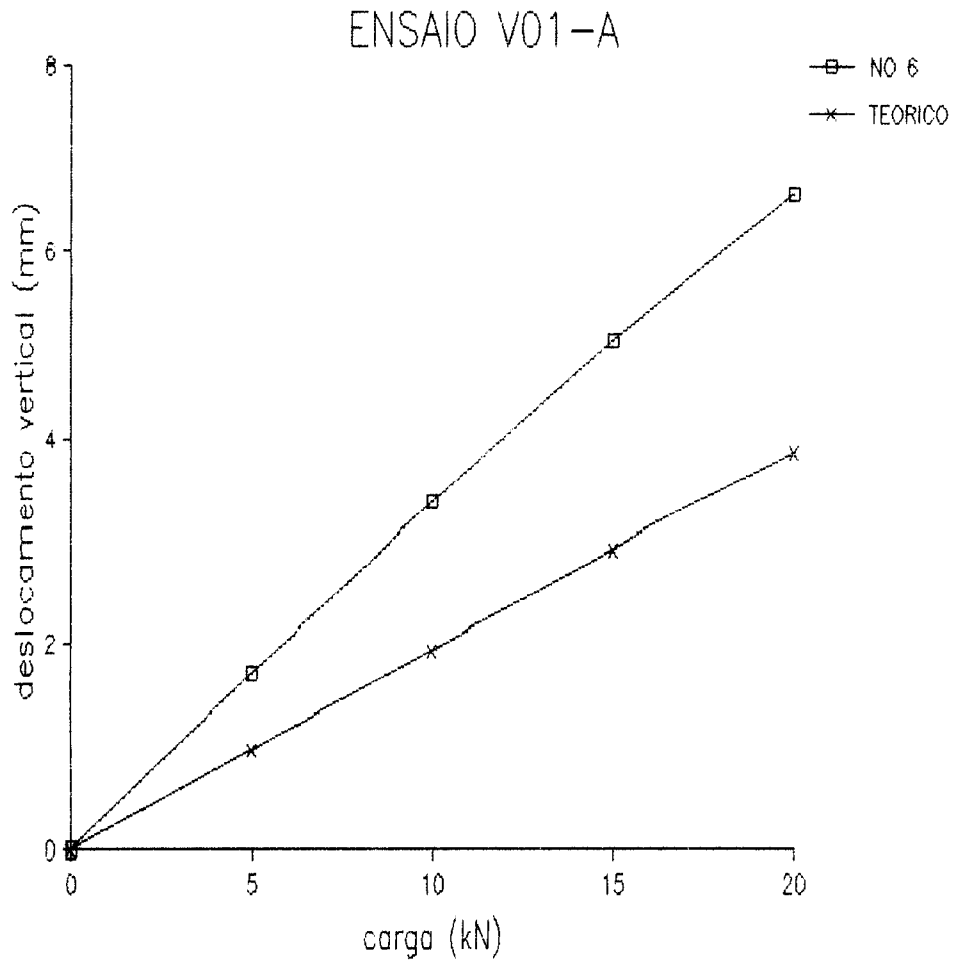
Durante as duas etapas, foram feitas leituras (ver figuras 44 e 45), que permitiram o cálculo do giro sofrido pelo pórtico. A determinação desse giro foi importante pois

possibilitou o cálculo do alívio do momento de engastamento perfeito por ele ocasionado, alívio este considerado na planilha de cálculo e nos gráficos comparativos.

4.5 - RESULTADOS DOS ENSAIOS

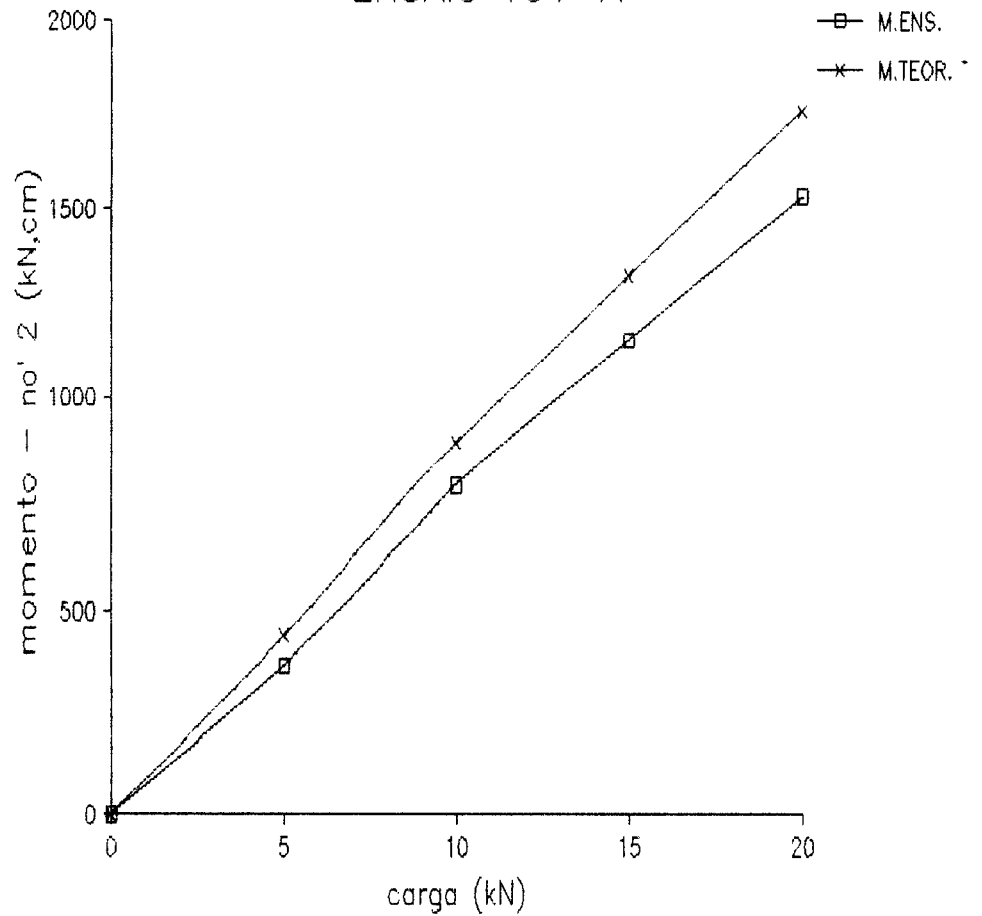
Nas páginas seguintes estão os resultados dos ensaios realizados e os gráficos comparativos entre o ensaio e os modelos teóricos. A análise dos resultados está no capítulo 5.

ETAPA	CARGA (kN)	DEF1 (mm)	DEF2 (mm)	ANG. (rad)	NO 4	NO 4 TEORICO	NO 5	NO 5 TEORICO	NO 6	NO 6 TEORICO	NO 7	NO 7 TEORICO	NO 8	NO 8 TEORICO
0	0	,00	,00	,000000	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	5	,08	,02	,000146	,75	,44	1,52	,92	1,63	,96	1,55	,87	1,99	,51
2	10	,13	,04	,000218	2,56	,88	3,17	1,84	3,39	1,92	3,19	1,74	3,14	1,01
3	0	,05	,02	,000073	,72	,00	,03	,00	,04	,00	,05	,00	1,04	,00
	0			,000000	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
4	5	,02	,00	,000049	,09	,44	1,59	,92	1,71	,96	1,62	,87	1,08	,51
5	10	,12	,03	,000218	,81	,88	3,13	1,84	3,33	1,92	3,13	1,74	2,11	1,01
6	15	,18	,06	,000291	1,61	1,32	4,71	2,76	5,04	2,88	4,71	2,60	3,15	1,52
7	20	,27	,09	,000437	2,36	1,76	6,20	3,69	6,64	3,84	6,16	3,47	4,06	2,02
8	0	,01	,00	,000024	-1,00	,00	,09	,00	,10	,00	,10	,00	,07	,00

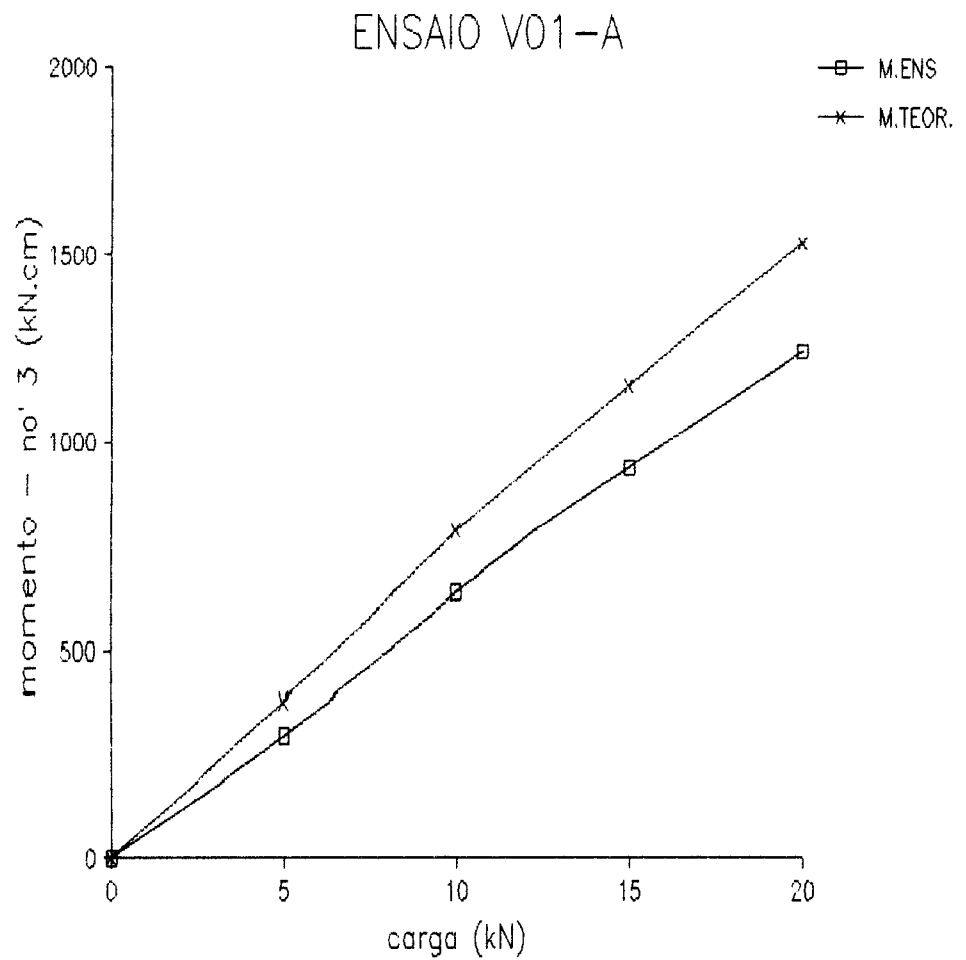


ETAPA	CARGA (kN)	.1	.2	.3	.MED	.4	.5	.6	.MED	M.ENS. NO' 2	M.TEOR. NO' 2
0	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	5	3,05	3,09	3,07	3,07	-3,11	-2,83	-2,63	-2,85	384,62	440,11
2	10	6,27	6,45	6,27	6,33	-6,39	-5,85	-5,43	-5,89	779,15	880,22
3	0	,02	,06	,06	,05	-,04	-,04	-,06	-,05	18,99	,00
	0	,00	,00	,00		,00	,00	,00		,00	,00
4	5	3,11	3,13	3,07	3,10	-3,21	-2,87	-2,63	-2,90	371,61	440,11
5	10	6,25	6,41	6,21	6,29	-6,37	-5,81	-5,41	-5,87	775,13	880,22
6	15	9,36	9,58	9,30	9,41	-9,52	-8,72	-8,12	-8,79	1153,61	1320,33
7	20	12,50	12,68	12,24	12,48	-12,50	-11,43	-10,69	-11,54	1532,21	1760,44
8	0	-,18	-,20	-,22	-,20	,10	,14	,14	,13	-15,20	,00

ENSAIO V01-A

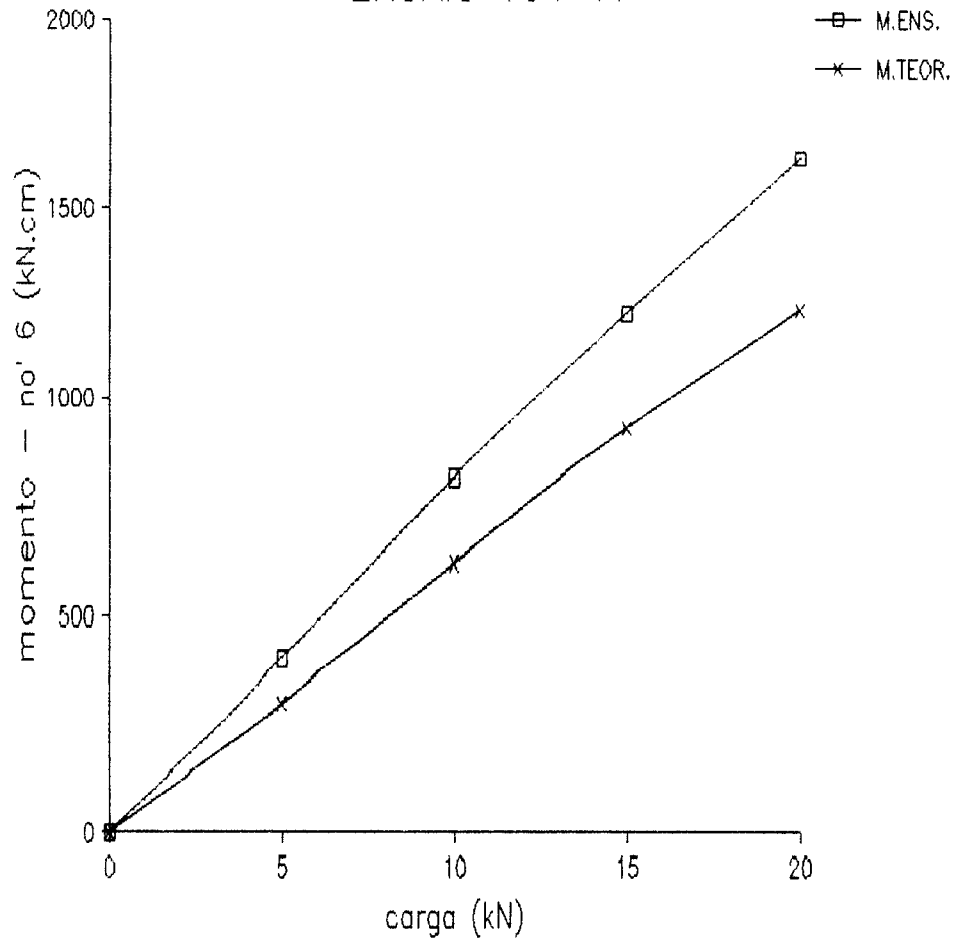


ETAPA	CARGA (kN)	.7	.8	.MED	.9	.10	.MED	M.ENS NO' 3	M.TEOR. NO' 3
0	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	5	2,41	2,59	2,50	-2,31	-2,07	-2,19	309,50	383,10
2	10	4,94	5,34	5,14	-4,82	-4,42	-4,62	628,85	766,19
3	0	,04	,02	,03	-,06	-,06	-,06	18,44	,00
	0	,00	,00		,00	,00		,00	,00
4	5	2,47	2,65	2,56	-2,37	-2,13	-2,25	299,36	383,10
5	10	4,94	5,32	5,13	-4,82	-4,36	-4,59	626,44	766,19
6	15	7,43	7,94	7,68	-7,15	-6,51	-6,83	929,54	1149,29
7	20	9,87	10,47	10,17	-9,42	-8,68	-9,05	1240,25	1532,38
8	0	-,16	-,14	-,15	,10	,08	,09	-10,10	,00

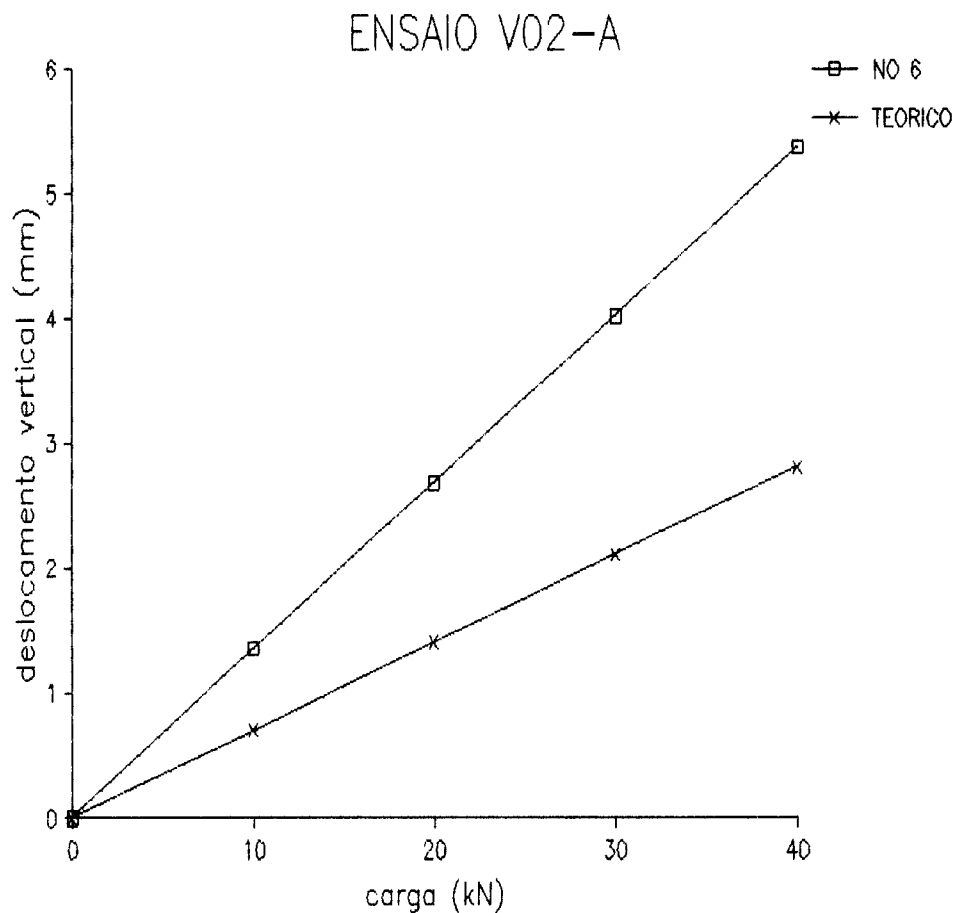


ETAPA	CARGA (kN)	.11	.12	.MED	.13	.14	.MED	M.ENS. NO' 6	M.TEOR. NO' 6
0	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	5	-3,42	-3,42	-3,42	3,21	3,13	3,17	387,16	307,25
2	10	-7,13	-7,11	-7,12	6,75	6,51	6,63	814,24	614,49
3	0	-,12	-,10	-,11	,12	,08	,10	7,01	,00
4	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
5	5	-3,44	-3,48	-3,46	3,26	3,25	3,25	402,48	307,25
6	10	-7,01	-7,01	-7,01	6,59	6,45	6,52	801,00	614,49
7	15	-10,67	-10,61	-10,64	10,03	9,79	9,91	1220,26	921,74
8	20	-14,37	-14,19	-14,28	13,30	13,14	13,22	1629,08	1228,98
8	0	-,08	-,10	-,09	,02	,10	,06	7,15	,00

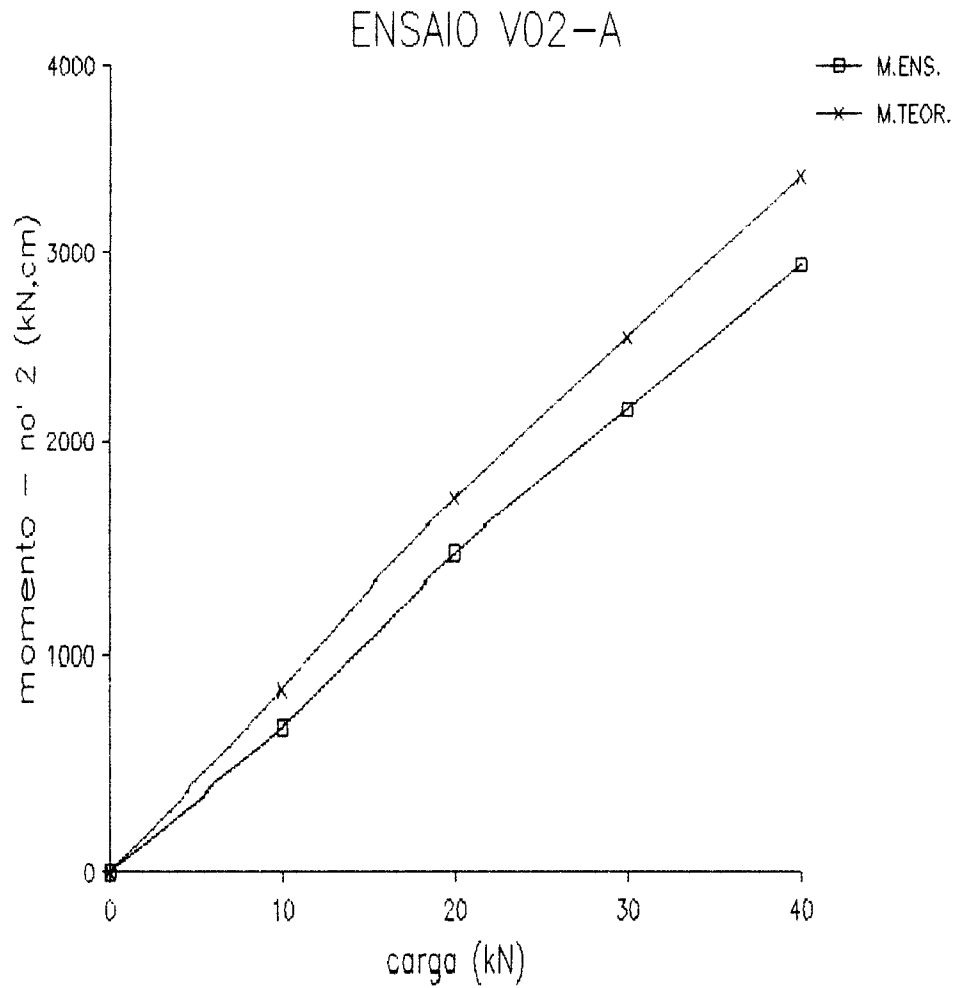
ENSAIO V01-A



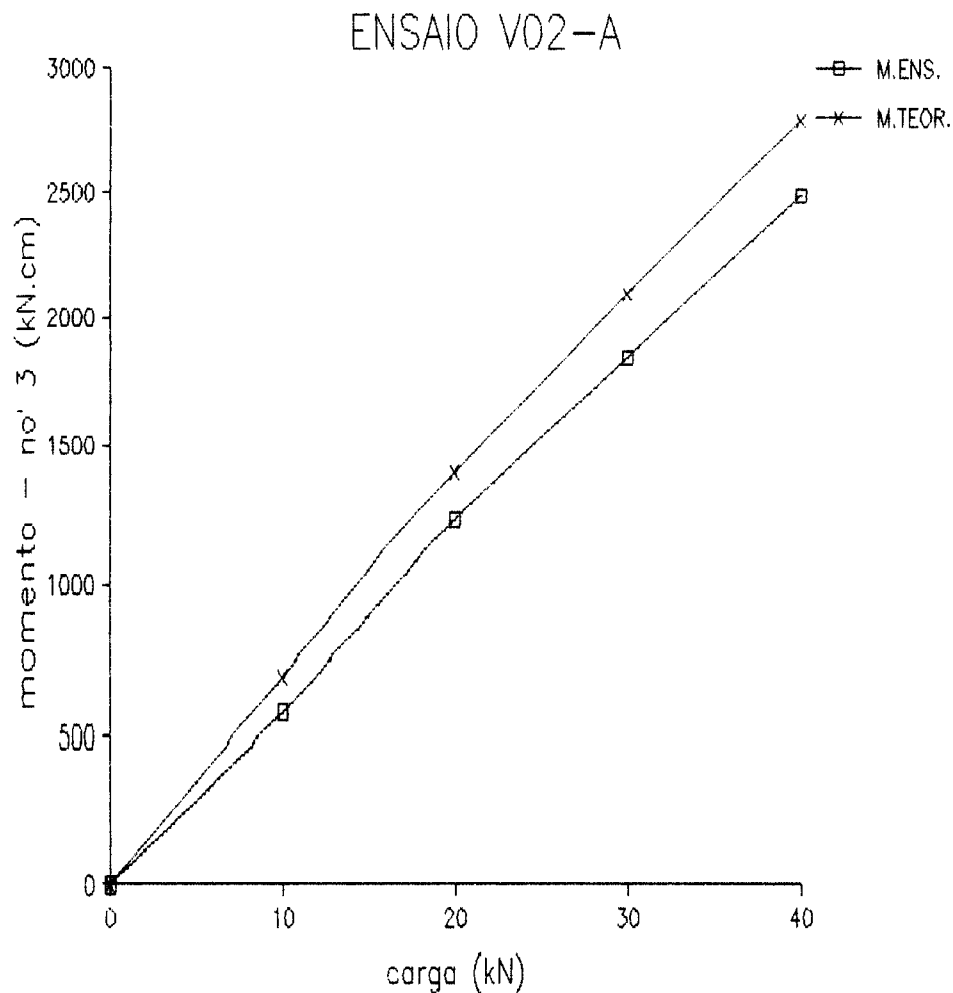
ETAPA	CARGA (kN)	DEF1 (mm)	DEF2 (mm)	ANG. (rad)	NO 4	NO 4 TEORICO	NO 5	NO 5 TEORICO	NO 6	NO 6 TEORICO	NO 7	NO 7 TEORICO	NO 8	NO 8 TEORICO
0	0	,00	,00	,000000	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	10	,15	,03	,000259	,63	,33	1,26	,68	1,30	,70	1,24	,63	,74	,36
2	20	,19	,07	,000259	1,43	,67	2,69	1,35	2,74	1,41	2,59	1,26	1,61	,73
3	0	-,03	-,01	-,000043	,05	,00	,06	,00	,04	,00	,05	,00	,06	,00
	0			,000000	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
4	10	,08	,04	,000086	,69	,33	1,33	,68	1,36	,70	1,60	,63	,76	,36
5	20	,23	,08	,000324	1,36	,67	2,63	1,35	2,68	1,41	2,53	1,26	1,56	,73
6	30	,40	,13	,000583	2,05	1,00	3,91	2,03	4,02	2,11	3,80	1,89	2,44	1,09
7	40	,60	,17	,000929	2,75	1,33	5,18	2,71	5,37	2,81	5,05	2,52	3,29	1,46
8	0	,03	-,01	,000086	,08	,00	,11	,00	,15	,00	,14	,00	,12	,00



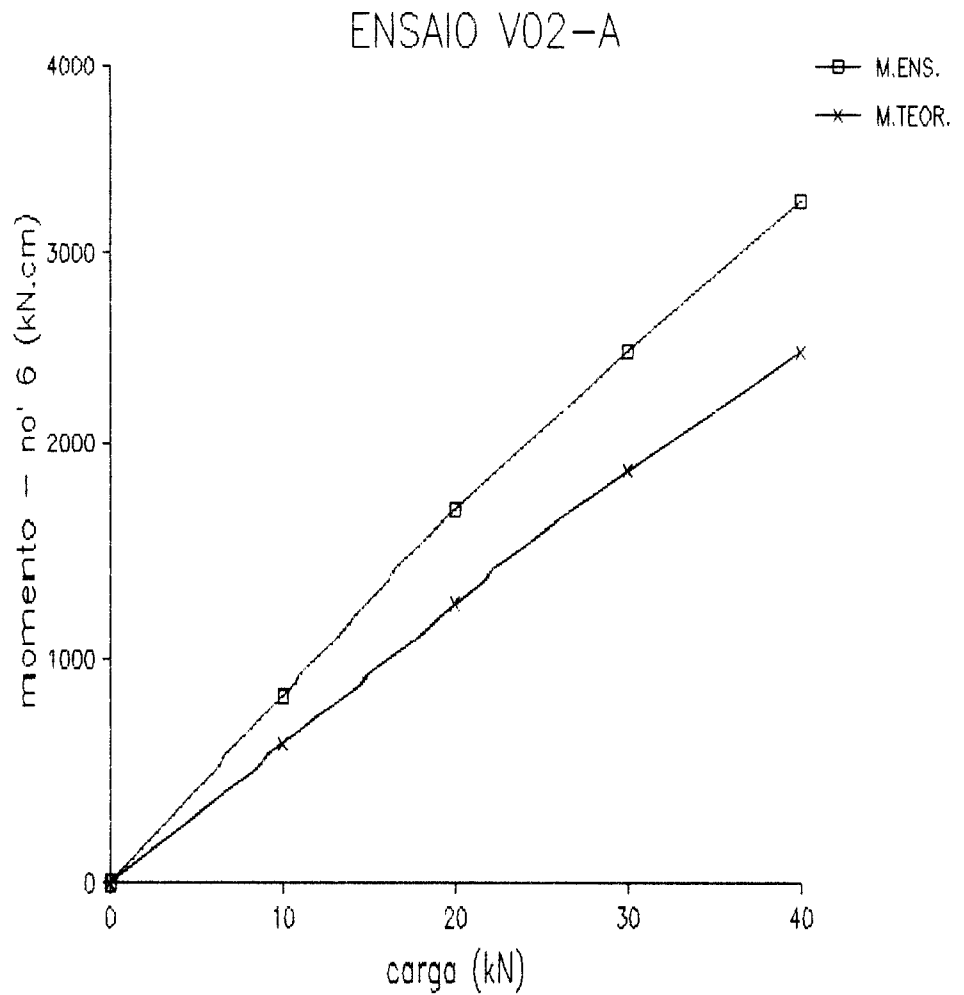
ETAPA	CARGA (kN)	.1	.2	.3	.MED	.4	.5	.6	.MED	M.ENS. NO' 2	M.TEOR. NO' 2
0	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	10	2,49	2,55	2,71	2,58	-2,85	-2,51	-2,33	-2,56	773,89	850,62
2	20	4,90	5,10	5,32	5,10	-5,49	-5,02	-4,68	-5,06	1402,45	1701,24
3	0	-,04	-,02	-,04	-,03	-,02	,00	-,02	-,01	-24,22	,00
	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
4	10	2,49	2,55	2,71	2,58	-2,77	-2,49	-2,33	-2,53	682,82	850,62
5	20	4,92	5,08	5,34	5,11	-5,49	-5,04	-4,70	-5,08	1437,54	1701,24
6	30	7,19	7,53	7,96	7,56	-8,00	-7,37	-7,01	-7,46	2172,41	2551,86
7	40	9,48	9,89	10,57	9,98	-10,45	-9,54	-9,22	-9,74	2934,13	3402,48
8	0	-,02	-,12	-,24	-,13	,20	,42	,18	,27	-5,53	,00



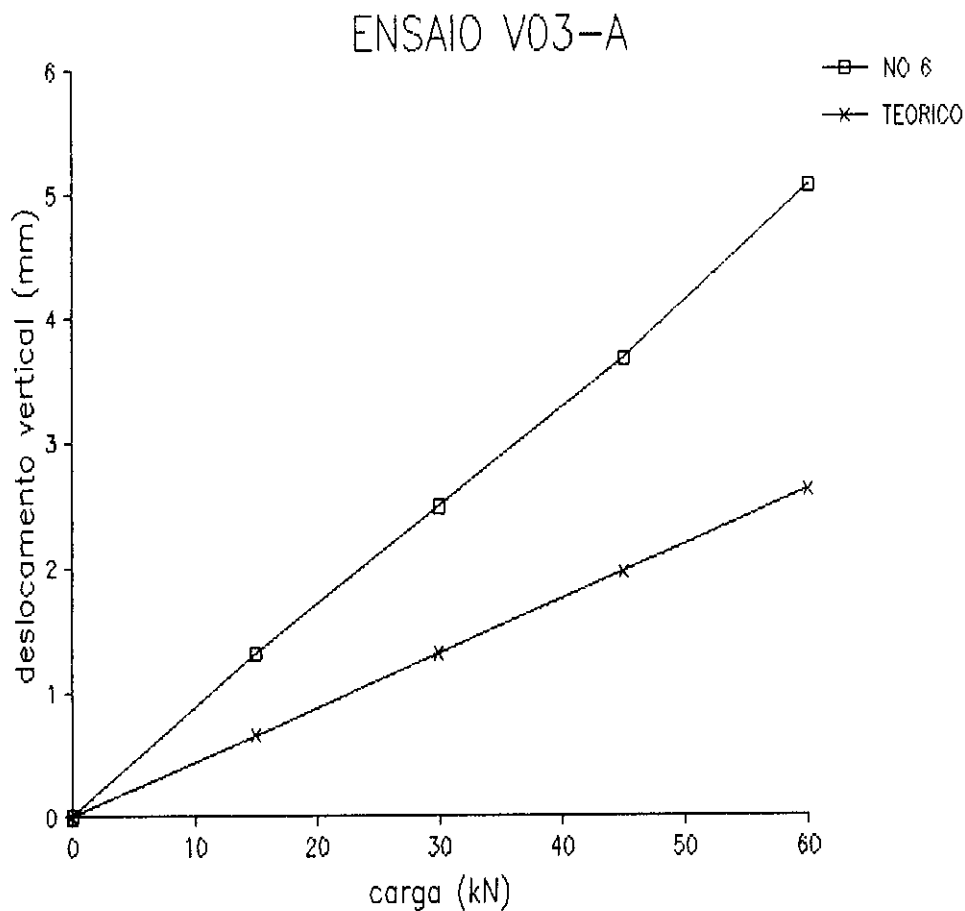
ETAPA	CARGA (kN)	.7	.8	.MED	.9	.10	.MED	M.ENS. NO' 3	M.TEOR. NO' 3
0	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	10	2,13	2,21	2,17	-2,21	-1,97	-2,09	658,89	698,34
2	20	8,18	4,34	6,26	-4,40	-3,82	-4,11	1423,63	1396,68
3	0	-,06	-,04	-,05	,00	-,04	-,02	-24,71	,00
4	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
4	10	2,15	2,21	2,18	-2,23	-1,97	-2,10	577,50	698,34
5	20	4,24	4,36	4,30	-4,40	-3,92	-4,16	1215,95	1396,68
6	30	6,19	6,49	6,34	-6,45	-5,85	-6,15	1846,20	2095,02
7	40	8,14	8,30	8,22	-8,42	-7,68	-8,05	2487,25	2793,36
8	0	-,06	-,14	-,10	,14	,16	,15	10,80	,00



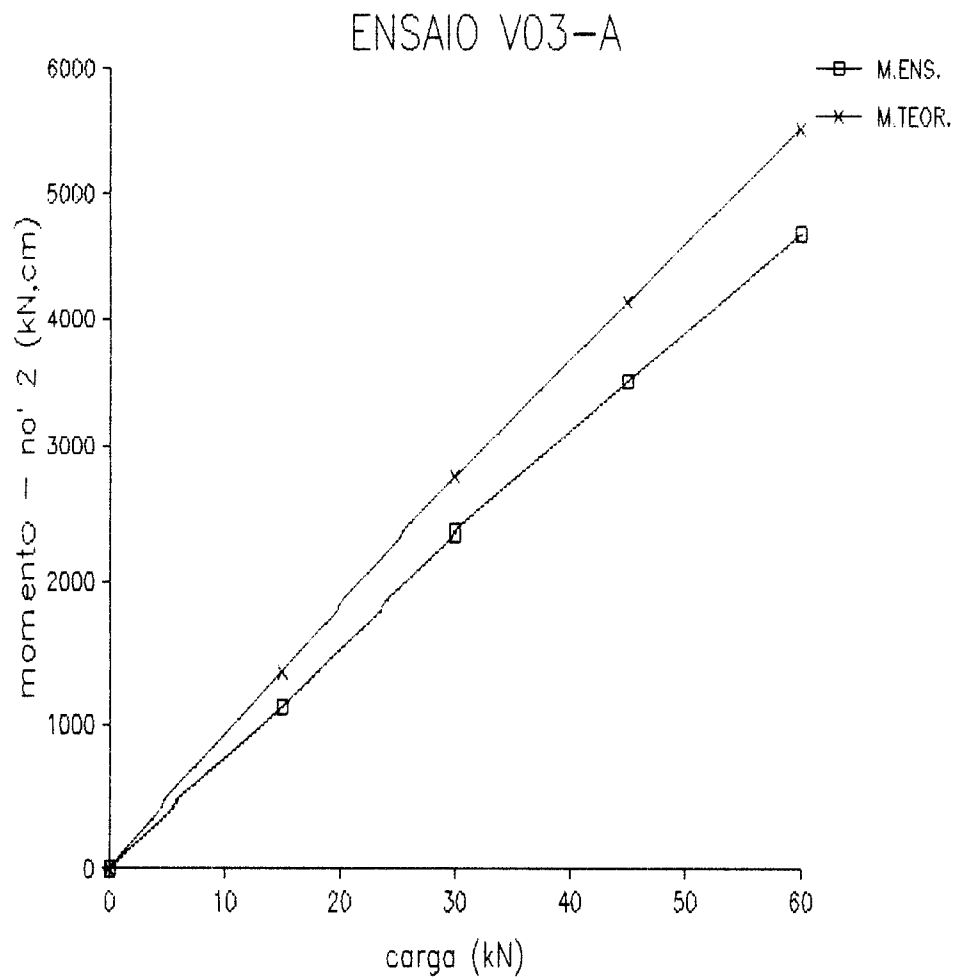
ETAPA	CARGA (kN)	.11	.12	.MED	.13	.14	.MED	M.ENS. NO' 6	M.TEOR. NO' 6
0	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	10	-3,36	-3,56	-3,46	3,11	3,38	3,25	783,73	619,13
2	20	-6,71	-7,21	-6,96	7,03	6,69	6,86	1673,01	1238,26
3	0	-,04	-,02	-,03	-,08	-,06	-,07	4,31	,00
	0	,00	,00		,00	,00		,00	,00
4	10	-3,34	-3,54	-3,44	3,52	3,40	3,46	845,79	619,13
5	20	-6,63	-7,17	-6,90	7,07	6,73	6,90	1656,58	1238,26
6	30	-9,93	-10,83	-10,38	10,73	10,11	10,42	2477,68	1857,39
7	40	-13,08	-14,53	-13,81	14,43	13,54	13,99	3277,70	2476,52
8	0	-,24	-,10	-,17	,14	,02	,08	12,56	,00



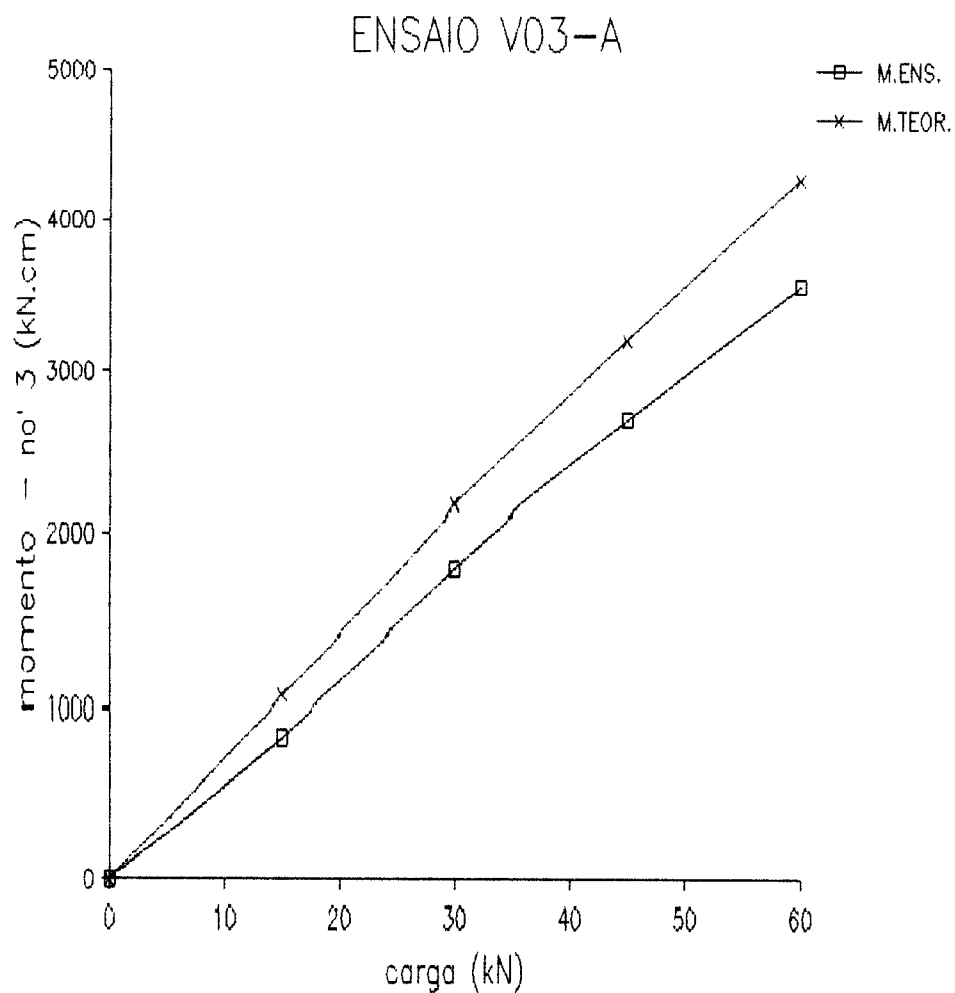
ETAPA	CARGA (kN)	DEF1 (mm)	DEF2 (mm)	ANG. (rad)	NO 4	NO 4 TEORICO	NO 5	NO 5 TEORICO	NO 6	NO 6 TEORICO	NO 7	NO 7 TEORICO	NO 8	NO 8 TEORICO
0	0	,00	,00	,000000	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	15	,27	,05	,000428	,47	,21	1,00	,51	1,15	,65	1,06	,61	,88	,36
2	30	,47	,10	,000720	1,06	,42	2,09	1,02	2,42	1,30	2,23	1,21	1,54	,72
3	0	,02	,00	,000039	,00	,00	,06	,00	,03	,00	,04	,00	,18	,00
	0			,000000	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
4	15	,17	,04	,000253	,53	,21	1,11	,51	1,31	,65	1,18	,61	,81	,36
5	30	,43	,09	,000661	1,04	,42	2,10	1,02	2,48	1,30	2,31	1,21	1,43	,72
6	45	,69	,15	,001051	1,57	,63	3,19	1,53	3,67	1,96	3,45	1,82	2,09	1,08
7	60	,94	,19	,001459	2,24	,83	4,32	2,05	5,06	2,61	4,76	2,43	2,93	1,43
8	0	-,02	-,05	,000058	,22	,00	,23	,00	,21	,00	,14	,00	,15	,00



ETAPA	CARGA (kN)	.1	.2	.3	.MED	.4	.5	.6	.MED	M.ENS. NO' 2	M.TEOR. NO' 2
0	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	15	2,11	1,99	1,87	1,99	-2,23	-1,93	-1,45	-1,87	1260,82	1377,95
2	30	4,16	3,88	3,68	3,91	-4,36	-3,74	-2,79	-3,63	2350,98	2755,89
3	0	-,14	-,04	-,08	-,09	,04	,08	,10	,07	1,83	,00
	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
4	15	2,21	2,01	1,95	2,06	-2,27	-1,99	-1,51	-1,92	1120,60	1377,95
5	30	4,32	3,96	3,82	4,03	-4,44	-3,84	-2,91	-3,73	2345,31	2755,89
6	45	6,43	5,87	5,45	5,92	-6,53	-5,53	-4,16	-5,41	3503,10	4133,84
7	60	8,58	7,68	7,05	7,77	-8,68	-7,23	-5,36	-7,09	4672,08	5511,78
8	0	-,16	-,24	-,14	-,18	,22	,34	,36	,31	-51,52	,00

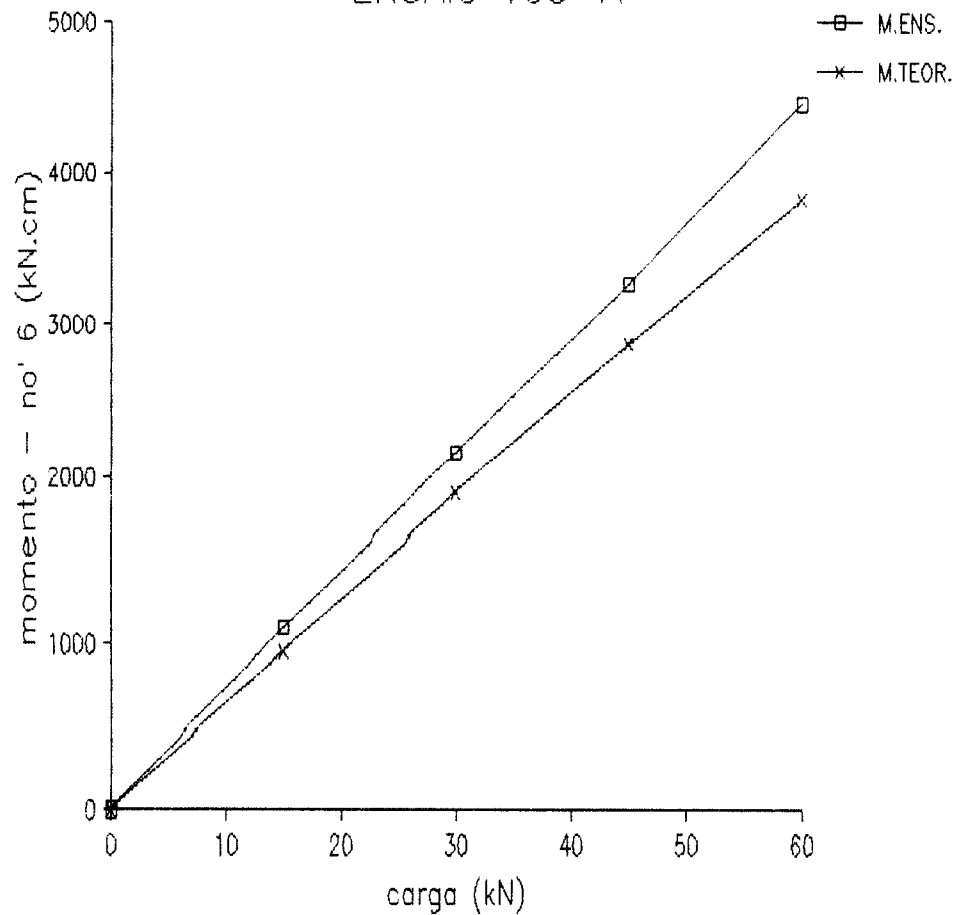


ETAPA	CARGA (kN)	.7	.8	.MED	.9	.10	.MED	M.ENS. NO' 3	M.TEOR. NO' 3
0	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	15	1,43	1,31	1,37	-1,43	-1,11	-1,27	977,08	1067,93
2	30	2,87	2,67	2,77	-2,81	-2,11	-2,46	1814,05	2135,85
3	0	-,08	-,08	-,08	,06	,02	,04	9,23	,00
	0	,00	,00		,00	,00		,00	,00
4	15	1,51	1,39	1,45	-1,45	-1,09	-1,27	834,34	1067,93
5	30	2,99	2,77	2,88	-2,89	-2,19	-2,54	1802,40	2135,85
6	45	4,40	4,00	4,20	-4,14	-3,05	-3,59	2684,46	3203,78
7	60	5,77	5,18	5,47	-5,32	-3,88	-4,60	3562,32	4271,70
8	0	-,20	-,24	-,22	,26	,36	,31	-63,15	,00

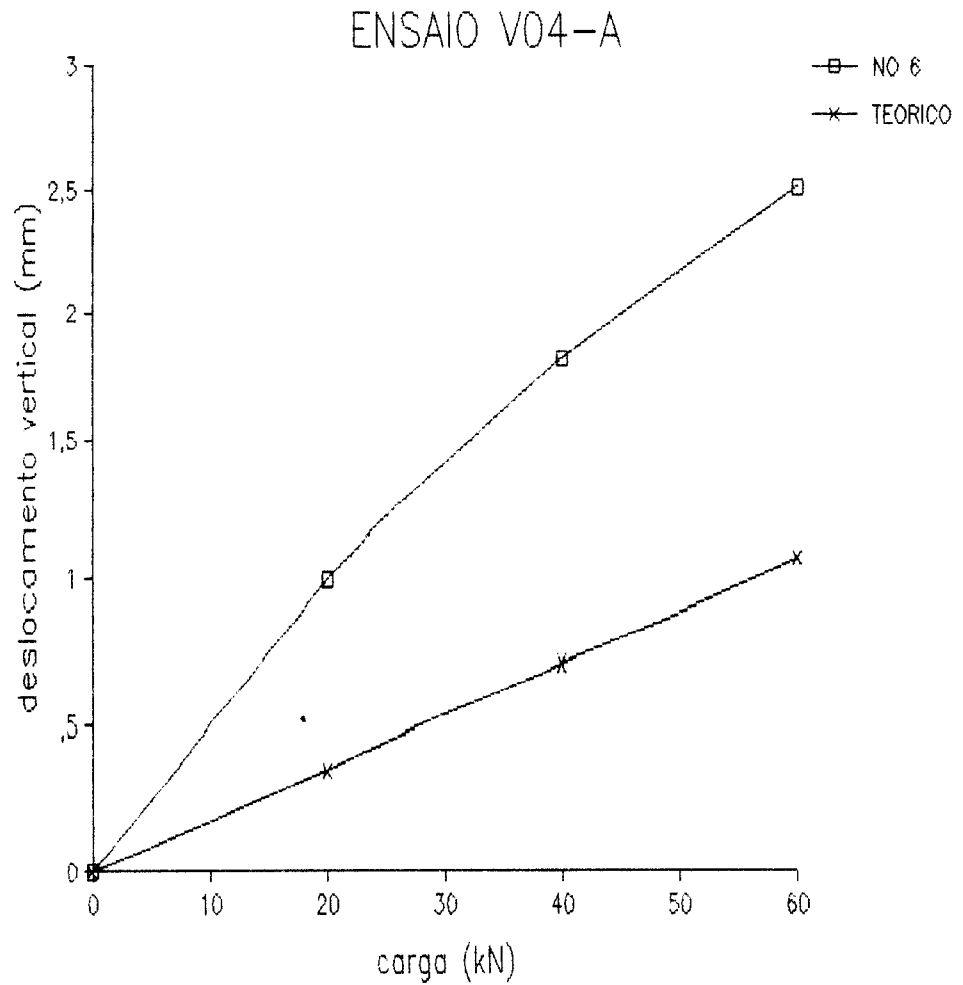


ETAPA	CARGA (kN)	.11	.12	.MED	.13	.14	.MED	M.ENS. NO' 6	M.TEOR. NO' 6
0	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	15	-2,81	-2,97	-2,89	2,97	2,39	2,68	1023,10	954,47
2	30	-5,67	-5,81	-5,74	5,85	4,88	5,37	2107,54	1908,93
3	0	-,06	-,10	-,08	,06	,06	,06	12,02	,00
	0	,00	,00		,00	,00		,00	,00
4	15	-2,79	-2,89	-2,84	2,93	2,41	2,67	1094,42	954,47
5	30	-5,71	-5,85	-5,78	5,91	4,94	5,42	2157,72	1908,93
6	45	-8,72	-8,76	-8,74	8,98	7,60	8,29	3256,80	2863,40
7	60	-11,98	-11,87	-11,92	12,18	10,63	11,41	4452,08	3817,86
8	0	,00	-,24	-,12	,34	,28	,31	66,42	,00

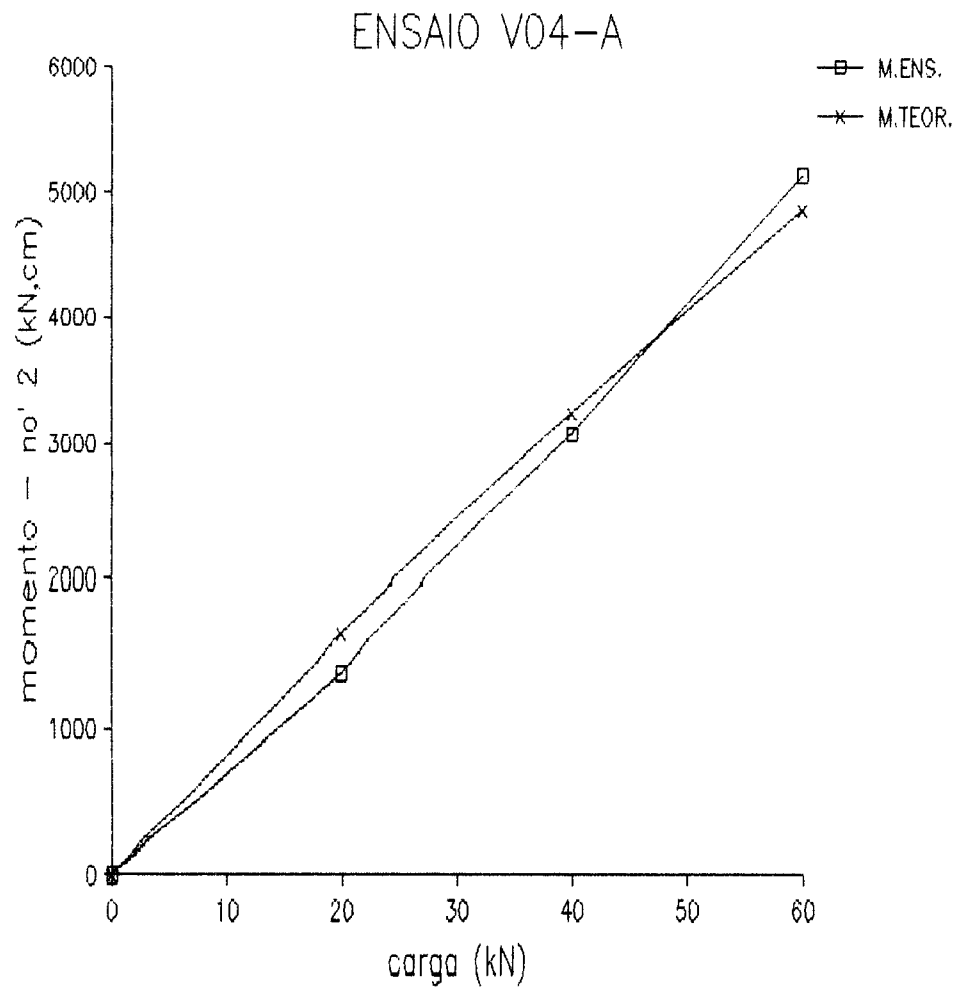
ENSAIO V03-A



ETAPA	CARGA (kN)	DEF1 (mm)	DEF2 (mm)	ANG. (rad)	NO 4	NO 4 TEORICO	NO 5	NO 5 TEORICO	NO 6	NO 6 TEORICO	NO 7	NO 7 TEORICO	NO 8	NO 8 TEORICO
0	0	,00	,00	,000000	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	20	,11	,02	,000159	,52	,11	,92	,28	1,08	,35	1,09	,32	,76	,15
2	40	,44	,01	,000761	,83	,23	1,50	,56	,78	,71	1,94	,63	1,33	,30
3	0	-,04	,00	-,000071	,04	,00	,07	,00	,07	,00	,06	,00	,04	,00
	0			,000000	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
4	20	,15	,00	,000265	,47	,11	,84	,28	,99	,35	1,04	,32	,74	,15
5	40	,48	,08	,000708	,85	,23	1,50	,56	1,82	,71	1,95	,63	1,33	,30
6	60	,77	,01	,001345	1,22	,34	2,12	,85	2,52	1,06	2,71	,95	1,91	,45
7	60	,77	,01	,001345	1,22	,34	2,12	,85	2,52	1,06	2,71	,95	1,91	,45
8	0	,00	,00	,000000	,03	,00	,04	,00	,05	,00	,05	,00	,04	,00

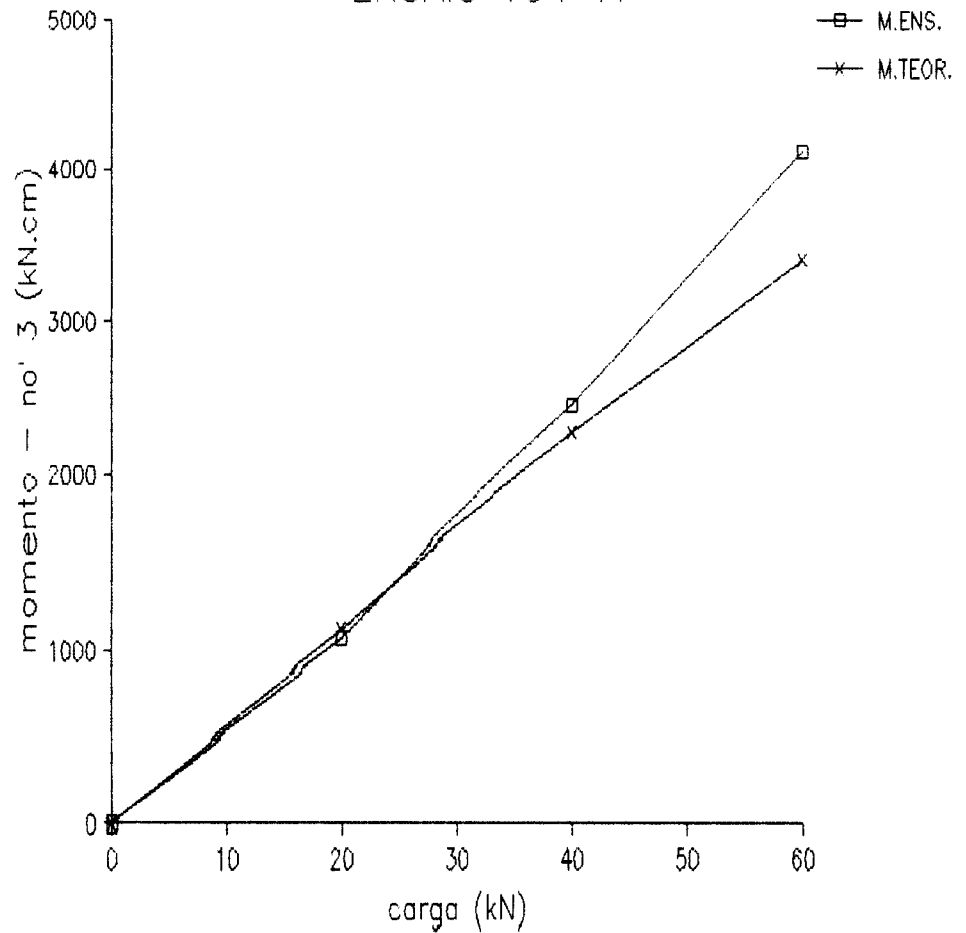


ETAPA	CARGA (kN)	.1	.2	.3	.MED	.4	.5	.6	.MED	M.ENS. NO' 2	M.TEOR. NO' 2
0	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	20	-,32	,96	1,23	,62	-,98	-1,89	-1,17	-1,35	1111,23	1618,08
2	40	,36	1,93	2,37	1,55	-1,89	-2,09	-2,25	-2,08	3040,86	3236,16
3	0	-1,21	-,12	-,06	-,46	-,06	,00	-,04	-,03	-319,59	,00
	0	,00	,00	,00		,00	,00	,00		,00	,00
4	20	,82	,98	1,27	1,02	-,96	-1,09	-1,13	-1,06	1381,21	1618,08
5	40	1,53	1,97	2,41	1,97	-1,83	-2,09	-2,19	-2,04	3076,26	3236,16
6	60	2,21	2,83	3,50	2,85	-2,73	-2,97	-3,19	-2,96	5135,77	4854,24
7	60	2,21	2,83	3,50	2,85	-2,73	-2,97	-3,19	-2,96	5135,77	4854,24
8	0	-,08	-,04	-,06	-,06	,02	,00	,06	,03	-33,82	,00

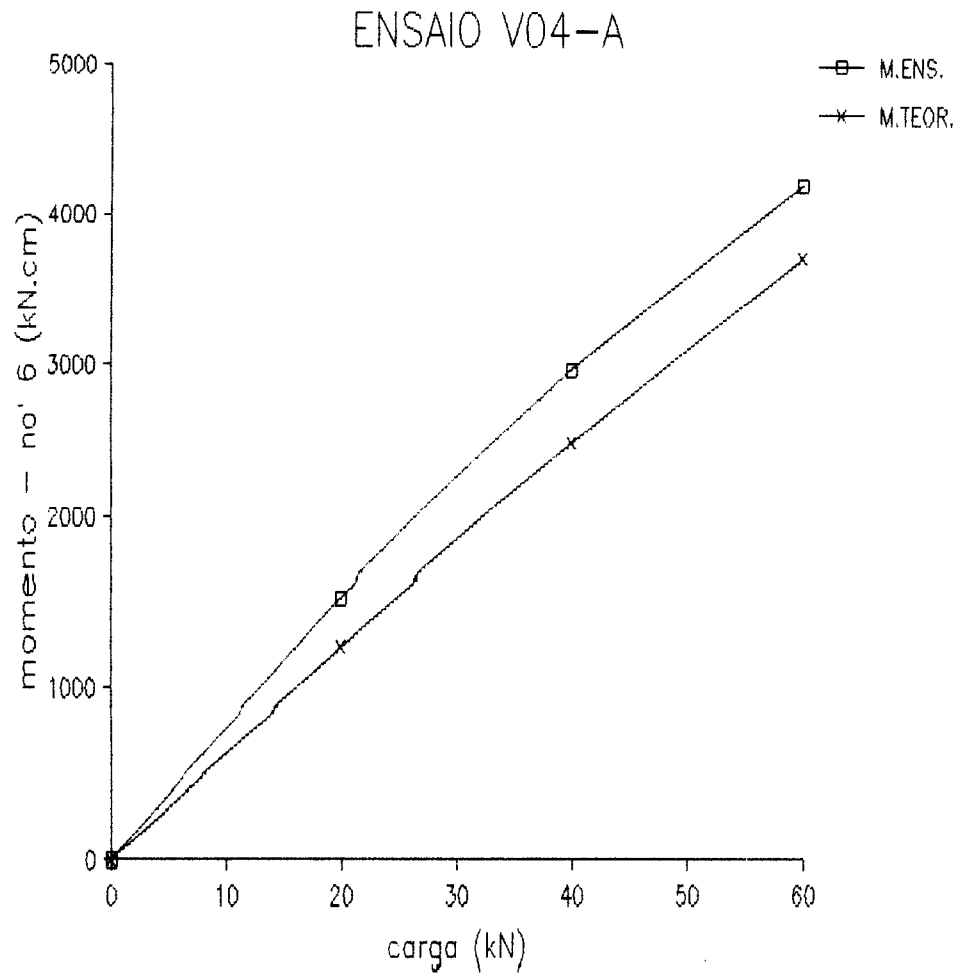


ETAPA	CARGA (kN)	.7	.8	.MED	.9	.10	.MED	M.ENS. NO' 3	M.TEOR. NO' 3
0	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	20	,54	,80	,67	-,62	-,68	-,65	837,29	1133,56
2	40	,98	1,49	1,23	-1,23	-1,29	-1,26	2518,95	2267,12
3	0	-,24	-,06	-,15	-,10	,02	-,04	-186,14	,00
	0	,00	,00		,00	,00		,00	,00
4	20	,64	,84	,74	-,58	-,70	-,64	1075,53	1133,56
5	40	1,15	1,53	1,34	-1,17	-1,31	-1,24	2446,65	2267,12
6	60	1,57	2,15	1,86	-1,61	-1,77	-1,69	4114,07	3400,68
7	60	1,57	2,15	1,86	-1,61	-1,77	-1,69	4114,07	3400,68
8	0	-,06	,00	-,03	-,02	,02	,00	-11,71	,00

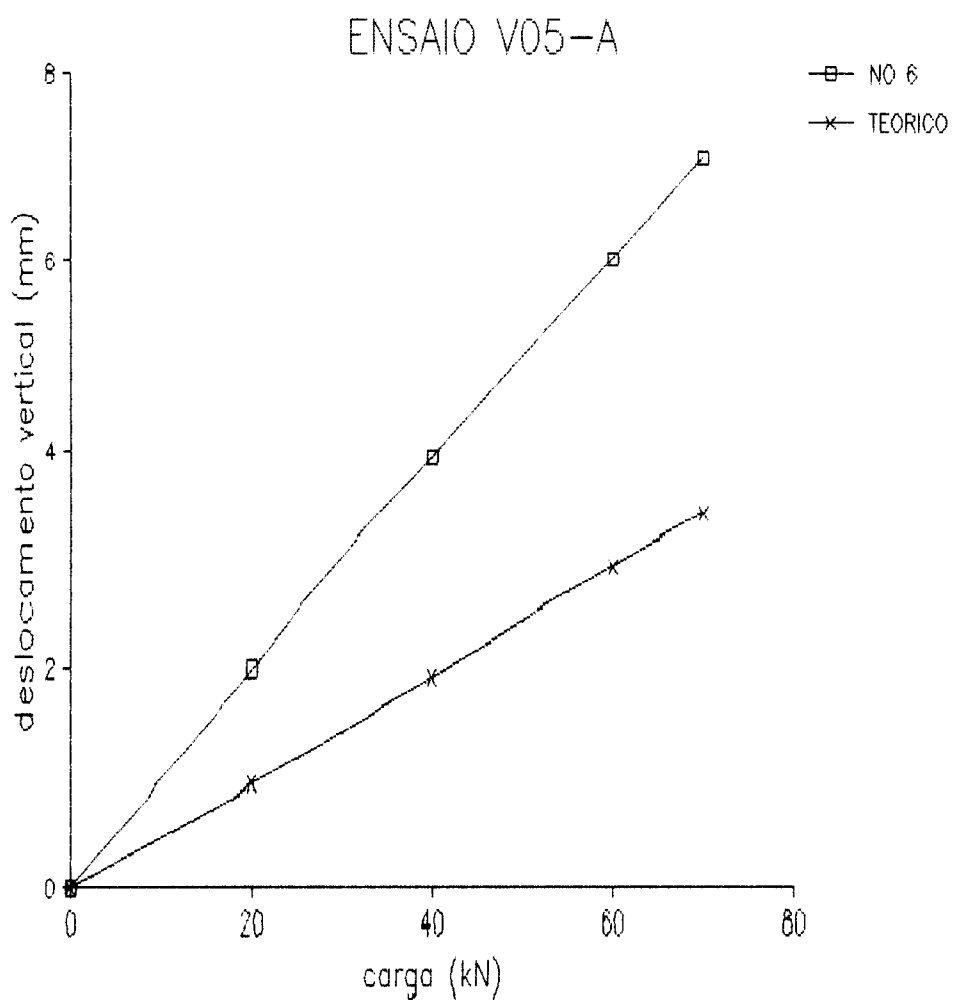
ENSAIO V04-A



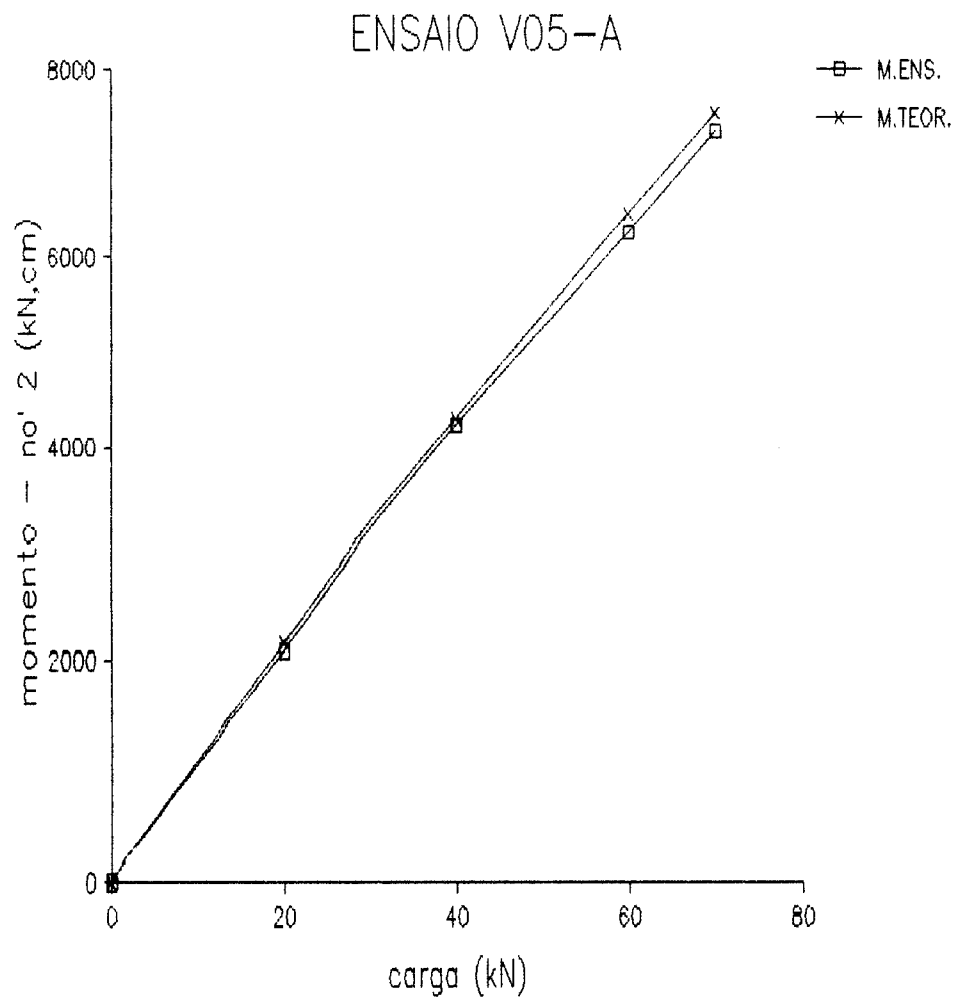
ETAPA	CARGA (kN)	.11	.12	.MED	.13	.14	.MED	M.ENS. NO' 6	M.TEOR. NO' 6
0	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	20	-2,59	-2,19	-2,39	2,11	2,47	2,29	1671,68	1240,86
2	40	-5,06	-4,48	-4,77	4,16	5,00	4,58	2888,77	2481,72
3	0	-,28	,04	-,12	,04	-,06	,00	115,03	,00
	0	,00	,00		,00	,00		,00	,00
4	20	-2,49	-2,19	-2,34	2,01	2,53	2,27	1536,20	1240,86
5	40	-5,08	-4,46	-4,77	4,14	5,14	4,64	2966,27	2481,72
6	60	-7,64	-6,85	-7,25	6,33	7,64	6,99	4209,74	3722,58
7	60	-7,64	-6,85	-7,25	6,33	7,64	6,99	4209,74	3722,58
8	0	-,30	,04	-,13	,00	,08	,04	66,33	,00



ETAPA	CARGA (kN)	DEF1 (mm)	DEF2 (mm)	ANG. (rad)	NO 4	NO 4 TEORICO	NO 5	NO 5 TEORICO	NO 6	NO 6 TEORICO	NO 7	NO 7 TEORICO	NO 8	NO 8 TEORICO
0	0	,00	,00	,000000	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	20	,40	,08	,000566	,97	,39	1,82	,86	2,02	,96	,93	,85	1,41	,53
2	40	,85	,18	,001186	2,03	,79	3,74	1,73	4,04	1,91	3,84	1,70	2,66	1,05
3	0	,04	,01	,000053	,02	,00	,04	,00	,08	,00	,05	,00	,08	,00
	0			,000000	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
4	20	,37	,07	,000531	,97	,39	1,80	,86	1,98	,96	1,91	,85	1,35	,53
5	40	,80	,16	,001133	1,93	,79	3,70	1,73	3,93	1,91	3,80	1,70	2,58	1,05
6	60	1,20	,24	,001699	3,08	1,18	5,63	2,59	6,02	2,87	5,61	2,54	3,80	1,58
7	70	1,43	,27	,002053	3,62	1,38	6,60	3,03	7,10	3,34	6,57	2,97	4,41	1,84
8	0	,05	-,03	,000142	,06	,00	,10	,00	,13	,00	,14	,00	,14	,00

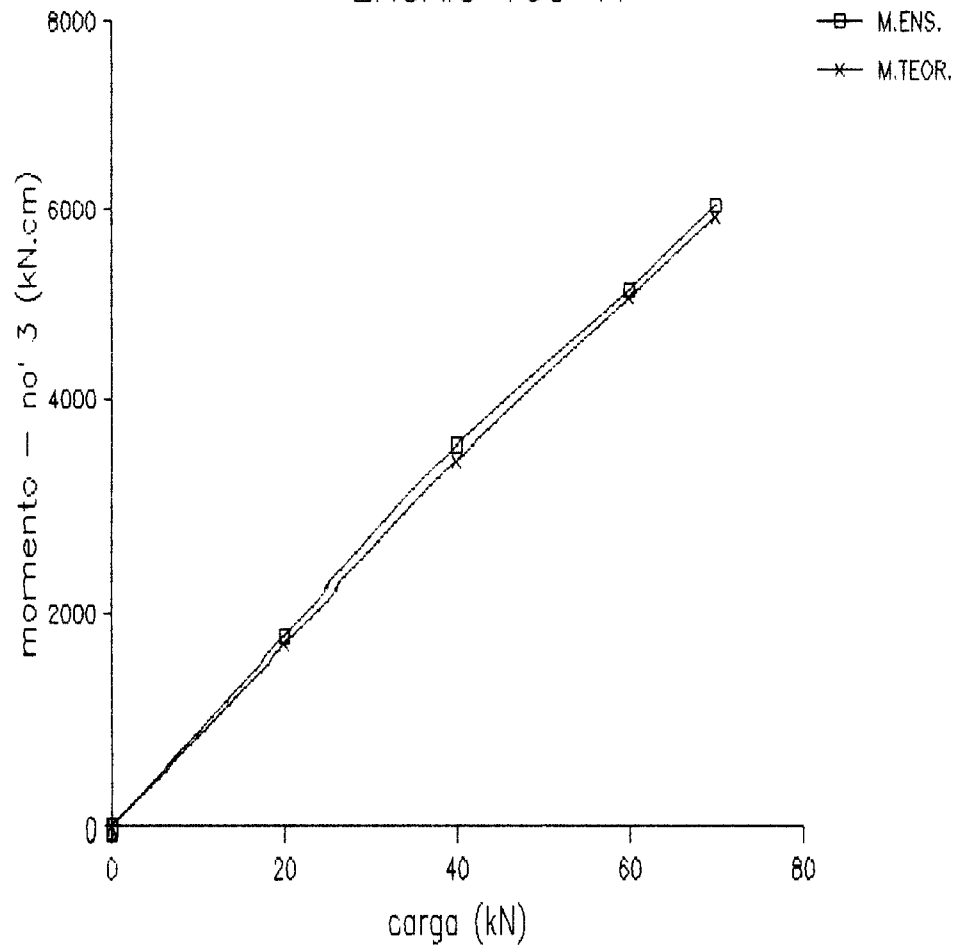


ETAPA	CARGA (kN)	.1	.2	.3	.MED	.4	.5	.6	.MED	M.ENS. NO' 2	M.TEOR. NO' 2
0	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	20	1,87	2,59	3,21	2,55	-2,03	-2,47	-2,93	-2,48	2120,63	2152,34
2	40	3,84	4,80	5,91	4,85	-4,72	-5,22	-5,65	-5,20	4304,56	4304,68
3	0	-,14	-,30	-,26	-,23	-,26	-,24	-,24	-,25	70,71	,00
	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
4	20	1,87	2,63	3,23	2,57	-1,99	-2,45	-2,99	-2,48	2081,52	2152,34
5	40	3,90	5,08	6,19	5,06	-4,46	-5,00	-5,45	-4,97	4231,99	4304,68
6	60	5,79	7,41	8,96	7,39	-6,89	-7,41	-7,74	-7,35	6261,73	6457,02
7	70	6,67	8,46	10,27	8,47	-8,22	-8,48	-8,88	-8,53	7340,91	7533,19
8	0	-,24	-,20	-,06	-,17	-,20	,04	,02	-,05	145,29	,00

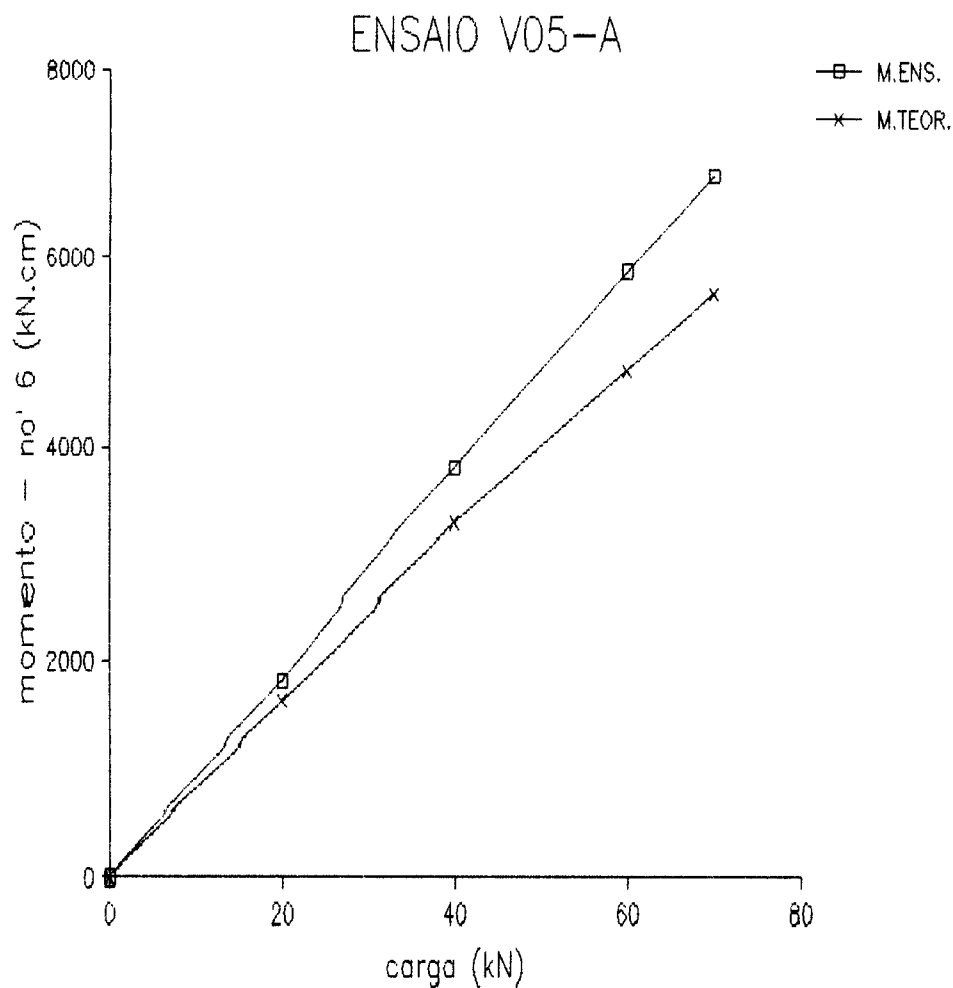


ETAPA	CARGA (kN)	.7	.8	.MED	.9	.10	.MED	M.ENS. NO' 3	M.TEOR. NO' 3
0	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	20	1,57	1,99	1,78	-2,01	-,54	-1,27	1540,51	1689,14
2	40	2,91	3,64	3,27	-4,26	-4,78	-4,52	3615,55	3378,28
3	0	-,28	-,30	-,29	-,24	-,46	-,35	81,04	,00
	0	,00	,00		,00	,00		,00	,00
4	20	1,57	2,03	1,80	-2,03	-2,41	-2,22	1767,48	1689,14
5	40	3,13	3,90	3,51	-4,04	-4,40	-4,22	3534,51	3378,28
6	60	4,52	5,67	5,10	-5,81	-6,09	-5,95	5147,35	5067,42
7	70	5,18	6,51	5,84	-6,71	-6,95	-6,83	6029,84	5911,99
8	0	-,14	-,22	-,18	,10	,02	,06	104,83	,00

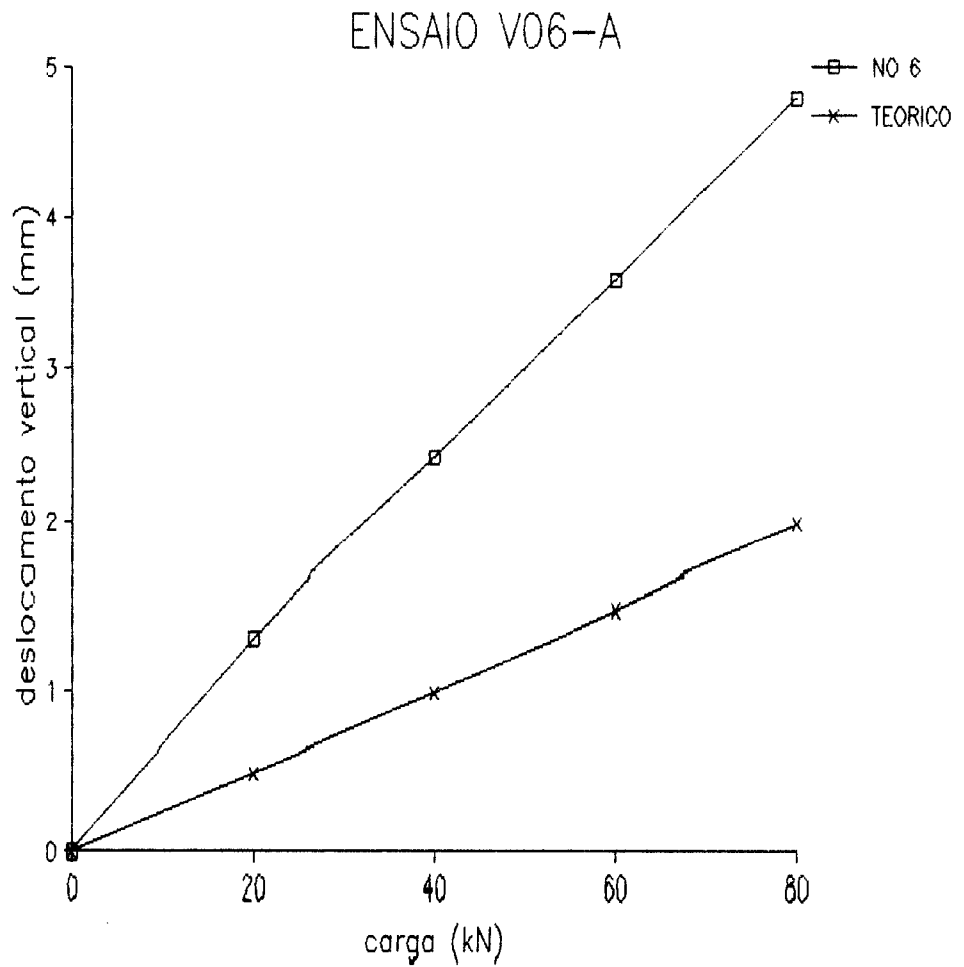
ENSAIO V05-A



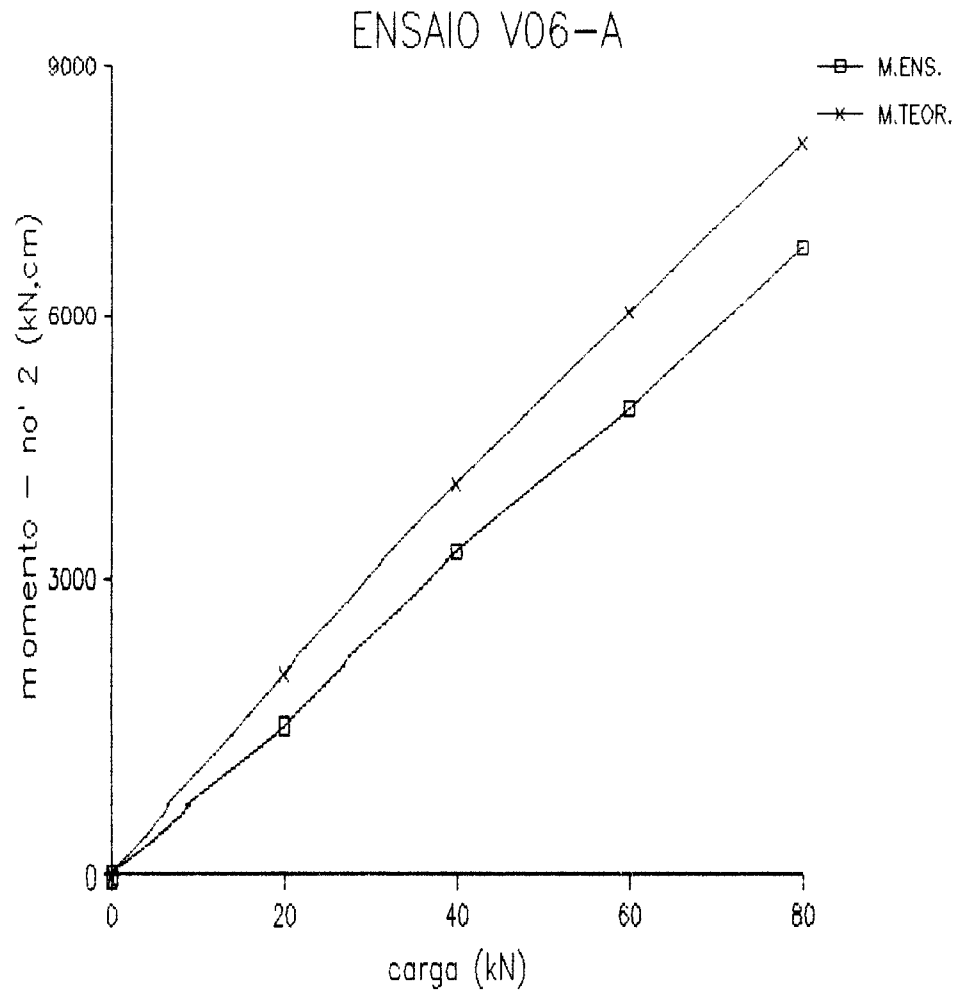
ETAPA	CARGA (kN)	.11	.12	.MED	.13	.14	.MED	M.ENS. NO' 6	M.TEOR. NO' 6
0	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	20	-3,13	-4,08	-3,60	3,90	4,02	3,96	1804,76	1604,68
2	40	-7,27	-8,82	-8,04	7,98	8,04	8,01	3839,23	3209,36
3	0	-,30	-,32	-,31	-,14	-,26	-,20	1,57	,00
	0	,00	,00		,00	,00		,00	,00
4	20	-3,01	-4,08	-3,54	3,88	4,04	3,96	1807,42	1604,68
5	40	-6,85	-8,46	-7,65	8,06	8,22	8,14	3795,93	3209,36
6	60	-10,83	-12,92	-11,88	12,36	12,42	12,39	5853,86	4814,04
7	70	-12,90	-15,27	-14,08	14,59	14,49	14,54	6878,90	5616,38
8	0	-,20	-,24	-,22	,06	,16	,11	14,39	,00



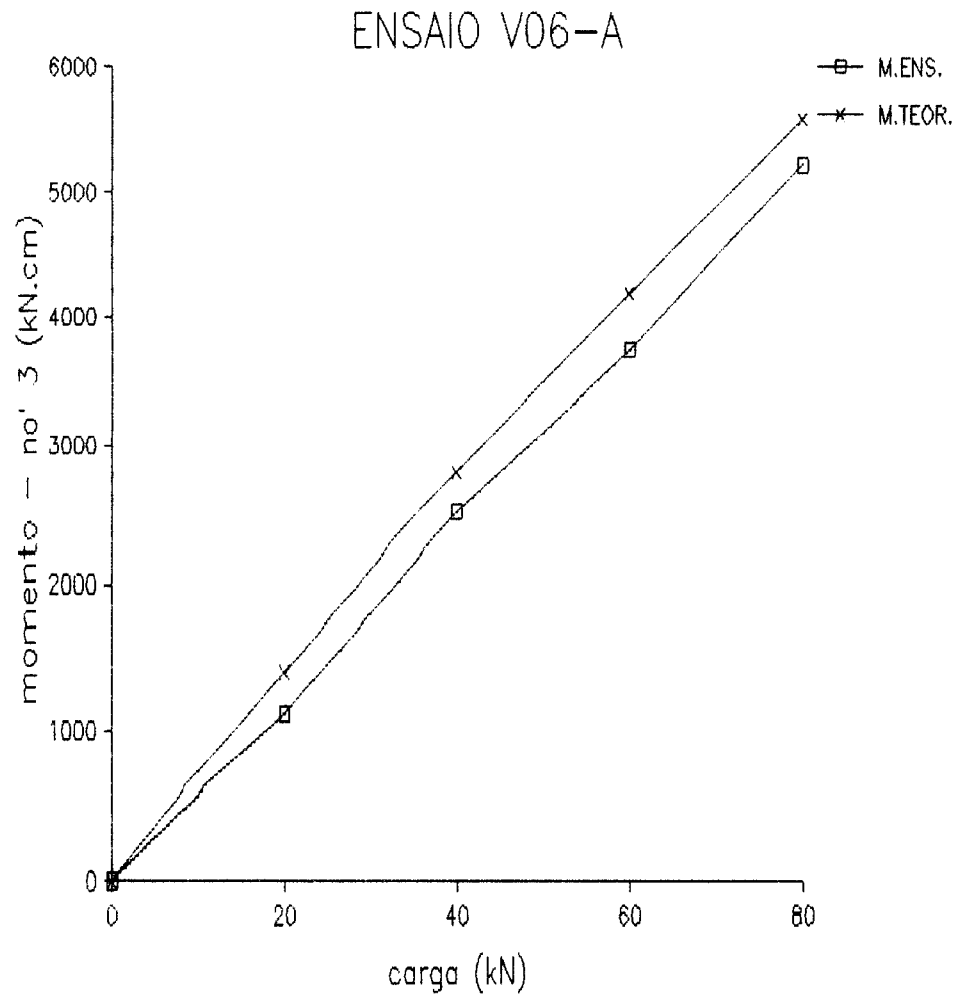
ETAPA	CARGA (kN)	DEF1 (mm)	DEF2 (mm)	ANG. (rad)	NO 4	NO 4 TEORICO	NO 5	NO 5 TEORICO	NO 6	NO 6 TEORICO	NO 7	NO 7 TEORICO	NO 8	NO 8 TEORICO
0	0	,00	,00	,000000	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	20	,24	,05	,000286	,65	,20	1,16	,45	1,30	,49	1,28	,44	1,02	,25
2	40	,60	,12	,000722	1,22	,40	2,17	,89	2,40	,99	2,37	,87	1,83	,51
3	0	,05	,01	,000060	,02	,00	,02	,00	,03	,00	,03	,00	,04	,00
	0			,000000	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
4	20	,21	,04	,000256	,67	,20	1,20	,45	1,32	,49	1,28	,44	1,02	,25
5	40	,55	,11	,000662	1,23	,40	2,19	,89	2,42	,99	2,39	,87	1,83	,51
6	60	,87	,16	,001068	1,86	,60	3,28	1,34	3,58	1,48	3,50	1,31	2,64	,76
7	80	1,25	,21	,001564	2,56	,81	4,44	1,78	4,79	1,98	4,63	1,75	3,40	1,01
8	0	,08	-,01	,000135	,25	,00	,34	,00	,37	,00	,39	,00	,40	,00



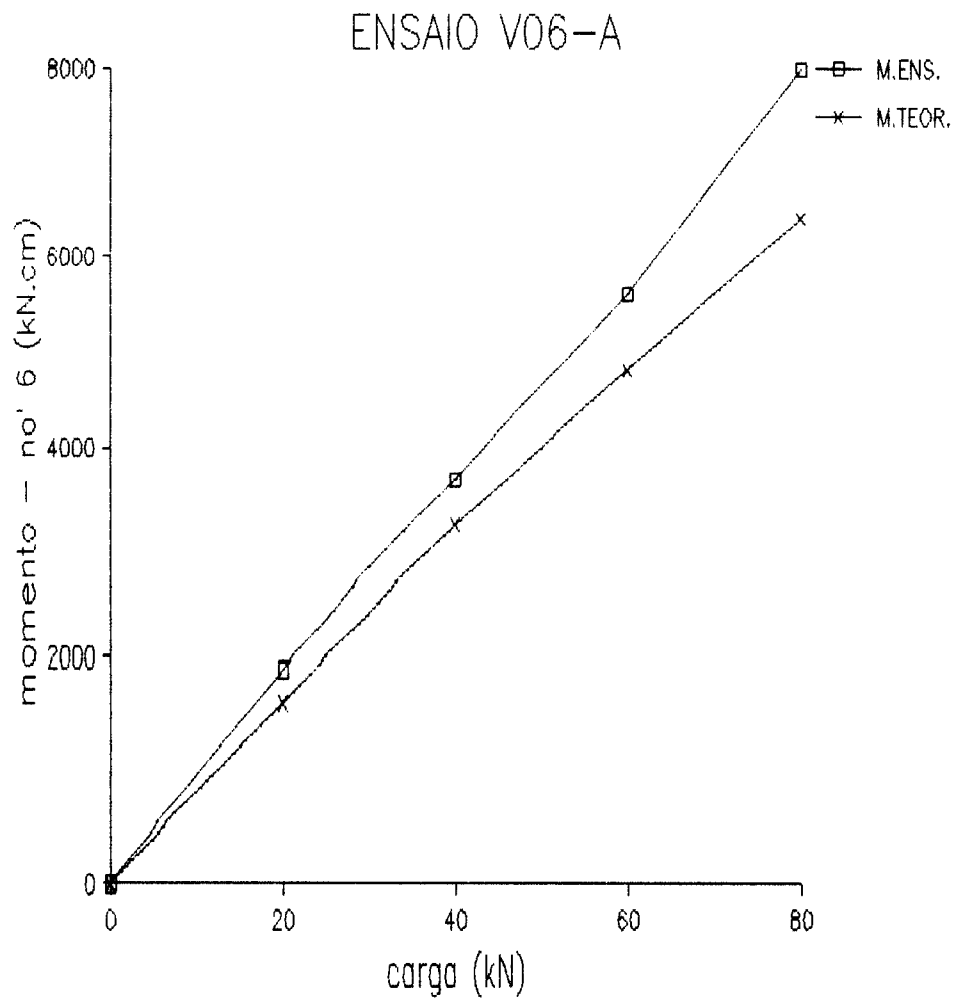
ETAPA	CARGA (kN)	.1	.2	.3	.MED	.4	.5	.6	.MED	M.ENS. NO' 2	M.TEOR. NO' 2
0	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	20	2,01	1,99	,98	1,66	-1,15	-1,09	-,94	-1,06	1805,77	2015,78
2	40	2,95	3,09	1,83	2,62	-2,21	-2,03	-1,77	-2,00	3640,18	4031,56
3	0	,62	-,08	-,04	,17	-,02	-,02	,00	-,01	218,78	,00
	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
4	20	1,25	1,11	,98	1,11	-1,13	-1,06	-,92	-1,04	1499,13	2015,78
5	40	2,25	2,05	1,87	2,06	-2,19	-2,05	-1,79	-2,01	3266,32	4031,56
6	60	2,89	2,91	2,61	2,80	-3,15	-2,93	-2,57	-2,88	4908,35	6047,34
7	80	3,90	3,78	3,19	3,62	-4,24	-3,86	-3,21	-3,77	6809,18	8063,12
8	0	-,70	-,10	-,16	-,32	,02	,08	,14	,08	163,72	,00



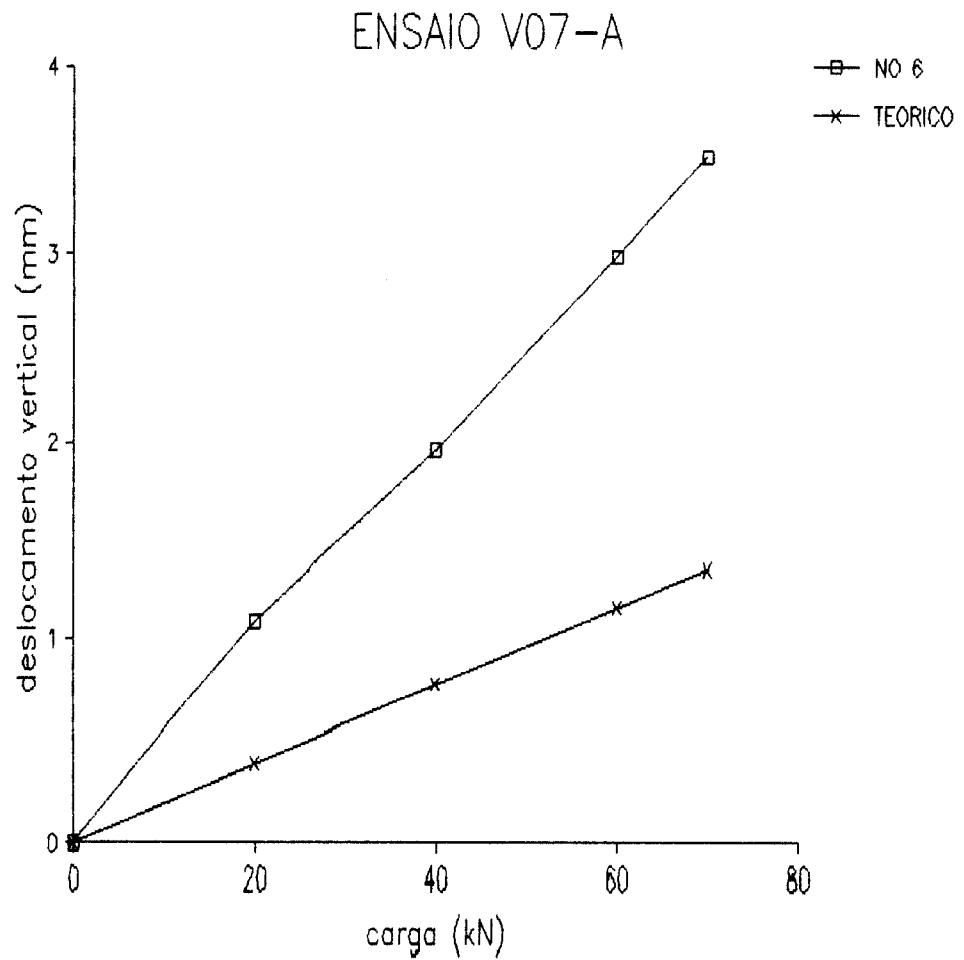
ETAPA	CARGA (kN)	.7	.8	.MED	.9	.10	.MED	M.ENS. NO' 3	M.TEOR. NO' 3
0	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	20	,70	,62	,66	-,68	-,62	-,65	1188,21	1394,20
2	40	1,29	1,04	1,16	-1,21	-1,06	-1,13	2593,88	2788,40
3	0	-,04	-,06	-,05	,04	,00	,02	109,03	,00
	0	,00	,00		,00	,00		,00	,00
4	20	,66	,66	,66	-,68	-,58	-,63	1111,25	1394,20
5	40	1,29	1,08	1,18	-1,21	-1,11	-1,16	2476,69	2788,40
6	60	1,85	1,43	1,64	-1,63	-1,39	-1,51	3736,03	4182,60
7	80	2,37	1,77	2,07	-2,09	-1,75	-1,92	5214,01	5576,80
8	0	-,10	-,20	-,15	,12	,08	,10	207,56	,00



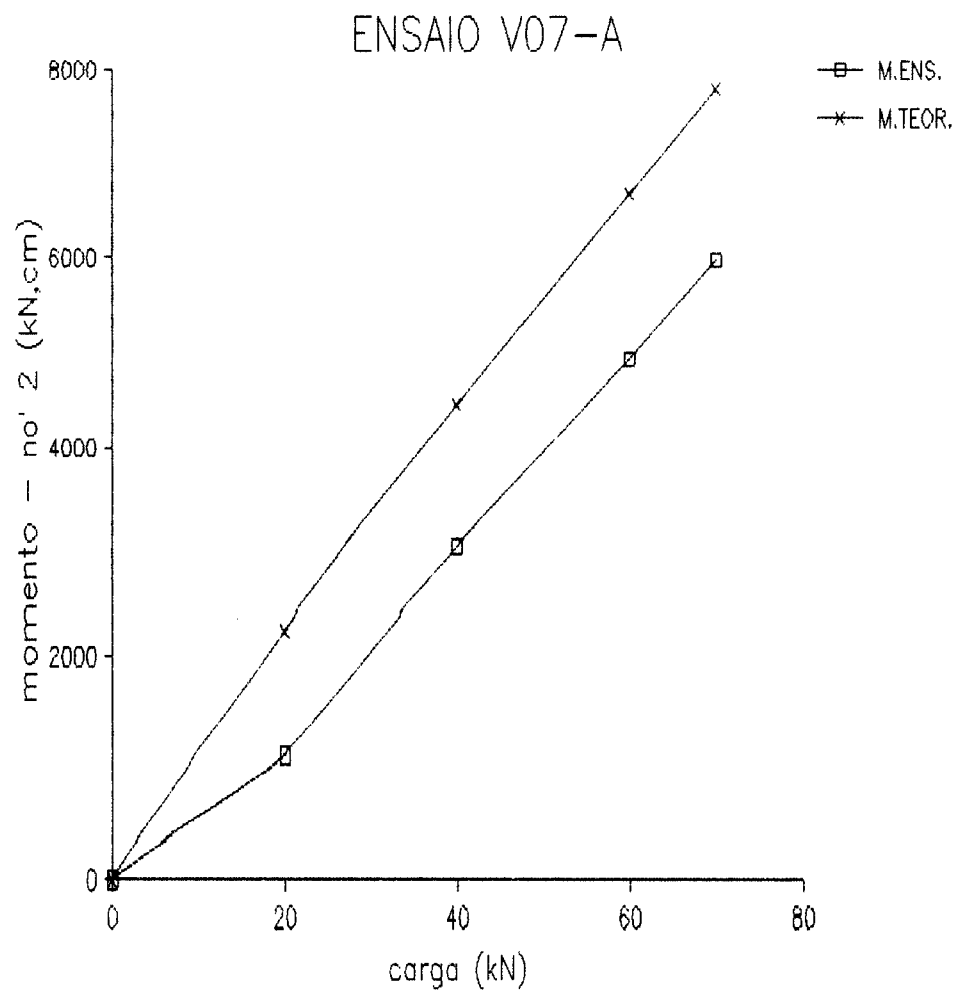
ETAPA	CARGA (kN)	.11	.12	.MED	.13	.14	.MED	M.ENS. NO' 6	M.TEOR. NO' 6
0	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	20	-2,69	-2,51	-2,60	2,57	2,61	2,59	1814,52	1599,74
2	40	-5,61	-5,14	-5,38	5,24	5,20	5,22	3554,75	3199,48
3	0	-,10	,00	-,05	,02	,04	,03	-32,98	,00
	0	,00	,00		,00	,00		,00	,00
4	20	-2,79	-2,53	-2,66	2,63	2,65	2,64	1892,23	1599,74
5	40	-5,59	-5,28	-5,43	5,26	5,30	5,28	3669,35	3199,48
6	60	-8,80	-8,08	-8,44	8,06	8,02	8,04	5593,40	4799,22
7	80	-13,28	-11,41	-12,34	11,13	11,49	11,31	7990,35	6398,96
8	0	-1,39	-,64	-1,02	-,34	,38	,02	276,77	,00



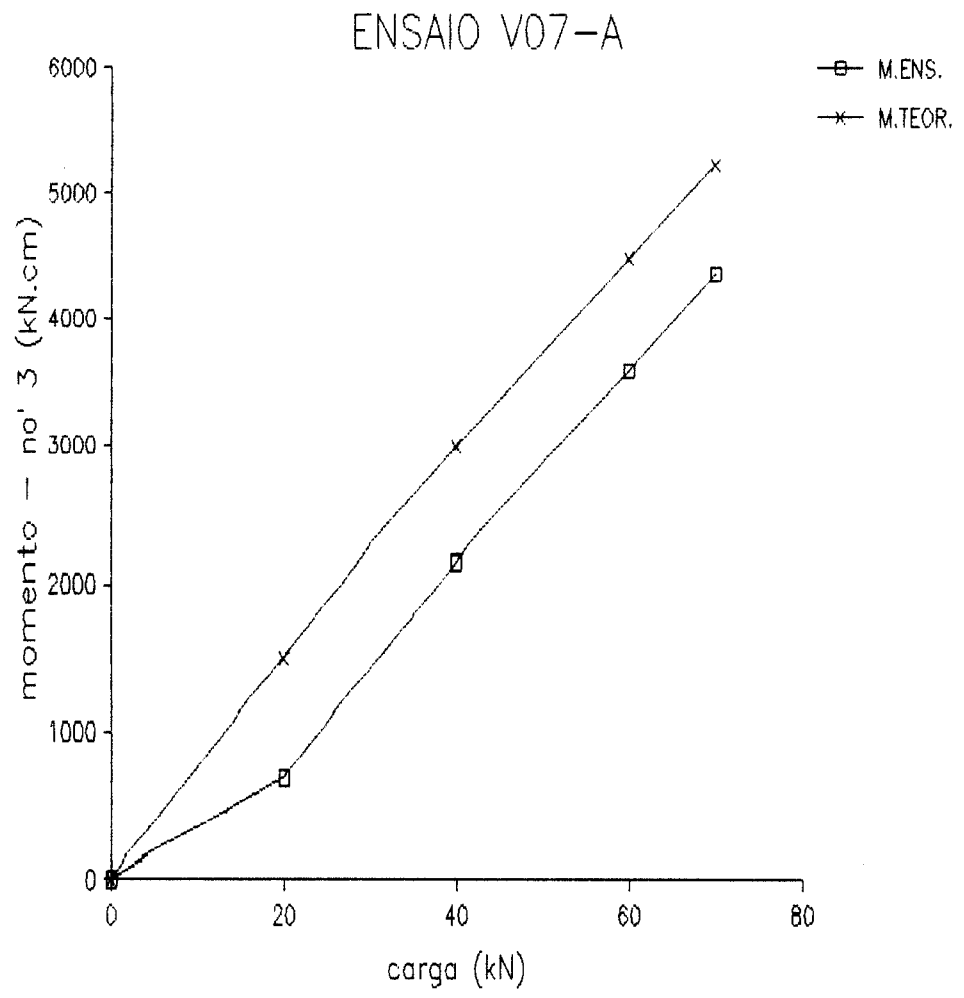
ETAPA	CARGA (kN)	DEF1 (mm)	DEF2 (mm)	ANG. (rad)	NO 4	NO 4 TEORICO	NO 5	NO 5 TEORICO	NO 6	NO 6 TEORICO	NO 7	NO 7 TEORICO	NO 8	NO 8 TEORICO
0	0	,00	,00	,000000	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	20	,21	,02	,000268	,54	,14	,98	,33	,98	,38	,92	,38	,61	,23
2	40	,49	,03	,000648	1,14	,27	1,98	,65	1,92	,77	1,89	,75	1,28	,47
3	0	,04	,01	,000042	,02	,00	,06	,00	,02	,00	,04	,00	,05	,00
	0			,000000	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
4	20	,17	,02	,000211	,58	,14	1,05	,33	1,08	,38	1,02	,38	,65	,23
5	40	,46	,02	,000620	1,11	,27	1,98	,65	1,96	,77	1,92	,75	1,23	,47
6	60	,76	,05	,001000	1,66	,41	2,95	,98	2,98	1,15	2,91	1,13	1,89	,70
7	70	,91	,05	,001211	1,95	,48	3,58	1,14	3,52	1,35	3,43	1,31	2,25	,82
8	0	,04	-,01	,000070	,16	,00	,20	,00	,18	,00	,17	,00	,13	,00



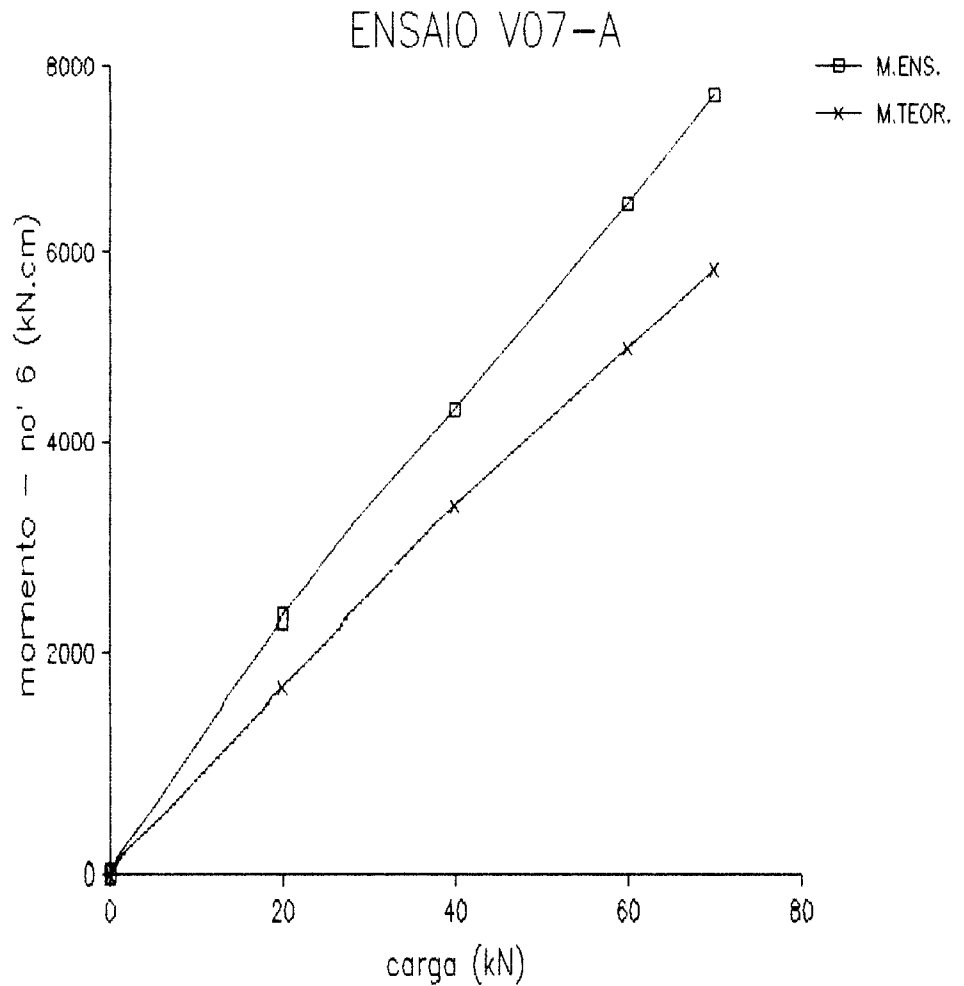
ETAPA	CARGA (kN)	.1	.2	.3	.MED	.4	.5	.6	.MED	M.ENS. NO' 2	M.TEOR. NO' 2
0	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	20	,28	,26	,20	,25	-,26	-,30	-,24	-,27	1272,66	2224,44
2	40	,62	,64	,48	,58	-,70	-,74	-,54	-,66	3079,47	4448,88
3	0	,02	,02	,00	,01	,00	-,04	-,02	-,02	171,81	,00
	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
4	20	,26	,26	,20	,24	-,24	-,28	-,28	-,27	1066,66	2224,44
5	40	,64	,66	,50	,60	-,68	-,74	-,54	-,65	2986,65	4448,88
6	60	1,09	1,11	,90	1,04	-1,21	-1,25	-,96	-1,14	4919,66	6673,32
7	70	1,31	1,33	1,11	1,25	-1,47	-1,51	-1,17	-1,39	5961,89	7785,54
8	0	,06	,06	,02	,05	-,04	,00	,04	,00	280,91	,00



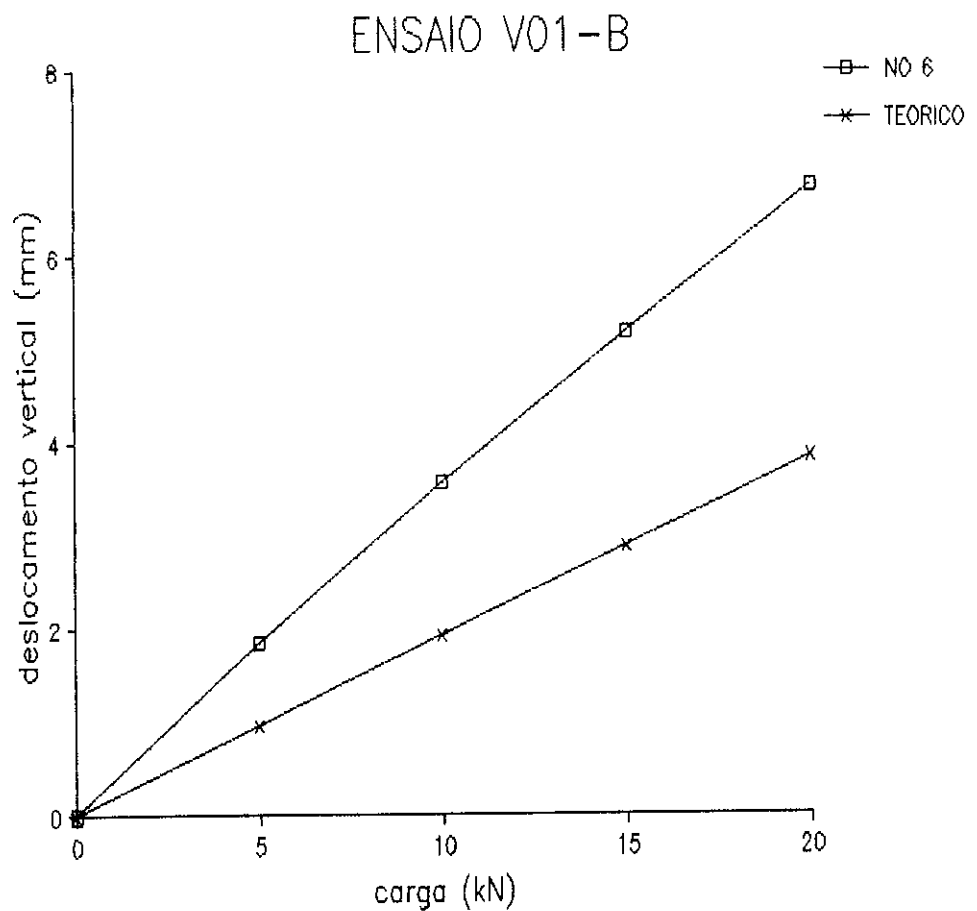
ETAPA	CARGA (kN)	.7	.8	.MED	.9	.10	.MED	M.ENS. NO' 3	M.TEOR. NO' 3
0	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	20	-,02	-,08	-,05	,06	,04	,05	847,63	1493,16
2	40	,12	-,06	,03	,00	,04	,02	2206,11	2986,32
3	0	,00	,00	,00	,00	,02	,00	137,37	,00
	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
4	20	,02	-,06	-,02	,06	,02	,04	680,75	1493,16
5	40	,16	-,02	,07	,02	,00	,00	2140,99	2986,32
6	60	,38	,06	,22	-,08	-,10	-,09	3584,97	4479,48
7	70	,48	,12	,30	-,14	-,06	-,10	4357,33	5226,06
8	0	,10	,06	,08	-,02	,00	,00	294,09	,00



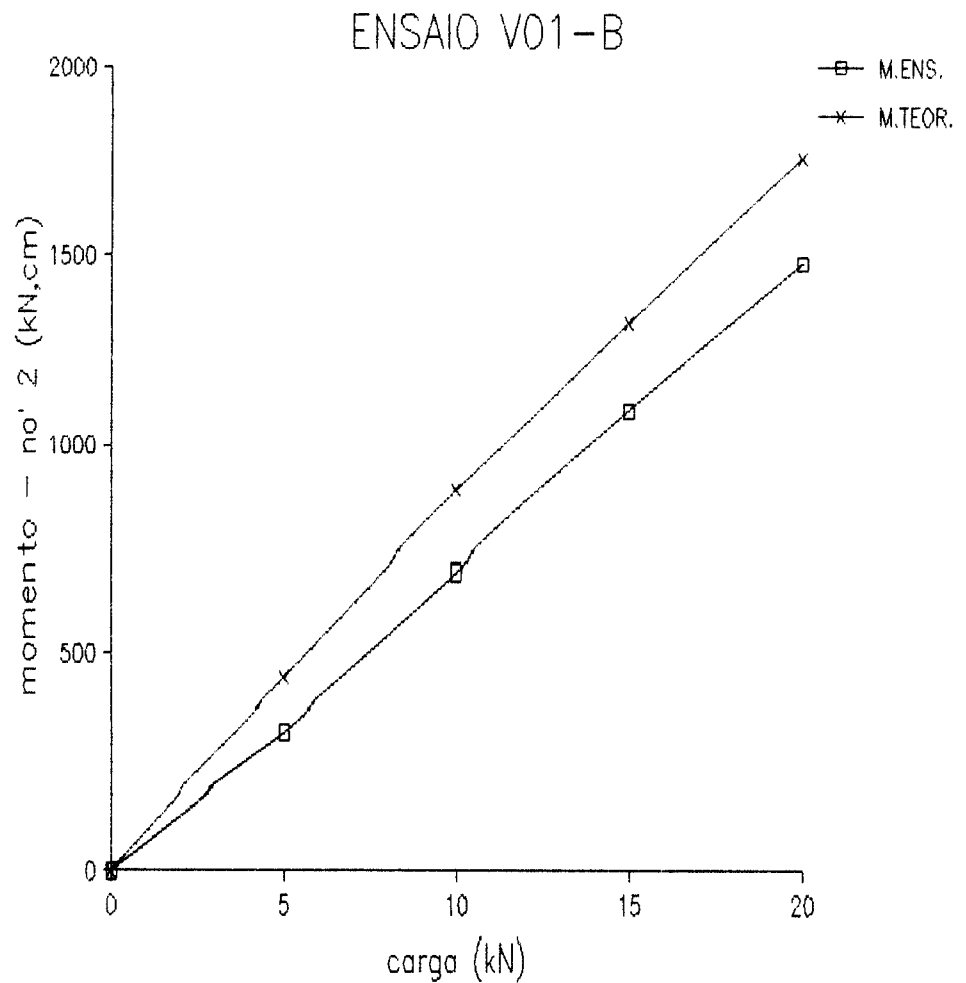
ETAPA	CARGA (kN)	.11	.12	.MED	.13	.14	.MED	M.ENS. NO' 6	M.TEOR. NO' 6
0	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	20	-2,19	-2,23	-2,21	2,21	2,11	2,16	2183,90	1660,88
2	40	-4,30	-4,60	-4,45	4,64	4,52	4,58	4335,64	3321,76
3	0	-,04	-,02	-,03	,10	,12	,11	7,02	,00
	0	,00	,00		,00	,00		,00	,00
4	20	-2,09	-2,23	-2,16	2,27	2,17	2,22	2294,63	1660,88
5	40	-4,20	-4,56	-4,38	4,62	4,52	4,57	4339,10	3321,76
6	60	-6,29	-6,95	-6,62	7,09	6,95	7,02	6509,16	4982,64
7	70	-7,35	-8,22	-7,78	8,46	8,34	8,40	7680,14	5813,08
8	0	,08	-,16	-,04	,46	,50	,48	186,77	,00



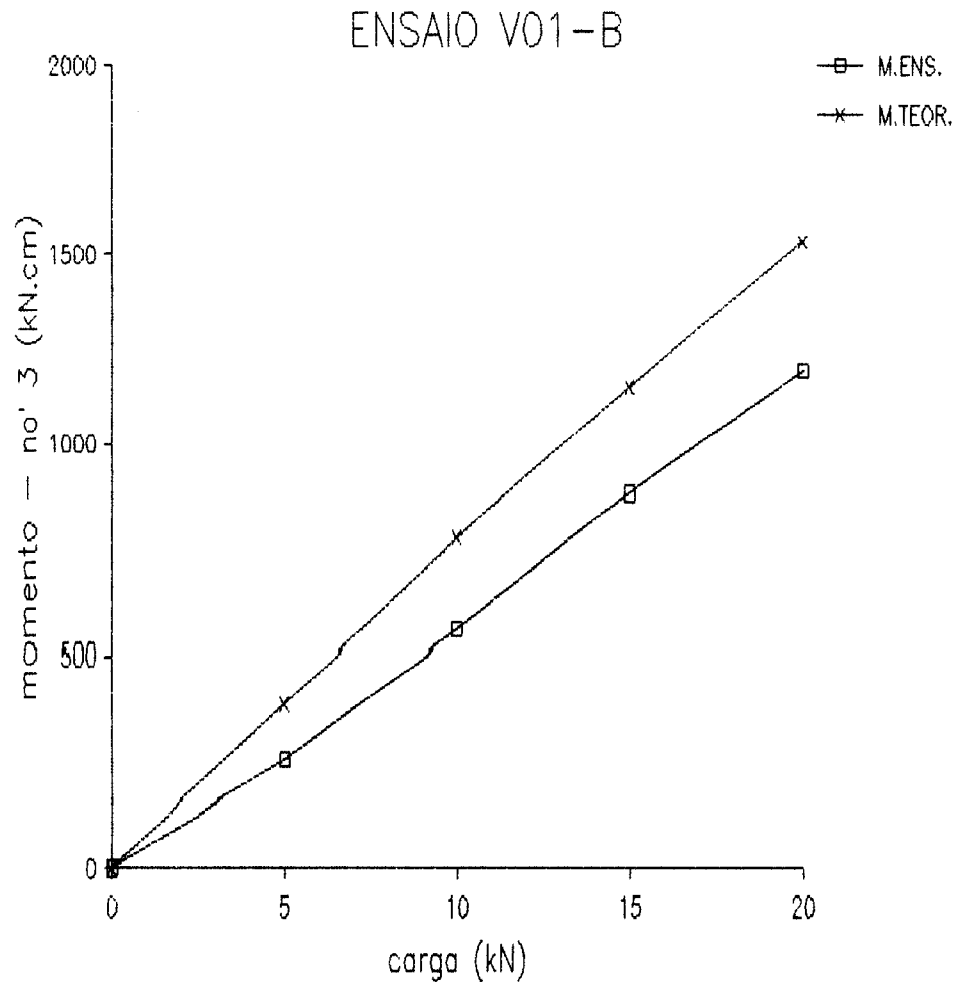
ETAPA	CARGA (kN)	DEF1 (mm)	DEF2 (mm)	ANG. (rad)	NO 4	NO 4 TEORICO	NO 5	NO 5 TEORICO	NO 6	NO 6 TEORICO	NO 7	NO 7 TEORICO	NO 8	NO 8 TEORICO
0	0	,00	,00	,000000	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	5	,06	,01	,000121	,98	,44	1,70	,92	1,82	,96	1,71	,87	1,18	,51
2	10	,11	,02	,000218	1,78	,88	3,36	1,84	3,55	1,92	3,33	1,74	2,27	1,01
3	0	,03	,00	,000073	,06	,00	-,01	,00	,01	,00	,00	,00	,04	,00
	0			,000000	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
4	5	,01	,01	,000000	,94	,44	1,75	,92	1,84	,96	1,74	,87	1,15	,51
5	10	,08	,05	,000073	1,75	,88	3,41	1,84	3,57	1,92	3,35	1,74	2,25	1,01
6	15	,18	,07	,000267	2,47	1,32	4,90	2,76	5,18	2,88	4,83	2,60	3,22	1,52
7	20	,27	,09	,000437	3,22	1,76	6,38	3,69	6,78	3,84	6,27	3,47	4,13	2,02
8	0	,02	,01	,000024	-,12	,00	,03	,00	,03	,00	,03	,00	,01	,00



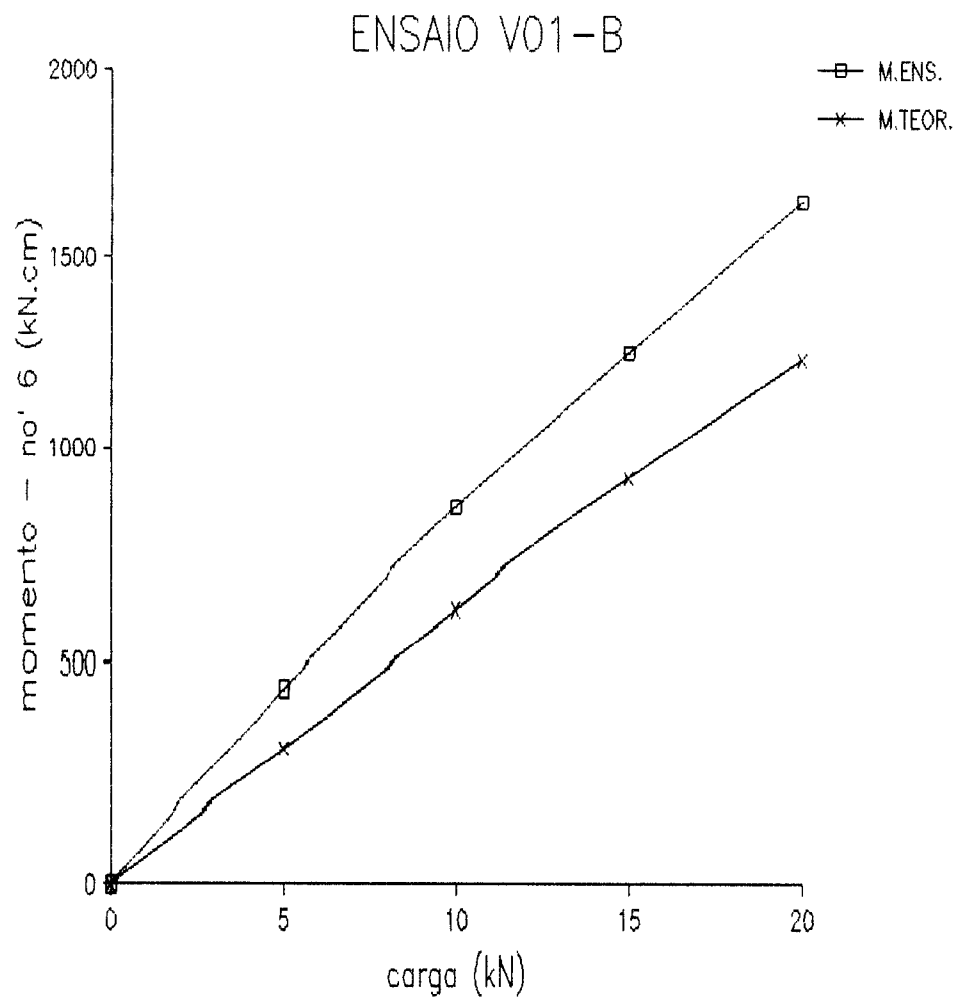
ETAPA	CARGA (kN)	.1	.2	.3	.MED	.4	.5	.6	.MED	M.ENS. NO' 2	M.TEOR. NO' 2
0	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	5	2,69	2,79	2,75	2,74	-2,77	-2,55	-2,37	-2,56	342,85	440,11
2	10	5,79	5,95	5,83	5,86	-5,91	-5,43	-5,06	-5,47	724,98	880,22
3	0	-,02	,02	-,02	,00	-,06	-,04	-,04	-,05	15,78	,00
	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
4	5	2,71	2,75	2,73	2,73	-2,71	-2,51	-2,31	-2,51	316,56	440,11
5	10	5,81	5,91	5,83	5,85	-5,83	-5,34	-5,00	-5,39	693,02	880,22
6	15	8,90	9,14	8,90	8,98	-8,90	-8,22	-7,68	-8,27	1091,78	1320,33
7	20	12,02	12,24	11,83	12,03	-12,02	-11,01	-10,27	-11,10	1478,85	1760,44
8	0	,04	-,04	-,08	-,03	,00	,00	,04	,01	2,05	,00



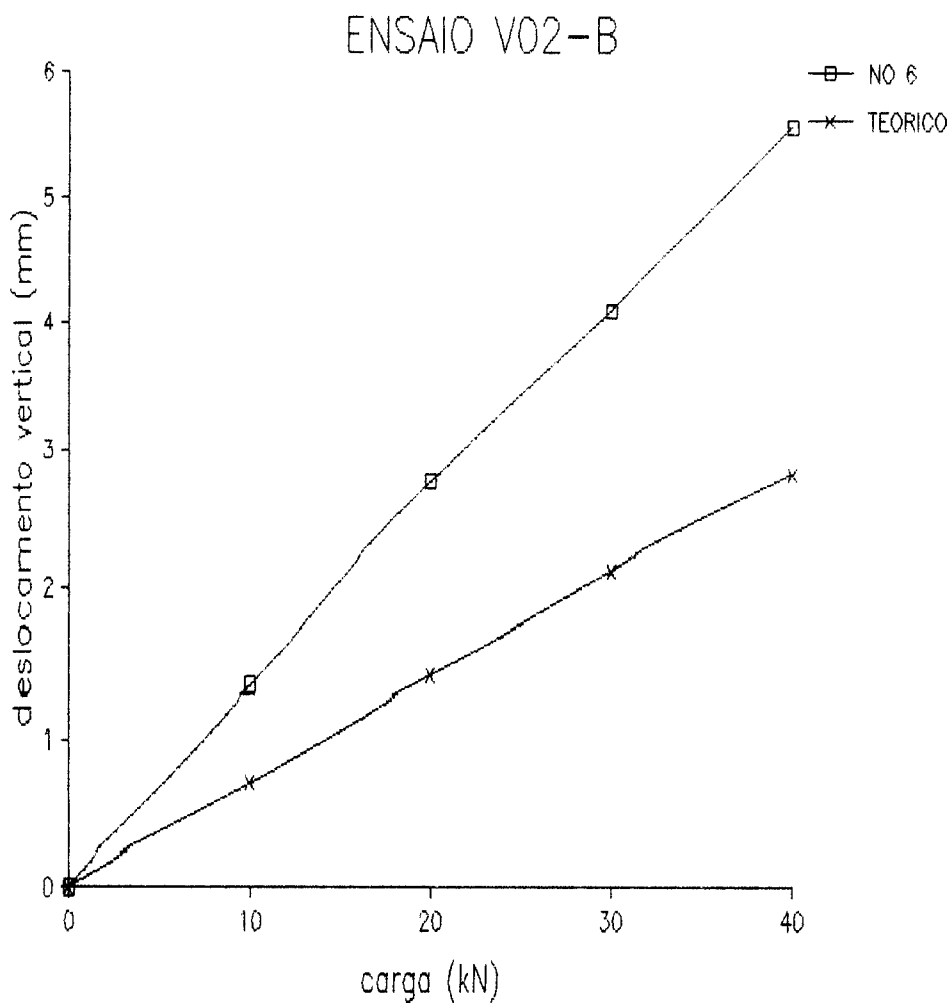
ETAPA	CARGA (kN)	.7	.8	.MED	.9	.10	.MED	M.ENS. NO' 3	M.TEOR. NO' 3
0	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	5	2,11	2,25	2,18	-2,07	-1,89	-1,98	273,27	383,10
2	10	4,56	4,90	4,73	-4,42	-4,08	-4,25	581,91	766,19
3	0	-,02	-,02	-,02	-,04	-,04	-,04	14,23	,00
	0	,00	,00		,00	,00		,00	,00
4	5	2,13	2,25	2,19	-2,03	-1,85	-1,94	249,75	383,10
5	10	4,58	4,88	4,73	-4,40	-4,04	-4,22	554,06	766,19
6	15	6,97	7,45	7,21	-6,73	-6,17	-6,45	873,45	1149,29
7	20	9,48	10,05	9,76	-9,02	-8,28	-8,65	1191,50	1532,38
8	0	,06	-,04	,00	,02	,06	,04	2,54	,00



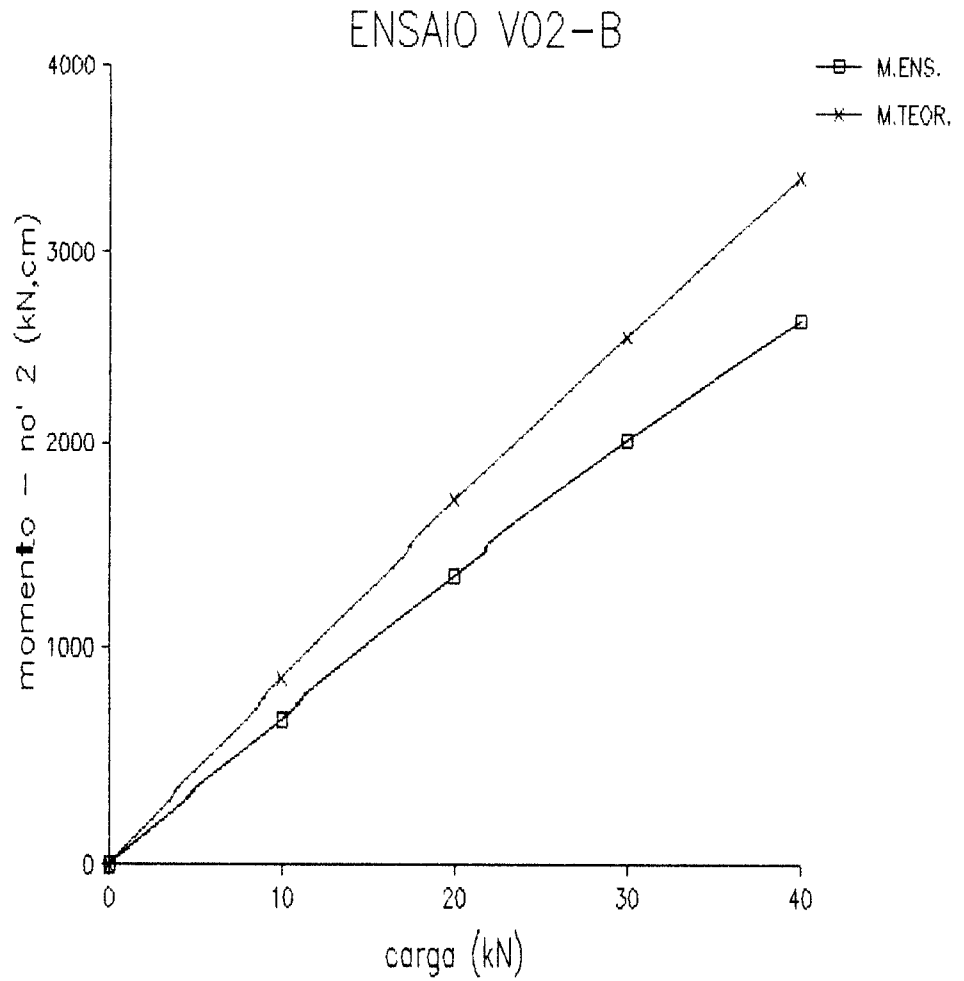
ETAPA	CARGA (kN)	.11	.12	.MED	.13	.14	.MED	M.ENS. NO' 6	M.TEOR. NO' 6
0	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	5	-3,60	-3,70	-3,65	3,38	3,34	3,36	414,91	307,25
2	10	-7,17	-7,31	-7,24	6,81	6,67	6,74	828,08	614,49
3	0	-,06	-,02	-,04	-,02	,00	,00	-3,82	,00
	0	,00	,00		,00	,00		,00	,00
4	5	-3,64	-3,78	-3,71	3,68	3,60	3,64	444,74	307,25
5	10	-7,09	-7,27	-7,18	6,99	6,85	6,92	846,55	614,49
6	15	-10,73	-10,85	-10,79	10,29	10,07	10,18	1247,41	921,74
7	20	-14,33	-14,39	-14,36	13,58	13,38	13,48	1649,54	1228,98
8	0	-,02	-,04	-,03	,06	,06	,06	3,54	,00



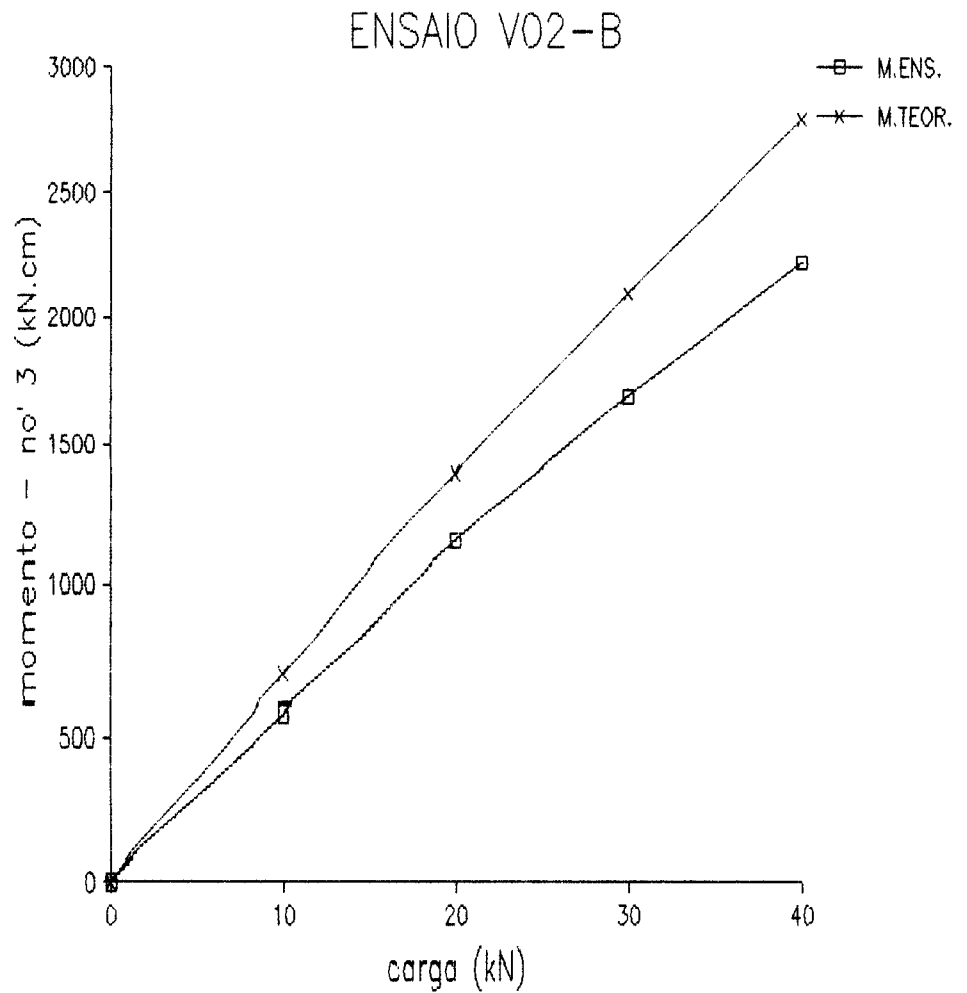
ETAPA	CARGA (kN)	DEF1 (mm)	DEF2 (mm)	ANG. (rad)	NO 4	NO 4 TEORICO	NO 5	NO 5 TEORICO	NO 6	NO 6 TEORICO	NO 7	NO 7 TEORICO	NO 8	NO 8 TEORICO
0	0	,00	,00	,000000	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	10	,08	,03	,000108	,71	,33	1,34	,68	1,33	,70	1,33	,63	,83	,36
2	20	,21	,10	,000238	1,43	,67	2,73	1,35	2,76	1,41	2,62	1,26	1,70	,73
3	0	,06	,01	,000108	-,02	,00	-,03	,00	-,03	,00	,00	,00	,00	,00
	0			,000000	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
4	10	,08	,03	,000108	,71	,33	1,34	,68	1,33	,70	1,33	,63	,83	,36
5	20	,20	,10	,000216	1,41	,67	2,73	1,35	2,76	1,41	2,60	1,26	1,68	,73
6	30	,31	,15	,000346	2,14	1,00	4,05	2,03	4,09	2,11	3,87	1,89	2,53	1,09
7	40	,44	,18	,000562	2,96	1,33	5,45	2,71	5,56	2,81	5,17	2,52	3,37	1,46
8	0	,03	,00	,000065	,02	,00	,01	,00	,03	,00	,02	,00	,03	,00



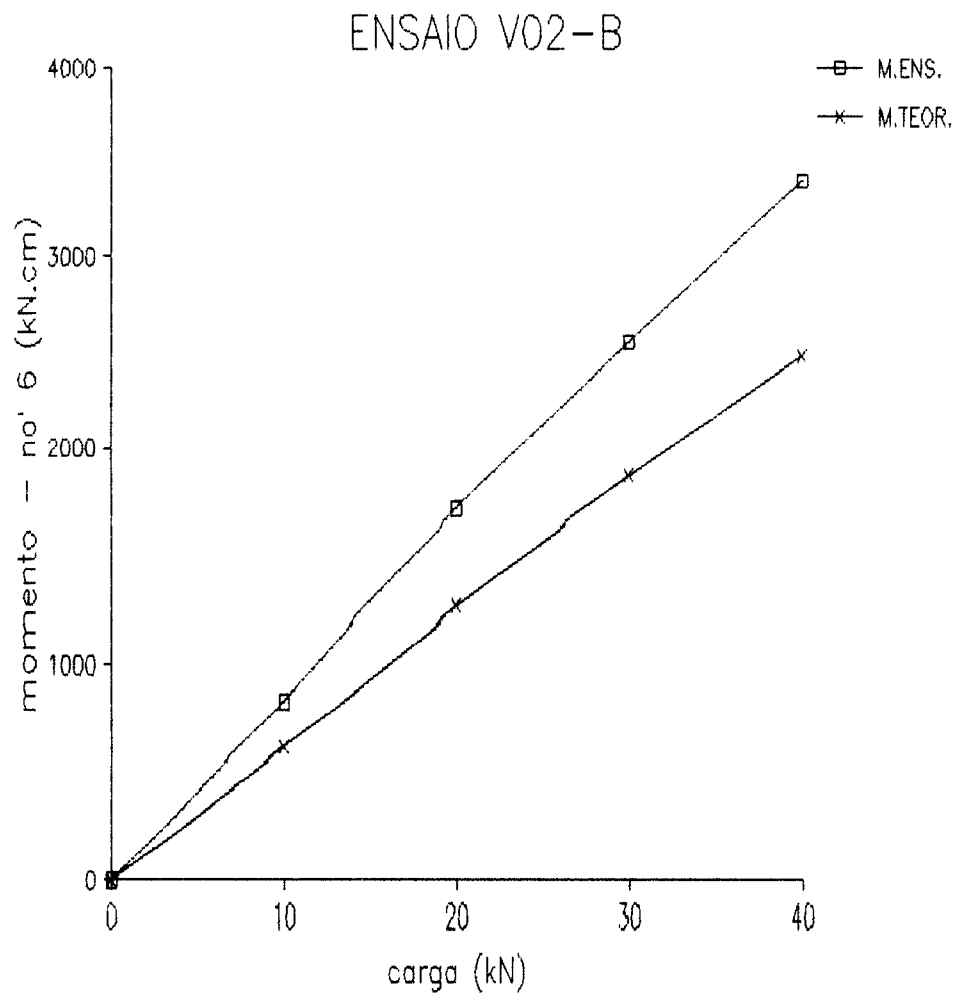
ETAPA	CARGA (kN)	.1	.2	.3	.MED	.4	.5	.6	.MED	M.ENS. NO' 2	M.TEOR. NO' 2
0	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	10	1,87	2,49	2,65	2,34	-2,75	-2,49	-2,31	-2,52	661,30	850,62
2	20	4,26	4,96	5,61	4,94	-5,41	-4,94	-4,60	-4,98	1361,70	1701,24
3	0	-,60	,02	,02	-,19	-,02	,00	,00	,00	31,91	,00
	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
4	10	2,43	2,45	2,63	2,50	-2,71	-2,49	-2,33	-2,51	681,23	850,62
5	20	4,84	4,96	5,22	5,00	-5,38	-4,92	-4,60	-4,96	1355,81	1701,24
6	30	7,15	7,31	7,74	7,40	-7,90	-7,31	-6,83	-7,35	2018,84	2551,86
7	40	9,12	9,34	10,05	9,50	-10,13	-9,14	-8,80	-9,36	2642,30	3402,48
8	0	-,04	-,06	-,08	-,06	,02	,04	,00	,02	22,63	,00



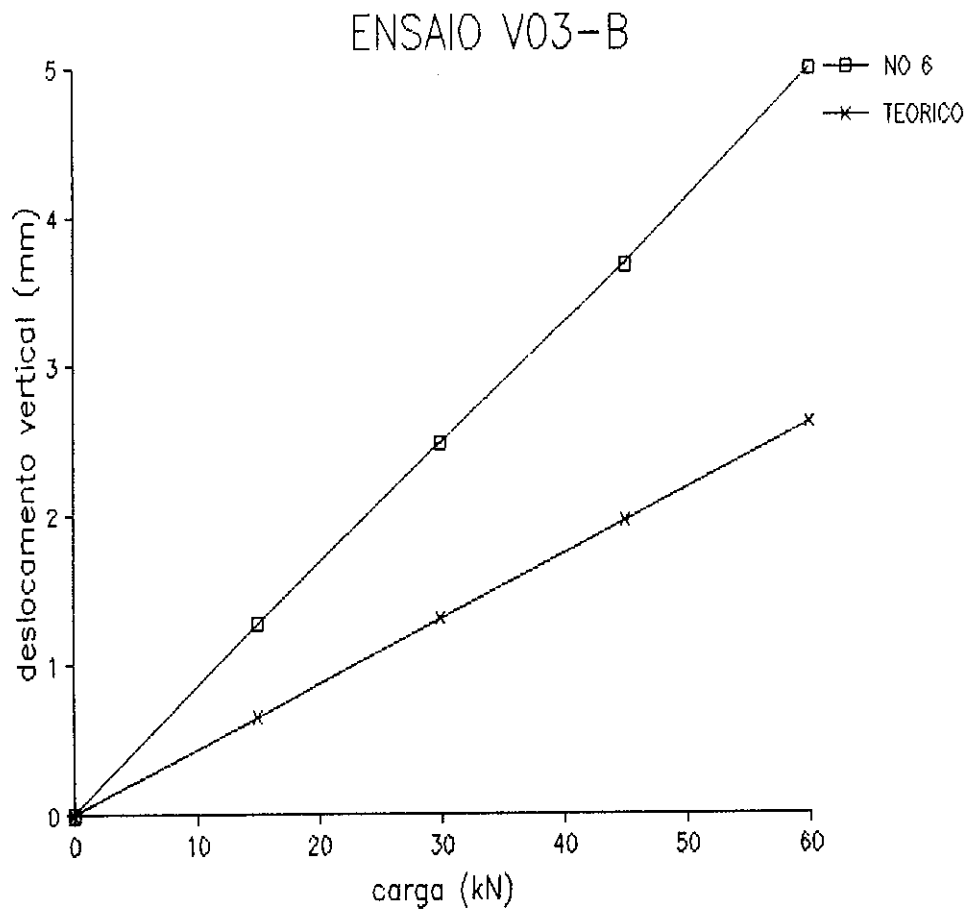
ETAPA	CARGA (kN)	.7	.8	.MED	.9	.10	.MED	M.ENS. NO' 3	M.TEOR. NO' 3
0	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	10	2,13	2,19	2,16	-2,15	-1,95	-2,05	579,27	698,34
2	20	4,18	4,26	4,22	-4,24	-3,84	-4,04	1149,10	1396,68
3	0	,00	,00	,00	-,04	-,02	-,03	56,16	,00
	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
4	10	2,11	2,17	2,14	-2,11	-1,93	-2,02	573,04	698,34
5	20	4,16	4,26	4,21	-4,24	-3,84	-4,04	1137,37	1396,68
6	30	6,09	6,29	6,19	-6,23	-5,69	-5,96	1688,51	2095,02
7	40	7,74	8,06	7,90	-7,96	-7,31	-7,63	2216,83	2793,36
8	0	-,04	-,06	-,05	,04	-,02	,00	23,98	,00



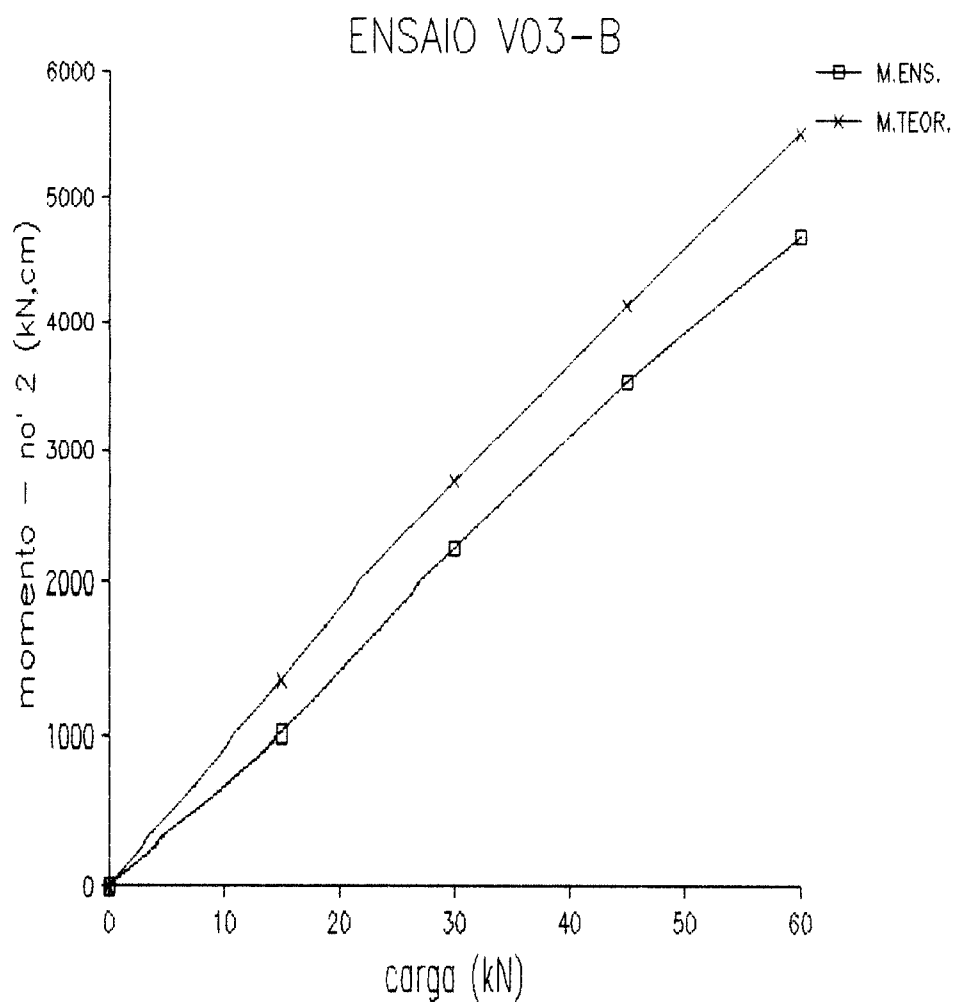
ETAPA	CARGA (kN)	.11	.12	.MED	.13	.14	.MED	M.ENS. NO' 6	M.TEOR. NO' 6
0	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	10	-3,36	-3,62	-3,49	3,54	3,38	3,46	847,38	619,13
2	20	-6,71	-7,25	-6,98	7,17	6,79	6,98	1695,09	1238,26
3	0	-,04	,00	-,02	,04	,06	,05	-14,50	,00
	0	,00	,00		,00	,00		,00	,00
4	10	-3,30	-3,58	-3,44	3,48	3,34	3,41	834,92	619,13
5	20	-6,67	-7,23	-6,95	7,13	6,69	6,91	1687,28	1238,26
6	30	-10,01	-10,93	-10,47	10,77	10,15	10,46	2544,96	1857,39
7	40	-13,40	-14,73	-14,07	14,53	13,70	14,11	3405,23	2476,52
8	0	-,04	-,04	-,04	,00	,02	,00	-7,71	,00



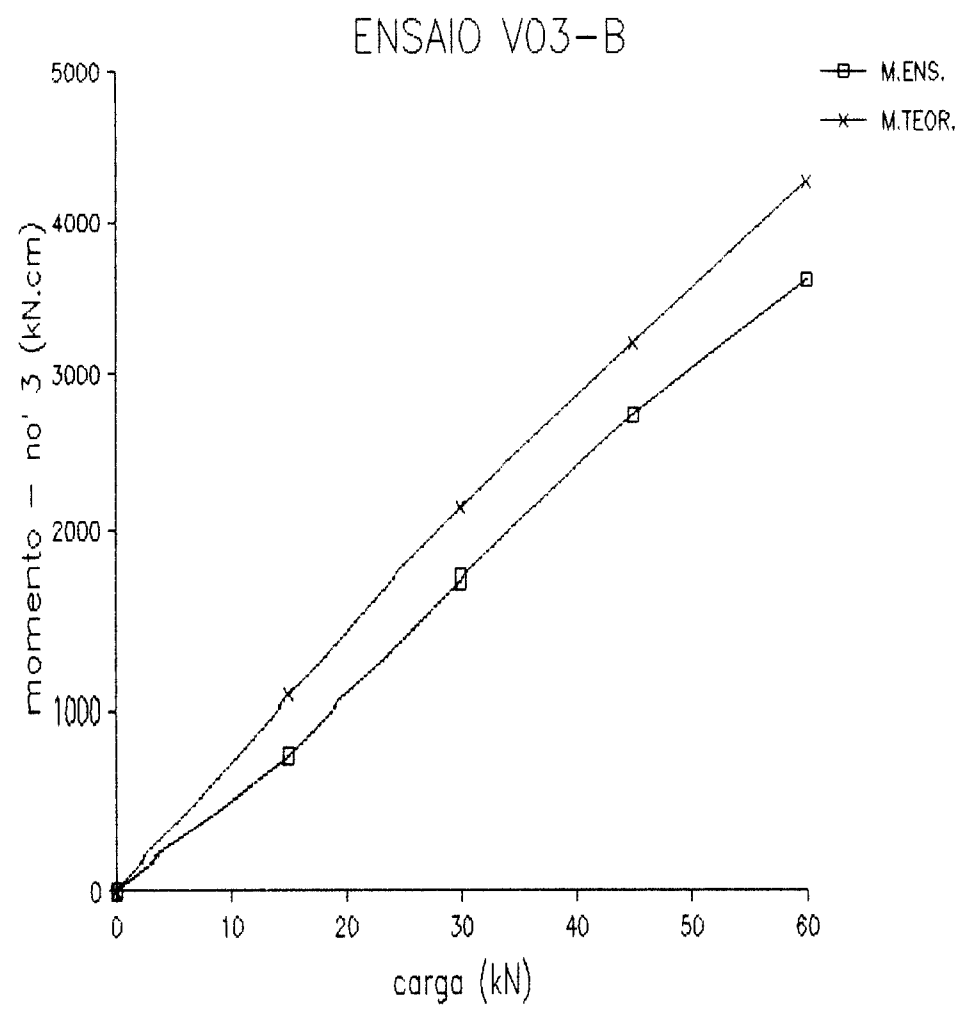
ETAPA	CARGA (kN)	DEF1 (mm)	DEF2 (mm)	ANG. (rad)	NO 4	NO 4 TEORICO	NO 5	NO 5 TEORICO	NO 6	NO 6 TEORICO	NO 7	NO 7 TEORICO	NO 8	NO 8 TEORICO
0	0	,00	,00	,000000	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	15	,15	,04	,000214	,56	,21	1,11	,51	1,30	,65	1,22	,61	,74	,36
2	30	,39	,10	,000564	1,14	,42	2,15	1,02	2,50	1,30	2,35	1,21	1,41	,72
3	0	-,01	,01	-,000039	,04	,00	,07	,00	4,03	,00	,05	,00	,03	,00
	0			,000000	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
4	15	,15	,04	,000214	,55	,21	1,07	,51	1,27	,65	1,19	,61	,72	,36
5	30	,40	,09	,000603	1,12	,42	2,12	1,02	2,48	1,30	2,33	1,21	1,40	,72
6	45	,69	,13	,001089	1,73	,63	3,10	1,53	3,67	1,96	3,49	1,82	2,08	1,08
7	60	,95	,19	,001479	2,38	,83	4,16	2,05	4,99	2,61	4,73	2,43	2,85	1,43
8	0	-,02	-,02	,000000	,26	,00	,23	,00	,21	,00	,16	,00	,09	,00



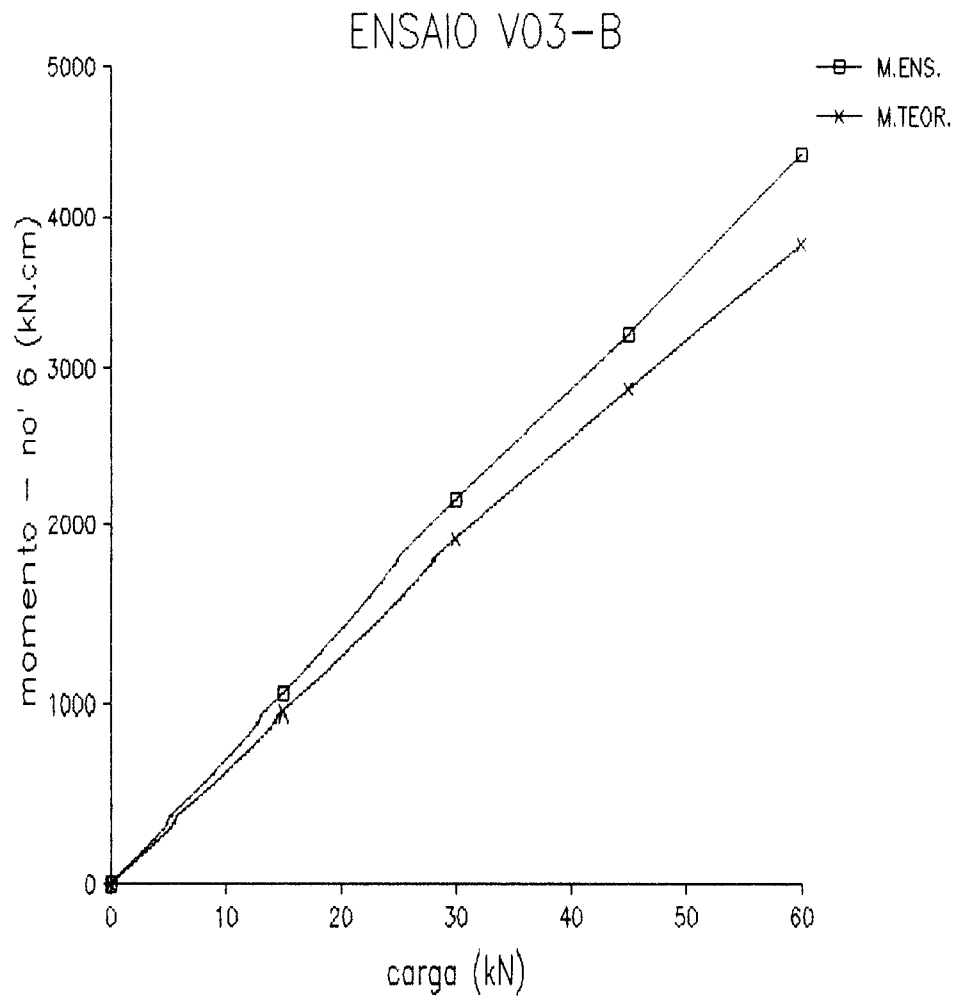
ETAPA	CARGA (kN)	.1	.2	.3	.MED	.4	.5	.6	.MED	M.ENS. NO' 2	M.TEOR. NO' 2
0	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	15	2,17	1,93	1,75	1,95	-2,21	-1,83	-2,09	-2,04	1086,51	1377,95
2	30	4,28	3,86	3,52	3,89	-4,36	-3,68	-2,73	-3,59	2189,68	2755,89
3	0	,00	-,02	,00	,00	,00	,02	,04	,02	-42,89	,00
	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
4	15	2,11	1,89	1,71	1,90	-2,19	-1,81	-1,31	-1,77	1016,11	1377,95
5	30	4,30	3,86	3,50	3,89	-4,40	-3,72	-2,79	-3,64	2236,97	2755,89
6	45	6,43	5,81	5,28	5,84	-6,61	-5,63	-4,22	-5,49	3540,13	4133,84
7	60	8,54	7,62	6,81	7,66	-8,76	-7,35	-5,43	-7,18	4686,19	5511,78
8	0	-,18	-,16	-,24	-,19	,14	,18	,20	,17	-80,66	,00



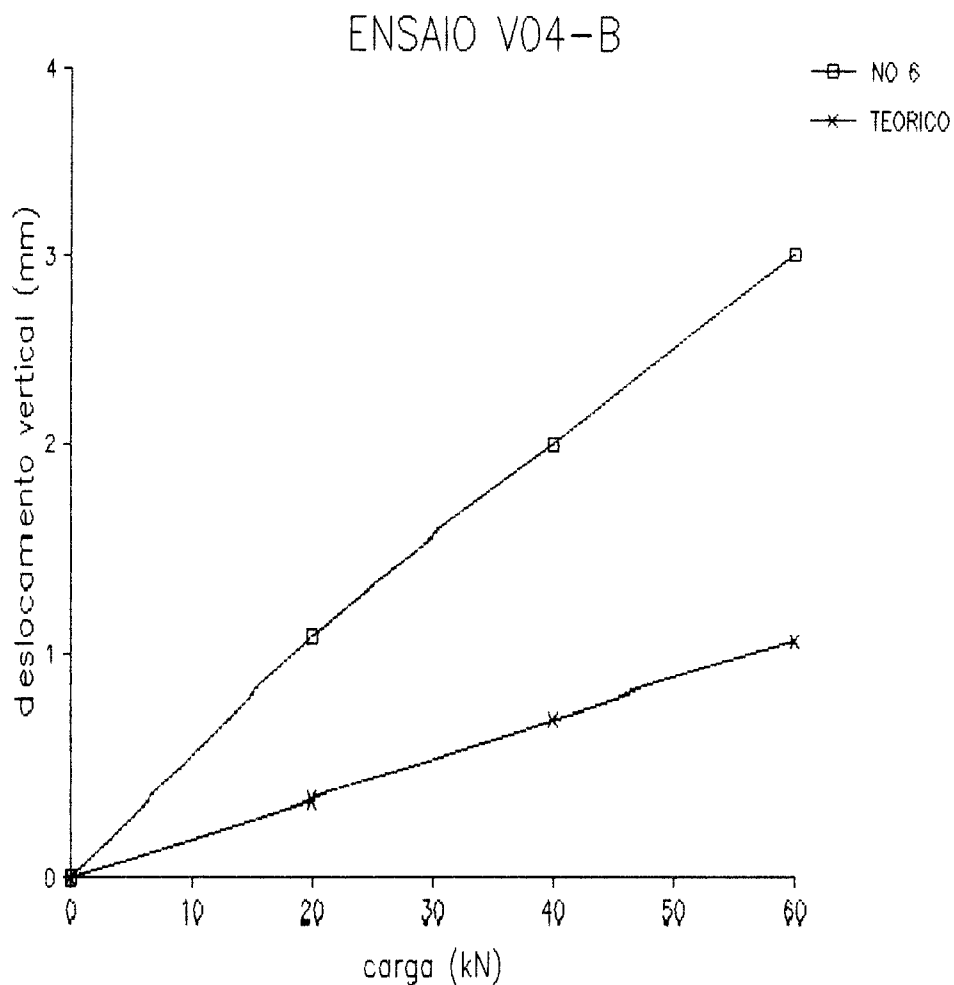
ETAPA	CARGA (kN)	.7	.8	.MED	.9	.10	.MED	M.ENS. NO' 3	M.TEOR. NO' 3
0	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	15	1,47	1,33	1,40	-1,35	-,96	-1,15	761,32	1067,93
2	30	2,91	2,65	2,78	-2,69	-1,99	-2,34	1647,34	2135,85
3	0	,00	,00	,00	,04	,04	,04	-44,43	,00
	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
4	15	1,45	1,29	1,37	-1,35	-1,00	-1,17	759,12	1067,93
5	30	2,95	2,69	2,82	-2,79	-2,07	-2,43	1711,56	2135,85
6	45	4,46	3,96	4,21	-4,14	-3,11	-3,62	2728,88	3203,78
7	60	5,85	5,18	5,51	-5,43	-4,04	-4,74	3619,74	4271,70
8	0	-,16	-,18	-,17	,16	,16	,16	-72,59	,00



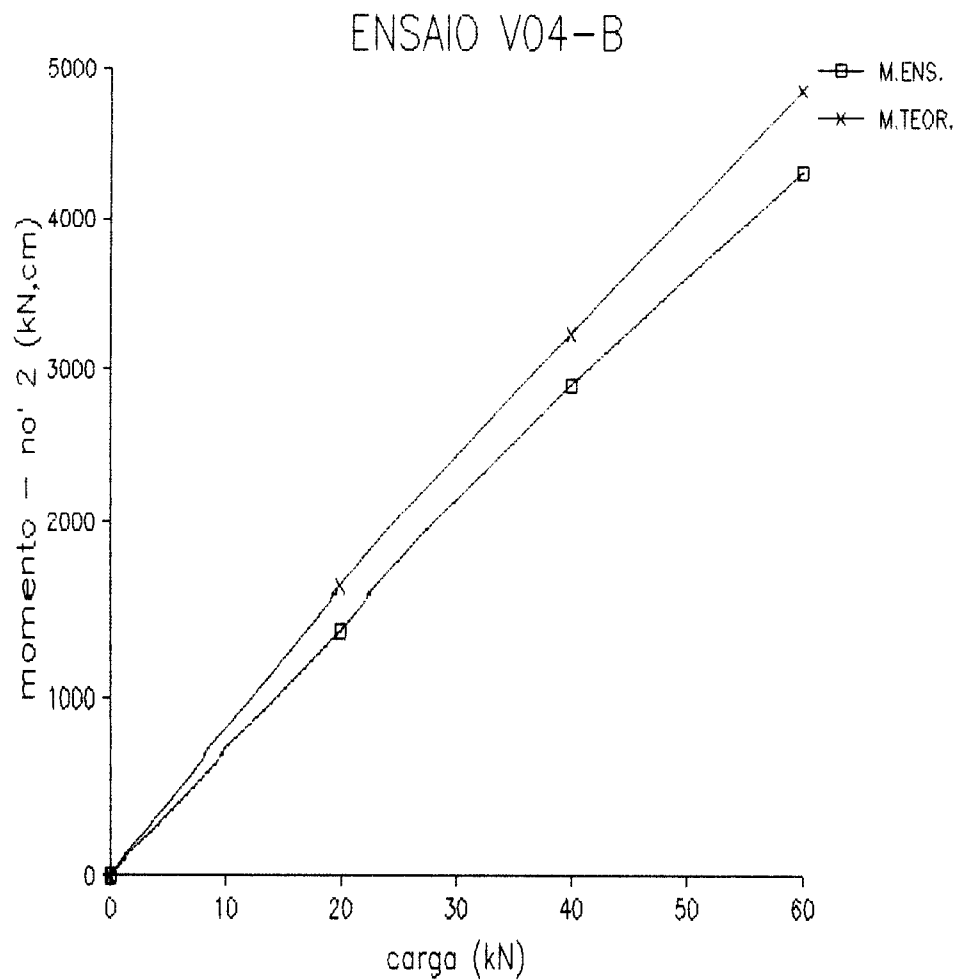
ETAPA	CARGA (kN)	.11	.12	.MED	.13	.14	.MED	M.ENS. NO' 6	M.TEOR. NO' 6
0	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	15	-2,75	-2,83	-2,79	2,85	2,33	2,59	1084,61	954,47
2	30	-5,61	-5,75	-5,68	5,83	4,90	5,37	2169,47	1908,93
3	0	,00	,00	,00	,02	,02	,02	23,18	,00
	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
4	15	-2,71	-2,81	-2,76	2,79	2,29	2,54	1067,01	954,47
5	30	-5,71	-5,75	-5,73	5,79	4,90	5,35	2157,29	1908,93
6	45	-8,78	-8,68	-8,73	8,80	7,58	8,19	3213,82	2863,40
7	60	-12,16	-11,81	-11,98	11,96	10,55	11,26	4422,89	3817,86
8	0	-,06	-,12	-,09	,12	,10	,11	44,00	,00



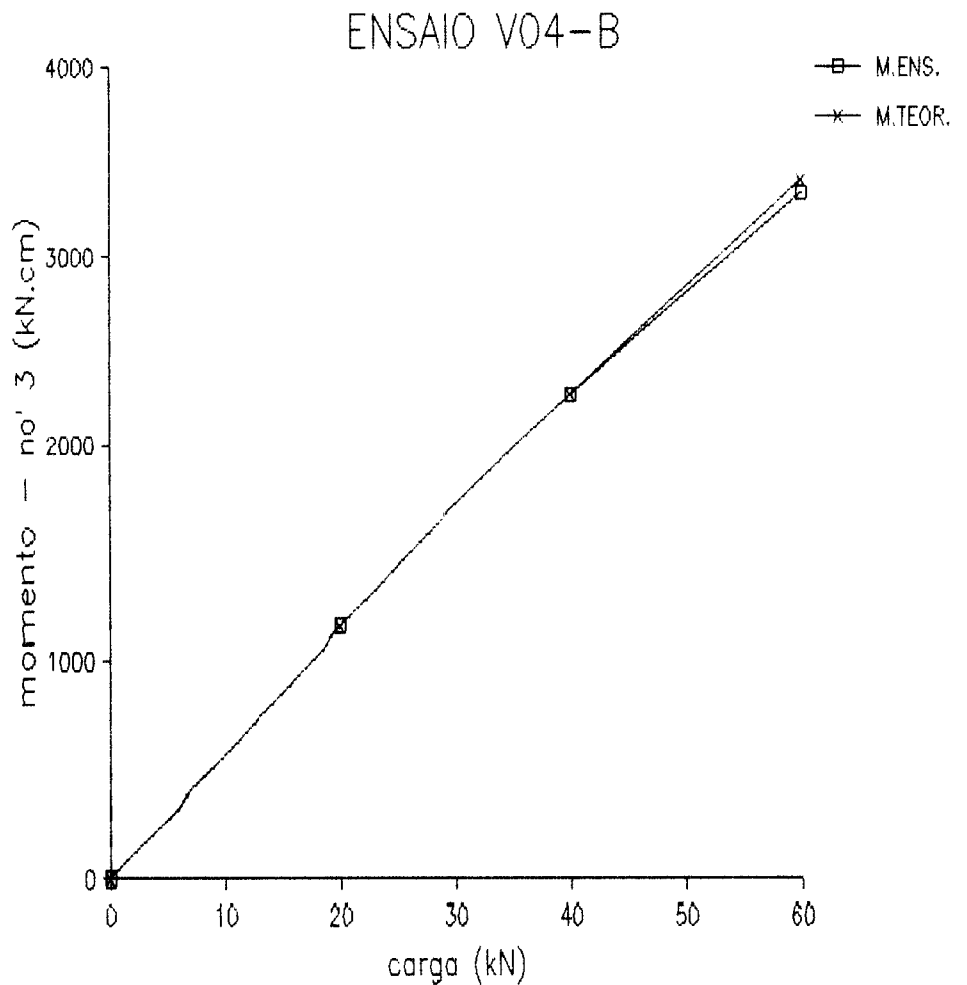
ETAPA	CARGA (kN)	DEF1 (mm)	DEF2 (mm)	ANG. (rad)	NO 4	NO 4 TEORICO	NO 5	NO 5 TEORICO	NO 6	NO 6 TEORICO	NO 7	NO 7 TEORICO	NO 8	NO 8 TEORICO
0	0	,00	,00	,000000	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	20	,23	,01	,000389	,47	,11	,89	,28	1,12	,35	1,10	,32	,94	,15
2	40	,48	,06	,000743	,97	,23	1,72	,56	2,08	,71	2,15	,63	1,71	,30
3	0	,09	,07	,000035	,06	,00	,07	,00	,09	,00	,09	,00	,11	,00
	0			,000000	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
4	20	,16	-,01	,000301	,48	,11	,89	,28	1,08	,35	1,07	,32	,88	,15
5	40	,40	,01	,000690	,94	,23	1,69	,56	2,00	,71	2,06	,63	1,61	,30
6	60	,69	,07	,001097	1,46	,34	2,55	,85	3,02	1,06	3,11	,95	2,28	,45
7	60	,69	,07	,001097	1,46	,34	2,55	,85	3,02	1,06	3,11	,95	2,28	,45
8	0	,00	,04	-,000071	,17	,00	,18	,00	,13	,00	,13	,00	,08	,00



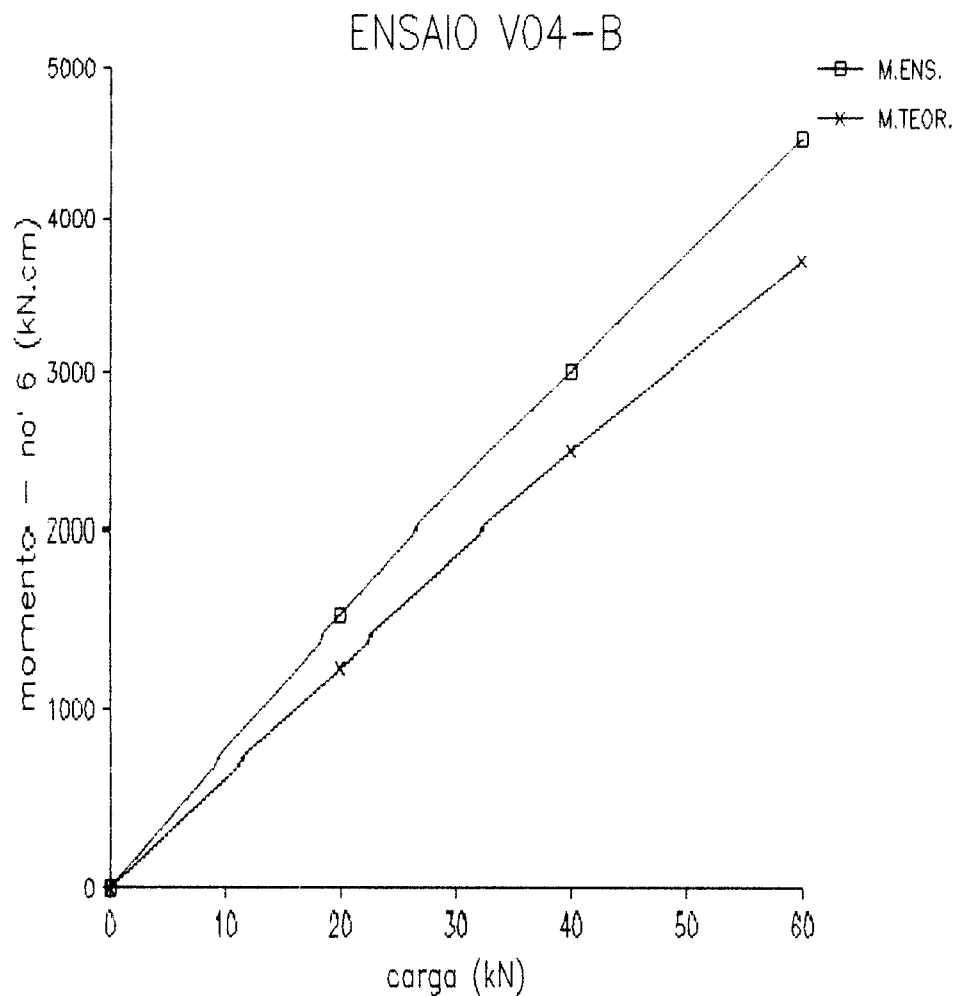
ETAPA	CARGA (kN)	.1	.2	.3	.MED	.4	.5	.6	.MED	M.ENS. NO' 2	M.TEOR. NO' 2
0	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	20	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	827,79	1618,08
2	40	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	1580,32	3236,16
3	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	75,25	,00
	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
4	20	,54	,92	1,19	,88	-,82	-1,06	-1,21	-1,03	1388,83	1618,08
5	40	1,04	1,67	2,45	1,72	-1,47	-1,89	-2,39	-1,92	2892,96	3236,16
6	60	1,37	2,39	3,34	2,37	-1,97	-2,69	-3,40	-2,69	4315,05	4854,24
7	60	1,37	2,39	3,34	2,37	-1,97	-2,69	-3,40	-2,69	4315,05	4854,24
8	0	-,08	-,08	-,08	-,08	,10	,06	,08	,08	-212,94	,00



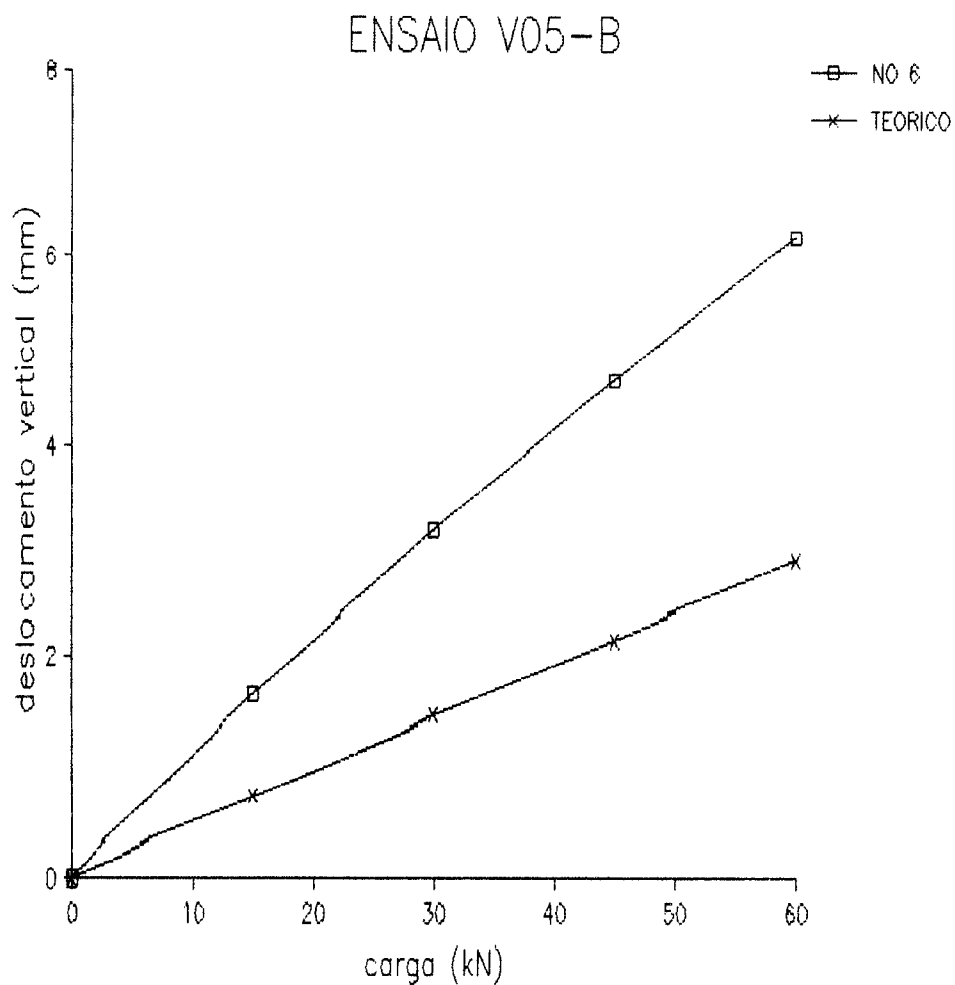
ETAPA	CARGA (kN)	.7	.8	.MED	.9	.10	.MED	M.ENS. NO' 3	M.TEOR. NO' 3
0	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	20	,00	,00	,00	,00	,00	,00	787,68	1133,56
2	40	,00	,00	,00	,00	,00	,00	1503,75	2267,12
3	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	71,61	,00
	0	,00	,00		,00	,00		,00	,00
4	20	,54	,88	,71	-,50	-,76	-,63	1131,52	1133,56
5	40	,88	1,59	1,23	-,74	-1,23	-,99	2266,48	2267,12
6	60	1,17	2,13	1,65	-,90	-1,49	-1,19	3335,78	3400,68
7	60	1,17	2,13	1,65	-,90	-1,49	-1,19	3335,78	3400,68
8	0	-,06	-,10	-,08	,04	-,14	-,05	-154,92	,00



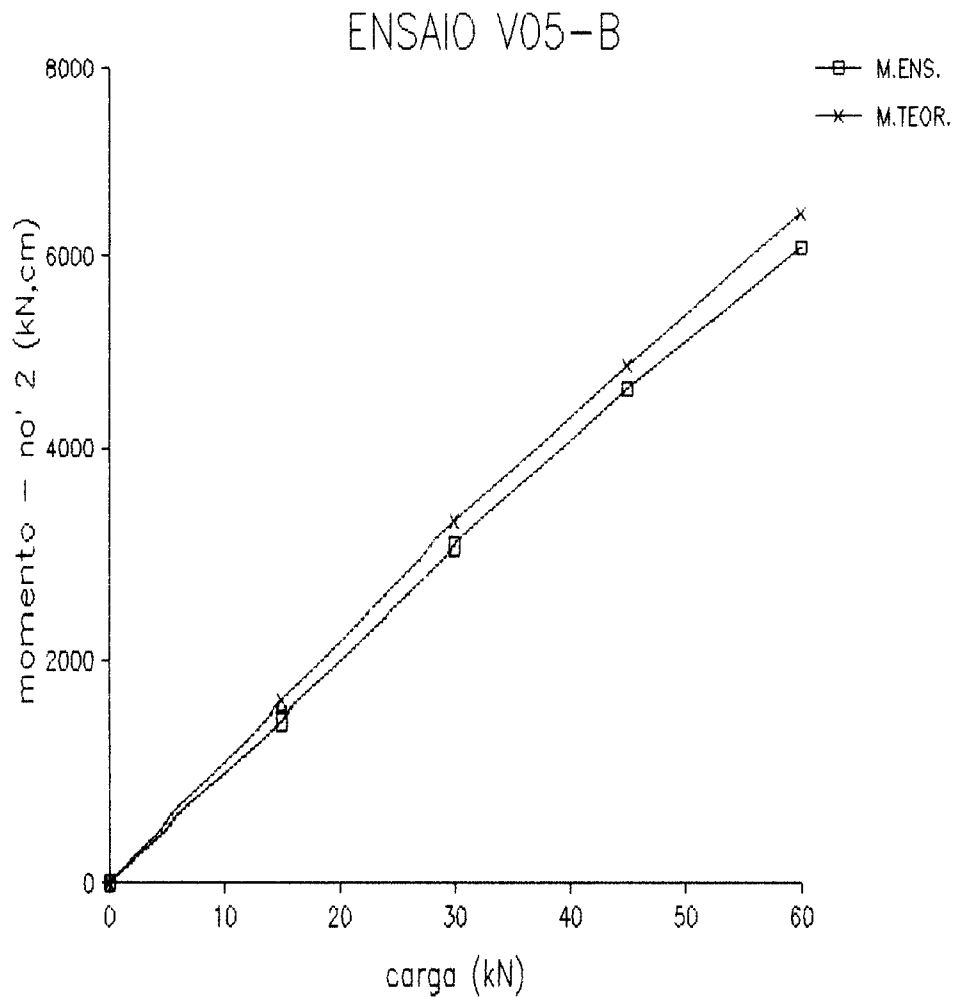
ETAPA	CARGA (kN)	.11	.12	.MED	.13	.14	.MED	M.ENS. NO' 6	M.TEOR. NO' 6
0	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	20	,00	,00	,00	,00	,00	,00	-396,60	1240,86
2	40	,00	,00	,00	,00	,00	,00	-757,15	2481,72
3	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	-36,05	,00
	0	,00	,00		,00	,00		,00	,00
4	20	-2,59	-2,05	-2,32	2,07	2,57	2,32	1511,85	1240,86
5	40	-5,14	-4,28	-4,71	4,32	5,18	4,75	3003,80	2481,72
6	60	-7,84	-6,67	-7,26	6,57	7,76	7,17	4536,26	3722,58
7	60	-7,84	-6,67	-7,26	6,57	7,76	7,17	4536,26	3722,58
8	0	-,28	-,02	-,15	,00	,02	,00	134,54	,00



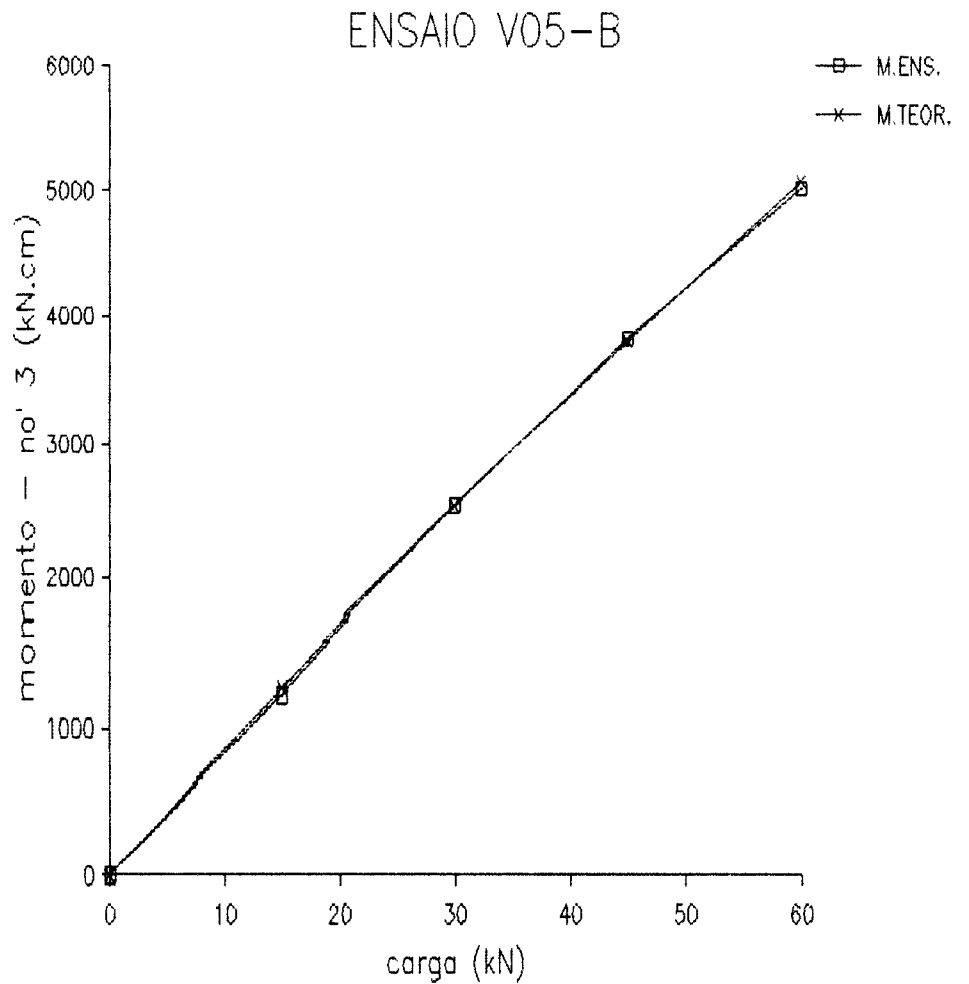
ETAPA	CARGA (kN)	DEF1 (mm)	DEF2 (mm)	ANG. (rad)	NO 4	NO 4 TEORICO	NO 5	NO 5 TEORICO	NO 6	NO 6 TEORICO	NO 7	NO 7 TEORICO	NO 8	NO 8 TEORICO
0	0	,00	,00	,000000	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	15	,23	,04	,000336	,80	,30	1,48	,65	1,63	,72	1,57	,64	1,09	,40
2	30	,56	,12	,000779	1,58	,59	2,90	1,30	3,12	1,43	2,99	1,27	2,04	,79
3	0	,04	,01	,000053	-,01	,00	,02	,00	,00	,00	,00	,00	,01	,00
	0			,000000	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
4	15	,20	,03	,000301	,83	,30	1,48	,65	1,63	,72	1,58	,64	1,09	,40
5	30	,52	,11	,000726	1,59	,59	2,88	1,30	3,14	1,43	2,99	1,27	2,03	,79
6	45	,86	,18	,001204	2,38	,89	4,32	1,95	4,68	2,15	4,36	1,91	3,00	1,19
7	60	1,16	,24	,001628	3,21	1,18	5,77	2,59	6,23	2,87	5,71	2,54	3,90	1,58
8	0	,00	-,02	,000035	,08	,00	,07	,00	,07	,00	,06	,00	1,44	,00



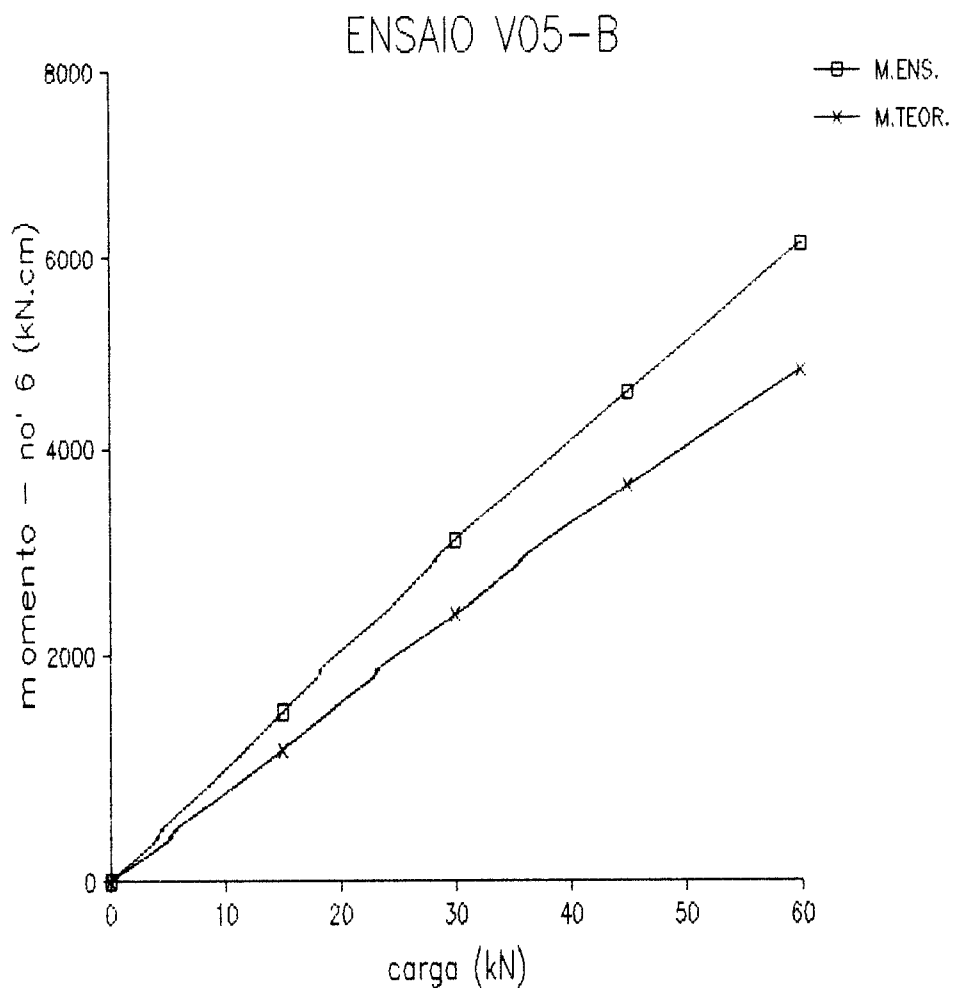
ETAPA	CARGA (kN)	EXT.1	.2	.3	.MED	.4	.5	.6	.MED	M.ENS. NO' 2	M.TEOR. NO' 2
0	0	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	15	76	1,91	2,29	1,90	-1,59	-1,85	-2,23	-1,89	1485,29	1614,26
2	30	156	3,74	4,30	3,72	-3,40	-3,60	-3,98	-3,66	3045,24	3228,51
3	0	-3	-,14	-,06	-,09	-,02	,14	-,04	,03	35,47	,00
	0		,00	,00		,00	,00	,00		,00	,00
4	15	78	2,01	2,35	1,97	-1,53	-1,87	-2,25	-1,88	1457,31	1614,26
5	30	159	3,84	4,34	3,78	-3,38	-3,74	-3,98	-3,70	3007,91	3228,51
6	45	234	5,57	6,33	5,52	-5,20	-5,55	-5,71	-5,49	4595,83	4842,77
7	60	307	7,27	8,28	7,22	-6,95	-7,25	-7,41	-7,20	6085,22	6457,02
8	0	-6	-,12	-,12	-,12	,04	,10	,02	,05	-3,55	,00



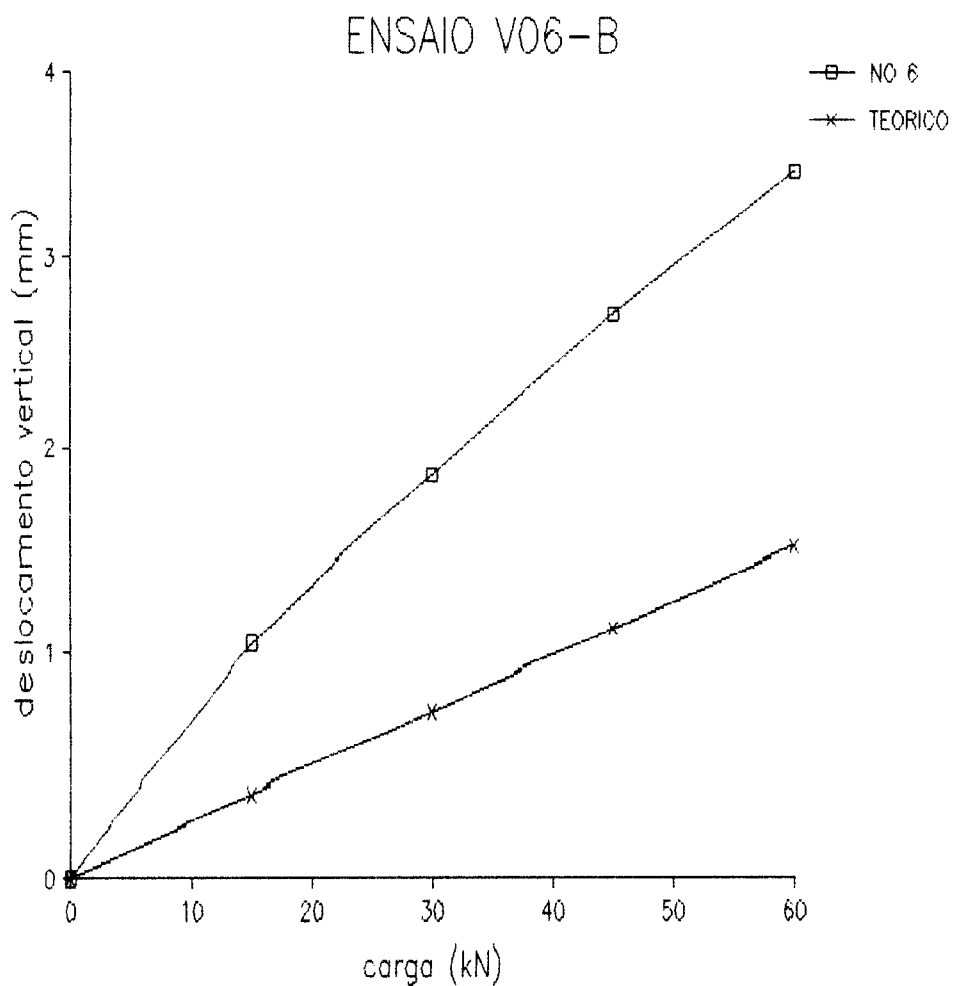
ETAPA	CARGA (kN)	.7	.8	.MED	.9	.10	.MED	M.ENS. NO' 3	M.TEOR. NO' 3
0	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	15	1,33	1,53	1,43	-1,49	-1,77	-1,63	1264,45	1266,86
2	30	2,61	2,97	2,79	-2,99	-3,25	-3,12	2593,60	2533,71
3	0	,02	-,04	,00	,02	-,04	,00	64,35	,00
	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
4	15	1,27	1,55	1,41	-1,49	-1,81	-1,65	1221,55	1266,86
5	30	2,59	3,03	2,81	-2,99	-3,21	-3,10	2529,25	2533,71
6	45	3,72	4,28	4,00	-4,40	-4,48	-4,44	3817,84	3800,57
7	60	4,84	5,51	5,18	-5,67	-5,75	-5,71	5017,04	5067,42
8	0	-,12	-,14	-,13	,04	,04	,04	-4,40	,00



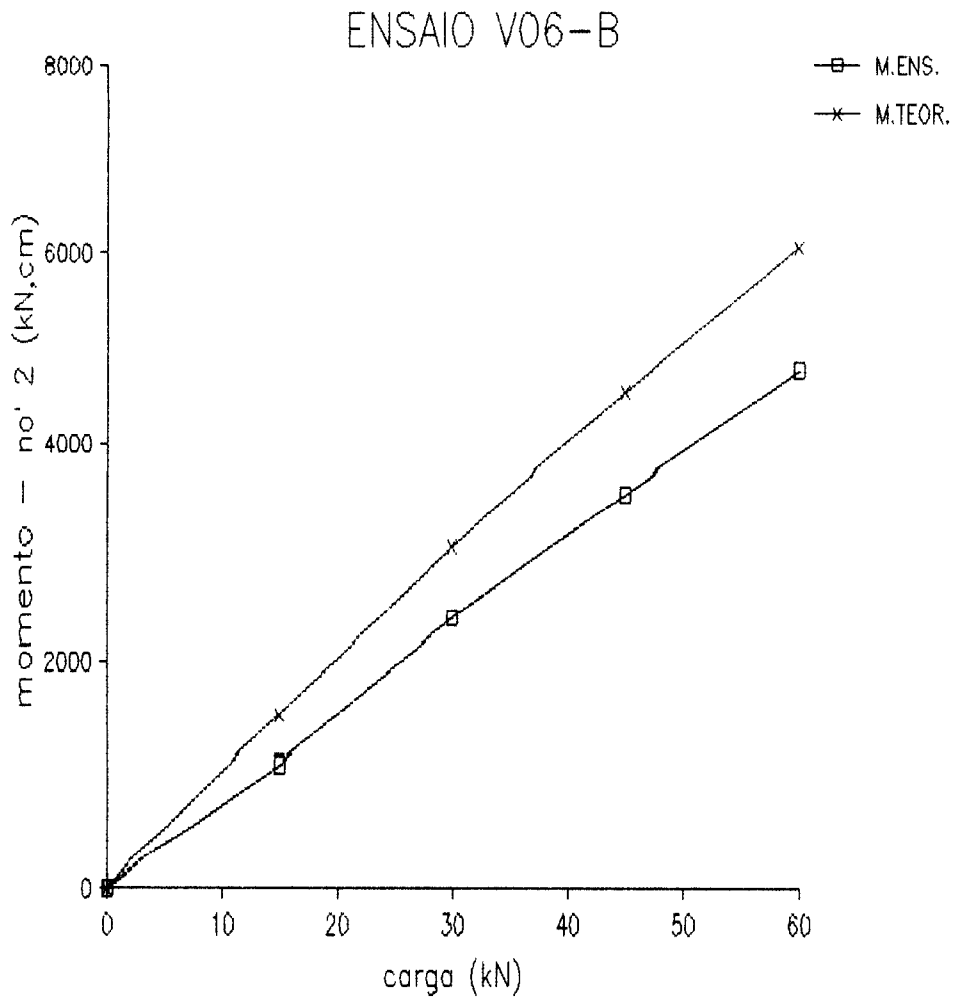
ETAPA	CARGA (kN)	.11	.12	.MED	.13	.14	.MED	M.ENS. NO' 6	M.TEOR. NO' 6
0	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	15	-2,75	-3,19	-2,97	3,03	3,23	3,13	1518,81	1203,51
2	30	-5,75	-6,35	-6,05	6,19	6,33	6,26	3015,72	2407,02
3	0	-,02	,00	,00	,00	-,02	,00	-29,03	,00
	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
4	15	-2,71	-3,19	-2,95	3,01	3,25	3,13	1532,60	1203,51
5	30	-5,67	-6,41	-6,04	6,15	6,35	6,25	3039,19	2407,02
6	45	-8,88	-9,72	-9,30	9,36	9,56	9,46	4583,52	3610,53
7	60	-11,96	-13,08	-12,52	12,56	12,76	12,66	6148,53	4814,04
8	0	-,04	-,10	-,07	,00	,04	,02	5,69	,00



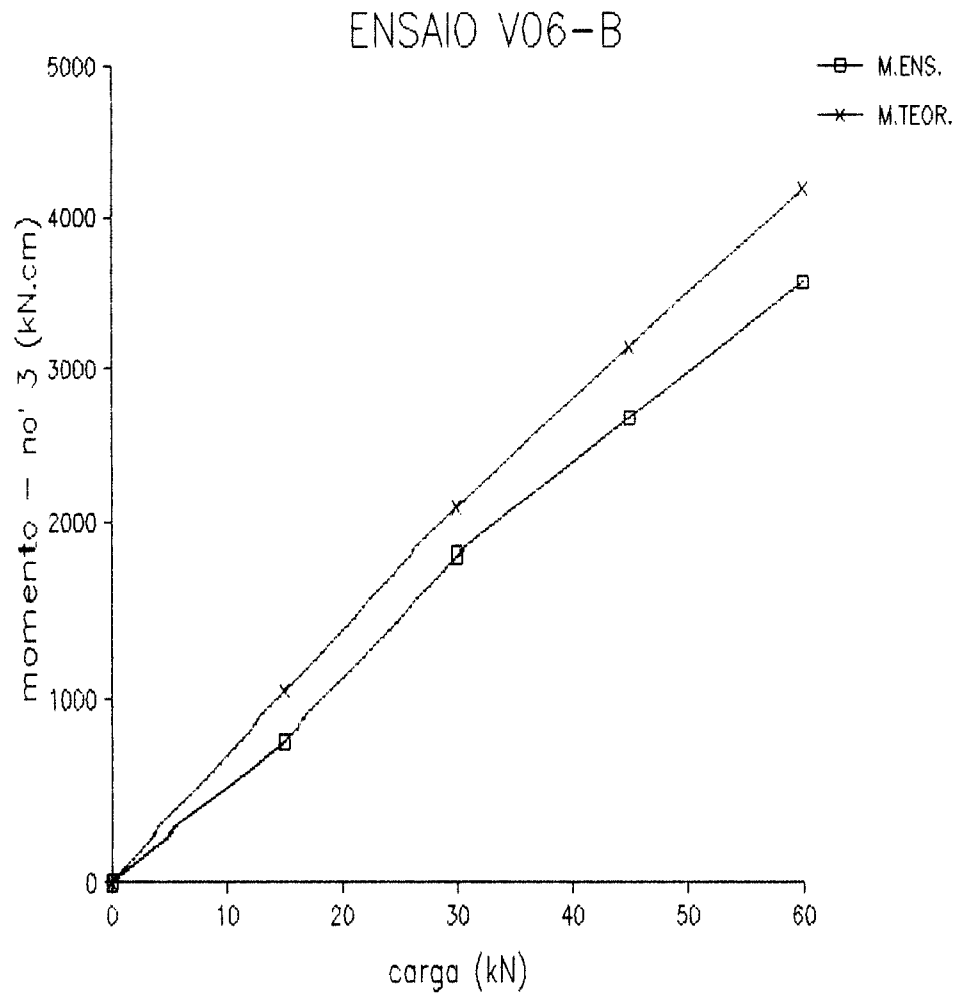
ETAPA	CARGA (kN)	DEF1 (mm)	DEF2 (mm)	ANG. (rad)	NO 4	NO 4 TEORICO	NO 5	NO 5 TEORICO	NO 6	NO 6 TEORICO	NO 7	NO 7 TEORICO	NO 8	NO 8 TEORICO
0	0	,00	,00	,000000	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	15	,16	,03	,000195	,53	,15	,95	,33	1,06	,37	1,05	,33	,86	,19
2	30	,42	,09	,000496	,98	,30	1,72	,67	1,89	,74	1,89	,66	1,46	,38
3	0	,03	,01	,000030	,02	,00	,02	,00	,03	,00	,03	,00	,04	,00
	0			,000000	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
4	15	,13	,02	,000165	,53	,15	,93	,33	1,04	,37	1,03	,33	,82	,19
5	30	,39	,08	,000466	,96	,30	1,68	,67	1,85	,74	1,85	,66	1,41	,38
6	45	,60	,12	,000722	1,43	,45	2,49	1,00	2,70	1,11	2,63	,98	1,98	,57
7	60	,82	,14	,001023	1,87	,60	3,23	1,34	3,47	1,48	3,34	1,31	2,44	,76
8	0	,01	,00	,000015	,00	,00	,09	,00	,08	,00	,06	,00	,06	,00



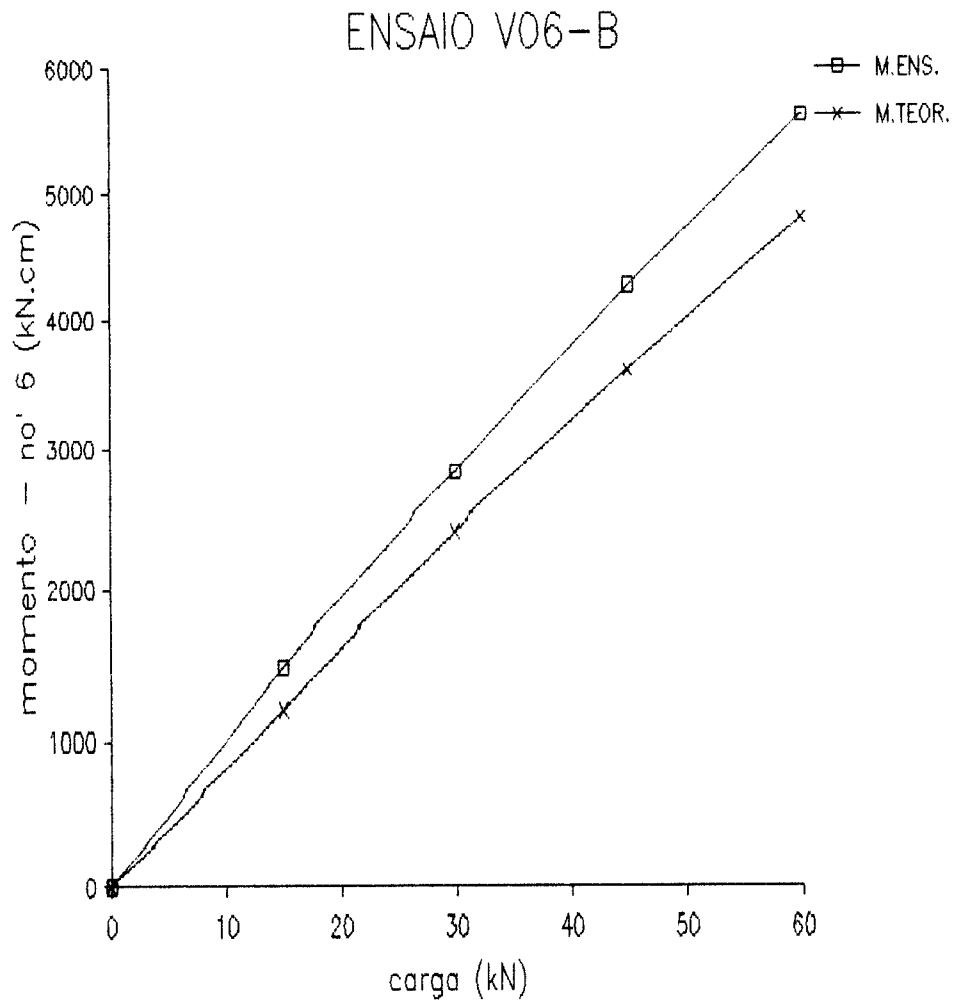
ETAPA	CARGA (kN)	.1	.2	.3	.MED	.4	.5	.6	.MED	M.ENS. NO' 2	M.TEOR. NO' 2
0	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	15	,88	,90	,82	,86	-,86	-,84	-,72	-,80	1155,19	1511,97
2	30	1,69	1,59	1,47	1,59	-1,65	-1,51	-1,33	-1,50	2464,02	3023,94
3	0	-,04	-,04	,02	-,02	-,02	-,02	-,04	-,03	75,38	,00
	0	,00	,00	,00		,00	,00	,00		,00	,00
4	15	,92	,92	,76	,86	-,86	-,84	-,66	-,78	1074,37	1511,97
5	30	1,71	1,65	1,45	1,61	-1,61	-1,47	-1,31	-1,47	2385,92	3023,94
6	45	2,43	2,21	1,93	2,19	-2,33	-2,19	-1,95	-2,16	3525,91	4535,91
7	60	3,13	2,85	2,45	2,81	-3,01	-2,85	-2,47	-2,77	4758,55	6047,88
8	0	-,12	-,06	-,08	-,09	,10	,06	,02	,06	-23,53	,00



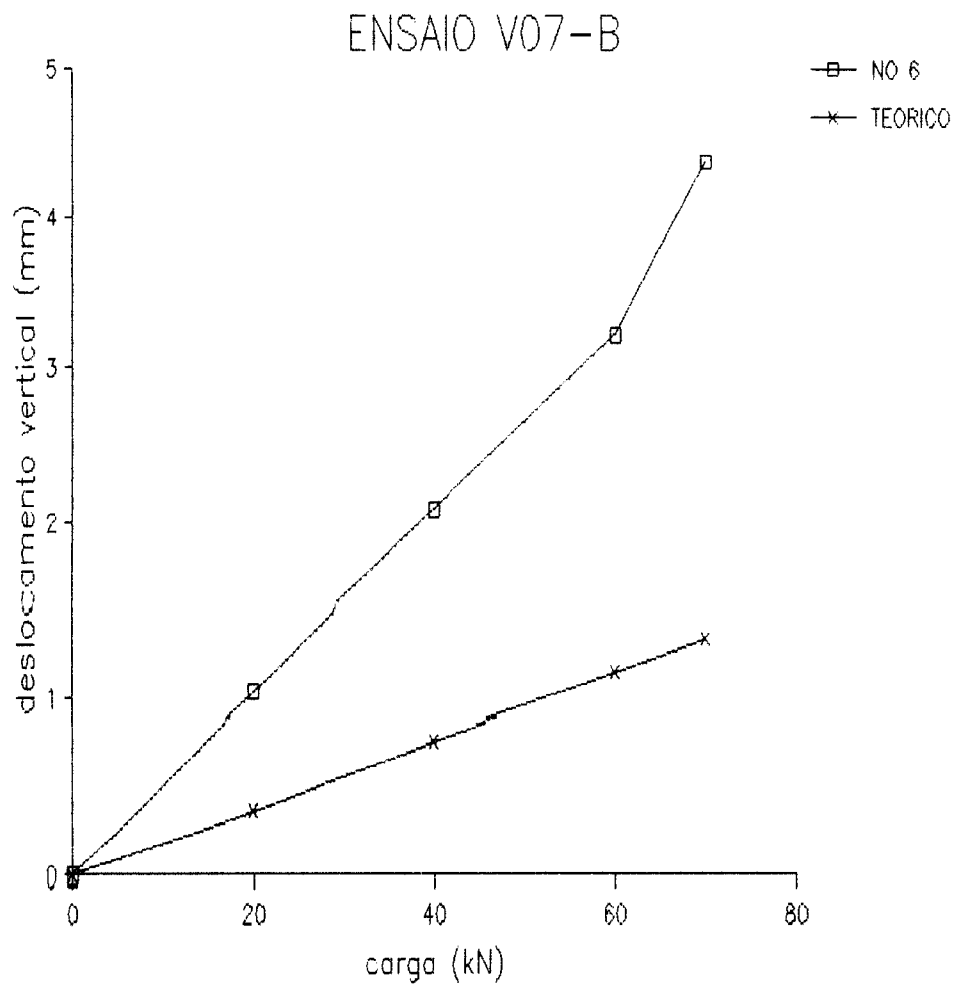
ETAPA	CARGA (kN)	.7	.8	.MED	.9	.10	.MED	M.ENS. NO' 3	M.TEOR. NO' 3
0	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	15	,54	,46	,50	-,54	-,46	-,50	855,30	1045,65
2	30	1,00	,82	,91	-,92	-,74	-,83	1845,28	2091,30
3	0	-,04	-,04	-,04	,04	-,04	,00	52,47	,00
4	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
4	15	,58	,48	,53	-,48	-,42	-,45	778,34	1045,65
5	30	1,04	,86	,95	-,90	-,80	-,85	1800,97	2091,30
6	45	1,43	1,17	1,30	-1,25	-1,09	-1,17	2667,34	3136,95
7	60	1,71	1,33	1,52	-1,57	-1,33	-1,45	3559,38	4182,60
8	0	-,10	-,08	-,09	,08	-,02	,03	-14,57	,00



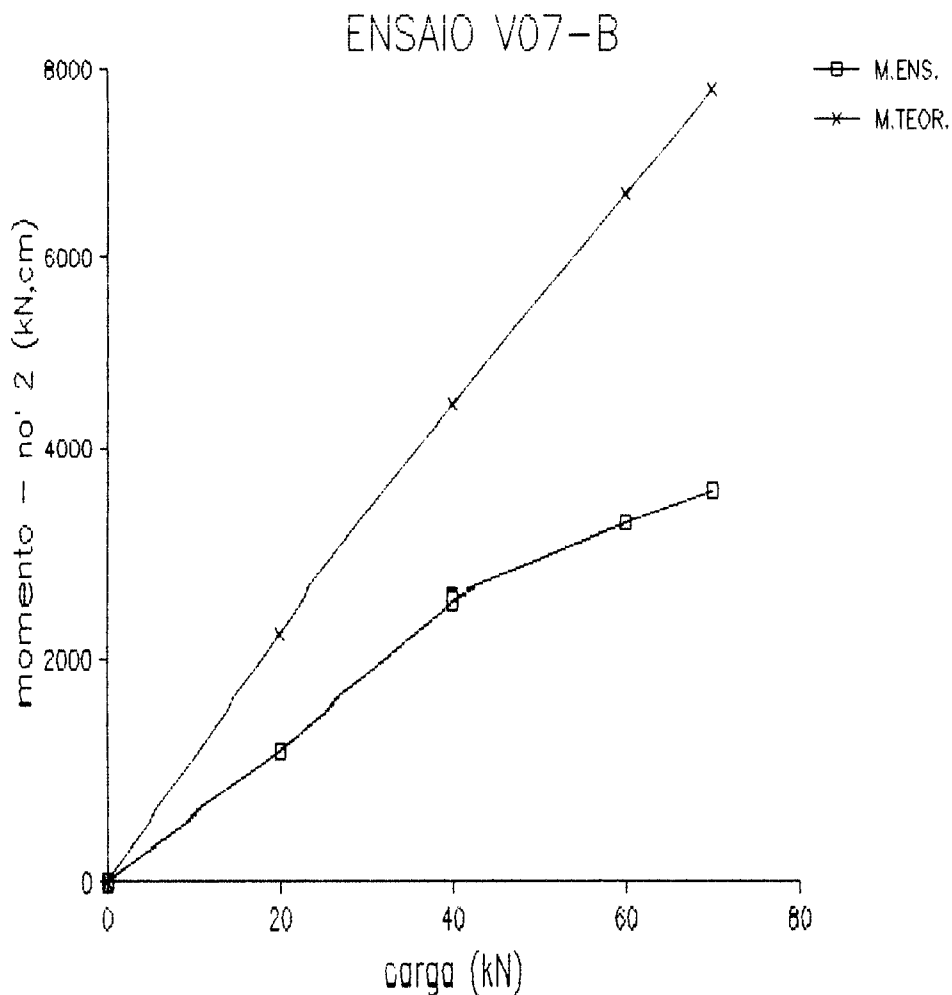
ETAPA	CARGA (kN)	.11	.12	.MED	.13	.14	.MED	M.ENS. NO' 6	M.TEOR. NO' 6
0	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	15	-2,37	-1,99	-2,18	1,99	2,03	2,01	1504,86	1199,81
2	30	-4,70	-3,96	-4,33	4,00	4,06	4,03	2886,69	2399,61
3	0	-,40	,00	-,20	-,02	-,06	-,04	32,48	,00
	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
4	15	-2,21	-1,93	-2,07	1,93	2,05	1,99	1484,62	1199,81
5	30	-4,30	-3,90	-4,10	3,98	4,06	4,02	2821,56	2399,61
6	45	-6,49	-5,97	-6,23	6,05	6,11	6,08	4260,78	3599,42
7	60	-8,74	-8,00	-8,37	7,98	8,12	8,05	5618,14	4799,22
8	0	-,16	,00	-,08	,04	,04	,04	32,57	,00



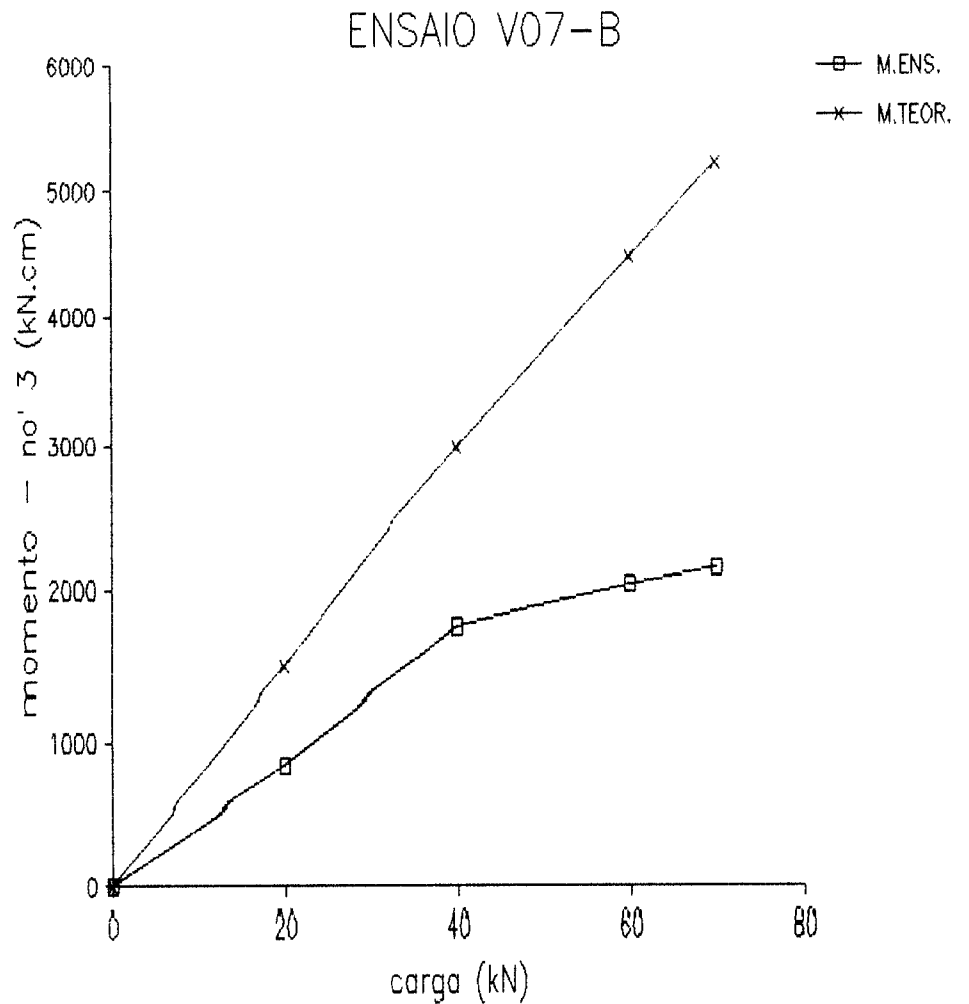
ETAPA	CARGA (kN)	DEF1 (mm)	DEF2 (mm)	ANG. (rad)	NO 4	NO 4 TEORICO	NO 5	NO 5 TEORICO	NO 6	NO 6 TEORICO	NO 7	NO 7 TEORICO	NO 8	NO 8 TEORICO
0	0	,00	,00	,000000	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	20	,24	,02	,000310	,51	,14	,99	,33	,99	,38	,94	,38	,64	,23
2	40	,47	,02	,000634	1,19	,27	2,11	,65	2,07	,77	2,02	,75	1,33	,47
3	0	,05	,00	,000070	,15	,00	,11	,00	,06	,00	,06	,00	,04	,00
	0			,000000	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
4	20	,19	,01	,000254	,54	,14	1,02	,33	1,04	,38	1,01	,38	,67	,23
5	40	,42	,02	,000563	1,12	,27	2,07	,65	2,08	,77	2,02	,75	1,33	,47
6	60	,62	,08	,000761	2,51	,41	3,76	,98	3,21	1,15	3,50	1,13	2,23	,70
7	70	,71	,10	,000859	2,94	,48	4,48	1,14	4,38	1,35	5,15	1,31	2,67	,82
8	0	-,06	,00	-,000085	,90	,00	,75	,00	,67	,00	,55	,00	,31	,00



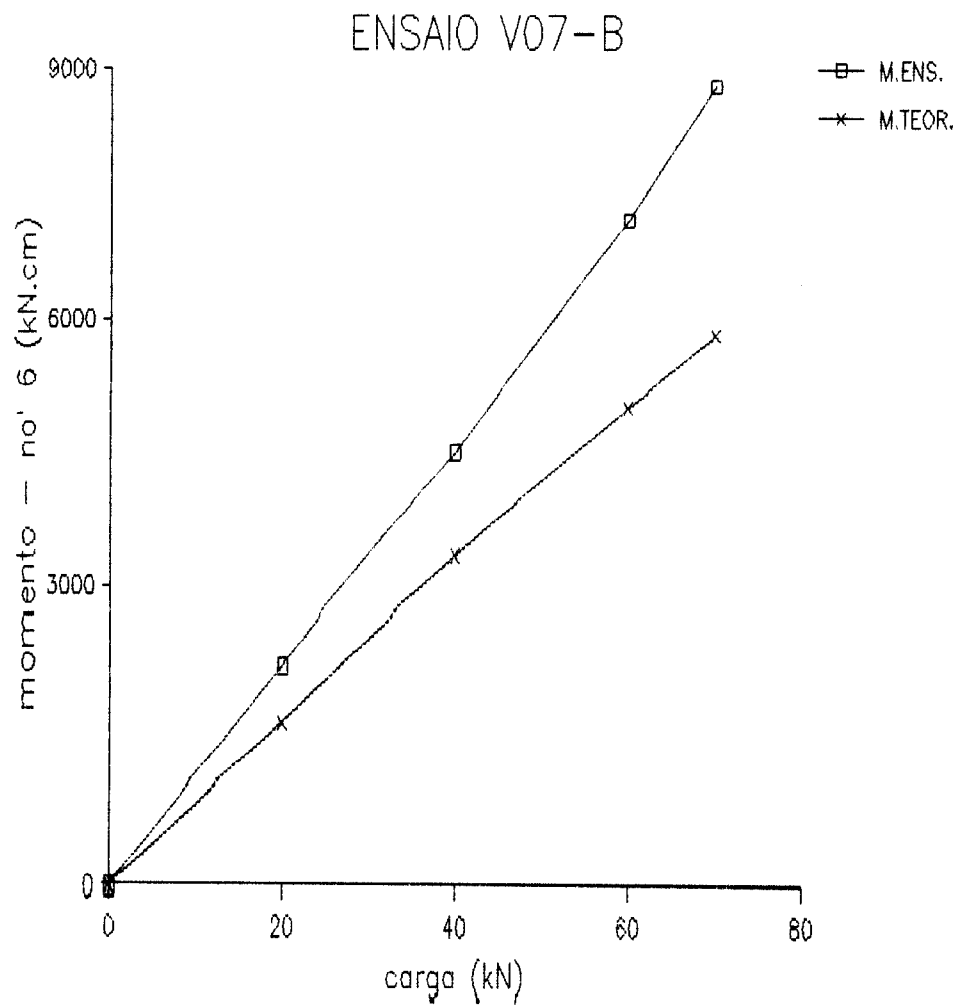
ETAPA	CARGA (kN)	.1	.2	.3	.MED	.4	.5	.6	.MED	M.ENS. NO' 2	M.TEOR. NO' 2
0	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	20	,22	,24	,20	,22	-,24	-,32	-,26	-,27	1411,90	2224,44
2	40	,32	,40	,32	,35	-,44	-,58	-,48	-,50	2788,79	4448,88
3	0	,08	-,04	-,06	,00	,02	,02	,04	,03	232,06	,00
	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
4	20	,00	,24	,22	,15	-,26	-,34	-,30	-,30	1185,54	2224,44
5	40	,00	,38	,36	,25	-,46	-,64	-,56	-,55	2507,87	4448,88
6	60	,00	,40	,32	,24	-,44	-,68	-,60	-,57	3222,78	6673,32
7	70	,00	,40	,30	,23	-,36	-,68	-,62	-,55	3559,88	7785,54
8	0	,00	-,24	-,18	-,14	-,26	,22	,14	,03	-408,75	,00



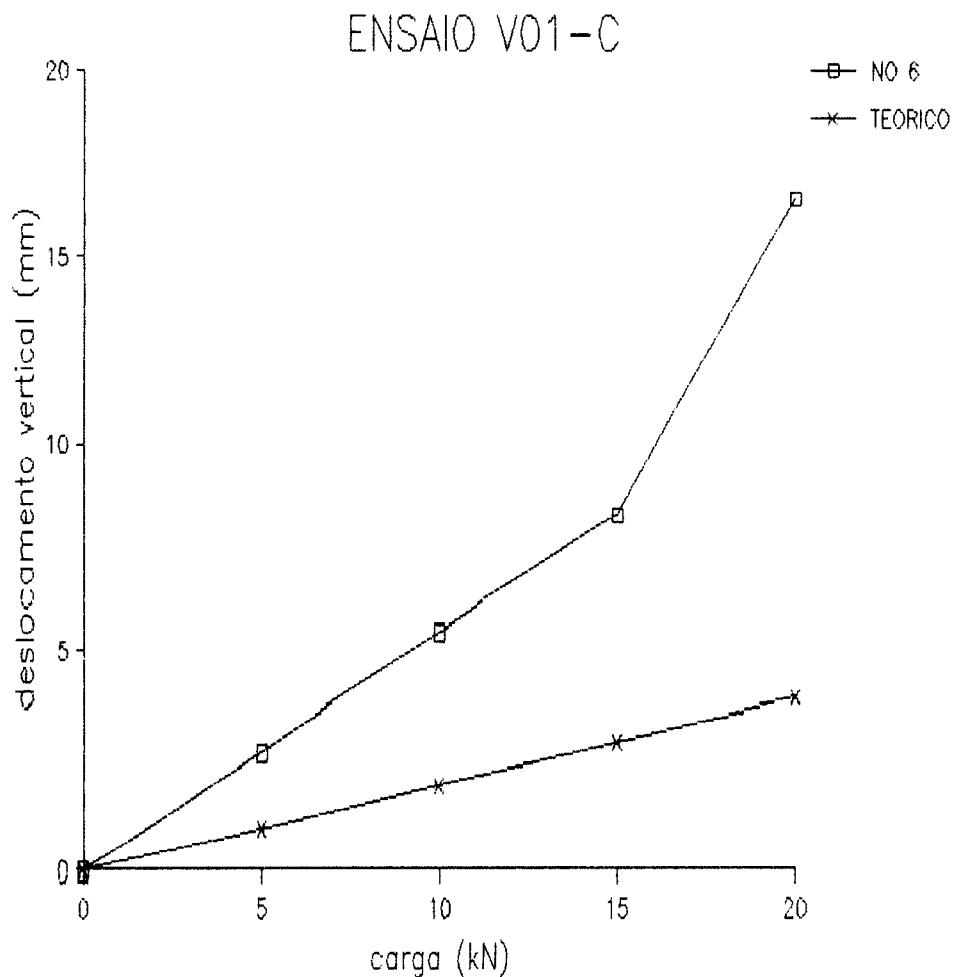
ETAPA	CARGA (kN)	.7	.8	.MED	.9	.10	.MED	M.ENS. NO' 3	M.TEOR. NO' 3
0	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	20	,00	-,08	-,04	,04	-,02	,00	1021,64	1493,16
2	40	-,12	-,28	-,20	,16	,10	,13	1950,66	2986,32
3	0	-,08	-,08	-,08	,02	,00	,00	184,17	,00
	0	,00	,00		,00	,00		,00	,00
4	20	,00	-,08	-,04	,02	-,02	,00	836,44	1493,16
5	40	-,06	-,22	-,14	,14	,08	,11	1760,38	2986,32
6	60	-,36	-,60	-,48	,48	,36	,42	2033,01	4479,48
7	70	-,50	-,80	-,65	,66	,54	,60	2154,05	5226,06
8	0	-,26	-,24	-,25	,18	,18	,18	-549,55	,00



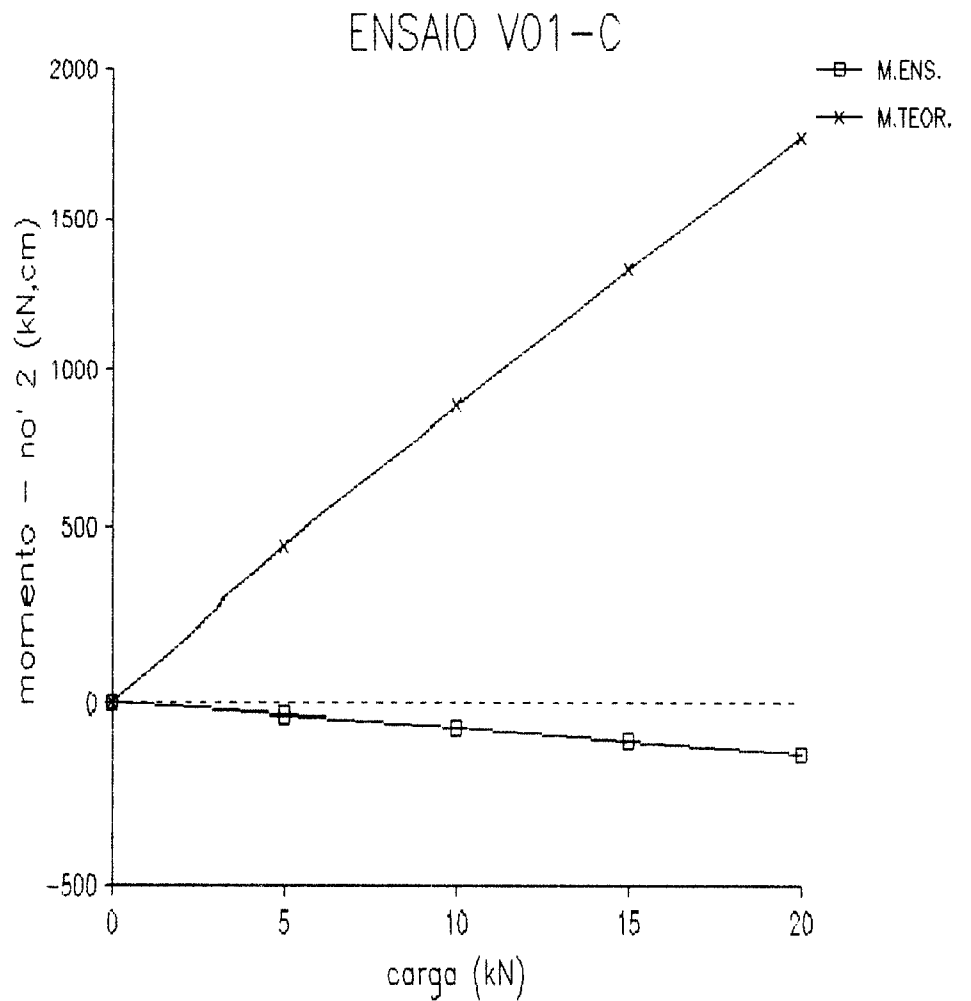
ETAPA	CARGA (kN)	.11	.12	.MED	.13	.14	.MED	M.ENS. NO' 6	M.TEOR. NO' 6
0	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	20	-1,97	-2,21	-2,09	2,27	2,25	2,26	2093,21	1660,88
2	40	-4,14	-4,66	-4,40	4,62	4,46	4,54	4306,83	3321,76
3	0	-,06	-,04	-,05	,04	,04	,04	-75,82	,00
	0	,00	,00		,00	,00		,00	,00
4	20	-2,05	-2,31	-2,18	2,27	2,17	2,22	2228,37	1660,88
5	40	-4,18	-4,72	-4,45	4,64	4,44	4,54	4468,15	3321,76
6	60	-6,57	-7,29	-6,93	7,23	6,97	7,10	7191,99	4982,64
7	70	-7,80	-9,26	-8,53	8,52	8,28	8,40	8792,07	5813,08
8	0	-,16	-,14	-,15	,16	,14	,15	340,14	,00



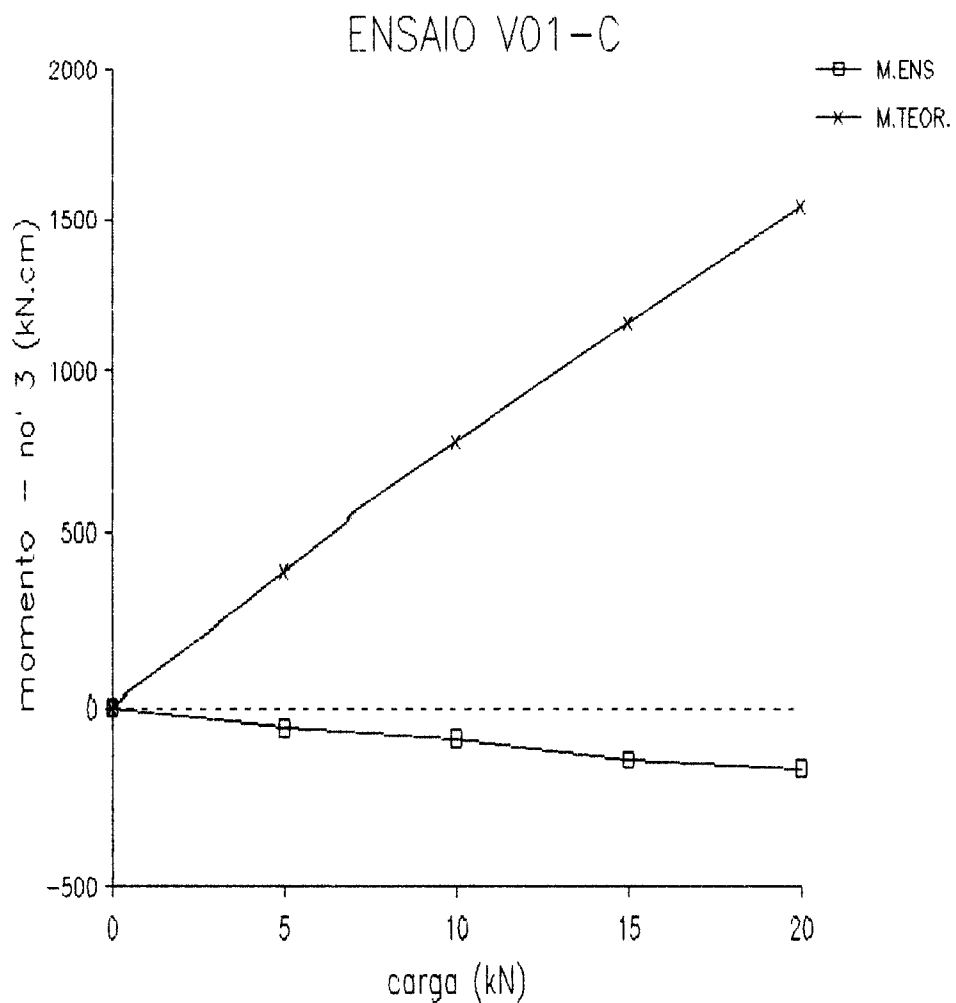
ETAPA	CARGA (kN)	DEF1 (mm)	DEF2 (mm)	ANG. (rad)	NO 4	NO 4 TEORICO	NO 5	NO 5 TEORICO	NO 6	NO 6 TEORICO	NO 7	NO 7 TEORICO	NO 8	NO 8 TEORICO
0	0	,00	,00	,000000	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	5	,00	-,01	,000024	1,70	,44	2,70	,92	2,70	,96	2,50	,87	1,46	,48
2	10	,02	-,01	,000073	3,43	,89	5,37	1,85	5,39	1,93	4,87	1,74	2,87	,96
3	0	,02	,00	,000049	,04	,00	,02	,00	,02	,00	,03	,00	,03	,00
	0			,000000	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
4	5	,00	,00	,000000	1,67	,44	2,67	,92	2,66	,96	2,42	,87	1,44	,48
5	10	,01	,00	,000024	3,39	,89	5,36	1,85	5,40	1,93	4,89	1,74	2,87	,96
6	15	,03	,00	,000073	5,17	1,33	8,08	2,77	8,09	2,89	7,25	2,61	4,27	1,44
7	20	,05	,00	,000121	6,83	1,77	10,58	3,70	16,58	3,86	9,46	3,48	5,54	1,92
8	0	-,02	,00	-,000049	,12	,00	,15	,00	,14	,00	,13	,00	,10	,00



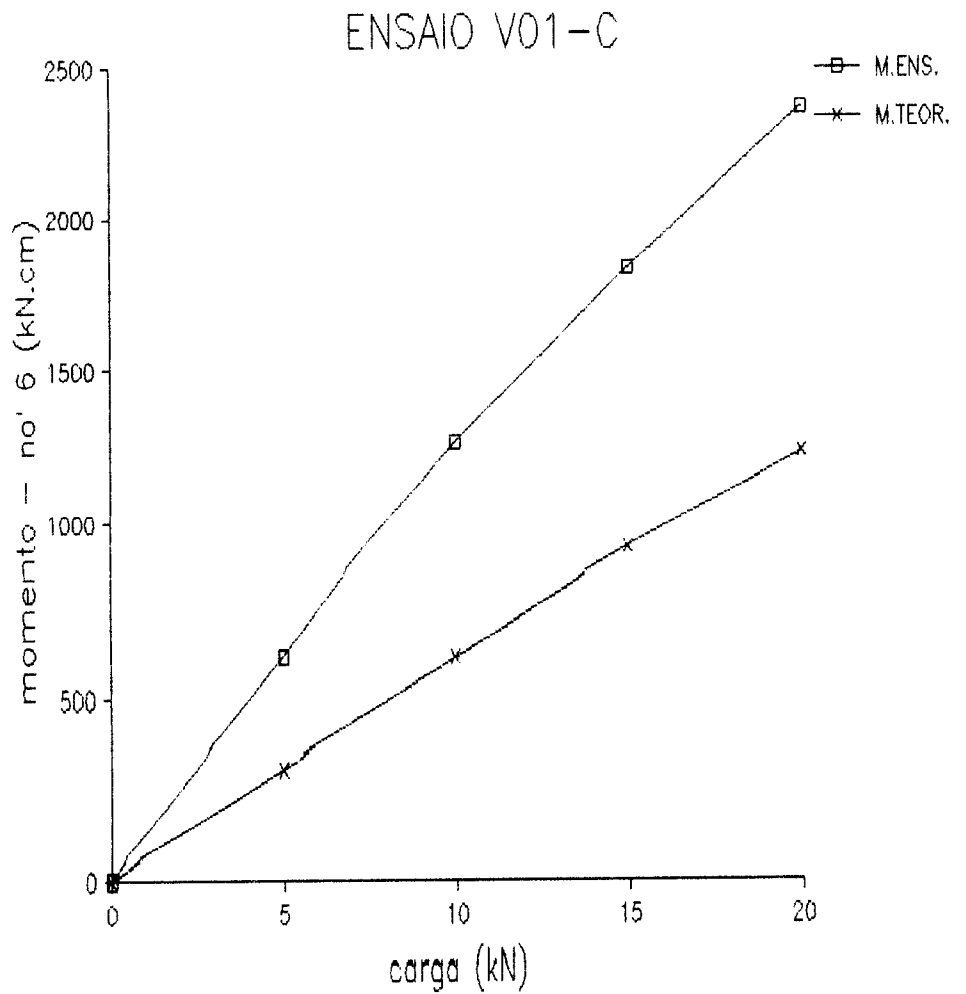
ETAPA	CARGA (kN)	.1	.2	.3	.MED	.4	.5	.6	.MED	M.ENS. NO' 2	M.TEOR. NO' 2
0	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	5	-,18	-,14	-,08	-,13	,52	,48	,40	,46	-31,65	442,61
2	10	-,46	-,42	-,34	-,40	,94	,84	,72	,83	-61,25	885,22
3	0	,26	,16	,16	,19	,28	,26	,26	,27	4,50	,00
	0	,00	,00	,00		,00	,00	,00		,00	,00
4	5	-,12	-,28	-,22	-,21	,38	,34	,26	,33	-32,10	442,61
5	10	-,66	-,56	-,46	-,56	,68	,62	,50	,60	-65,35	885,22
6	15	-1,09	-,90	-,74	-,91	1,11	1,00	,84	,98	-100,97	1327,83
7	20	-1,55	-1,21	-1,00	-1,25	1,51	1,45	1,23	1,40	-138,20	1770,44
8	0	,06	-,06	-,14	-,05	,16	,10	,12	,13	-19,35	,00



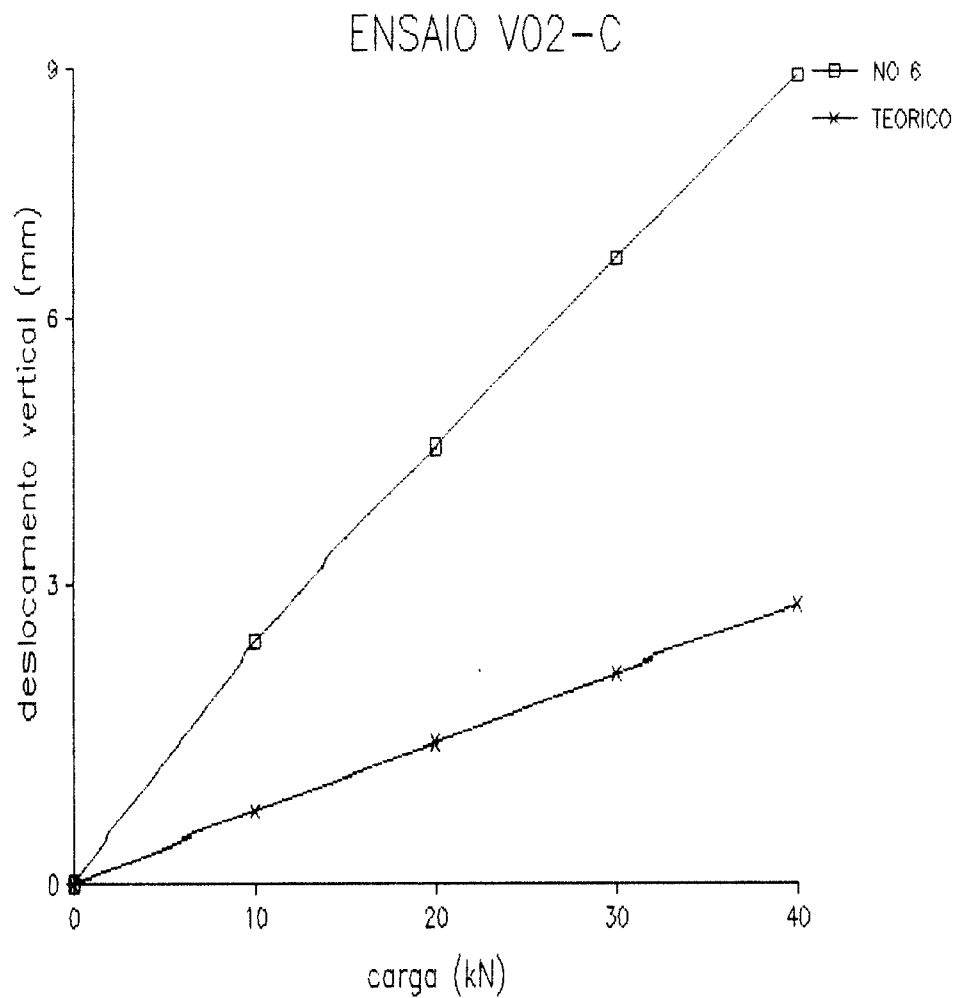
ETAPA	CARGA (kN)	.7	.8	.MED	.9	.10	.MED	M.ENS NO' 3	M.TEOR. NO' 3
0	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	5	-,34	-1,87	-1,10	-,78	-,80	-,79	-14,92	385,30
2	10	-,88	-2,25	-1,56	-,02	-,06	-,04	-79,06	770,59
3	0	,16	-1,02	-,43	-1,47	-1,51	-1,49	73,08	,00
	0	,00	,00		,00	,00		,00	,00
4	5	-,46	-1,75	-1,10	-,16	-,22	-,19	-55,37	385,30
5	10	-1,04	-2,85	-1,94	-,50	-,48	-,49	-83,52	770,59
6	15	-1,59	-3,66	-2,63	-,28	,28	,00	-145,86	1155,89
7	20	-2,19	-4,10	-3,15	-,96	,96	,00	-168,47	1541,18
8	0	-,04	-3,26	-1,65	-2,41	-2,45	-2,43	38,26	,00



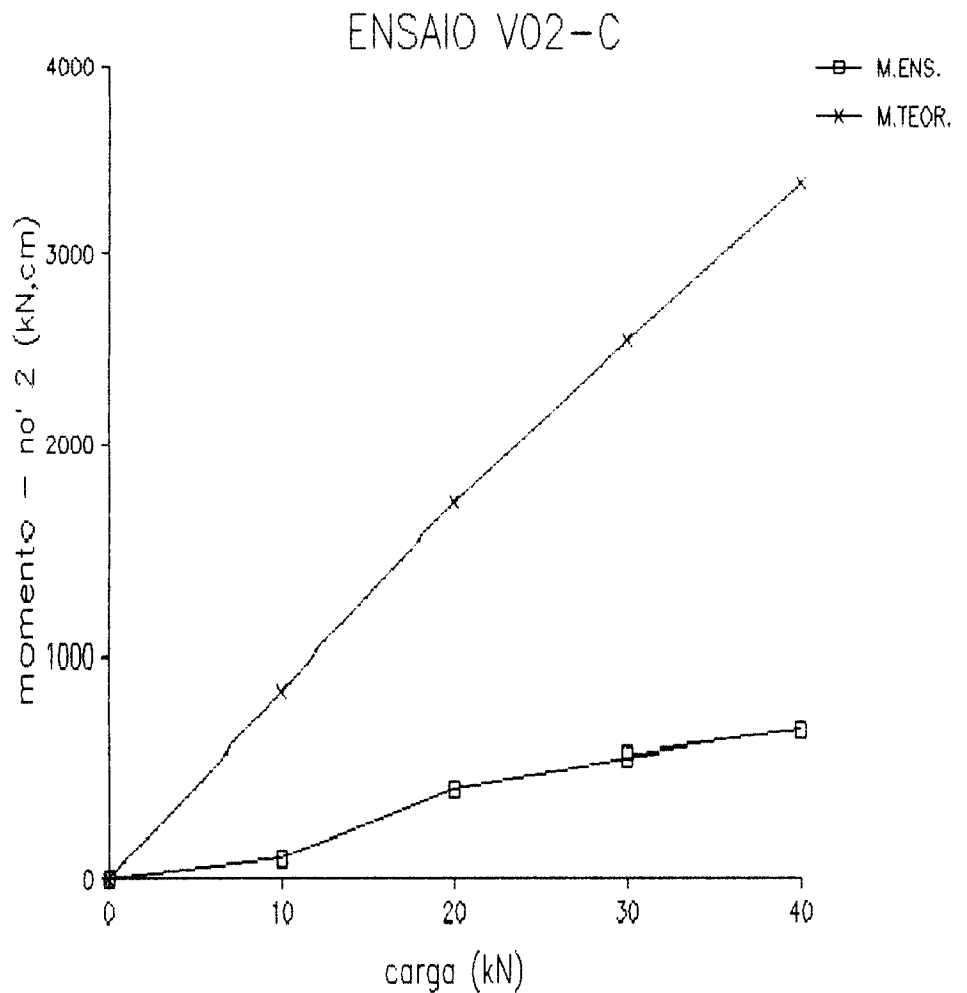
ETAPA	CARGA (kN)	.11	.12	.MED	.13	.14	.MED	M.ENS. NO' 6	M.TEOR. NO' 6
0	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	5	-6,33	-6,25	-6,29	4,54	4,46	4,50	650,47	307,33
2	10	-11,39	-11,05	-11,22	9,22	9,10	9,16	1226,21	614,65
3	0	-1,57	-1,51	-1,54	-,18	-,14	-,16	79,84	,00
	0	,00	,00		,00	,00		,00	,00
4	5	-5,77	-5,67	-5,72	4,56	4,44	4,50	618,07	307,33
5	10	-11,83	-11,45	-11,64	9,30	9,14	9,22	1258,91	614,65
6	15	-16,92	-16,21	-16,56	13,82	13,82	13,82	1831,04	921,98
7	20	-22,02	-20,64	-21,33	17,98	18,22	18,10	2374,28	1229,30
8	0	-2,69	-2,63	-2,66	,00	,06	,03	166,30	,00



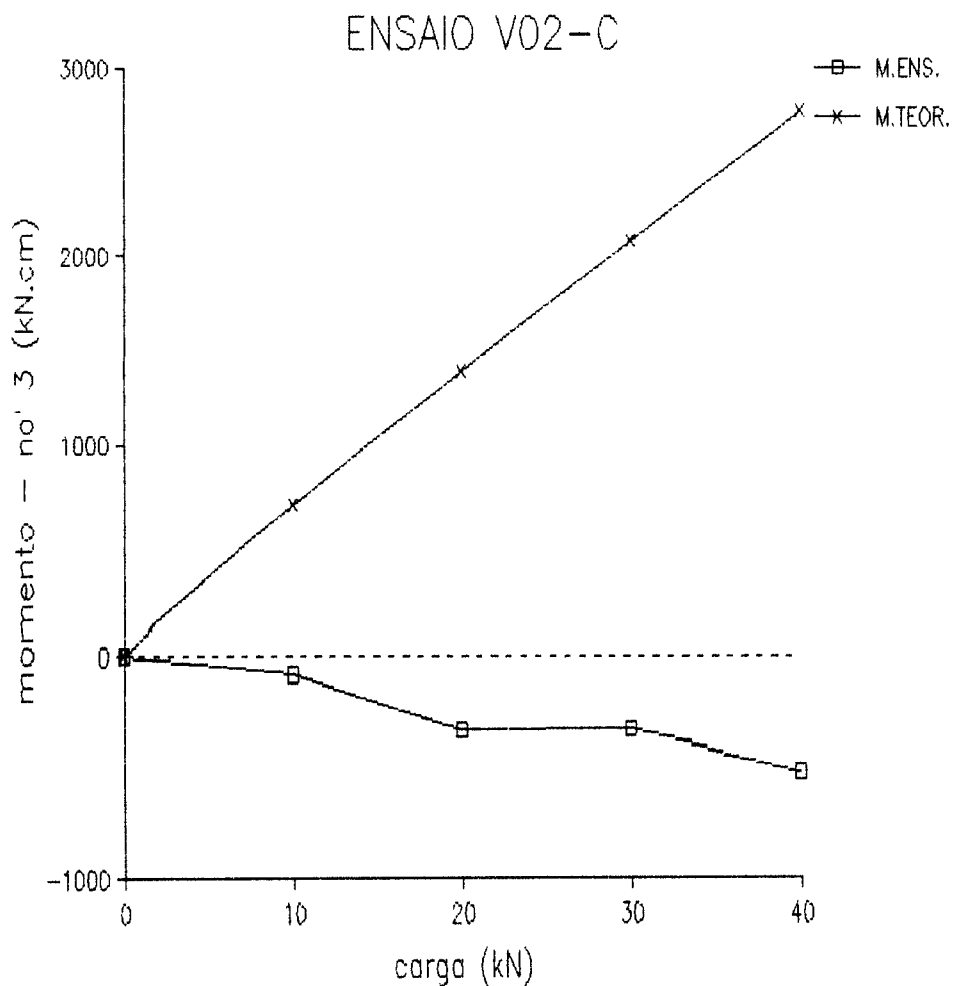
ETAPA	CARGA (kN)	DEF1 (mm)	DEF2 (mm)	ANG. (rad)	NO 4	NO 4 TEORICO	NO 5	NO 5 TEORICO	NO 6	NO 6 TEORICO	NO 7	NO 7 TEORICO	NO 8	NO 8 TEORICO
0	0	,00	,00	,000000	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	10	,00	-,02	,000043	1,27	,32	2,27	6,69	2,32	,70	2,14	,63	,82	,35
2	20	,02	-,02	,000086	2,75	,64	4,53	13,38	4,61	1,40	4,27	1,26	2,19	,69
3	0	,00	,00	,000000	,10	,00	,13	,00	,13	,00	,13	,00	,07	,00
	0			,000000	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
4	10	-,03	-,02	-,000022	1,34	,32	2,33	6,69	2,38	,70	2,20	,63	1,53	,35
5	20	,01	-,02	,000065	2,71	,64	4,43	13,38	4,51	1,40	4,17	1,26	2,74	,69
6	30	,04	-,06	,000216	4,09	,96	6,35	20,06	6,71	2,09	6,17	1,89	4,06	1,04
7	40	,11	-,05	,000346	5,56	1,28	8,86	26,75	8,94	2,79	8,18	2,52	5,31	1,39
8	0	-,01	,00	-,000022	,49	,00	,52	,00	,49	,00	,48	,00	,45	,00



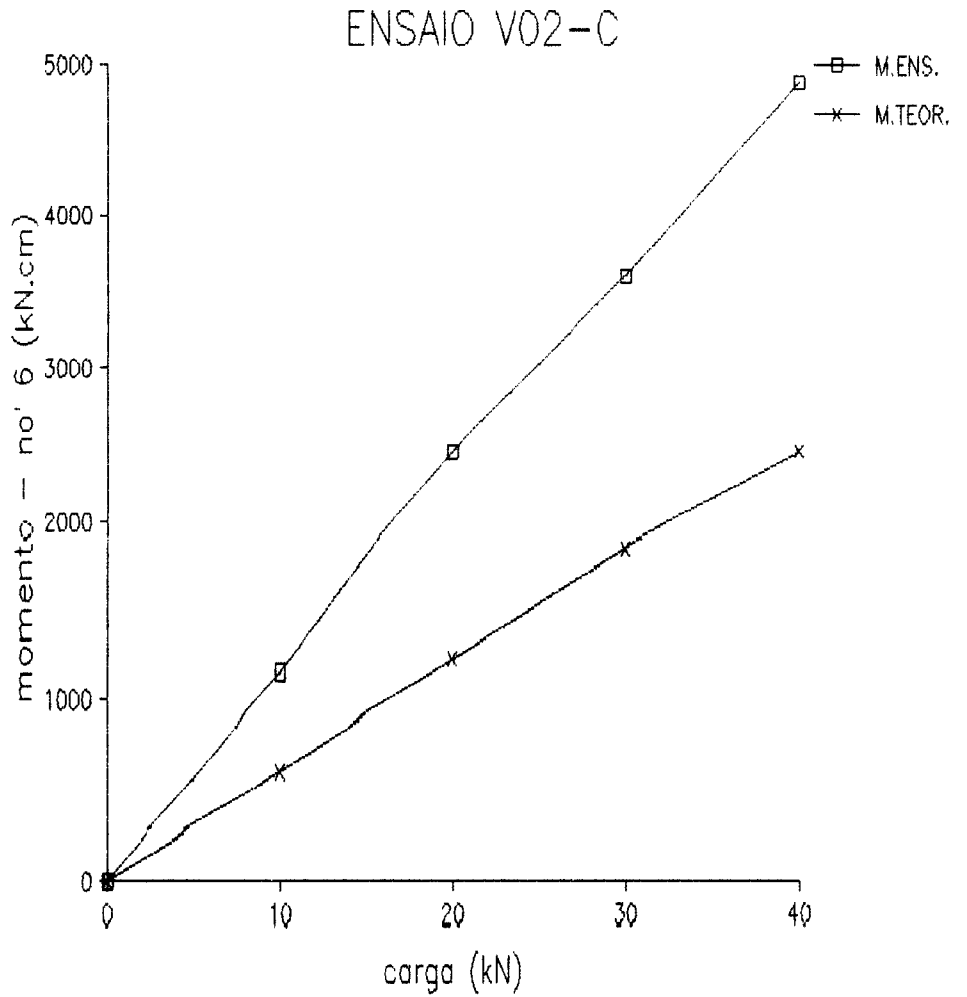
ETAPA	CARGA (kN)	.1	.2	.3	.MED	.4	.5	.6	.MED	M.ENS. NO' 2	M.TEOR. NO' 2
0	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	10	,32	,48	,44	,41	-,56	-,28	,14	-,23	102,27	846,76
2	20	,32	,58	,40	,43	-,70	-,48	,06	-,37	143,93	1693,52
3	0	-,02	,22	,36	,19	,76	,50	,24	,50	-39,03	,00
	0	,00	,00	,00		,00	,00	,00		,00	,00
4	10	,04	,24	,98	,42	-,80	-,48	-,02	-,43	95,42	846,76
5	20	1,19	,88	1,06	1,04	-2,69	-2,13	-1,35	-2,06	420,36	1693,52
6	30	1,35	1,00	1,06	1,13	-3,11	-2,67	-1,63	-2,47	559,53	2540,28
7	40	1,59	1,06	1,11	1,25	-3,17	-3,01	-1,93	-2,70	668,73	3387,04
8	0	2,11	1,63	,00	1,25	-1,21	-1,61	-1,57	-1,47	328,74	,00



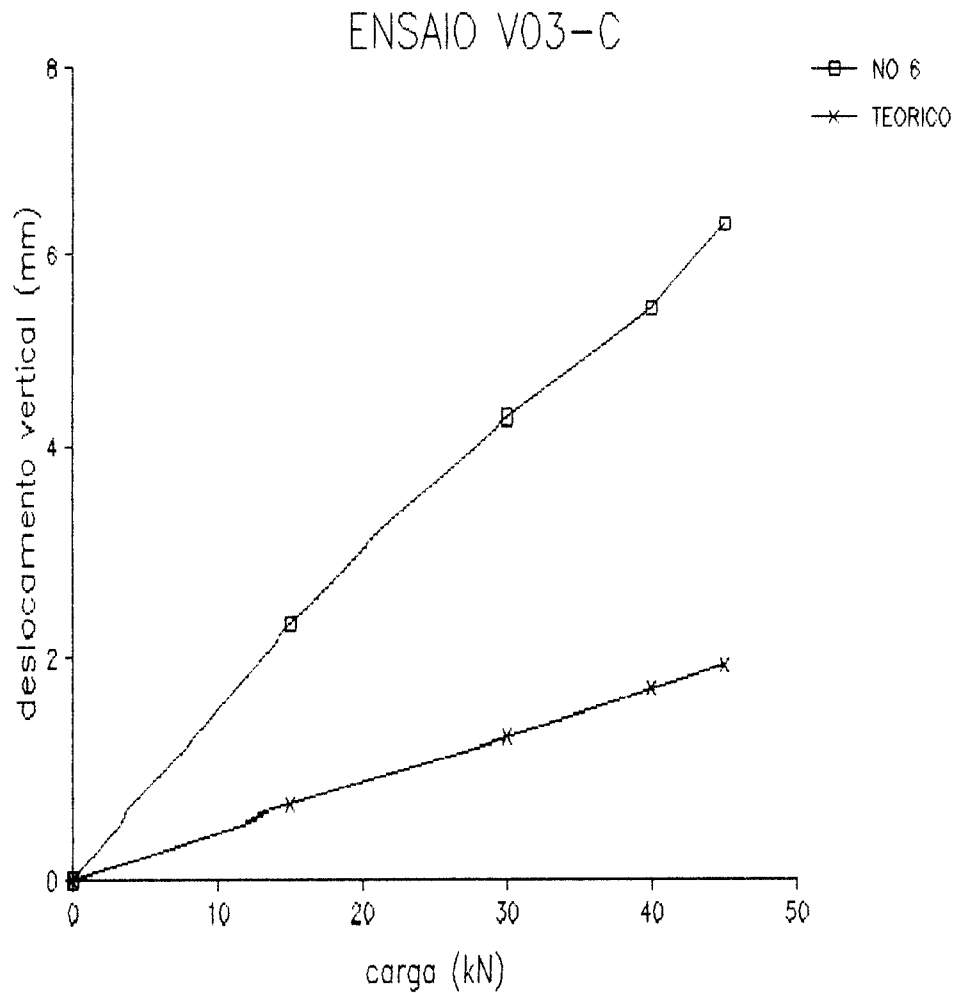
ETAPA	CARGA (kN)	.7	.8	.MED	.9	.10	.MED	M.ENS. NO' 3	M.TEOR. NO' 3
0	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	10	-,04	-1,29	-,67	,10	,50	,30	-99,84	693,67
2	20	-,62	-2,15	-1,38	,64	1,13	,89	-242,03	1387,34
3	0	,18	-1,91	-,87	,54	,30	,42	-160,67	,00
	0	,00	,00		,00	,00		,00	,00
4	10	-,36	-,36	-,36	,02	,42	,22	-82,72	693,67
5	20	-2,01	-2,63	-2,32	1,00	,36	,68	-343,44	1387,34
6	30	-2,79	-3,48	-3,14	,56	,26	,41	-338,54	2081,01
7	40	-3,60	-5,75	-4,68	1,15	,38	,77	-513,52	2774,68
8	0	-1,79	-4,26	-3,03	2,59	2,71	2,65	-720,42	,00



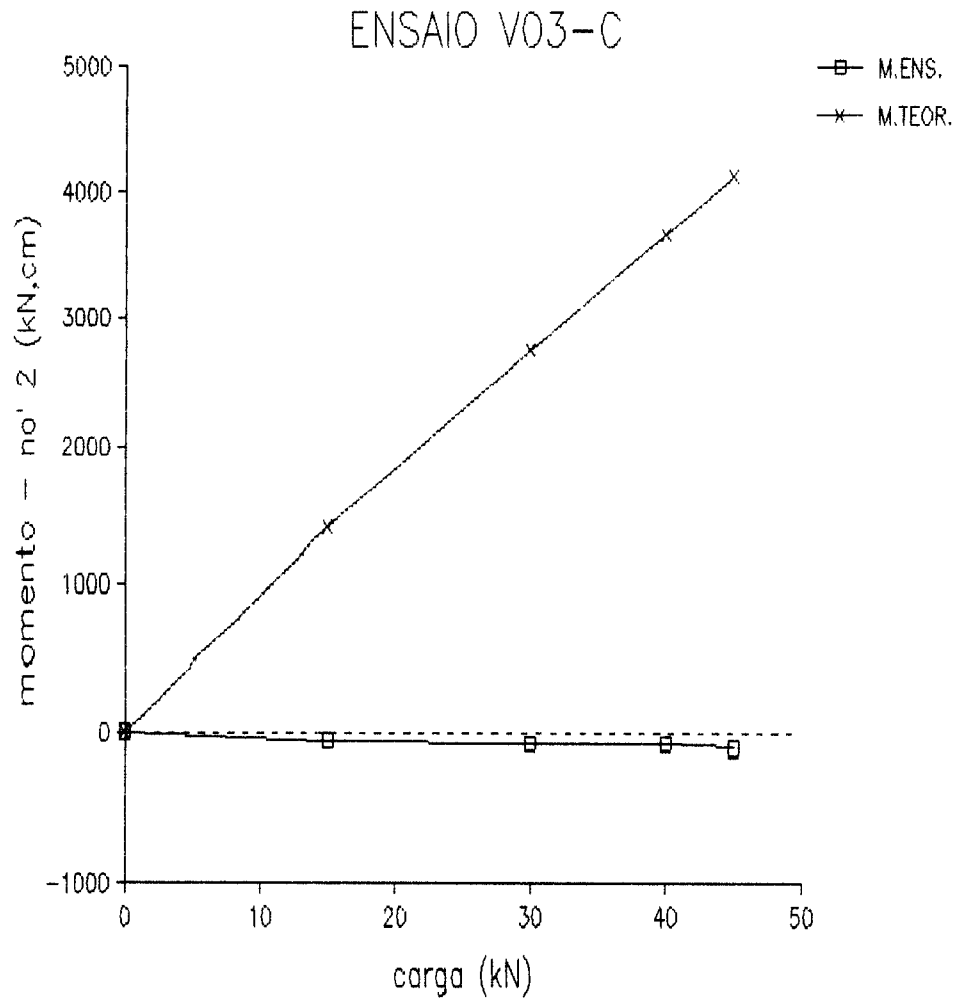
ETAPA	CARGA (kN)	.11	.12	.MED	.13	.14	.MED	M.ENS. NO' 6	M.TEOR. NO' 6
0	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	10	-4,12	-4,24	-4,18	4,58	4,56	4,57	1085,42	614,65
2	20	-8,42	-9,30	-8,86	9,36	9,36	9,36	2260,51	1229,30
3	0	,36	,16	,26	,04	,08	,06	-24,91	,00
	0	,00	,00		,00	,00		,00	,00
4	10	-4,54	-4,60	-4,57	4,64	4,60	4,62	1154,28	614,65
5	20	-10,31	-10,63	-10,47	9,32	9,24	9,28	2457,00	1229,30
6	30	-14,69	-15,47	-15,08	14,04	13,88	13,96	3586,25	1843,95
7	40	-20,39	-21,80	-21,09	18,77	18,34	18,55	4885,83	2458,60
8	0	-3,17	-3,07	-3,12	,12	,02	,07	403,24	,00



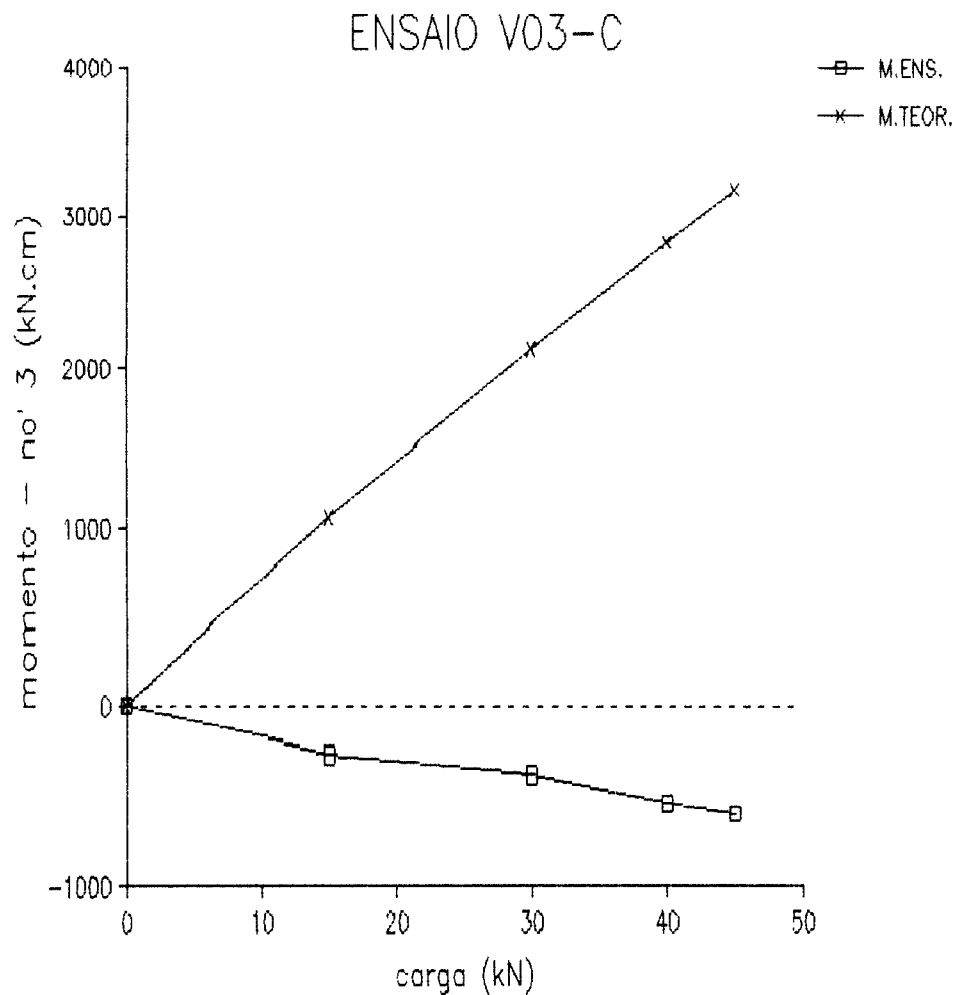
ETAPA	CARGA (kN)	DEF1 (mm)	DEF2 (mm)	ANG. (rad)	NO 4	NO 4 TEORICO	NO 5	NO 5 TEORICO	NO 6	NO 6 TEORICO	NO 7	NO 7 TEORICO	NO 8	NO 8 TEORICO
0	0	,00	,00	,000000	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	15	,02	,00	,000039	1,12	,20	1,89	,50	2,07	,64	1,95	,60	1,24	,36
2	30	,11	,00	,000214	2,20	,40	3,80	1,00	4,14	1,28	3,88	1,21	2,44	,72
3	0	-,01	,00	-,000019	,06	,00	,07	,00	,08	,00	,10	,00	,08	,00
	0			,000000	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
4	15	,03	,00	,000058	1,21	,20	2,08	,50	2,27	,64	2,12	,60	1,33	,36
5	30	,11	,00	,000214	2,24	,40	3,92	1,00	4,28	1,28	3,94	1,21	2,47	,72
6	40	,13	,02	,000214	2,88	,53	4,99	1,34	5,44	1,71	5,04	1,61	3,13	,96
7	45	,19	,02	,000331	3,39	,60	5,81	1,50	6,34	1,92	5,88	1,81	3,60	1,08
8	0	-,01	,01	-,000039	,11	,00	,12	,00	,10	,00	,11	,00	,04	,00



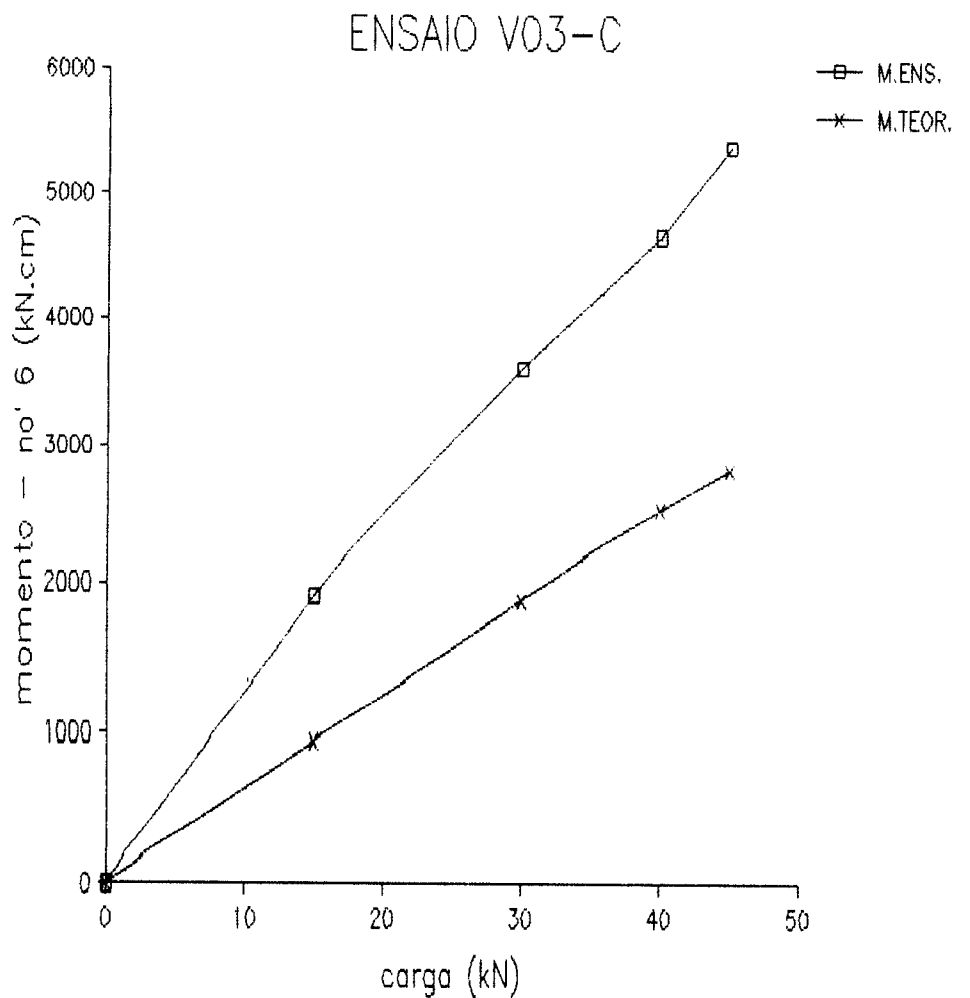
ETAPA	CARGA (kN)	.1	.2	.3	.MED	.4	.5	.6	.MED	M.ENS. NO' 2	M.TEOR. NO' 2
0	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	15	,06	-,04	-,24	-,07	,30	,04	,04	,13	-44,00	1372,80
2	30	,18	-,12	-,58	-,17	,50	,18	,00	,23	-87,99	2745,60
3	0	,06	-,02	-,04	,00	,02	,04	,06	,04	-8,80	,00
	0	,00	,00	,00		,00	,00	,00		,00	,00
4	15	,06	-,08	-,38	-,13	,26	,12	,08	,15	-63,06	1372,80
5	30	,20	-,08	-,66	-,18	,50	,14	-,02	,21	-85,06	2745,60
6	40	,34	-,06	-,84	-,19	,68	,12	-,20	,20	-85,06	3660,80
7	45	,38	-,10	-1,04	-,25	,88	,16	-,34	,23	-107,06	4118,40
8	0	,14	-,02	-,20	-,03	,00	-,04	,00	-,01	-2,93	,00



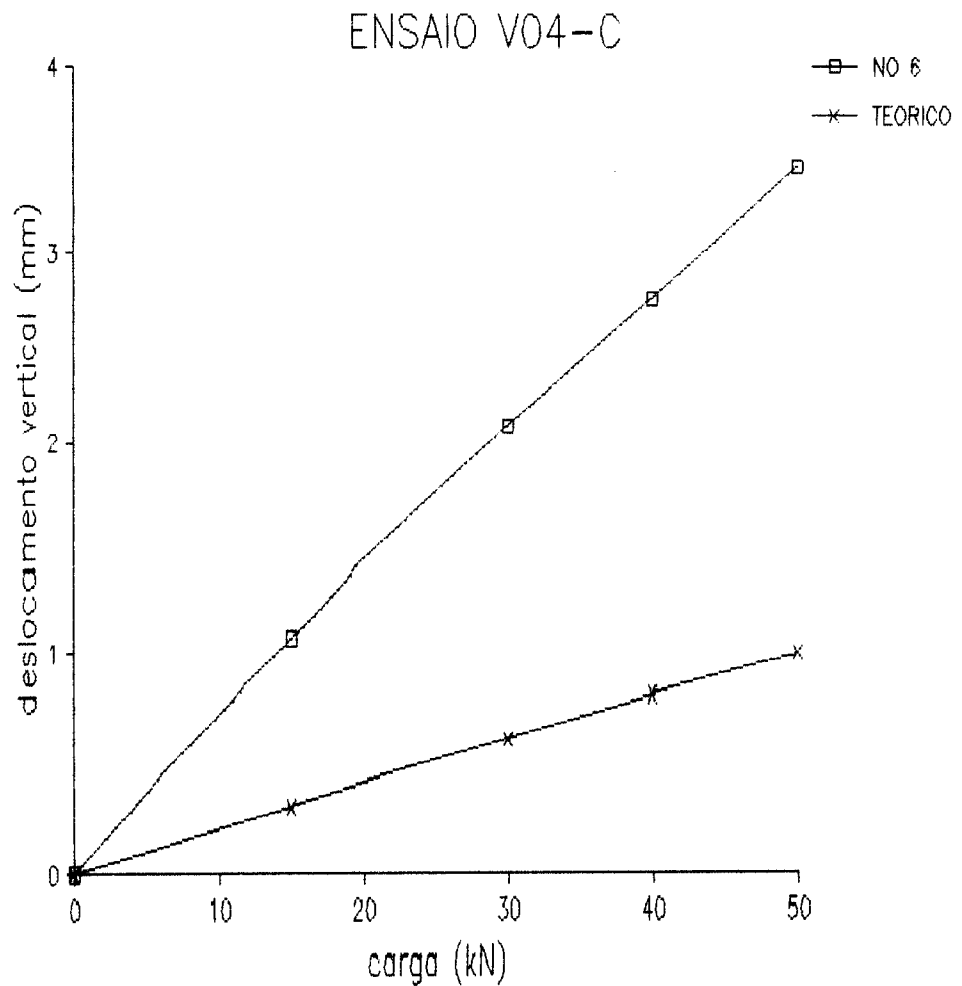
ETAPA	CARGA (kN)	.7	.8	.MED	.9	.10	.MED	M.ENS. NO' 3	M.TEOR. NO' 3
0	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	15	-,48	-,66	-,57	,64	,56	,60	-221,81	1059,92
2	30	-1,02	-1,43	-1,22	1,39	1,13	1,26	-354,31	2119,83
3	0	,02	,00	,00	,04	,04	,04	-24,39	,00
	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
4	15	-,58	-,86	-,72	,82	,70	,76	-272,22	1059,92
5	30	-,92	-1,59	-1,25	1,49	1,19	1,34	-378,51	2119,83
6	40	-1,37	-1,95	-1,66	1,87	1,45	1,66	-539,09	2826,44
7	45	-1,69	-2,39	-2,04	2,31	1,73	2,02	-595,16	3179,75
8	0	-,06	-,18	-,12	-,02	-,04	-,03	-55,37	,00



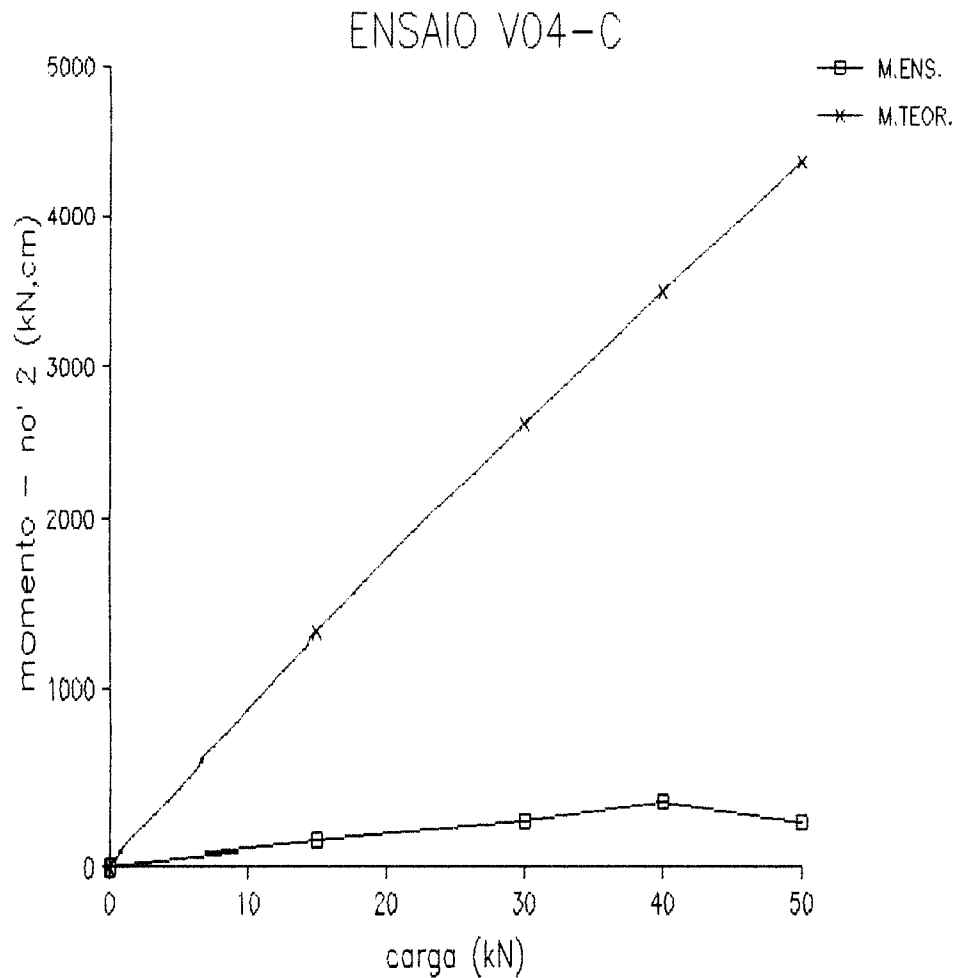
ETAPA	CARGA (kN)	.11	.12	.MED	.13	.14	.MED	M.ENS. NO' 6	M.TEOR. NO' 6
0	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	15	-3,86	-3,78	-3,82	3,78	3,92	3,85	1676,89	938,40
2	30	-7,90	-7,66	-7,78	8,12	8,36	8,24	3436,25	1876,80
3	0	-,04	,00	-,02	,08	,02	,05	24,99	,00
	0	,00	,00		,00	,00		,00	,00
4	15	-4,42	-4,34	-4,38	4,30	4,48	4,39	1909,29	938,40
5	30	-8,50	-8,20	-8,35	8,28	8,56	8,42	3601,24	1876,80
6	40	-10,93	-10,51	-10,72	10,67	10,89	10,78	4646,16	2502,40
7	45	-12,82	-12,18	-12,50	12,40	12,66	12,53	5369,57	2815,20
8	0	-,10	-,10	-,10	,02	-,04	,00	38,98	,00



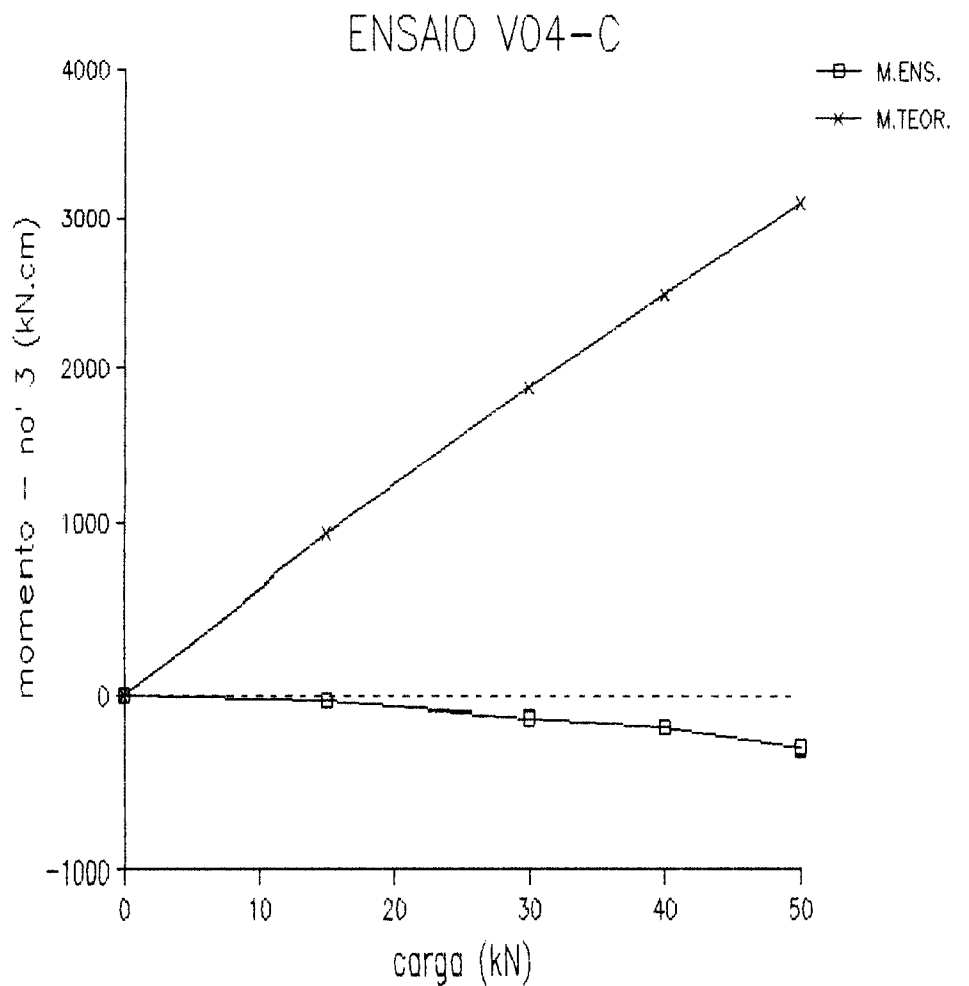
ETAPA	CARGA (kN)	DEF1 (mm)	DEF2 (mm)	ANG. (rad)	NO 4	NO 4 TEORICO	NO 5	NO 5 TEORICO	NO 6	NO 6 TEORICO	NO 7	NO 7 TEORICO	NO 8	NO 8 TEORICO
0	0	,00	,00	,000000	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	15	,01	,02	-,000018	,53	,09	,89	,23	1,09	,30	1,03	,28	,76	,17
2	30	,05	,05	,000000	1,09	,19	1,84	,47	2,15	,60	2,04	,57	1,45	,34
3	0	,00	,01	-,000018	,06	,00	,07	,00	,07	,00	,09	,00	,10	,00
	0			,000000	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
4	15	,01	,01	,000000	,49	,09	,87	,23	1,07	,30	1,00	,28	,72	,17
5	30	,05	,03	,000035	1,05	,19	1,79	,47	2,09	,60	1,96	,57	1,37	,34
6	40	,12	,05	,000124	1,46	,25	2,42	,63	2,75	,80	2,58	,75	1,78	,45
7	50	,17	,06	,000195	1,88	,31	3,04	,78	3,46	1,00	3,23	,94	2,21	,56
8	0	-,02	-,02	,000000	,09	,00	,11	,00	,12	,00	,10	,00	,09	,00



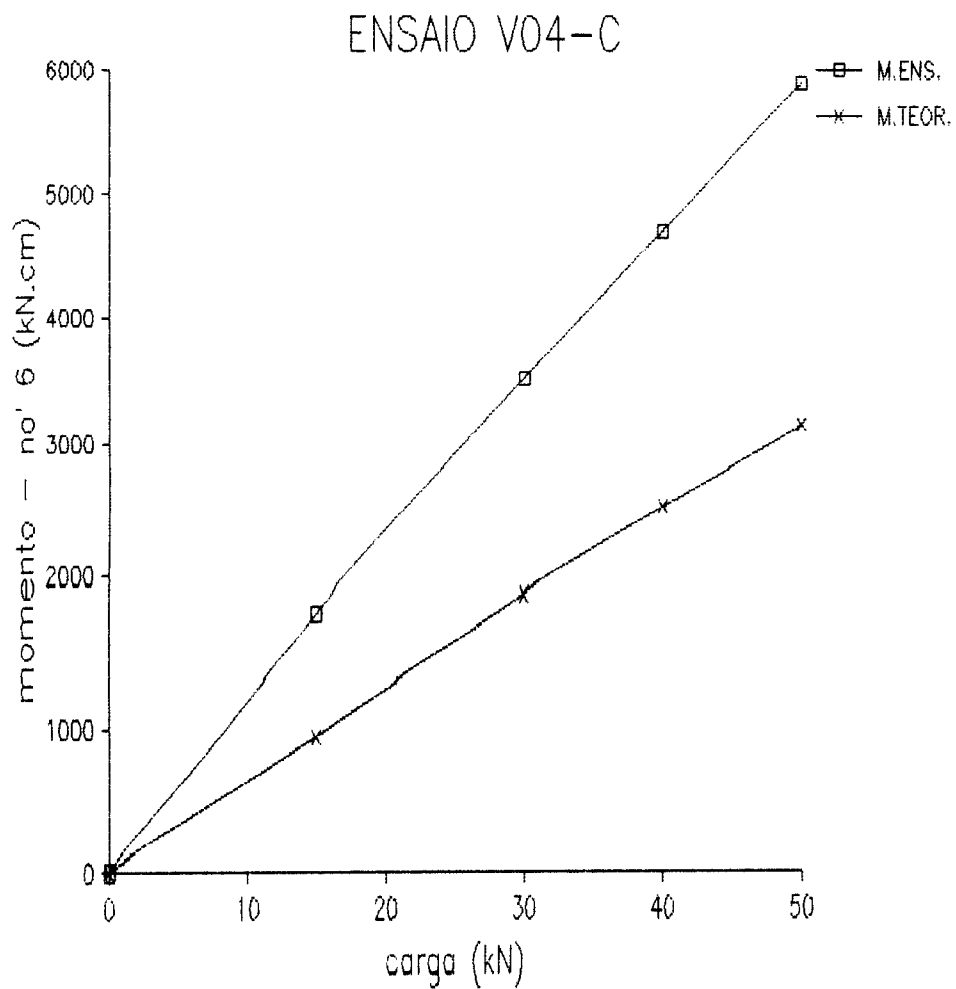
ETAPA	CARGA (kN)	.1	.2	.3	.MED	.4	.5	.6	.MED	M.ENS. NO' 2	M.TEOR. NO' 2
0	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	15	-,10	,02	,12	,01	-,36	-,24	,00	-,20	47,67	1309,98
2	30	-,30	,04	,36	,03	-,44	-,32	,04	-,24	106,65	2619,96
3	0	-,20	-,20	-,06	-,15	,06	,06	,06	,06	-118,82	,00
	0	,00	,00	,00		,00	,00	,00		,00	,00
4	15	,00	,20	,26	,15	-,32	-,24	,00	-,19	132,67	1309,98
5	30	-,14	,24	,42	,17	-,50	-,36	-,02	-,29	253,24	2619,96
6	40	-,34	,14	,48	,09	-,44	-,30	,08	-,22	371,29	3493,28
7	50	-,56	,04	,42	-,03	-,32	,10	1,27	,35	240,45	4366,60
8	0	-,18	-,04	,08	-,05	,14	,10	,04	,09	-54,63	,00



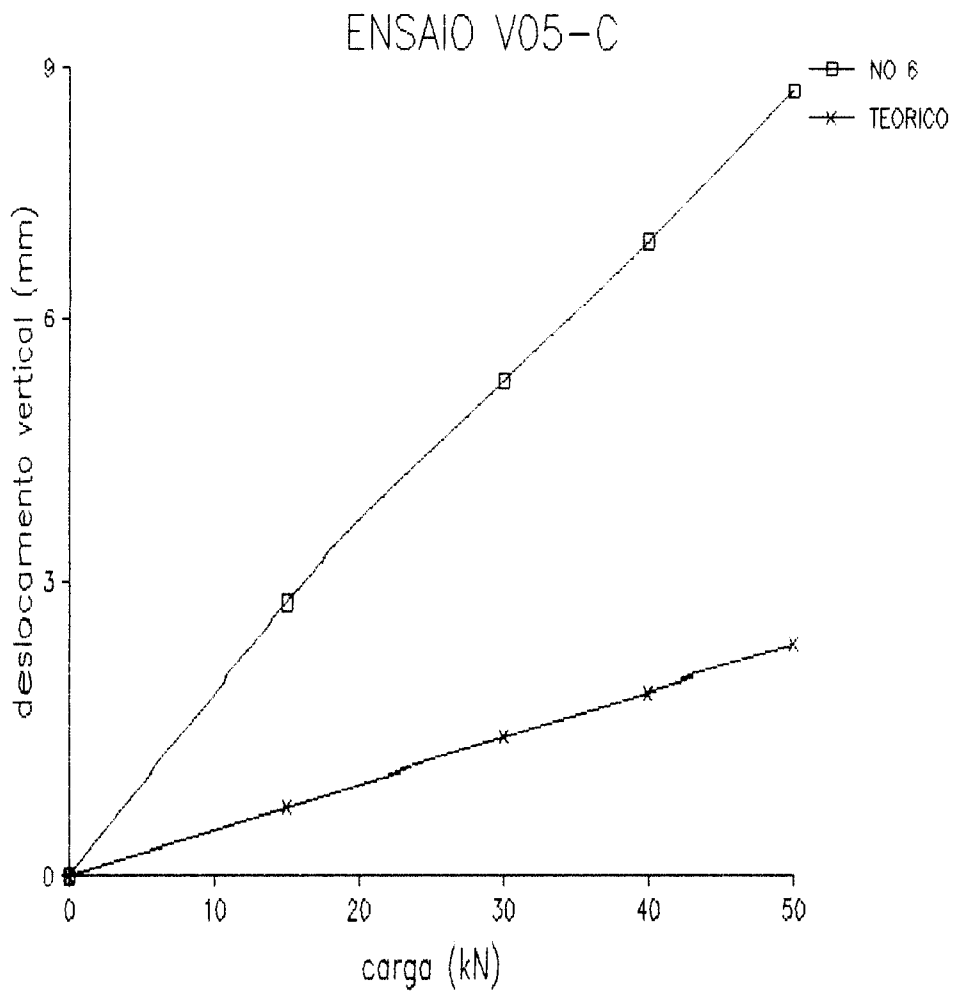
ETAPA	CARGA (kN)	.7	.8	.MED	.9	.10	.MED	M.ENS. NO' 3	M.TEOR. NO' 3
0	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	15	-,18	-,14	-,16	,04	,14	,09	-131,50	934,26
2	30	-,46	-,20	-,33	,38	,48	,43	-296,55	1868,52
3	0	-,12	-,10	-,11	,12	,14	,13	-127,60	,00
	0	,00	,00		,00	,00		,00	,00
4	15	-,08	-,02	-,05	,00	,08	,04	-35,12	934,26
5	30	-,30	-,12	-,21	,24	,36	,30	-131,09	1868,52
6	40	-,64	-,34	-,49	,54	,64	,59	-183,73	2491,36
7	50	-,88	-,60	-,74	,98	1,02	1,00	-305,45	3114,20
8	0	-,08	-,08	-,08	-,02	,00	,00	-27,31	,00



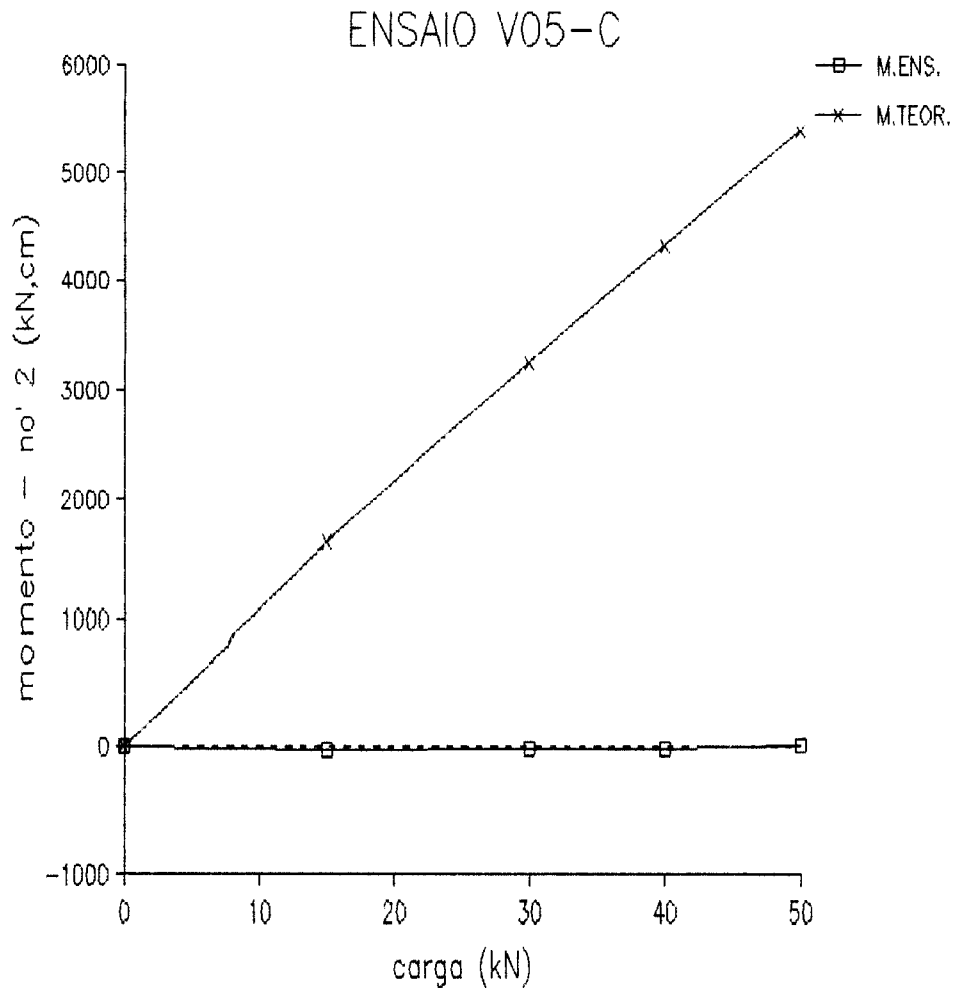
ETAPA	CARGA (kN)	.11	.12	.MED	.13	.14	.MED	M.ENS. NO' 6	M.TEOR. NO' 6
0	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	15	-2,31	-2,17	-2,24	2,47	2,19	2,33	1809,60	938,40
2	30	-4,56	-4,36	-4,46	5,00	4,42	4,71	3593,71	1876,80
3	0	-,08	,00	-,04	,02	,04	,03	45,91	,00
	0	,00	,00		,00	,00		,00	,00
4	15	-2,23	-2,17	-2,20	2,41	2,15	2,28	1755,89	938,40
5	30	-4,48	-4,34	-4,41	4,90	4,32	4,61	3497,99	1876,80
6	40	-6,01	-5,93	-5,97	6,65	5,97	6,31	4684,84	2502,40
7	50	-7,58	-7,47	-7,53	8,42	7,60	8,01	5886,40	3128,00
8	0	-,16	-,12	-,14	,08	,08	,08	85,84	,00



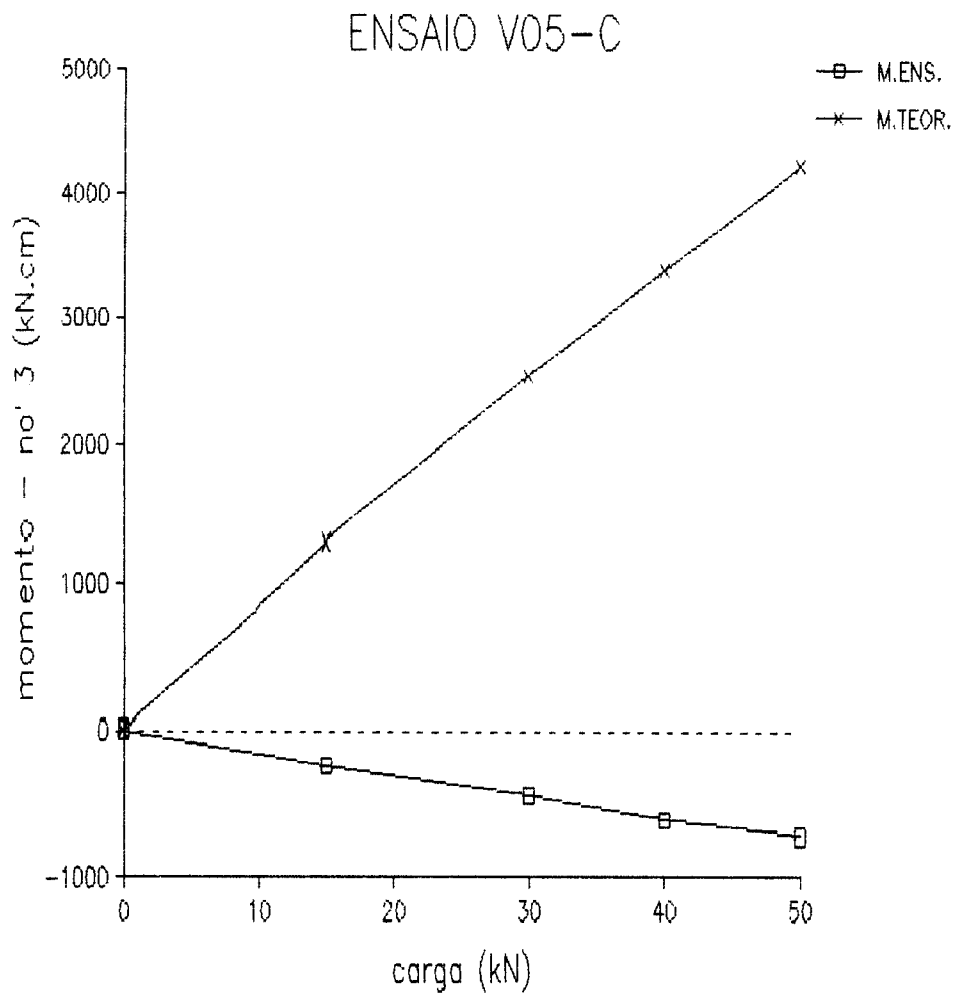
ETAPA	CARGA (kN)	DEF1 (mm)	DEF2 (mm)	ANG. (rad)	NO 4	NO 4 TEORICO	NO 5	NO 5 TEORICO	NO 6	NO 6 TEORICO	NO 7	NO 7 TEORICO	NO 8	NO 8 TEORICO
0	0	,00	,00	,000000	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	15	,00	,03	-,000053	1,59	,28	2,64	,64	2,65	,71	2,61	,63	1,87	,36
2	30	,04	,10	-,000106	3,17	,57	5,22	1,28	5,35	1,42	5,02	1,26	3,44	,72
3	0	,00	-,01	,000018	,12	,00	,19	,00	,10	,00	,23	,00	,23	,00
	0			,000000	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
4	15	,00	,06	-,000106	1,60	,28	2,65	,64	2,78	,71	2,60	,63	1,83	,36
5	30	,04	,11	-,000124	3,07	,57	5,05	1,28	5,26	1,42	4,81	1,26	3,24	,72
6	40	,08	,13	-,000088	4,04	,76	6,65	1,70	6,93	1,89	6,29	1,67	4,19	,96
7	50	,14	,14	,000000	5,06	,95	8,31	2,13	8,73	2,36	7,84	2,09	5,15	1,20
8	0	-,03	,06	-,000159	,26	,00	,35	,00	,45	,00	,32	,00	,25	,00



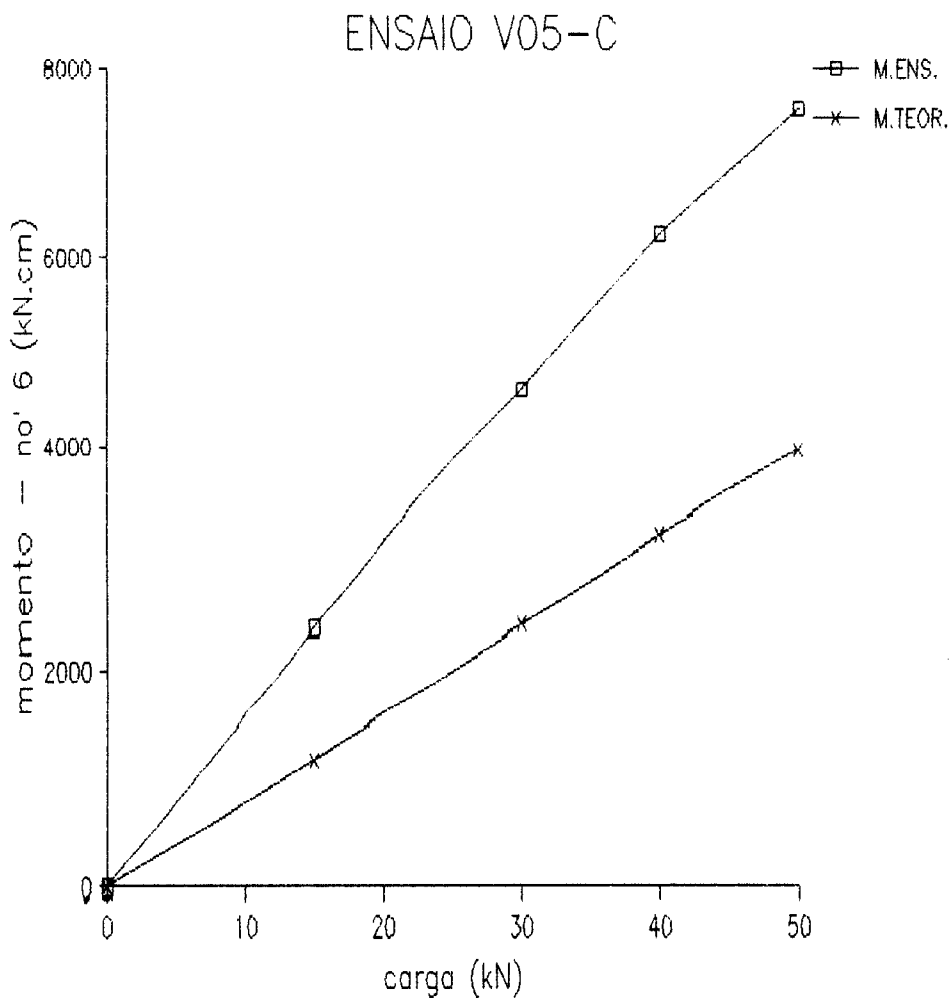
ETAPA	CARGA (kN)	.1	.2	.3	.MED	.4	.5	.6	.MED	M.ENS. NO' 2	M.TEOR. NO' 2
0	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	15	,00	,16	,20	,12	-,18	-,26	-,12	-,19	18,31	1620,45
2	30	-,30	,08	,32	,03	,10	-,20	-,12	-,07	-104,33	3240,90
3	0	-,34	-,12	,14	-,11	,48	,30	,16	,31	-94,51	,00
	0	,00	,00	,00		,00	,00	,00		,00	,00
4	15	,04	,16	,20	,13	-,24	-,30	-,14	-,23	-33,85	1620,45
5	30	,06	,22	,22	,17	-,34	-,44	-,24	-,34	-15,38	3240,90
6	40	-,14	,14	,22	,07	-,16	-,40	-,22	-,26	-18,94	4321,20
7	50	-,34	-,04	,16	-,07	,08	-,28	-,18	-,13	14,84	5401,50
8	0	-,40	-,20	,10	-,17	,54	,28	,14	,32	-336,41	,00



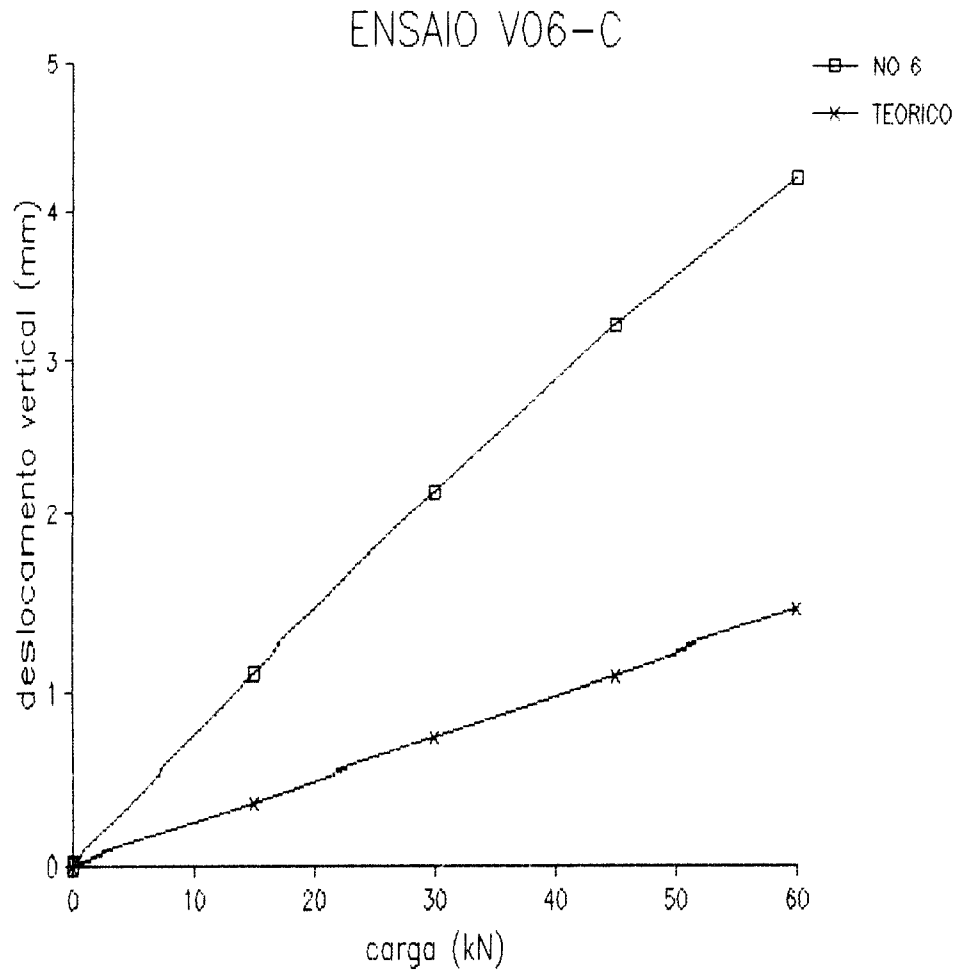
ETAPA	CARGA (kN)	.7	.8	.MED	.9	.10	.MED	M.ENS. NO' 3	M.TEOR. NO' 3
0	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	15	-,24	-,26	-,25	,22	,28	,25	-203,46	1266,38
2	30	-,78	-,74	-,76	,74	,86	,80	-562,71	2532,75
3	0	-,24	-,10	-,17	,30	,30	,30	-109,31	,00
	0	,00	,00		,00	,00		,00	,00
4	15	-,18	-,14	-,16	,16	,28	,22	-234,42	1266,38
5	30	-,56	-,54	-,55	,44	,60	,52	-447,84	2532,75
6	40	-,92	-,90	-,91	,88	1,04	,96	-627,51	3377,00
7	50	-1,27	-1,33	-1,30	1,23	1,43	1,33	-737,27	4221,25
8	0	-,24	-,14	-,19	,20	,30	,25	-315,46	,00



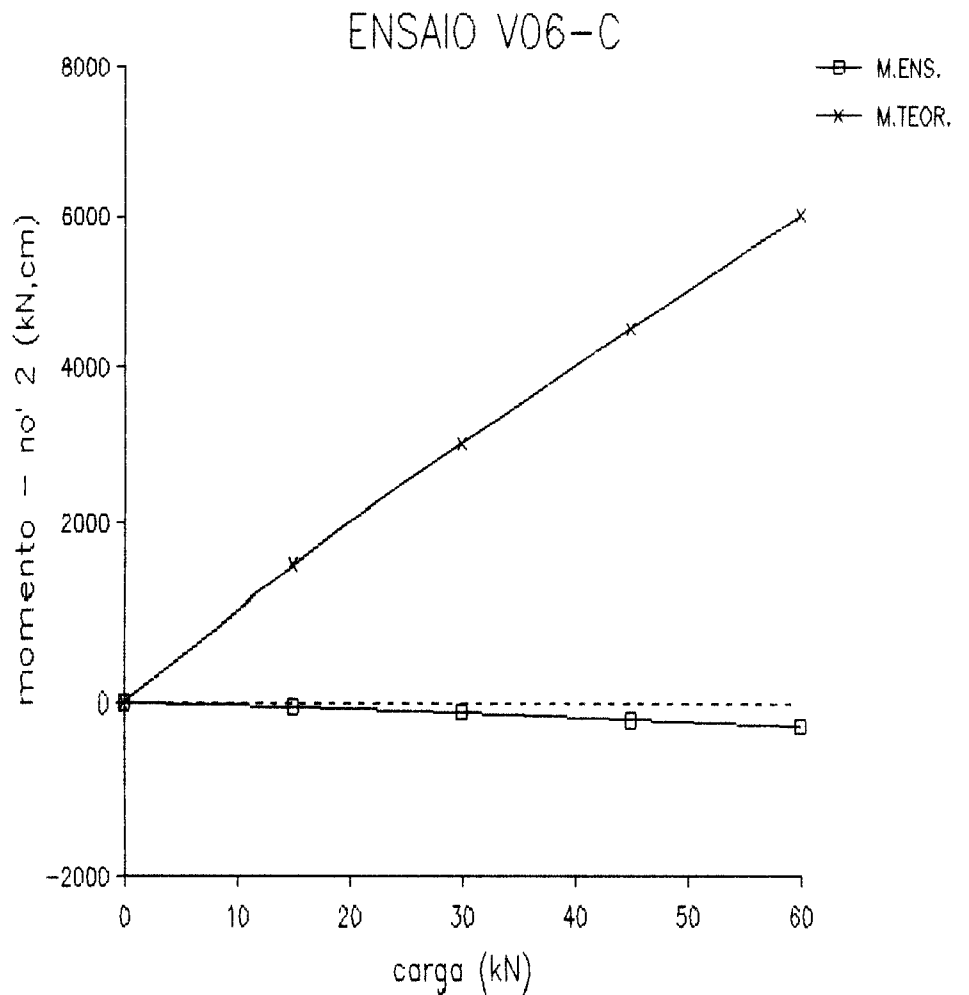
ETAPA	CARGA (kN)	.11	.12	.MED	.13	.14	.MED	M.ENS. NO' 6	M.TEOR. NO' 6
0	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	15	-3,82	-4,04	-3,93	3,92	4,50	4,21	2306,27	1186,94
2	30	-7,58	-8,18	-7,88	8,06	9,02	8,54	4651,49	2373,87
3	0	-,04	-,02	-,03	,08	,10	,09	23,23	,00
	0	,00	,00		,00	,00		,00	,00
4	15	-3,80	-4,06	-3,93	4,02	4,56	4,29	2359,00	1186,94
5	30	-7,55	-8,08	-7,81	7,92	8,84	8,38	4597,66	2373,87
6	40	-10,11	-11,15	-10,63	10,93	12,16	11,55	6249,41	3165,16
7	50	-11,94	-13,88	-12,91	13,56	14,85	14,20	7578,56	3956,45
8	0	-,22	-,26	-,24	,16	,14	,15	199,93	,00



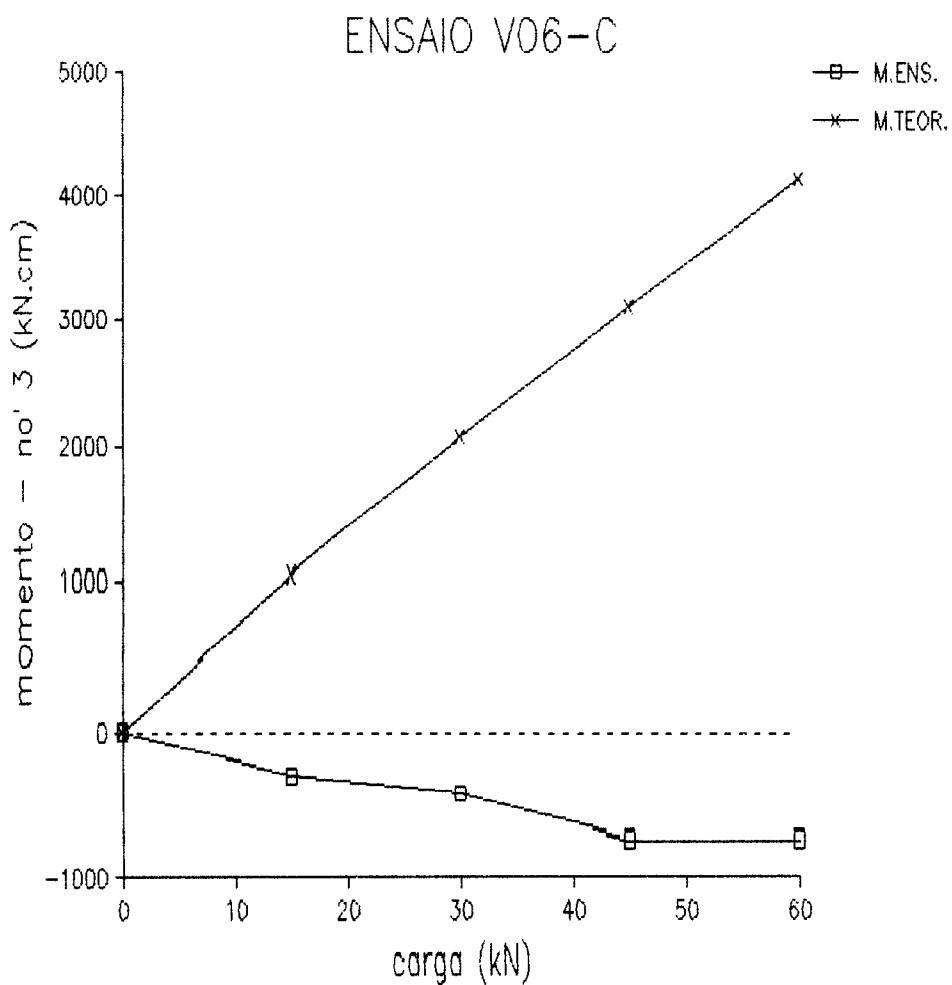
ETAPA	CARGA (kN)	DEF1 (mm)	DEF2 (mm)	ANG. (rad)	NO 4 TEORICO	NO 4	NO 5 TEORICO	NO 5	NO 6 TEORICO	NO 6	NO 7 TEORICO	NO 7	NO 8 TEORICO	NO 8
0	0	,00	,00	,000000	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	15	,04	-,01	,000075	,65	1,46	1,03	,33	1,09	,36	,63	,32	,66	,19
2	30	,09	-,01	,000150	1,26	2,92	2,04	,66	2,16	,73	1,57	,65	1,24	,37
3	0	,03	,00	,000045	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,01	,00	,04	,00
	0			,000000	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
4	15	,00	-,01	,000015	,67	1,46	4,03	,33	1,11	,36	1,19	,32	,66	,19
5	30	,06	-,01	,000105	1,26	2,92	2,04	,66	2,14	,73	1,55	,65	1,21	,37
6	45	,07	-,01	,000120	1,92	4,38	3,11	,98	3,24	1,09	2,52	,97	1,79	,56
7	60	,16	-,03	,000286	2,50	5,84	4,08	1,31	4,25	1,46	3,41	1,29	2,35	,74
8	0	-,04	,00	-,000060	,10	,00	,13	,00	,14	,00	-,27	,00	,10	,00



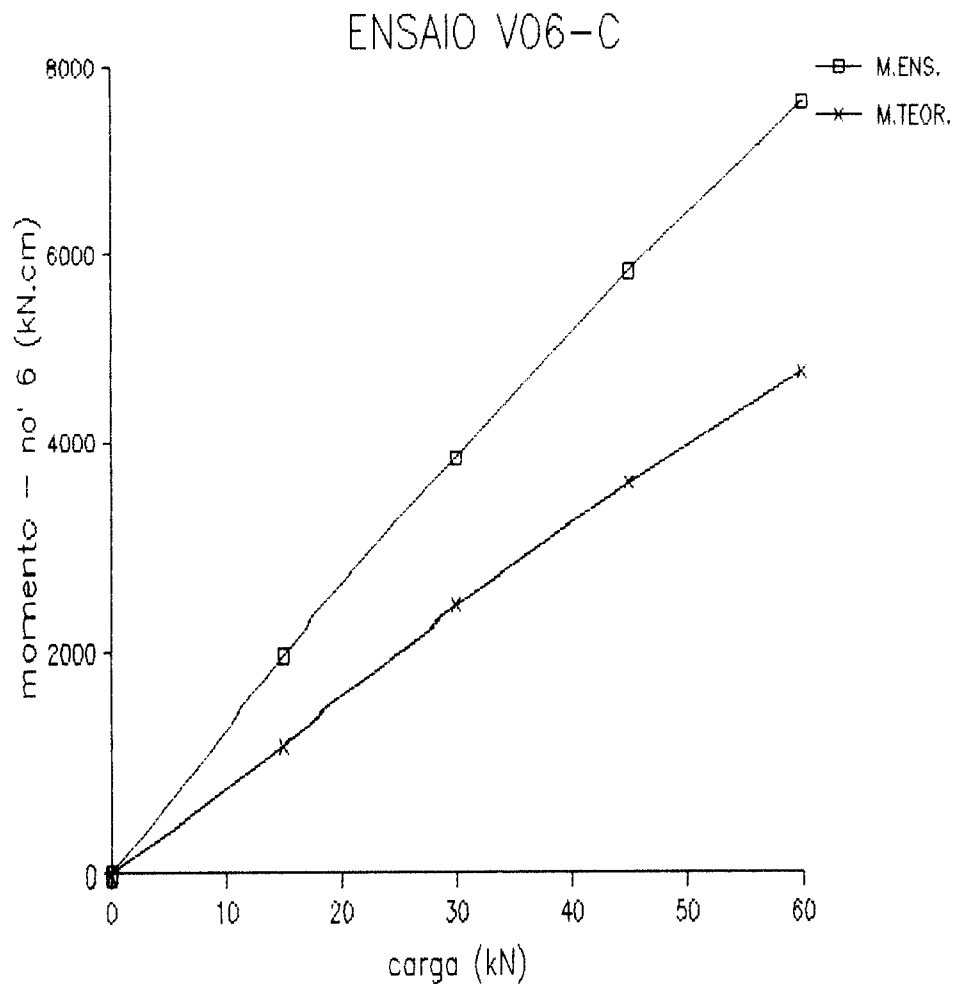
ETAPA	CARGA (kN)	.1	.2	.3	.MED	.4	.5	.6	.MED	M.ENS. NO' 2	M.TEOR. NO' 2
0	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	15	-,06	-,02	-,06	-,05	,10	,06	,08	,08	-33,47	1504,37
2	30	-,10	-,12	-,16	-,13	,26	,20	,18	,21	-102,32	3008,73
3	0	-,06	-,04	-,06	-,05	,00	,00	,00	,00	-10,83	,00
	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
4	15	-,02	-,04	-,04	-,03	,12	,06	,08	,09	-45,33	1504,37
5	30	-,10	-,10	-,14	-,11	,24	,16	,18	,19	-99,65	3008,73
6	45	-,20	-,20	-,24	-,21	,46	,32	,28	,35	-202,11	4513,10
7	60	-,30	-,26	-,34	-,30	,68	,52	,40	,53	-270,86	6017,46
8	0	,00	-,02	,04	,00	,16	,22	,10	,16	-77,15	,00



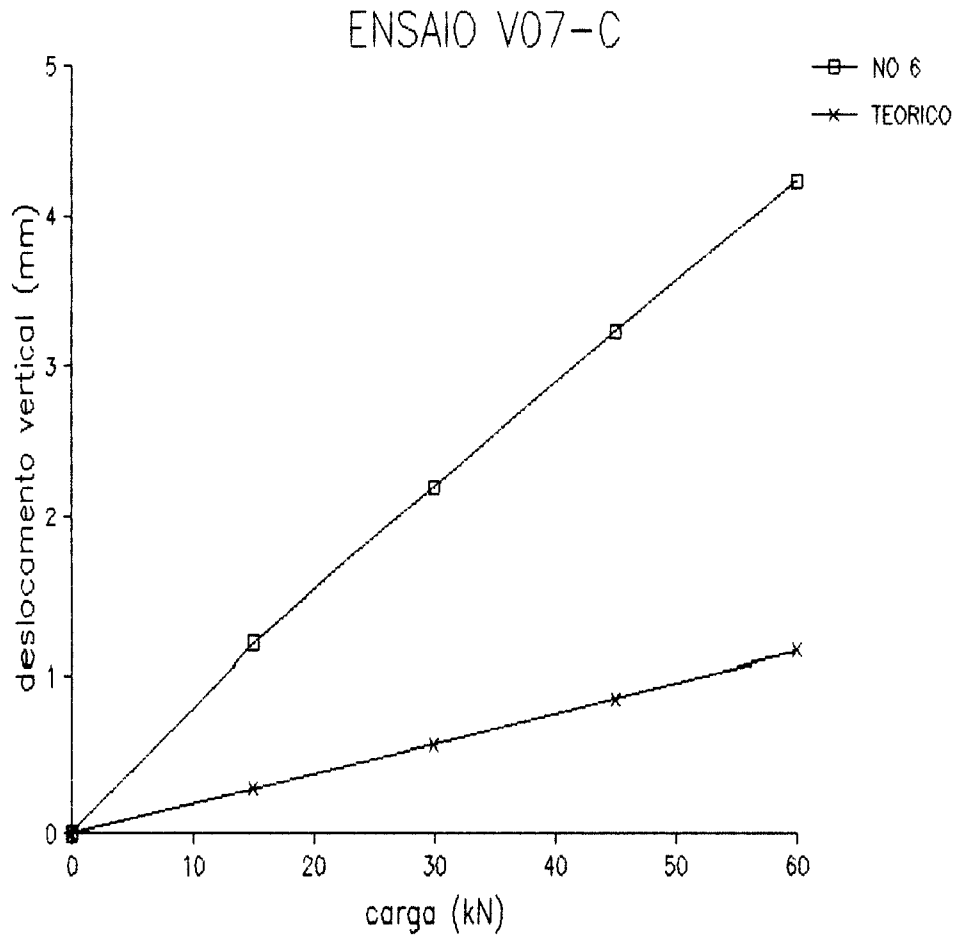
ETAPA	CARGA (kN)	.7	.8	.MED	.9	.10	.MED	M.ENS. NO' 3	M.TEOR. NO' 3
0	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	15	-,38	-,36	-,37	,42	,38	,40	-141,76	1034,21
2	30	-,82	-,80	-,81	,88	,76	,82	-320,25	2068,41
3	0	,00	-,02	,00	,00	,00	,00	99,41	,00
	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
4	15	-,42	-,38	-,40	,42	,38	,40	-291,99	1034,21
5	30	-,84	-,80	-,82	,84	,74	,79	-415,58	2068,41
6	45	-1,27	-1,23	-1,25	1,29	1,15	1,22	-740,22	3102,62
7	60	-1,71	-1,73	-1,72	1,77	1,57	1,67	-736,21	4136,82
8	0	-,04	-,02	-,03	-,02	-,02	-,02	-142,07	,00



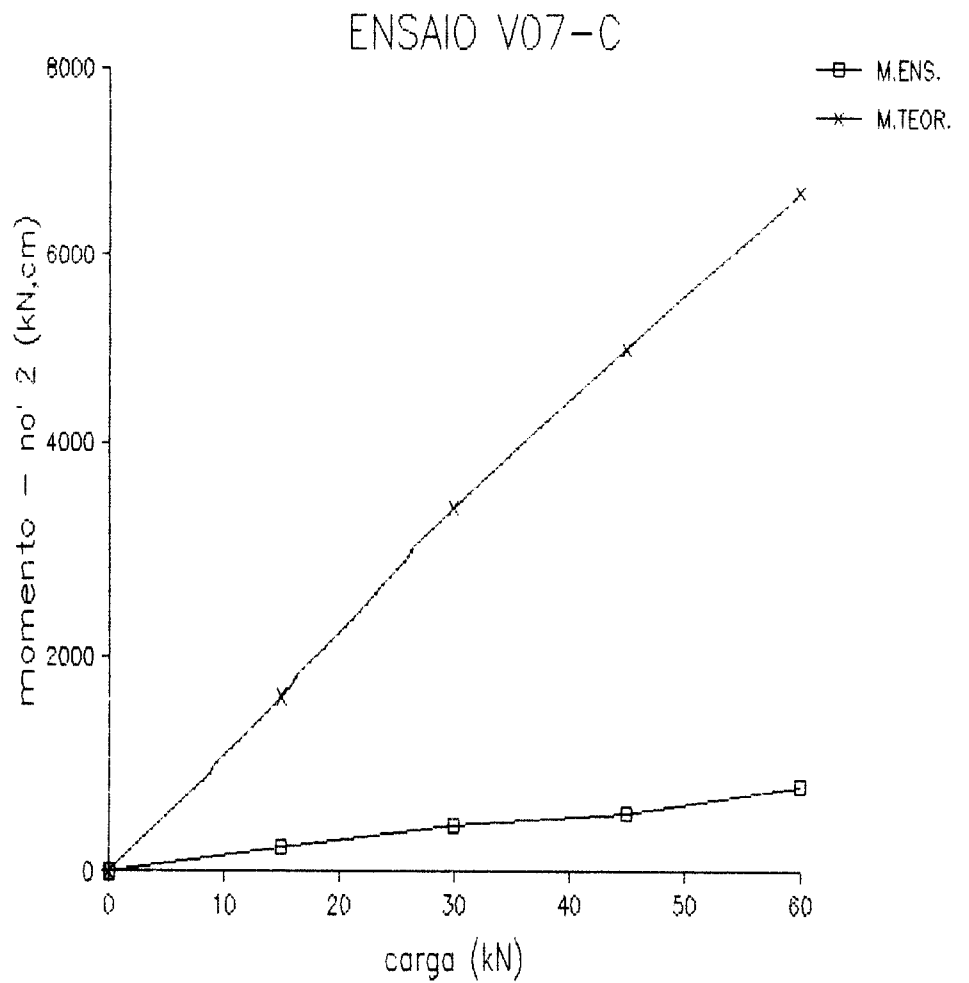
ETAPA	CARGA (kN)	.11	.12	.MED	.13	.14	.MED	M.ENS. NO' 6	M.TEOR. NO' 6
0	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	15	-2,37	-2,43	-2,40	2,43	2,65	2,54	1940,28	1186,94
2	30	-4,78	-4,76	-4,77	4,72	5,20	4,96	3819,34	2373,87
3	0	-,06	-,02	-,04	,02	,00	,00	-29,97	,00
	0	,00	,00		,00	,00		,00	,00
4	15	-2,29	-2,39	-2,34	2,35	2,61	2,48	1958,48	1186,94
5	30	-4,70	-4,74	-4,72	4,66	5,14	4,90	3824,83	2373,87
6	45	-7,13	-7,21	-7,17	7,05	7,68	7,37	5824,12	3560,81
7	60	-9,48	-9,58	-9,53	9,44	10,29	9,86	7630,99	4747,74
8	0	-,02	-,06	-,04	,02	,00	,00	87,58	,00



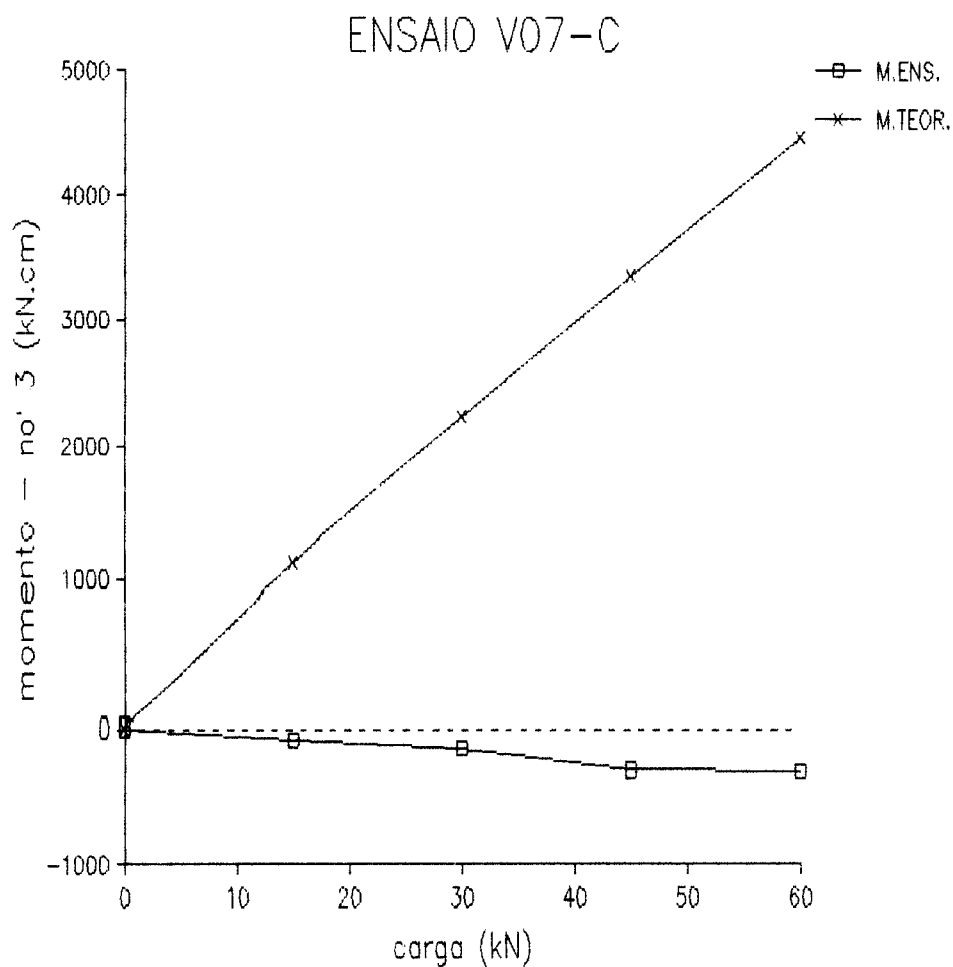
ETAPA	CARGA (kN)	DEF1 (mm)	DEF2 (mm)	ANG. (rad)	NO 4	NO 4 TEORICO	NO 5	NO 5 TEORICO	NO 6	NO 6 TEORICO	NO 7	NO 7 TEORICO	NO 8	NO 8 TEORICO
0	0	,00	,00	,000000	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	15	,04	,04	,000000	,64	,10	1,09	,24	1,53	,29	1,23	,28	1,00	,17
2	30	,12	,08	,000056	1,20	,20	2,03	,49	2,29	,57	2,30	,56	1,81	,34
3	0	,01	,00	,000014	,04	,00	,05	,00	,07	,00	,07	,00	,08	,00
	0			,000000	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
4	15	,05	,03	,000028	,60	,10	1,05	,24	1,19	,29	1,21	,28	1,00	,17
5	30	,11	,06	,000070	1,17	,20	1,97	,49	2,20	,57	2,20	,56	1,72	,34
6	45	,17	,11	,000085	1,73	,31	2,94	,73	3,24	,86	3,21	,84	2,43	,52
7	60	,24	,13	,000155	2,23	,41	3,88	,97	4,23	1,14	4,13	1,11	3,08	,69
8	0	-,02	,00	-,000028	,06	,00	,09	,00	,11	,00	,11	,00	,10	,00



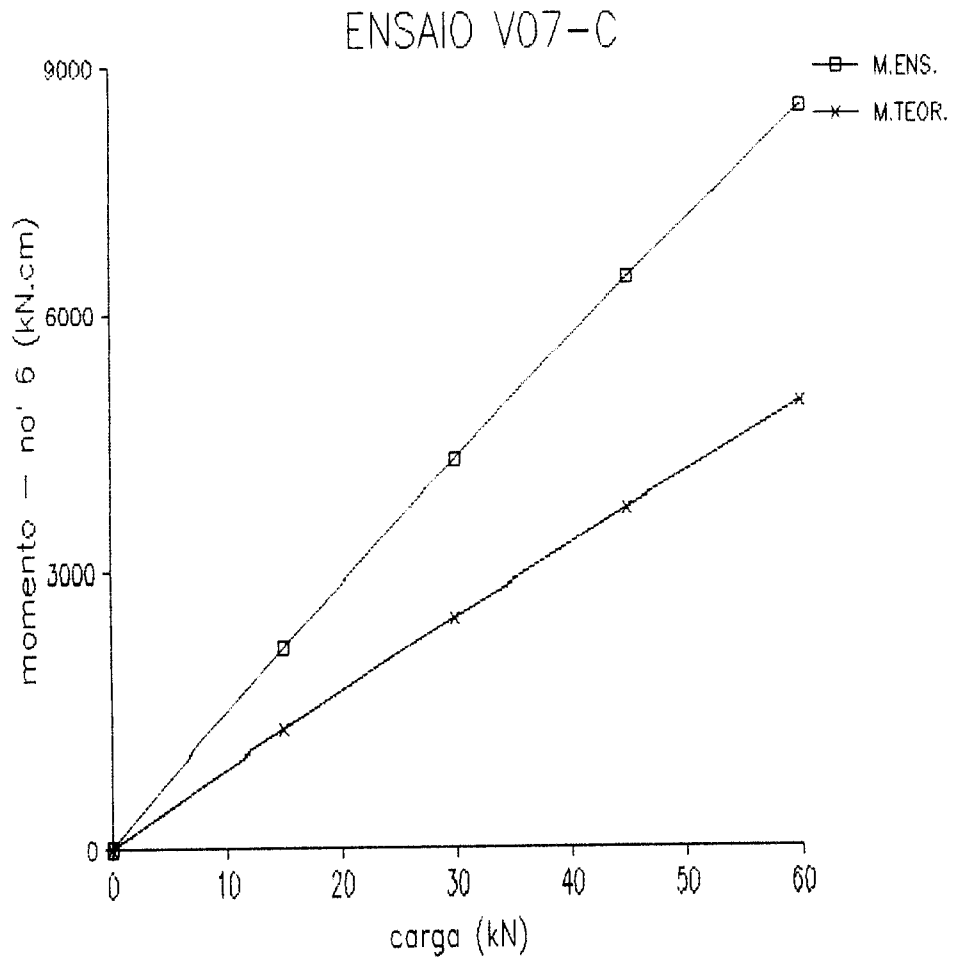
ETAPA	CARGA (kN)	.1	.2	.3	.MED	.4	.5	.6	.MED	M.ENS. NO' 2	M.TEOR. NO' 2
0	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	15	,14	,24	,18	,19	-,06	-,08	,02	-,04	138,42	1668,50
2	30	,20	,32	,22	,25	-,12	-,14	,04	-,07	397,35	3336,99
3	0	-,02	-,02	,00	-,01	-,06	,08	,06	,03	26,06	,00
	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
4	15	,12	,22	,18	,17	-,08	-,10	,00	-,06	243,46	1668,50
5	30	,14	,34	,34	,27	-,12	-,16	,02	-,09	472,26	3336,99
6	45	,08	,46	,44	,33	-,20	-,26	,04	-,14	587,88	5005,49
7	60	,04	,54	,60	,39	-,20	-,26	,08	-,13	872,87	6673,98
8	0	-,04	-,02	,02	-,01	,08	,12	,06	,09	-162,03	,00



ETAPA	CARGA (kN)	.7	.8	.MED	.9	.10	.MED	M.ENS. NO' 3	M.TEOR. NO' 3
0	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	15	-,14	-,16	-,15	,10	,10	,10	-152,67	1116,87
2	30	-,36	-,36	-,36	,28	,32	,30	-211,74	2233,74
3	0	,02	,00	,00	,02	,02	,02	41,72	,00
	0	,00	,00		,00	,00		,00	,00
4	15	-,18	-,12	-,15	,16	,12	,14	-81,44	1116,87
5	30	-,36	-,22	-,29	,36	,32	,34	-145,60	2233,74
6	45	-,54	-,32	-,43	,58	,50	,54	-305,40	3350,61
7	60	-,80	-,46	-,63	,76	,72	,74	-310,54	4467,48
8	0	-,04	-,04	-,04	,06	,02	,04	-144,51	,00



ETAPA	CARGA (kN)	.11	.12	.MED	.13	.14	.MED	M.ENS. NO' 6	M.TEOR. NO' 6
0	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
1	15	-1,95	-1,77	-1,86	1,85	1,75	1,80	2247,29	1233,69
2	30	-3,84	-3,56	-3,70	3,64	3,56	3,60	4376,10	2467,38
3	0	-,08	-,04	-,06	,08	,06	,07	52,82	,00
	0	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
4	15	-1,69	-1,73	-1,71	1,83	1,85	1,84	2126,98	1233,69
5	30	-3,34	-3,52	-3,43	3,64	3,82	3,73	4264,03	2467,38
6	45	-5,00	-5,34	-5,17	5,47	5,73	5,60	6448,11	3701,07
7	60	-6,63	-7,21	-6,92	7,21	7,68	7,45	8519,81	4934,76
8	0	-,02	,00	,00	-,04	-,06	-,05	28,71	,00



CAPÍTULO 5 - ANÁLISE DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS

Os ensaios foram realizados com a intenção de obter uma avaliação do desempenho das ligações e dos modelos de cálculo utilizados para o seu dimensionamento. Considerando essa pretensão os resultados obtidos foram satisfatórios.

Embora tenha sido feito apenas um ensaio de cada modelo, foi possível avaliar o desempenho das ligações sob cargas de serviço. Porém, as avaliações não são conclusivas quanto aos modelos de cálculo e dimensionamento, assim como quanto à avaliação da rigidez das ligações. A sua utilização em projetos de edifícios deverá ser feita de maneira criteriosa.

Em alguns ensaios, as leituras efetuadas levaram a valores de tensões e momentos incompatíveis com os modelos teóricos. Essas incompatibilidades, em alguns casos, são consequência de erros de leitura do operador do instrumento

de medição; em outros, nos quais os valores medidos são muito pequenos (deformações da ordem de 10^{-5}), seus sinais não têm significado, isto é, a sensibilidade do sistema de medição não foi suficiente para detectar o valor correto. Esses resultados não devem ser considerados na avaliação dos modelos.

5.1- Ligações com chapas de topo

Na análise dos resultados dos ensaios de ligações com chapas de topo, utilizando parafusos A-325 ou A-307, podem-ser apresentadas algumas observações:

- a) a flecha das vigas no nó 6, entre os pontos de aplicação das cargas, foi de 30% a 50% maior que o da viga teórica com a ligação engastada;
- b) o momento fletor no ponto 6, avaliado a partir dos resultados dos ensaios, foi para as vigas menores cerca de 30% maior que o teórico e para as vigas maiores, 10% maior que o teórico;
- c) o momento fletor de ensaio, calculado no ponto 2, à distância $H/2$ da ligação varia de 75% a 85% do momento da viga com engastamento perfeito;
- d) os itens b e c são coerentes, pois demonstram um deslocamento do diagrama de momentos da ordem de 20% do momento de engastamento perfeito. Isso conduz a uma eficiência da ligação (relação entre o momento de engastamento perfeito e o momento avaliado no ensaio) da ordem de 80%;

e) dentro da variação de esforços aplicada à ligação, os resultados obtidos com parafusos A-325 não diferem muito daqueles obtidos nas ligações com parafusos A-307. Essa observação foi apresentada também por outros pesquisadores, que levaram as ligações à ruptura e concluíram que a capacidade última da ligação não dependia do fato de se utilizarem parafusos de alta resistência ou comuns.

Da análise das tensões nos parafusos, principalmente nos modelos B (V03-8, V04-B, V05-B, V06-B), deduz-se que o efeito da alavanca não aparece com cargas de serviço. Esse fenômeno deverá acontecer para situações próximas do estado limite último da ligação;

f) o método de cálculo proposto por Mann e Morris (20) não conduz a espessuras de chapa muito grossas, e o desempenho da ligação fica bem próximo das ligações consideradas rígidas (que garantem a transmissão de pelo menos 90% do momento de engastamento). Se considerada a recomendação apresentada no citado trabalho, de que a chapa deve ter espessura igual a 1,2 vez o diâmetro do parafuso, as ligações obtidas terão melhor desempenho e poderão ser classificadas como rígidas.

5.2- Ligações com cantoneiras de alma

A espessura da cantoneira utilizada nas ligações ensaiadas foi maior que a determinada na verificação dos estados limites últimos (esmagamento, rasgamento e cisalhamento da seção efetiva).

Dessa forma, esperava-se maior rigidez da ligação e, portanto, um impedimento parcial do giro da viga.

Analisando os resultados dos ensaios, podem-ser citadas as seguintes observações:

- a) o comportamento das vigas ensaiadas (modelos C) é bem próximo do de uma viga com ligação articulada;
- b) o momento fletor no ponto 6, entre os pontos de aplicação das cargas, esteve bem perto do de uma viga com ligação articulada;
- c) o momento fletor do ensaio calculado no ponto 2, à distância $H/2$ da ligação, foi praticamente zero;
- d) os itens b e c são coerentes e demonstram que a ligação com cantoneiras na alma tem comportamento de ligação articulada;
- e) os esforços de tração nos parafusos foram inferiores aos esforços de pré-tensão aplicados, não sendo possível a análise das tensões nos mesmos durante os ensaios;
- f) as ligações utilizadas foram superdimensionadas para os esforços de cisalhamento atuantes durante os ensaios. Mesmo assim, o comportamento da ligação ficou bem próximo do da ligação articulada. O modelo teórico para verificação da rigidez da ligação deve ser calibrado com os resultados dos ensaios, considerando que o giro final da viga deverá ser compatível com o giro final da ligação, conforme analisado no capítulo 3.

Como foi dito no início do capítulo, os resultados obtidos, a partir dos ensaios realizados, foram satisfatórios para análise do comportamento das ligações sob cargas de serviço e para avaliação do modelo de cálculo adotado. No entanto, faz-se necessária a realização de outros ensaios, em maior número, para a obtenção de diagramas Momento x Rotação para as ligações, analisando-se inclusive o seu comportamento perto da ruptura.

CAPÍTULO 6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa bibliográfica demonstrou a atualidade do tema "ligações viga-coluna em estruturas de aço", discutido neste trabalho. Contudo, a maioria dos trabalhos discute apenas os estados limites últimos das ligações e os modelos de cálculo para a sua verificação.

Poucos pesquisadores tratam da rigidez da ligação e de modelos de cálculo para a sua determinação ainda em fase de projeto. Os estudos experimentais encontrados tentam estabelecer os diagramas "momento x rotação" para as diversas ligações. Falta, porém, uma formulação teórica ou semi-empírica eficiente para o dimensionamento da ligação e a determinação de sua rigidez.

A continuidade deste trabalho deverá ter esse objetivo. A realização de um número maior de ensaios, para a verificação dos modelos de cálculo apresentados e a

avaliação do desempenho da ligação em situações de serviço e próximo da ruptura, deverá conduzir a um processo confiável de projeto de ligações viga-coluna em estruturas de aço.

As dificuldades deste trabalho, principalmente na parte experimental, continuarão a existir, em função da falta de melhores condições para a realização dos ensaios e de auxílios financeiros para a fabricação e o ensaio de um número significativamente maior de modelos.

Esses problemas poderão ser superados em parte, com o desenvolvimento de modelos numéricos, que melhor simulem as ligações pesquisadas.

7 - BIBLIOGRAFIA

- [1] AGERSKOV, H. Analysis of bolted connections subject to prying. Journal of the Structural Division, ASCE, v.103, n.11, p.2145-63, Nov. 1977.
- [2] AGERSKOV, H. High-strength bolted connections subject to prying. Journal of the Structural Division, ASCE, v.102, n.1, p.161-75, Jan. 1976.
- [3] AGERSKOV, H., BJORNBAK-HANSEN, J. Bolted connections in round bar steel structures. Journal of Structural Engineering, ASCE, v.111, n.4, p.840-56, Apr. 1985.
- [4] BAILEY, J.R. Strength and rigidity of bolted beam to column connections. In: CONFERENCE ON JOINTS IN STRUCTURES, University of Sheffield, Session A, paper 4.
- [5] BERTWELL, W. Discussion of "Design of bolts or rivets subject to combined shear and tension", by Alfred Zweig. Engineering Journal, AISC, v.3, n.4 p.165-7, Oct. 1966.
- [6] BIRKEMOE, P.C., GILMOR, M.I. Behavior of bearing critical double-angle beam connections. Engineering Journal, AISC, v.15, n.4, p.109-15, 1978.
- [7] BOSE, S.K., MCNEICE, G.M., SHERBOURNE, A.N. Column webs in steel beam-to-column connections. Part II: Design recommendations. Computers & Structures, v.2, p.281-301, 1972.

- [8] CHEN, W.F., NEWLIN, D.E. Column web strength in beam to-column connections. Journal of Structural Division, ASCE, v.99, n.9, p.1978-84, Sep. 1973.
- [9] CHEN, W.F., OPPENHEIM, I.J. Web buckling strength of beam-to-column connections. Journal of Structural Division, ASCE, v.100, n.1, p.279-85, Jan. 1974.
- [10] CULLIMORE, M.S.G, ECKHART, J.B, The distribution of the clamping pressure in friction-grip bolted joints. The Structural Engineer, v.52, n.4, p.129-42, Apr. 1974.
- [11] DOUTY, R.T., MCGUIRE, W. High strength bolted moment connections. Journal of the Structural Division, ASCE, v.91, n.2, p.101-28, Apr. 1965.
- [12] HAROUN, N.M., SHEPHERD, R. Inelastic behavior of X-bracing in plane frames. Journal of Structural Engineering, ASCE, v.112, n.4, p.764-80, Apr. 1986.
- [13] HUANG, J.S., CHEN, W.F., BEEDLE, L.S. Behavior and design of steel beam-to-column moment connections. WRC Bulletin, New York, n.188, p.1-23, Oct. 1973.
- [14] JOHNSON, L.G. Tests on welded connections between I-section beams and stanchions. British Welding Journal, p.38-46, Jan. 1959.
- [15] JOHNSTON, B., GREEN, L.F. Flexible welded angle connections. Welding Journal, v.19, n.10, p.402s-408s, Oct. 1940.

- [16] JONES, S.W., KIRBY, P.A., NETHERCOT, D.A. Columns with semirigid joints. Journal of Structural Division, ASCE, v.108, n.2, p.361-72, Feb. 1982.
- [17] KENNEDY, D.J.L. Moment-rotations characteristics of shear connections. Engineering Journal, AISC, v.6, n.4, p.105-15, Oct. 1969.
- [18] KRAWINKLER, H., POVOV, E.P. Seismic behavior of moment connections and joints. Journal of Structural Division, ASCE, v.108, n.2, p.373-91, Feb. 1982.
- [19] KRISHNAMURTHY, N. A fresh look at bolted end-plate behavior and design. Engineering Journal, AISC, v.15, n.2, p.39-49, 1978.
- [20] MANN, A.P., MORRIS, L.J. Limit design of extended end-plate connections. Journal of Structural Division, ASCE, v.105, n.3, p.511-28, Mar. 1979.
- [21] NAIR, R.S., BIRKEMOE, P.C., MUNSE, W.H. High strength bolts subject to tension and prying. Journal of Structural Division, ASCE, v.100, n.2, p.351-72, Feb. 1974.
- [22] PACKER, J.A, MORRIS, L.J. A limit state design method for the tension region of bolted beam-column connections. The Structural Engineer, v.55, n.10, p.446-58, Oct. 1977.
- [23] PARFITT JR., J., CHEN, W.F. Tests of welded steel beam-to-column moment connections. Journal of Structural Division, ASCE, v.102, n.1, p.189-202, Jan. 1976.

- [24] REGEC, J.E., HUANG, J.S., CHEN, W.F. Tests of a fully-welded beam-to-column connection. WRC Bulletin, New York, n.188, p.24-35, Oct. 1973.
- [25] SALMON, C.G, Steel structures: design and behavior. New York, Harper & Row, 1990.
- [26] SHERBOURNE, A.N. Bolted beam to column connexions. The Structural Engineer, p.203-10, June 1961.
- [27] SOUROCHNIKOFF, B. Wind stresses in semi-rigid connections of steel framework. Transactions of the ASCE, v.115, p.382-402, 1950.
- [28] STOCKWELL, F.W. Yield line analysis of column webs with welded beam connections. Engineering Journal, AISC, v.11, n.1, p.12-17, 1974.
- [29] SURTEES, J. O., HOWLETT, J. H., HAIRSINE, R. C. Correspondence on "A limit state design method for the tension region of bolted beam-column connections", by J.A. Parcker and L.J. Morris. The Structural Engineer, v.56A, n.8, p.217-23, Aug. 1978.
- [30] VEILLETTE, J.R., DEWOLF, J.T. Eccentrically loaded high strength bolted connections. Journal of Structural Engineering, ASCE, v.111, n.5, p.1003-18, May 1985.
- [31] YANG, Y.B., MCGUIRE, W. Joint rotation and geometric nonlinear analysis. Journal of Structural Engineering, ASCE, v.112, n.4, p.879-905, Apr. 1986.